Formulación de Una Matriz Alimentaria a Base de Harina de Plátano Dominico Hartón *(Musa paradisiaca L.)* Para el Diseño de Alimentos Funcionales Libres de Gluten

Jairo Montoya López

Universidad Nacional De Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química
Manizales, Colombia
2020

Formulación de una matriz alimentaria a base de harina de plátano Dominico Hartón *(Musa paradisiaca L.)* para el diseño de alimentos funcionales libres de gluten

Jairo Montoya López

Tesis presentada como requisito para optar al título de:
Doctor en Ingeniería- Ingeniería Química

Director(a):
Bióloga, Ph.D. Sneyder Rodríguez Barona
Co-Director:
Lic. en Biología y Química, M. Sc., Ph.D. Germán Antonio Giraldo Giraldo

Línea de investigación:
Productos transformados alimentarios y no alimentarios
Grupo de Investigación.
Grupo de alimentos frutales

Universidad Nacional De Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química
Manizales, Colombia
2020

Dedicatoria

Esta tesis la dedico a Dios, que siempre ha sido mi guía y que me dio la fuerza para siempre seguir adelante, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desmayar en el intento.

A mi familia, que por ellos soy lo que soy; a la memoria de mis padres Inés y Aníbal que sus enseñanzas me ayudaron a enfrentar la vida con valentía, a mis hermanas Beatriz y Ofelia y mis sobrinos Andrés Felipe y Valentina por brindarme su amor y compañía, a mi hija María José que me motiva a ser cada día mejor persona y a mi esposa Diana que ha estado conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, brindándome su compañía, amor y apoyo incondicional.

Agradecimientos

Gracias a mis directores de tesis Sneyder Rodríguez Barona y German Antonio Giraldo Giraldo, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico. Ha sido un privilegio contar con su guía y apoyo.

Gracias al personal administrativo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA sede Manizales, especialmente a la asistente de Postgrados en Ingeniería, Ingeniería - Química, Carolina Jiménez Giraldo por su atención y amabilidad en lo referente a mi vida académica, así también al Ph.D. Carlos Eduardo Orrego Álzate por brindarme su conocimiento y apoyo.

Gracias a la empresa Nutrición Experta de Colombia (NUTREXCOL) a su gerente y a su equipo de laboratorio, que me colaboraron con tanta disposición.

Gracias a la UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, por su apoyo para lograr el desarrollo de este trabajo de investigación y muy especialmente al M. Sc. Luis Alfonso Salazar, la M. Sc. Leidy Tatiana Sánchez Ante y al Ph.D. Christian Camilo Villa Zabala que, sin su colaboración este trabajo hubiera sido más complicado.

Gracias a la Química Julieth Orozco Parra por su ayuda invaluable y compromiso para con mi investigación.

Gracias a mis compañeras Clara María Mejía Doria y Alba Lucia Duque Cifuentes, por su acompañamiento y apoyo.

Y por encima de todo y con todo mi amor, gracias Diana y María José, gracias por todo, las amo con todo mi corazón.

Resumen general

Este trabajo evaluó el proceso de transformación del plátano Dominico Hartón *(Musa Paradisiaca L.)* en harina, mediante la incorporación de diferentes ingredientes que generaron mejora tecnológica y nutritiva; con la finalidad de sustituir fuentes convencionales como la harina de trigo y aportar al desarrollo de la industrialización del plátano en Colombia.

Inicialmente en el capítulo 1, se caracterizaron físicamente los frutos de plátano, mediante la determinación de peso, longitud, diámetro y densidad, empleando la lista de descriptores INIBAP/IPGRI/CIRAD (INIBAP, 1996); en el capítulo 2 se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, térmicas, reológicas, texturales y estructurales de las harinas y el efecto de diferentes aditivos (proteínas, almidones, hidrocoloides y emulsionantes) sobre las propiedades reológicas y texturales de las masas de harina de plátano, y se seleccionaron los que generaron un mejor efecto comparados con el control; en al capítulo 3 se completó el diseño de la matriz alimentaria mediante la fortificación con vitaminas del complejo B, vitamina D, Calcio y Hierro, caracterizándola antes y después de fortificarla para determinar la disponibilidad de los nutrientes y finalmente en el capítulo 4, se desarrolló y evaluó el comportamiento físico y textural de un alimento a base de la matriz alimentaría diseñada.

Palabras clave: plátano, matriz alimentaria, biodisponibilidad, funcionalidad.

Formulation of a Food Matrix Based on Dominico Hartón Banana Flour (Musa paradisiaca L.) for the Design of Gluten-Free Functional Foods

Abstract

In this work evaluated the transformation process of the Dominico Hartón banana (*Musa Paradisiaca L*.) into flour, through the incorporation of different ingredients that generated technological and nutritional improvement; in order to substitute conventional sources such as wheat flour and contribute to the development of the industrialization of plantain in Colombia.

Initially in chapter 1, the banana fruits were physically characterized, by determining weight, length, diameter and density, using the INIBAP / IPGRI / CIRAD descriptor list (INIBAP, 1996); In Chapter 2, the physicochemical, thermal, rheological, textural and structural properties of the flours and the effect of different additives (proteins, starches, hydrocolloids and emulsifiers) on the rheological and textural properties of the banana flour masses, and Those that generated a better effect were selected compared to the control; In chapter 3 the design of the food matrix was completed by fortification with B complex vitamins, vitamin D, Calcium and Iron, characterizing it before and after fortifying it to determine the availability of nutrients and finally in chapter 4, it was developed and evaluated the physical and textural behavior of a food based on the designed dietary matrix..

Keywords: banana, food matrix, bioavailability, functionality.

Contenido

1. Introducción 1
2. Formulación del Problema 4
3. Marco teórico 6
3.2 Antecedentes 6
3.3 Fundamentación teórica 8
3.3.1 Trigo 8
3.3.2 Plátano 17
3.3.3 Alimentos Funcionales 31
4. Hipótesis 35
5. Objetivos de la investigación 36
5.1 Objetivo General 36
5.2 Objetivos Específicos 36
6. Capítulo 1 44
Determinación de las variables física de los frutos, obtención de harinas y caracterización funcional, fisicoquímica y estructural de las harinas nativas de plátano dominico hartón (Musa paradisiaca L.) y del control de harina de trigo .. 44
6.1 Resumen 44
6.2 Introducción 45
6.3 Metodología 47
6.3.1 Materiales 47
6.3.2 Caracterización física del plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) 49
6.3.3 Análisis estadístico 50
6.3.4 Obtención de las harinas 51
6.3.5 Determinación de las variables fisicoquímicas de las harinas 52
6.3.6 Análisis Estadístico 56
6.4 Resultados y Discusión 56
6.4.1 Caracterización física y morfológica de los racimos y frutos 56
6.4.2 Obtención de las harinas de plátano 59
6.4.3 Análisis Proximal 61
6.4.4 Color e índice de blancura 62
6.4.5 Determinación de las propiedades funcionales 63
6.4.6 Viscoamilografia (RVA) 65
6.4.7 Caracterización Térmica 68
6.4.8 Caracterización Estructural 69
6.5 Conclusiones 73
7. Bibliografía 74
8. Capítulos 2. 82
Efecto de diferentes aditivos en el comportamiento reológico y textural de una matriz alimentaria a base de harina de plátano dominico hartón (Musa paradisiaca L.) comparada con el control de harina de trigo 82
8.1 Resumen 82
8.2 Introducción 83
8.3 Metodología 85
8.3.1 Materia prima 85
8.3.2 Preparación de las masas 86
8.3.3 Selección de los aditivos 87
8.4 Métodos empleados para analizar las muestras 88
8.4.1 Análisis Reológico de las pastas 88

8.4.2 Análisis de Perfil de Textura (TPA) 88
8.4.3 Diseño experimental y análisis estadístico 89
8.5 Resultados y discusión **89**
8.5.1 Selección mejor harina de plátano 89
8.5.2 Efecto de la adición de proteínas sobre las propiedades de las masas. 94
8.5.3 Efecto de la incorporación de emulsionantes sobre las propiedades de las masas. 99
8.5.4 Efecto de la incorporación de hidrocoloides sobre las propiedades de las masas. 104
8.5.6 Efecto de la incorporación de los aditivos seleccionados sobre las propiedades de las masas 109
8.6 Conclusiones **117**
9. Bibliografía **118**
10. Capítulo 3. ..... **124**
Fortificación y caracterización de las propiedades tecnofuncionales y nutricionales de harina de plátano dominico hartón (Musa paradisiaca L.) **124**
10.1 Resumen **124**
10.2 Introducción **125**
10.3 Metodología **127**
10.3.1 Materia prima 127
10.3.2 Fortificación de la harina 128
10.3.3 Caracterización de las Harinas 129
10.3.4 Análisis estadístico 138
10.4 Resultados y Discusión **138**
10.4.1 Fortificación de la harina 138
10.4.2 Caracterización fisicoquímica de las harinas 140
10.5 Conclusiones **156**
11. Bibliografía **158**
12. Capítulo 4 ..... **163**
Evaluación del comportamiento de un alimento elaborado a base de la matriz alimentaria a base de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) y comparación con el control **163**
12.1 Resumen **163**
12.2 Introducción **163**
12.3 Metodología **164**
12.3.1 Formulación **164**
12.3.2 Métodos empleados para analizar las muestras 165
12.4 Resultados y Discusión **167**
12.4.1 Evaluación de la calidad de panes a base de harina de plátano nativa. 167
12.5 Conclusiones **174**
13. Bibliografía **174**

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del trigo 10
Tabla 2. Composición química del trigo y de la harina de trigo en 100 g 15
Tabla 3. Tipos de fortificación de alimentos 16
Tabla 4. Formas químicas de los micronutrientes que se deben adicionar en la pre-mezcla 17
Tabla 5. Clasificación taxonómica del plátano 19
Tabla 6. Clasificación de bananos de postre y de cocción (plátanos) cultivados a nivel mundial. 21
Tabla 7. Composición bromatológica de diferentes cultivares de plátano en estado verde 25
Tabla 8. Composición química de harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) 31
Tabla 9. Características físicas del plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) 57
Tabla 10. Peso, promedio y % de pulpa y cáscara de los frutos por mano plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) 58
Tabla 11. Características de los frutos plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) . 59
Tabla 12. Porcentaje harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) recuperada 60
Tabla 13. Análisis fisicoquímico Harinas 62
Tabla 14. Coordenadas de color CIELAB harinas 63
Tabla 15. Interacción entre las harinas y el agua 64
Tabla 16. Interacciones de las harinas y el aceite 65
Tabla 17. Perfiles de gelatinización y empastamiento de harinas de plátano y trigo. 66
Tabla 18. Valores de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G"), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H2 y HT 90
Tabla 19. Perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H2 y harina de trigo comercial HT 93
Tabla 20. Valores de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G"), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para masas preparadas con harina de trigo (HT) y harinas de plátano adicionadas con lacto-suero (H1LS) y huevo en polvo (H1HP) 94
Tabla 21. Perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H1LS, H1HP y harina de trigo comercial HT 97
Tabla 22.Módulos viscoelásticos de las masas de harina de trigo (control) y harina de plátano (H1) adicionada con éster de monoglicéridos de ácido diacetil tartárico (DATEM) y estearoil 2-lactilado de sodio (SSL). 100
Tabla 23. Perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H1DATEM, H1SSL y harina de trigo comercial HT. 102
Tabla 24. Valores de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G"), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para las masas adicionadas con hidrocolides 105
Tabla 25. Perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H1CAR, H1ALG, H1CMC, H1GX y harina de trigo comercial HT. 108
Tabla 26. Códigos y valores de los niveles de factores para la optimización de la formulación de una harina de plátano mejorada tecnológicamente. 110
Tabla 27. Valores de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G"), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para las masas con los aditivos

seleccionados y Perfil de textura (TPA) para las masas con los aditivos seleccionados en comparación con HT 113
Tabla 28. Predicción y conveniencia de las variables de respuesta del proceso de formulación 117
Tabla 29. Concentración final micronutrientes harina de plátano 139
Tabla 30. Concentración y formas químicas de los aditivos 139
Tabla 31. Fórmula maestra harina de plátano 140
Tabla 32. Análisis proximal para H1, H1FTN y HT (100g) 142
Tabla 33. Cuantificación de vitaminas del complejo B para H1, H1FTN y HT 143
Tabla 34. Cuantificación de Ca y Fe para H1, H1FTN y HT 144
Tabla 35. Perfil de aminoácidos para fracciones proteicas de H1, H1FTN y HT 145
Tabla 36. Índice de blancura H1, H1FTN y HT 145
Tabla 37. Cuantificación de almidón total (AT), almidón de digestión rápida (ADR), almidón de digestión lenta (ADL), almidón resistente (AR) y contenido de amilosa para H1, H1FTN y HT 146
Tabla 38. Propiedades de empastamiento para H1, H1FTN y HT 150
Tabla 39. Parámetros térmicos para H1, H1FTN y HT 151
Tabla 40. Formulación base de las masas de los panes libres de gluten y de trigo 164
Tabla 41. Aditivos utilizados en la formulación de pan libre de gluten 165
Tabla 42. Volumen específico, dureza inicial y color de los panes preparados a base de HT, H1 y H1FTN 169

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Producción y distribución promedio del trigo en el mundo (2008 - 2018)..... 9
Ilustración 2. Producción de trigo promedio por regiones (2008 - 2018)..... 9
Ilustración 3. Morfología del trigo 11
Ilustración 4. Producción y distribución promedio del plátano en el mundo (2008-2018) 18
Ilustración 5. Producción de plátano promedio por regiones (2008-2018)..... 18
Ilustración 6. Morfología del plátano..... 19
Ilustración 7. Etapas de maduración del plátano 23
Ilustración 8. Principales productores de plátano a nivel mundial durante los últimos diez años (2008-2018) 26
Ilustración 9. Producción de plátano en Colombia durante los últimos diez años 27
Ilustración 10. Principales exportadores de plátano en los últimos diez años a nivel mundial (2008-2018)..... 28
Ilustración 11. Principales importadores de plátano a nivel mundial en los últimos diez años (2008-2018) 28
Ilustración 12. Planta de plátano Dominico Hartón (Musa Paradisiaca L.) Granja integral Andalucía ubicada a 4°27´ latitud norte y 75°47´longitud oeste. 48
Ilustración 13. Traslado y rotulado de Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.).. 49
Ilustración 14. Racimo y raquis Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) 57
Ilustración 15. Manos Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)..... 58
Ilustración 16. Longitud dedos con y sin cáscara y diámetro Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L) 59
Ilustración 17. Harina y almidón obtenidos Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) 60
Ilustración 18. A) Curvas de empastamiento de RVA de harina nativa de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (H1) y (H2) B) Curvas de empastamiento de RVA de harina de trigo (HT)..... 67
Ilustración 19. Termogramas de DSC harina nativa de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (H1) y (H2) y harina de trigo comercial (HT) 69
Ilustración 20. Espectros FTIR harinas nativa de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (H1) y (H2) y harina de trigo comercial (HT) 70
Ilustración 21. Difractogramas harinas nativas de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) y harina de trigo comercial (HT)..... 71
Ilustración 22. Micrografías SEM A y B) harinas nativas de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (H1) y (H2) y C) harina de trigo comercial (HT) 100x. 72
Ilustración 23. Módulos viscoelásticos a) módulo de almacenamiento, b) módulo de pérdida de masas de harina de plátano nativo obtenidas por diferentes métodos H1 y H2 comparadas con la masa de harina de trigo HT. 91
Ilustración 24. Variación de la viscosidad aparente en función de la frecuencia de las masas preparadas con harina de plátano nativa H1, H2, comparadas con el control harina de trigo (HT) (control)..... 92
Ilustración 25. Módulos viscoelásticos a) módulo de almacenamiento, b) módulo de pérdida de masas de harina de plátano nativo (H1) adicionada con proteínas: Huevo en polvo (HP) y Lactosuero (LS) comparadas con la masa de harina de trigo (HT) 95

Ilustración 26. Variación de la viscosidad aparente en función de la frecuencia de las masas preparadas con harina de plátano con huevo en polvo (H1HP), lacto-suero (H1LS) y harina de trigo (HT) (control) 97
Ilustración 27. Módulos viscoelásticos a) módulo de almacenamiento, b) módulo de pérdida de masas de harina de plátano nativo (H1) adicionada con emusionantes: DATEM y SSL comparadas con la masa de harina de trigo (HT) 100
Ilustración 28. Variación de la viscosidad aparente en función de la frecuencia de las masas de harina de trigo (control) y harina de plátano (H1) con éster de monoglicéridos de ácido diacetil tartárico (H1DATEM), y estearoil 2-lactilado de sodio (H1SSL) 101
Ilustración 29. Módulos viscoelásticos a) módulo de almacenamiento, b) módulo de pérdida de masas de harina de plátano nativo (H1) adicionadas con hidrocoloides: Carragenato (CARR), alginato (ALG), carboximetilcelulosa (CMC) y goma xantán (GX) comparadas con HT..... 106
Ilustración 30. Variación de la viscosidad aparente en función de la velocidad de corte de las masas preparadas con harina de trigo (control) y harina de plátano (H1) con carragenato (H1CARR), alginato (H1ALG), carboximetilcelulosa (H1CMC) y goma xantan (H1GX) 107
Ilustración 31. Volúmenes de respuesta, diagrama de Pareto y ecuación polinómica A) Módulo de Almacenamiento (G'), B) Módulo de Pérdida (G''), C) Factor de Amortiguamiento (tan δ), D) Módulo Complejo (G*), E) Dureza (N), F) Cohesividad, G) Elasticidad (m) y H) Adhesividad (N.s)..... 116
Ilustración 32. A) Índice de absorción de agua, B) Índice de solubilidad en agua y C) Poder de hinchamiento para H1, H1FTN y HT..... 149
Ilustración 33. Viscoamilograma para H1, H1FTN y HT. 151
Ilustración 34. Termogramas de calorimetría diferencial de barrido (DSC) para H1, H1FTN y HT..... 152
Ilustración 35. Espectros de transmisión para H1, H1FTN y HT..... 153
Ilustración 36. Espectros de transmisión para H1, H1FTN y HT..... 153
Ilustración 37. Fotografías de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para A) H1, B) H1FTN y C) HT 100x. 154
Ilustración 38. Imágenes confocales de H1, H1FTN y HT. A1: H1 campo claro, A2: H1: campo fluorescente, A3: H1 empalme; B1: H1FTN campo claro, B2:H1FTN campo fluorescente, B3:H1FTN empalme y C1:HT campo claro, C2:HT campo fluorescente, C3:HT empalme. 500x. 155
Ilustración 39. Imágenes del Análisis de Elementos Químicos (EDS) para A) H1, B) H1FTN y C) HT. 70x. 156
Ilustración 40. Panes elaborados con A) harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) nativa, B) harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) adicionada y C) harina de trigo (Control)..... 168
Ilustración 41. Fotografías de los panes A) harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) nativa, B) harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) adicionada y C) harina de trigo (Control)..... 169
Ilustración 42. Variación de la dureza en el tiempo de las migas de los panes H1 y H1FTN y el control HT. 170

Ilustración 43. Variación de la elasticidad en el tiempo de las migas de los panes H1 y HF y el control HT..... 171
Ilustración 44. Variación de la cohesividad en el tiempo de las migas de los panes H1 y H1FTN y el control HT. 172
Ilustración 45. Gráfico radial de los parámetros color, aroma, textura y sabor evaluados en las formulaciones elaboradas con harina de Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) A) nativa y B) adicionada. 173

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Perímetro del plátano……49
Ecuación 2. Densidad del plátano……..49
Ecuación 3. Porcentaje de almidón recuperado……..52
Ecuación 4. Índice de blancura……...53
Ecuación 5. Diferencia de color métrica……53
Ecuación 6. Poder de hinchamiento……...53
Ecuación 7. Capacidad de retención de agua……..54
Ecuación 8. Porcentaje de solubilidad……54
Ecuación 9. Capacidad de retención de agua……..54
Ecuación 10. Capacidad de retención de aceite……....55
Ecuación 11. Niveles codificados de variables……87
Ecuación 12. Ecuación polinómica para la respuesta predicha……87
Ecuación 13. Factor de respuesta……...129
Ecuación 14. Partes por millón del estándar……129
Ecuación 15. Factor de dilución……...129
Ecuación 16. Índice de blancura……..131
Ecuación 17. Diferencia de color métrica……....132
Ecuación 18. Almidón de digestión rápida……133
Ecuación 19. Almidón de digestión lenta……...133
Ecuación 20. Porcentaje de amilosa (a)……134
Ecuación 21. Porcentaje de amilosa (b)……134
Ecuación 22. Índice de absorción de agua……136
Ecuación 23. Índice de solubilidad en agua……136
Ecuación 24. Poder de hinchamiento……136
Ecuación 25. Diferencia de color métrica……165
..

Índice de Anexos

Anexo 1. Obtención y caracterización funcional, físicoquímica y estructural de almidón de plátano dominico hartón (*Musa paradisiaca L.)* y comparación con el control de harina de trigo……..…..176
Anexo 2. Análisis sensorial de un pan libre de gluten a base de harina de plátano nativa enriquecida.……..189
Anexo 3. Consentimiento informado…….....190

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviatura o símbolo	Término
H1	Harina de plátano (Método 1)
H2	Harina de plátano (Método 2)
HT	Harina de trigo Comercial
PH	Poder de hinchamiento
IB	Índice de blancura
CRA	Capacidad de retención de agua
CAA	Capacidad de absorción de agua
CRAc	Capacidad de retención de aceite
RVA	Análisis viscoamilográfico
DSC	Calorimetría diferencias de barrido
FTIR	Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier
DRX	Difracción de Rayos X
SEM	Microscopia Electrónica de Barrido
HP	Huevo en polvo
LS	Lactosuero
GX	Goma xántan
CARR	Carraginato
ALG	Alginato
CMC	Carboximetilcelulosa
DATEM	Ésteres de monoglicéridos y del ácido diacetil tartárico
SSL	Estearoil 2-lactilato de sodio
G´	Módulo de almacenamiento
G´´	Módulo de pérdida
Tan. δ	Factor de amortiguamiento
G*	Módulo complejo
H1HP	Harina de plátano nativa + huevo en polvo
H1LS	Harina de plátano nativa + lactosuero
H1DATEM	Harina de plátano nativa + DATEM
H1SSL	Harina de plátano nativa + Estearoil 2-lactilato de sodio
H1CARR	Harina de plátano nativa + carraginato
H1CMC	Harina de plátano nativa + carboximetilcelulosa
H1GX	Harina de plátano nativa + goma xántan
H1ALG	Harina de plátano nativa + alginato
F1,F2,……F27	Formulaciones
H1FTN	Matriz alimentaria diseñada
ADR	Almidón de digestión rápida
ADL	Almidón de digestión lenta
AR	Almidón resistente
TDF	Fibra dietética total
IAA	Índice de absorción de agua
ISA	Índice de solubilidad
EDS	Análisis de elementos químicos

Descripción del impacto de los resultados

Como resultado del trabajo de investigación se logró la elaboración de un documento de tesis doctoral con la caracterización física del fruto del plátano dominico hartón (*Musa Paradisiaca L*.), la metodología de obtención de harina de plátano, la caracterización fisicoquímica, funcional y estructural de la misma, la predicción del comportamiento reológico y textural de la masa con aditivos que la mejoraron tecnológicamente, la fortificación de la harina mejorada tecnológicamente y la evaluación de un producto elaborado a base de ella; la publicación de dos artículos en la revista VITAE (Universidad de Antioquia), uno en la revista Agronomía Colombiana (Universidad Nacional de Colombia), uno en la revista UGciencia (Universidad La Gran Colombia) y dos en la revista Información Tecnológica (Chile); la participación con dos ponencias en el IV Congreso Internacional en Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (IICTA 2018) de la Universidad Nacional de Colombia, una ponencia en el II Congreso de Química del Caribe (Evento Internacional) de la Universidad del Atlántico y una ponencia en el XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de ciencia y tecnología de alimentos y XVII Congreso Argentino de ciencia y tecnología de alimentos de la Universidad Católica de Argentina.

1. Introducción

Colombia se ubica como uno de los mayores productores de plátano a nivel mundial, para el año 2018 según datos de (FAOSTAT, 2018), la base de datos de la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura , la producción de Colombia se situó en los 3.580.845 toneladas, presentando una importancia especial debido a que este cultivo forma parte de la dieta de los habitantes del país, además de proporcionar un promedio de 1 empleos directos y 2 empleos indirectos por hectárea, para cultivos con producción tecnificada para exportación (Banacol, 2018). El 80% del plátano que se produce en Colombia, es utilizado para su consumo en fresco, el 12% son pérdidas por comercialización y transporte y menos del 1% es consumido por la industria principalmente la de los snacks y las harinas, convirtiéndose estas en una tendencia, logrando el aprovechamiento del fruto al máximo dándole valor agregado a los cultivos.

Nutricionalmente, el plátano es fuente importante de potasio, el cual según estudios recientes puede ayudar a disminuir la presión arterial y también reduce el riesgo de accidentes cerebrovasculares (Kumar, Bhowmik, Duraivel, & Umadevi, 2012). El plátano es rico en vitaminas A, B6, C y D, dando beneficios especialmente a los huesos y músculos del cuerpo humano. Ya que uno solo de estos frutos, contiene el 41% del requerimiento necesario de vitamina B6 al día, estudios recientes han comprobado que el consumo de plátano ayuda a mejorar el humor para personas con depresión y síndrome pre-menstrual debido a su alto contenido de vitaminas (Kumar et al., 2012), específicamente la vitamina B6 ya que está integrada por las moléculas de piridoxal, piridoxina y piridoxamina las cuáles tienen un papel atenuante en el metabolismo de varios neurotransmisores (serotonina, norepinefrina, sistema colinergénico, dopamina y ácido γ-aminobutírico) cuya deficiencia permite el desarrollo de la depresión así como el síndrome premenstrual y el trastorno disfórico premenstrual (Blasco y Gómez, 2014), se le han reconocido bondades terapéuticas en los desórdenes digestivos, está demostrado que dichas características obedecen a su contenido de fibra soluble (polisacáridos y

oligosacáridos) y una importante cantidad de almidón resistente que actúa como fibra insoluble. Además se conoce que compuestos flavonoides contenidos en el plátano verde son responsables de su propiedad anti-ulcerogénica; sin embargo, no se ha documentado el verdadero potencial nutricional y terapéutico de los plátanos cultivados en Colombia (Hurtado, 2016); esto sumado a la tendencia actual de consumo de alimentos sin gluten, por considerarlos sanos y beneficiosos para la salud, (Science consulting expertise in food & amp; beverage, 2019) ha conducido al aumento en la demanda y búsqueda de alimentos con mejores cualidades nutricionales y organolépticas. Según un informe de Market Research Reports, Marketing Research Company, Business Research by MarketsandMarkets, (2019), el mercado de los productos sin gluten para el año 2015 fue de 4.63 billones de dólares y se prevé un crecimiento anual del 10.4% hasta alcanzar los 7.59 billones de dólares en 2020.

Actualmente grupos de investigación y la misma industria de alimentos están invirtiendo sus esfuerzos en la búsqueda de alternativas y técnicas que les permitan obtener una ventaja competitiva, y es así como en estudios previos (Álvarez-Barreto, 2014), se sugiere mayor atención en la realización de estudios en investigación y desarrollo, no sólo para el aprovechamiento de este material biológico en la generación de nuevos productos, sino también para la consolidación de bases científicas enfocadas al entendimiento e interpretación de las propiedades de los constituyentes de este tipo de materia prima. Así mismo (Pinzón, Lucas-Aguirre, & Montoya, 2015) mediante el proyecto de investigación N° 653 de la Universidad del Quindío "*Evaluación de las características morfológicas, físico - químicas, nutricionales de frutos de Musáceas y desarrollo y mejoramiento de productos de interés al sector industrial alimentario y no alimentario en el eje cafetero*" determinaron entre 30 variedades estudiadas que las harinas y los almidones de plátano, presentan una ventaja comparativa con respecto a otras fuentes convencionales, que son aceptables para desarrollar productos con un buen aporte nutricional; demostrando que investigaciones de este tipo serán un aporte al desarrollo de las cadenas productivas de especies nativas y que la obtención de

matrices alimentarias derivadas de fuentes no convencionales permitirá la creación de nuevos productos con niveles comparables de calidad, funcionalidad, confiabilidad y alto nivel nutritivo que tengan excelentes posibilidades de competir con los obtenidos de materias primas tradicionales. Bajo las consideraciones mencionadas, el objetivo de este trabajo fue desarrollar una matriz alimentaria a base de harina de plátano dominico hartón (*Musa paradisiaca L.*), para el diseño de alimentos, para lo cual se adicionó la matriz con almidones, proteínas, hidrocolides, emulsionantes, vitaminas del complejo B, vitamina D, calcio y hierro, con la finalidad de mejorar el desempeño tecnológico y nutricional de la harina.

2. Formulación del Problema

En Colombia, el consumo de pan aumenta continuamente y la elaboración del pan y productos derivados de trigo ha generado la necesidad de importar el 100% de este grano, dado que la producción interna no es suficiente, debido a las condiciones climáticas y de suelo que no permiten el crecimiento del grano adecuadamente o representa dificultades para su desarrollo. Por esta razón es que surge la necesidad de reemplazar el trigo con otras harinas obtenidas en las propias regiones (Seibel, 2006). además de lo anterior, los altos costos del trigo regido por mercados internacionales son puntos a considerar cuando utilizamos este cereal en la producción de pan y sus derivados. En este mismo sentido, documentos entregados por la FAO en el año 2018 como las Notas informativas sobre la oferta y la demanda de cereales que salen mensualmente en la página oficial de la organización dan cuenta de la producción y el uso indiscriminado del maíz y el trigo los cuales están desplazando en gran proporción la producción de otros cultivos con fines alimenticios. Razón por la cual a nivel mundial se ha empezado a buscar alternativas para la sustitución y el aprovechamiento de otras especies como tubérculos, leguminosas, frutas u otras clases de cereales.

Por otro lado, las altas cifras de desnutrición que se registran tanto en Colombia como en el resto del mundo llegan al 50% de la población, impactando de manera acentuada en los países en vía de desarrollo. Según la FAO en Colombia hay 5.1 millones de personas en estado de desnutrición y los niños son una de las poblaciones más afectadas por la desnutrición proteínico energética (Cortes, 2013). Estas cifras hacen necesaria la búsqueda de nuevas alternativas de ingredientes y alimentos no alergénicos y funcionales que combatan las problemáticas mencionadas y que a su vez promuevan investigaciones sobre variedades de especies vegetales olvidadas o con potencial de agroindustrialización. En Colombia la actividad industrial del plátano registra significativos índices de crecimiento en los últimos años, la industria absorbe alrededor de 12 mil toneladas, menos del 0,5% de la producción, que se destinan principalmente a la preparación de comestibles

snacks, harinas, productos procesados para consumo humano y alimentos concentrados para consumo animal (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011). Así mismo, existe un amplio número de variedades, que no han sido caracterizadas; los fitomejoradores han enfocado sus investigaciones al desarrollo de plantas vigorosas, resistentes a plagas y enfermedades y con una alta productividad por hectárea, dejando de lado otros atributos físicos, químicos y organolépticos que podrían ubicar los frutos como materia prima para otras industrias en las que se rescate el valor nutritivo y sensorial del plátano.

Actualmente existe escasez de información de investigaciones relacionadas con el procesamiento del fruto del plátano para el desarrollo de nuevos productos; sin embargo, la poca información disponible evidencia que el plátano tiene un gran potencial para que su industrialización sea expandida, mejorando la calidad de los productos existentes y desarrollando nuevos productos. Es de vital importancia estudiar, con rigor científico, la relación entre las características de los diversos plátanos tradicionales y comerciales en Colombia y su aptitud para la elaboración de productos industriales. La composición debe ser determinada, ya que sus componentes definen muchas de las características sensoriales y tecnológicas de los productos finales. Se requiere un conocimiento estructurado del plátano crudo, el cual es clave para comprender las transformaciones (Sandoval et al, 2006; Rodríguez et al, 2006) de los componentes durante el desarrollo de cualquier matriz alimenticia que intente cumplir con los requisitos mínimos nutricionales, y que genere el conocimiento básico para una clasificación que indique su aplicación en procesos de transformación, ofreciendo opciones de consumo sano del plátano, además la identificación y cuantificación de calidades nutricionales destacarán a estos productos como alimentos básicos en la dieta.

3. Marco teórico

3.2 Antecedentes

Las condiciones geográficas de Colombia no permiten una producción de trigo de buena calidad, el que se produce es blando, de bajo contenido proteico, con alta humedad y alto contenido de impurezas, lo que hace que Colombia tenga que importar casi el 100% del trigo que consume. Para el año 2017, Colombia importó 2.0 millones de toneladas de trigo para abastecer las necesidades del país, mientras que la producción local solo fue de 16.6 toneladas (Álvarez Sánchez, Diana, & Chaves, 2017). Según el informe de gestión 2017 de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas, las importaciones de trigo tienen un incremento del 2,3% anual, promediando un total de 152.000 toneladas más por mes (FENALCE, 2017).

Por otra parte, actualmente la harina de plátano es muy apreciada por sus propiedades nutricionales, sus altos contenidos de vitaminas, minerales, hidratos de carbono complejos y almidones similares a la fibra dietética y por su carencia de gluten (Flores Navarrete, 2018), los factores antes mencionados, han hecho que aumente la demanda de esta harina; además el plátano en estado verde contiene almidón / almidón resistente y cuenta con una amplia gama de vitaminas y minerales presentes tanto en la pulpa como en la cáscara (Bezerra, Rodrigues, Amante, & Silva, 2013).

El plátano se ha comercializado fundamentalmente en fresco y, en menor escala, como producto procesado (alrededor del 5% de la producción mundial), haciendo esto que adquiera un mayor nivel de importancia; a partir del plátano se pueden obtener diversos productos como patacones, patacones congelados, alcohol, snacks, plátano deshidratado, puré de plátano y harina (Abiodun-Solanke & Falade, 2010), otro producto generado es el almidón de la pulpa del plátano verde (Serna jiménez, Torres Valenzuela, Melo Sabogal, & Torres Grisales, 2015), sin embargo durante la maduración del plátano el contenido de almidón total y resistente, así

como el contenido de carbohidratos parietales, disminuyen significativamente (Quiceno, Giraldo, & Villamizar, 2014).

El plátano es un alimento altamente energético, es una de las frutas más calóricas que existen, ya que 100 gramos de plátano aportan 90 calorías aproximadamente, su alto contenido de azúcares y minerales, como el potasio, magnesio, algo de hierro y betacaroteno y vitaminas del grupo B, ácido fólico, vitamina C, vitamina E y fibra (Flores Navarrete, 2018) hacen que sea una fruta sumamente beneficiosa.

En las últimas décadas se ha incrementado el interés por determinar las propiedades físicas, químicas y funcionales de harinas y almidones del plátano, en virtud a su gran potencial de industrialización y por la gran cantidad de micronutrientes presentes en los frutos verdes. Históricamente las investigaciones que se han desarrollado alrededor de la industrialización del plátano, han tenido como objetivo principal la obtención de harinas o féculas; inicialmente se pretendía dar un valor agregado a las segundas y terceras, ya que estas no tienen buena aceptación por los consumidores debido principalmente a su tamaño y presentación.

Entre los años 2011 y 2016 el investigador Lucas Aguirre y colaboradores han desarrollado investigaciones hacia la determinación de las propiedades funcionales y estructurales tanto de las harinas como de los almidones de plátanos en fresco, realizando principalmente análisis de microscopia electrónica de barrido, termogravimétricos, reológicos y estructurales, que permitían establecer el potencial de industrialización de estas harinas y productos elaborados como el caso de los snacks, sopas, coladas, entre otros; simultáneamente Castellanos y su grupo de investigación han enfocado sus investigaciones principalmente hacia el modelamiento de los procesos de fritura del plátano, investigando sobre la impregnación al Vacío de Rodajas de Plátano (Dominico Hartón) con Calcio y Vitamina D. Villegas et al., (2012) enriqueció harina de banano verde con micronutrientes; en el año 2013 surge en los llanos orientales de Colombia la idea

empresarial FORTILLANO, que pretendía fortificar la harina de plátano con ácidos omega-3 y omega-6, aportados por las semillas de ajonjolí, saborizada con canela. En el año 2015 cinco aprendices del SENA Quindío, que hacían parte del Programa Jóvenes Rurales Emprendedores viajan a Ghana África a dar a conocer la aplicación de buenas prácticas para el cultivo del plátano y la socialización de su proyecto sobre harina de plátano fortificada con harina de ahuyama y quinua con el fin de aumentar su valor nutricional, la iniciativa hizo parte de la Estrategia de Cooperación Sur-Sur con África liderada por la Agencia Presidencial de Cooperación de Colombia, APC-Colombia. También es importante resaltar las investigaciones complementarias que ha desarrollado Espinosa, (2008) y García-Tejeda, Zamudio-Flores, Bello-Pérez, Romero-Bastida, & Solorza-Feria, (2011) sobre el estudio de las características y usos del almidón del plátano en la industria alimenticia. Además, existen innumerables empresas del sector agroindustrial que elaboran mezclas de harina de plátano, con harinas o féculas de maíz, arroz o trigo. Por otro lado, se ha trabajo en el desarrollo de harinas instantáneas a partir de plátano mediante el uso de la técnica de extrusión con la cual se pretendió modificar físicamente el almidón de manera que se logró una harina de plátano soluble (Blasco López & Gomez Montaño, 2014)

3.3 Fundamentación teórica

3.3.1 Trigo

El trigo fue una de las primeras plantas cultivadas al este de Iraq, hay granos de trigo carbonizados con una antigüedad de 6700 años. Las antiguas culturas de Babilonia, Egipto, Roma y Grecia y posteriormente las del norte y oeste de Europa se basaron en el cultivo de trigo cebada y avena (Álvarez Sánchez et al., 2017), actualmente se cultiva especialmente en Europa, Canadá y Estados Unidos (Figura 1.)(Figura 2.); existen tres categorías de trigos según su contenido de proteína: Triticum durum con alto contenido proteico y bajo contenido de agua; Triticum vulgare menos rico en proteína; y Triticum club rico en almidón y proporcionan un

color muy blanco a la harina, contienen poca materia proteica (Arteaga & Rufino, 2015).

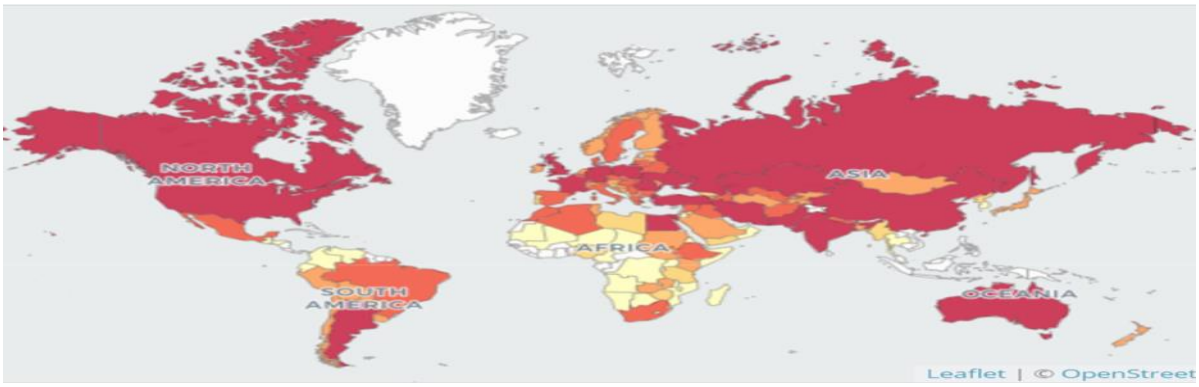


Ilustración 1. *Producción y distribución promedio del trigo en el mundo (2008 - 2018)*
Fuente: (FAOFAST, 2018)

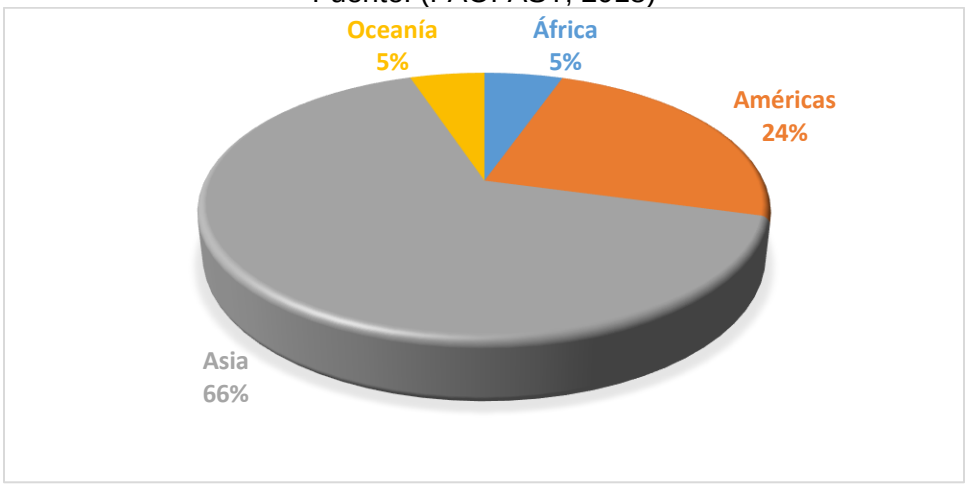


Ilustración 2. *Producción de trigo promedio por regiones (2008 - 2018)*
Fuente: (FAOFAST, 2018)

3.3.1.1 Clasificación Botánica

Es una planta herbácea. Su sistema radical es adventicio. El tallo o caña es verde, rígido, formado por nudos y entrenudos. Las hojas son envaínadoras que nacen de los nudos, acintadas, sin preciolo, que poseen la vaina, parte que sobresale del tallo. El limbo es una lámina verde, angosta y con nervaduras longitudinales. La inflorescencia es la espiga conformada por el raquis; es un adelgazamiento del tallo conformado por nudos y entrenudos y la espiguilla, que se compone de un grupo de flores, no todas fértiles. El fruto es una cariópside con un

solo grano, que es la semilla caracterizada por una hendidura longitudinal en la parte central, compuesta por el embrión y el endospermo (Lagos, 2015)(Tabla 1.).

Tabla 1. *Clasificación taxonómica del trigo*

Reino	**Plantae**
Subreino	Fanerógamas
División	Magnoliophyta
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Triticum
Especie	Vulgare, aestivum
N. Científico	*Tritícum vúlgare L., Triticum aestivum L*.
N. Común	Trigo

Fuente: Gallejo, (2002)

El trigo está conformado por una raíz fasciculada o raíz en cabellera, que alcanza en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad. (Camacho, 1981), el tallo es de tipo herbáceo, es una caña hueca con 6 nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0.5 a 2 metros de altura, es poco ramificado. (Mateo, 2005), las hojas del trigo tienen una forma linearlanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas. (Camacho, 1981), la inflorescencia es una espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas de 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores, la mayoría de las cuales abortan, rodeadas por glumas, glumillas o glumelas, lodiculos o glomélulas (Matos-Chamorro & Muñoz-Alegre, 2010) y los granos son cariópsides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. El germen sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82% del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo. El grano de trigo contiene una parte de la proteína

que se llama gluten. El gluten facilita la elaboración de levadura de alta calidad, que son necesarias en la panificación. (Matos-Chamorro & Muñoz-Alegre, 2010)(Figura 3.).

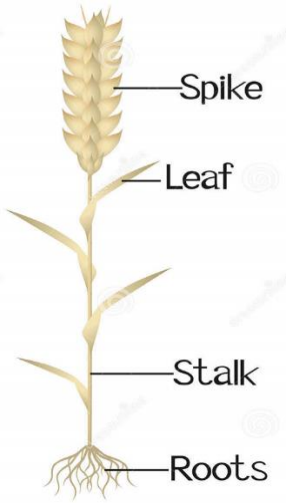


Ilustración 3. *Morfología del trigo*
Fuente: https://pandecalidad.com/

3.3.1.2 Clasificación del trigo según su utilización

Son varios los tipos de trigo que se cultivan alrededor del mundo; de acuerdo a su hábito de crecimiento estos se clasifican en trigos invernales, primaverales e intermedios o facultativos (Salazar & Quiñones, 1958). El trigo hexaploide (Triticum aestivum), comúnmente conocido como harinero, también se clasifica con base en el color de su grano en rojo y blanco. El trigo tetraploide (Triticum durum) es comúnmente conocido como durum o cristalino y tiene color ámbar (Arteaga & Rufino, 2015).

Los trigos de gluten fuerte y extensible (grupo 1) son necesarios en los procesos mecanizados de panificación en los cuales las masas deben tolerar el trabajo intenso al cual son sometidas. Estos trigos también son usados como correctores de trigos de menor fuerza de gluten. Los trigos con gluten medio fuerte y extensible (grupo 2) son aptos para la producción mecanizada y manual de pan a partir de masas fermentadas y no fermentadas. Por otro lado, los trigos de endospermo suave o blando y gluten débil (grupo 3), son requeridos en la industria galletera y de

repostería. Estos trigos deben poseer un contenido de proteína menor que el de los trigos de los grupos 1 y 2. Los trigos de gluten tenaz poco extensibles, del grupo 4, son altamente indeseables en la industria panificadora, ya que producen masas de panificación que, por el hecho de tener extensibilidad muy limitada, presentan poca tolerancia al sobremezclado, deficiente capacidad de expansión durante la fermentación y el horneado, y pobres características de manejo y moldeado. El trigo cristalino o durum (grupo 5) produce semolina (harina gruesa) de color amarillo y posee un gluten medio fuerte a fuerte y tenaz, adecuado para elaborar pastas alimenticias muy densas y resistentes (Arteaga & Rufino, 2015).

3.3.1.3 Harina

La harina de trigo es el principal producto obtenido de la molienda y cernido, del endospermo de granos de trigo común *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o mezcla de ellos, con el fin de obtener un tamaño de partícula determinado (ICONTEC, 2006). La Harina de trigo fortificada, es la harina de trigo a la cual se le han agregado los micronutrientes en las cantidades especificadas en el Decreto número 1944 de 1996 (Ministerio de Salud, 1996).

Las harinas de trigo se pueden clasificar en: cero (0), dos ceros (00), tres ceros (000) y cuatro ceros (0000). La harina 000 se utiliza siempre en la elaboración de panes, ya que su alto contenido de proteínas posibilita la formación de gluten y se consigue un buen leudado sin que las piezas pierdan su forma. La 0000 es más refinada y más blanca, al tener escasa formación de gluten no es un buen contenedor de gas y los panes pierden forma. Por ese motivo sólo se utiliza en panes de molde y en pastelería, en batido de tortas, hojaldres, etc (Arteaga & Rufino, 2015). Las características de una harina de trigo ideal deben ser: Color blanco cremoso, fuerza que permita buen volumen, alta capacidad de absorción de agua, dilatación y tolerancia durante el crecimiento y uniforme para garantizar lotes iguales (Mesas & Alegre, 2002).

Composición química y propiedades de la harina de trigo

La composición media de las harinas de trigo oscila entre los siguientes valores (Tabla 2.)

Hidratos de carbono

Almidón (68 – 72%)

Sustancia ávida de agua que diluye el gluten, y aporta la maltosa y la glucosa necesaria para los procesos de fermentación, además de gelatinizarse para retener agua. Otros como celulosa en la capa externa, hemicelulosa, azucares fermentables (1 – 2%) (glucosa y sacarosa que juegan un papel importante en la panificación). En el germen se encuentra la rafinosa (trisacárido formado por fructosa, glucosa y galactosa), arabinosa en la capa externa y la hemicelulosa favorece la adsorción de agua, disminuyendo el tiempo de amasado; los azúcares actúan como sustratos para la fermentación, contribuyen al sabor, color e influyen sobre la textura (Mesas & Alegre, 2002).

Proteínas: (9 - 14%).

Solubles: Albúminas, globulinas. La mayoría enzimas.

Insolubles: El 85% de las proteínas son Gliadinas y Gluteninas, proteínas insolubles que en conjunto reciben el nombre de gluten debido a su capacidad para aglutinarse cuando se las mezcla con agua dando una red o malla que recibe igualmente el nombre de gluten. Esta propiedad que poseen las proteínas del trigo y que no poseen las proteínas de otros cereales, es la que hace panificables las harinas de trigo y la que proporciona las características plásticas de la masa de pan (Mesas & Alegre, 2002). La gliadina confiere al gluten la ligazón, formando masa fluida pero poco elástica, mientras que la glutenina le da solidez formando una masa compacta y elástica, tienen bajo Peso Molecular y sus enlaces S-S son intramoleculares, y confieren a la masa viscosidad, poca elasticidad y son los responsables de su coherencia (de la Vega, 2009). Las gluteninas son insolubles en soluciones salinas y alcohol, tienen alto peso molecular y tiene en su molécula enlaces S-S intermoleculares, que le confieren a la masa tenacidad (resistencia

opuesta a romperse), elasticidad (propiedad de la masa a recobrar más o menos completamente la forma y extensión al cesar la fuerza que la deformó) y baja cohesividad (adherencia interna por las fuerzas de atracción entre moléculas de la masa) (Arteaga & Rufino, 2015).

Lípidos

Aproximadamente un 2% y están representados por triglicéridos, fosfolípidos, mono-di- glicéridos, ácidos grasos libres; actúan en la formación de la masa como agentes lubricantes y humectantes que facilitan la hidratación y el deslizamiento de moléculas.

Vitaminas

Del grupo B. La más abundante es la niacina, seguida del ácido pantoténico, la piridoxina y la tiamina.

Cenizas

La harina de trigo debe contener entre 0.5 - 0.65%, contiene minerales como P y K, seguidos por Mg, Si, Na, Ca.

Micronutrientes: Fe, Mn, Cu, Zn

Humedad*:* Debe estar entre el 13 - 15% (Mesas & Alegre, 2002)

Tabla 2. *Composición química del trigo y de la harina de trigo en 100 g*

	Energía	Agua	Proteínas	Grasa	Carbohidratos Totales	Carbohidratos Disponibles	Fibra cruda	Fibra dietarí
	Kcal	g	g	g	g	g	g	g
Trigo, harina fortificada con hierro	354	10,8	10,5	2	76,3	73,6	1,5	2,7
Trigo, harina tostada	347	9	7,9	1,2	79,9	77,2	4,1	2,7
Trigo, semola	335	12,1	7,8	1,1	78,4	74,5	0,9	3,9
Trigo	303	11,6	10,3	1,9	74,7	62,5	3	12,2
	Calcio	**fosforo**	**Zinc**	**Hierro**	**Vitamina A**	**Tiamina**	**Riboflavina**	**Niacin**
	mg	mg	mg	mg	ug	mg	mg	mg
Trigo, harina fortificada con hierro	36	108	0,7	5,5	0	0,5	0,4	4,8
Trigo, harina tostada	67	300	0,7	0,9	0	0,1	0,48	2,11
Trigo, semola	40	125	1,05	0,8	0	0,14	0,08	1,21
Trigo	36	314	2,98	3,87	0	0,42	0,17	3,98

Fuente: (Minsa, 2009)

Fortificación

La fortificación es la “Adición de uno o más micronutrientes a un alimento, tanto si está como si no está contenido normalmente en el alimento, con el fin de prevenir o corregir una deficiencia demostrada de uno o más nutrientes en la población o en grupos específicos de la población” (Ministerio de Salud, 1996).

La adición de micronutrientes asimilables por el organismo, en alimentos que forman parte de la canasta familiar, es una estrategia muy aceptada que pretende prevenir y corregir deficiencias de minerales importantes en el ser humano (Flores Navarrete, 2018). Fue así como surgió en Suiza y Estados Unidos la fortificación de sal con yodo en 1920 y la fortificación de harina de trigo con vitaminas y minerales (Serpa, Vélez, Barajas, Castro, & Gallego, 2016).

La fortificación de los alimentos se divide en tres tipos (Tabla 3.): Obligatoria que es la que está bajo algún lineamiento gubernamental, con el objetivo de

disminuir deficiencias en los consumidores; focalizada y voluntaria. A continuación, se detalla las características principales de esta clasificación. (Flores Navarrete, 2018)

Tabla 3. *Tipos de fortificación de alimentos*

Fortificación	Características
Obligatoria	Alimentos altamente consumidos por la población
Focalizada	Alimentos destinados para subgrupos con características específicas, como los alimentos complementarios para niños
Voluntaria	Cuando se fortifica un alimento de manera intencional

Fuente: (Serpa et al., 2016)

Los alimentos más comunes en los cuales se puede fortificar son productos de cereales (harinas), pan y leche en polvo; para que esta fortificación contribuya en el desarrollo de la población se debe tener en cuanta algunos lineamientos (Latham, 2002).

- La deficiencia del micronutriente en la población debe estar sustentada.
- El producto fortificado debe tener alto consumo en la población.
- El micronutriente que fortifica al producto debe estar claramente declarado, para que exista constancia de que el alimento generará algún beneficio en el consumidor.
- La interacción entre el vehículo y el micronutriente, no debe disminuir la absorción y biodisponibilidad, además no debe alterar las propiedades organolépticas del producto final.

La harina de trigo se considera en Colombia un alimento básico y uno de los insumos más importantes para la fabricación de alimentos de primera necesidad en la dieta colombiana, como son los productos de panadería, pastelería, galletas, pastas alimenticias y otros (Ministerio de Salud, 1996), además de esto, en el Plan Nacional de Alimentación y Nutrición 1996-2005 se fijó como política, la Prevención y Control de las deficiencias de micronutrientes, a través de la fortificación de alimentos de consumo básico. Iniciándose la fortificación en Colombia el 28 de octubre de 1996, mediante Decreto N°. 1944 “por el cual se reglamentó la

fortificación de la harina de trigo y se establecieron las condiciones de comercialización, rotulado, vigilancia y control" (Ministerio de Salud, 1996); con el fin de erradicar las deficiencias de micronutrientes en sus poblaciones, colaborar a eliminar el hambre y todas las formas de desnutrición, prevenir y controlar las deficiencias de micronutrientes. En este caso la harina de trigo comercializada en el territorio nacional deberá ser fortificada con vitamina B1 (6 mg), vitamina B2 (4 mg), niacina (55 mg), ácido fólico (1.54 mg), hierro (44 mg) y calcio opcional (1.280 mg).

La necesidad de fortificar alimentos ha ido en aumento, la fortificación con vitaminas y minerales es una práctica muy común actualmente en la industria alimentaria, pero hay que identificar las formas químicas adecuadas para fortificar un alimento; el decreto N° 1944 (Ministerio de Salud, 1996) recomienda adicionar los micronutrientes que cumplan con las especificaciones técnicas establecidas en el Food Chemical Codex (FAO & OMS, 2005), FCC, y las Farmacopeas Oficiales en Colombia, en las formas químicas que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. *Formas químicas de los micronutrientes que se deben adicionar en la pre-mezcla*

Micronutrientes	Formas Químicas
Vitamina B1	Mononitrato de Tiamina
Vitamina B2	Riboflavina
Niacina	Nicotinamida
Ácido fólico	Ácido Fólico
Hierro	Fumarato Ferroso
	Hierro Reducido
	Sulfato Ferroso
Calcio	Carbonato de Calcio
	Fosfato Monocálcico

(Ministerio de Salud, 1996)

3.3.2 Plátano

El plátano es una musácea que tiene su origen probablemente en las regiones tropicales del sur de Asia donde ha sido cultivado desde hace miles de años, siendo uno de los cultivos más comunes en todos los países con clima tropical (Blasco & Gómez, 2014), desde donde se propagó hacia el sur y el oeste, alcanzando Hawaii y la Polinesia; los comerciantes europeos llevaron noticias de la planta a Europa alrededor del siglo III a. C., aunque no fue introducido sino siete

siglos después. De las plantaciones de África Occidental los colonizadores portugueses lo llevarían a Sudamérica y Centroamérica (Solis Rosales, 2007), concretamente a Santo Domingo. En cuanto a la distribución geográfica actual, el plátano se distribuye por más de cien países tropicales y subtropicales (Figura 4 y Figura 5). Razón por la cual, el plátano es uno de los cultivos más importantes del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz.

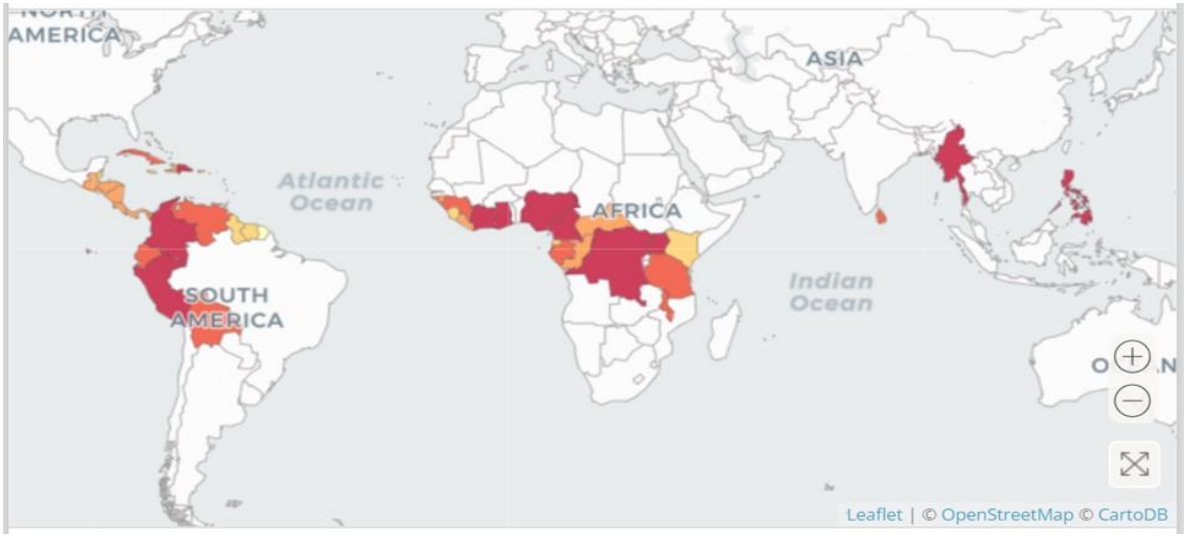


Ilustración 4. *Producción y distribución promedio del plátano en el mundo (2008-2018)*
Fuente: (FAOFAST, 2018)

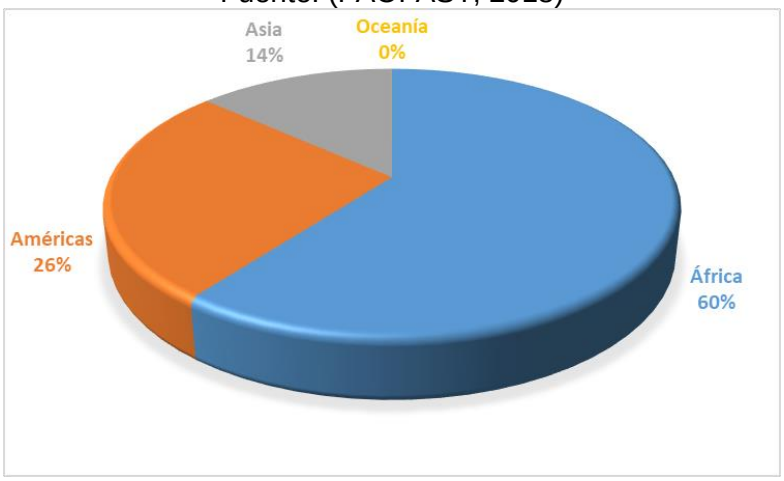


Ilustración 5. *Producción de plátano promedio por regiones (2008-2018)*
Fuente: (FAOFAST, 2018)

3.3.2.1 Clasificación Botánica

El plátano está conformado por una parte subterránea que consta de un tallo, éste es un rizoma que genera brotes laterales denominados retoños, una raíz

formada por pequeños haces que penetran en suelo en busca de agua y por una parte aérea comprendida por un falso tallo que es la prolongación del rizoma y del cual se originan hojas muy grandes que lo rodean y que aplicadas una sobre otra logran que la planta alcance entre seis y ocho metros de altura (Flores Navarrete, 2018)(Tabla 5).

Tabla 5. *Clasificación taxonómica del plátano*

Reino	Plantae
Subreino	Franqueahionta.
División	Espermatophyta
Subdivisión	Magnoliophyta.
Clase	Liliatae.
Orden	Zingiberales.
Familia	Musaceae.
Género	Musa sp.
Especie	*Musa paradisíaca, L*.

Fuente: (Vergara Cantillo, 2010)

Estas hojas después de secas permanecen adheridas al tallo (hojas marcescentes), la inflorescencia inicia una vez la planta ha producido el 50% de las hojas, y conduce a la formación del racimo con la aparición del ápice en la parte superior de la planta, el cual sigue creciendo verticalmente hasta tornarse péndula, posteriormente las brácteas se levantan y dejan al descubierto las manos, iniciándose los doblamientos de los pedúnculos hasta que el racimo adquiere su conformación definitiva (Figura 6.) (Flores Navarrete, 2018).

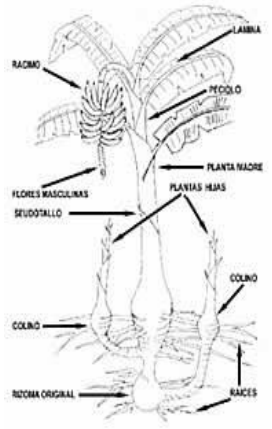


Ilustración 6. *Morfología del plátano*
Fuente: (Pinzon, 2017)

3.3.2.2 Genotipos

Los plátanos son plantas que se caracterizan por presentar un solo cotiledón en su embrión, originadas de cruces intra e inter-específicas entre Musa acuminada Colla (genoma A) y Musa balbisiana Colla (genoma B) que pertenecen a la familia Musaceae. Estas especies diploides provienen de los genomas A y B, respectivamente (Simmonds & Shepherd, 1955). La poliploidía presente en los genomas se presenta con la repetición de letras; el grupo principal es el triploíde de acuminata (AAA) que contiene los clones comerciales más difundidos (Turner, Fortescue, & Thomas, 2007). En orden de importancia económica, existen plátanos triploides (AAA, AAB y ABB), diploides (AA y AB) y tetraploides (AAAA, AAAB y AABB). Los principales cultivares comerciales son triploides, partenocárpicos y propagados asexualmente (Simmonds & Shepherd, 1955), (Ortiz & Vuylsteke, 1996)(Sánchez;, Romero;, Mario;, & Guzmán González Salvador, 2009). Estas especies son muy importantes porque por hibridación y poliploidía dieron origen a los plátanos y bananos cultivados, los cuales se clasifican modernamente en Grupos que indican la contribución genotípica y el grado de ploidía con que está constituido cada clon o cultivar (Jaramillo & Hoyos, 2010). En la Tabla 6. se observan algunos ejemplos de variedades de musáceas más conocidas a nivel mundial. Por otra parte, Colombia es uno de los grandes productores mundiales de plátano de cocción del grupo Plantain, las variedades comerciales más cultivadas son: Hartón, Dominico y Dominico Hartón. Estas variedades son las más exportadas y las más utilizadas en procesos agroindustriales. Sin embargo, hay otros grupos genéticos que cohabitan en las parcelas de los pequeños agricultores y contribuyen a generar ingresos en la zona rural. Estos grupos genéticos son generalmente destinados al autoconsumo familiar y no se encuentran en los mercados locales o nacionales. En Colombia exceptuando el grupo Plantain, se produce y se consume localmente alrededor de 400.000 toneladas de plátano de cocción, entre los cuales se destacan: AAB (Guayabo), ABB (Cachaco, Pelipita), plátano de altura AAAea (Guineo), entre otros. Asimismo se reconoce que los híbridos de la FHIA, muy productivos y muy resistentes a enfermedades, han sido poco adoptados por falta

de sabores y aromas (Espinal, Martinez, & Peña, 2005; D. Dufour et al., 2008). En la Tabla 3, se muestran los principales materiales de acuerdo con su clasificación genética.

Tabla 6. *Clasificación de bananos de postre y de cocción (plátanos) cultivados a nivel mundial.*

Cultivar	Nombre local	Genoma	Subgrupo
Bananos de postre	Bocadillo (Bo)	AA	Sucrier
	Primitiva (Pr)	AA	Sucrier
	Cavendish (Cav)	AAA	Cavendish
	Gros Michel (GM)	AAA	Gros miche
	Rollizo (Ro)	AAA	/
	Tafetan morado (T M)	AAA	Red dacca
	Fhia 17 (F17)	AAAA	Hibrido
	Fhia 1 (F1)	AAAB	Hibrido
	Fhia 18 (F18)	AAAB	Hibrido
	Fhia 25 (F25)	AAAB	Hibrido
Bananos de cocción (Plátanos)	Guineo (Gui)	AAA	Mutika - luj
	África (af)	AAB	Plantain
	Dominico (Do)	AAB	Plantain
	Dominico Hartón (DH)	AAB	Plantain
	Hartón (Ha)	AAB	Plantain
	Cubano blanco (CB)	AAB	Plantain
	Maqueño (Ma)	AAB	Plantain
	Guayabo (Gua)	AAB	Mahia - Maoli
	Hua moa (HM)	AAB	Mahia - Maoli
	Cachaco (Ca)	ABB	Bluggoe
	Pelipita (PE)	ABB	Pelipita
	Fhia 20 (F20)	AAAB	Hibrido
	Fhia 21 (F21)	AAAB	Hibrido

Fuente: (Dominique Dufour et al., 2009)

3.3.2.3 Prácticas Agrícolas

El plátano es una planta adaptada a regiones tropicales que poseen un clima húmedo y cálido. La altitud adecuada para su siembra es de 0 a 400 msnm **y** la temperatura óptima para el desarrollo del cultivo está en una media de 26-27 °C; la

pluviosidad necesaria para el crecimiento es de 44 mm semanales (Flores Navarrete, 2018). La humedad relativa apta para el desarrollo del cultivo es de 70 a 80%. Los suelos deben ser arenosos, arcillosos o limosos, con gran fertilidad y alto contenido de potasio y nitrógeno.

3.3.2.4 Crecimiento y desarrollo del plátano

El ciclo de la planta posee dos fases: vegetativa y reproductiva. La etapa vegetativa ocurre desde el momento de la siembra hasta que ocurre la diferenciación floral, y la etapa reproductiva comprende desde la aparición de la bellota hasta la madurez fisiológica (Vuylsteke, Ortiz, & Swennen, 1993). A medida que el fruto se desarrolla sufre algunos cambios de color, textura y sabor; los cambios en la textura durante la maduración va acompañado de la hidrólisis de los poligalacturónidos, celulosas y hemicelulosas insolubles de las paredes celulares y de la lámina media (Hernandez, 1986), estos cambios se relacionan con la capacidad de ablandamiento del fruto . El color de la cáscara del plátano varía en función del grado de madures de verde a amarillo, el color amarillo aparece debido a la desaparición de la clorofila. La cáscara del plátano verde contiene en su composición de 50 a 100µg/g de clorofila, 5 a 7µg/g de xantófila y carotenos de 1,5 a 3,5µg/g (Flores Navarrete, 2018).

El conjunto de procesos de desarrollo y cambios observados en la fruta se conoce como maduración, como consecuencia de la maduración, la fruta desarrolla una serie de características físico-químicas que permiten definir distintos estados de madurez de la misma. (Arias Velázquez & Toledo Hevia, 2000). En relación a los estados de madurez de la fruta, es conveniente conocer y distinguir de manera precisa el significado de los siguientes términos, de uso común en postcosecha, madurez de cosecha, madurez de consumo y madurez fisiológica (Barrera, Segundo, & Cayon, 2010; Flores Navarrete, 2018). La madurez fisiológica se da cuando la fruta se encuentra en su máximo estado de crecimiento y desarrollo y todas sus partes están formadas y listas para su reproducción. (I. Pinzón, Fischer, & Corredor, 2007). La madurez de cosecha o comercial es cuando la fruta está en

capacidad de desprenderse del árbol y debido a que el plátano es un fruto climatérico, este puede desarrollar su madurez de consumo, que es la etapa en la que el fruto posee todas sus características sensoriales completas como: sabor, aroma, color, textura y consistencia (Flores Navarrete, 2018), generando un gran interés comercial.

3.3.2.5 Índices de maduración y factores de calidad

El momento óptimo de cosecha del plátano este determinado principalmente por tres factores: los medios visuales (tamaño del fruto, apariencia de la planta)(figura 7.), medios físicos (peso del fruto, consistencia y facilidad de absorción) y los análisis químicos (grados Brix, pH, relación almidón grados Brix/porcentaje de almidón) (Mejía Gutierrez, 2013).

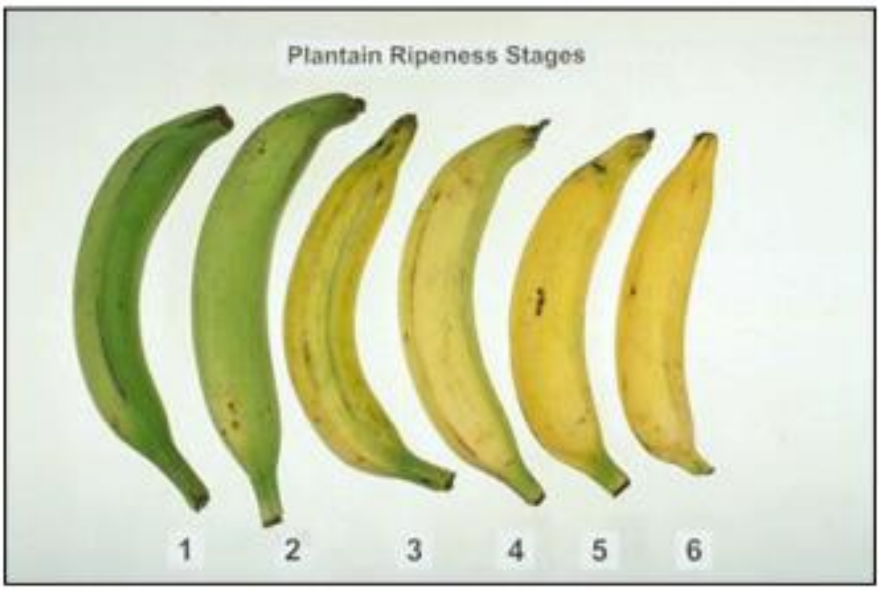


Ilustración 7. *Etapas de maduración del plátano*
Fuente (Massey, 2011)

Los requisitos mínimos de calidad que un plátano debe alcanzar según las normas del Codex Alimentarius (FAO & OMS, 2005) son: estar enteros (tomando el dedo como referencia), sanos, limpios, exentos de plagas y libres de cualquier contaminante.

3.3.2.6 Composición química y nutricional

El plátano verde posee alto contenido de minerales como fósforo, sodio, potasio y magnesio (Tabla 7.), siendo estos dos últimos muy importantes en la salud humana; el potasio es esencial en las funciones vitales del cuerpo y ayuda al organismo a conducir electricidad y en funciones fisiológicas como en la respiración (Lovesio, 2006) y el magnesio en la generación de energía celular, ATP a partir de lípidos y de hidratos de carbono y adecuada contracción de tejido muscular estriado y cardiaco, entre otros (Torres Camacho & Chogar Oquendo, 2014). los plátanos son fuente de micronutrientes tales como carotenos (provitamina A), ácido ascórbico y minerales, principalmente potasio, fósforo y calcio (Tortoe et al., 2009).

La pulpa seca de plátano verde consiste del 83% de almidón, estos alimentos con alto contenido de almidón se conocen como productos amiláceos (Nwokocha y Williams, 2009). Además, el contenido de materia seca se incrementa durante la maduración, lo cual se ha atribuido a la transpiración durante el almacenamiento. El contenido de proteínas del plátano es similar al de la papa o yuca (de 0,7 a 2 g proteína/100 g de producto en b.h). Además, tiene un contenido considerable de fibra (2,5 g fibra /100 g de producto en b.h) que le confiere propiedades nutricionales interesantes y pueden favorecer la metabolización progresiva de los glúcidos. El contenido de agua en los plátanos puede variar de 48 a 74 g de agua/ 100 g de producto en b.h, además puede variar dependiendo del estado de madurez y el cultivar. Sin embargo, la biodiversidad, el estado de madurez, el cultivar, los cambios climáticos y las condiciones meteorológicas pueden afectar a la fisiología de la planta y tener un impacto significativo en la composición de los micronutrientes del plátano (Rojas, 2007). Por ejemplo, dependiendo del cultivar hay algunas variaciones en cuanto a composición bromatológica como se puede apreciar en la Tabla 7.

Tabla 7. *Composición bromatológica de diferentes cultivares de plátano en estado verde*

Componente	Cultivar				
	Guineo AAA	Cachaco ABB	Dominico AAB	Hartón AAB	Dominico Hartón AAB
Pulpa (%)	60	60	60	65	77
Humedad (%)	75,2	68,9	59,7	59,4	57,9
Proteínas (%)	1,21	1	1,2	1,2	1,3
Grasa (%)	0,1	0,2	0,1	0,2	
Carbohidratos (%)	21,5	27,9	37,4	37,8	37,64
Fibra (%)	0,58	1,1	0,7	0,5	0,11
Cenizas (%)	1,12	0,9	0,9	0,9	0,9
Ca (mg)	3,5	6	5	4	7
P (mg)	82,8	40	31	39	75
Fe (mg)	1,1	0,4	0,5	0,5	1,3
Vitamina A (U.I)	160	140	1000	1060	
Tiamina B1 (mg)	0,04	0,03	0,07	0,06	0,06
Ácido ascórbico (mg)	15	20	20	20	20
K (mg)	380-507*				

*Rango promedio para el plátano

Fuente: (Álvarez-Barreto, 2014); *(Rojas Gonzalez, 2007).

Dentro del contenido de minerales del plátano, también son importantes el hierro y el calcio; pues el hierro forma parte de la hemoglobina y es esencial en el transporte de oxígeno (Forrellat-Barrios, Gautier du Défaix-Gómez, & Fernandez-Delgado, 2000) y el calcio participa en la coagulación como regulador nervioso y neuromuscular, modulando la contracción muscular incluida la frecuencia cardíaca (Martínez de Victoria, 2016).

3.3.2.7 Importancia económica

3.3.2.8 Producción mundial y nacional

Según la FAOSTAT, la base de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para el año 2018, Uganda fue el mayor productor de este fruto con aproximadamente 10 millones de toneladas por año (42%), seguida por Ghana y Camerún (14%), Colombia se encontraba en el quinto lugar de la producción mundial con el 10%; sin embargo, promediando la producción de los últimos diez años (2008-2018) se observa que Colombia se ha

mantenido como el cuarto productor mundial a pesar de que la producción en países africanos ha aumentado (Figura 8.).

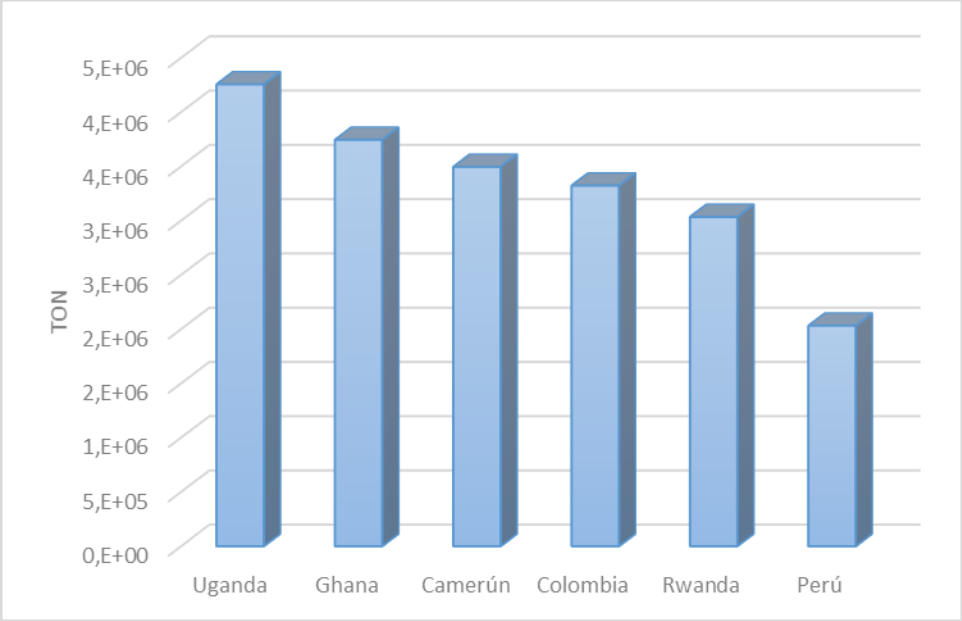


***Ilustración 8**. Principales productores de plátano a nivel mundial durante los últimos diez años (2008-2018)*
Fuente: (FAOFAST, 2018)

La producción de plátano en los últimos 10 años en Colombia ha aumentado significativamente (Figura 9.), siendo el principal departamento productor Antioquia con un 14% del total del área, equivalente a cerca de 61.000 hectáreas según los registros para el año 2017 (Ministerio de Agricultura, 2018). Las variedades cultivadas a nivel nacional son Dominico Hartón, Hartón, Dominico y Cachaco o Popocho (Ministerio de Agricultura, 2018) y en el año 2016 el departamento del Quindío produjo 20.8 toneladas/mes; entre 2014 y finales de 2016 el cultivo tuvo un crecimiento del 18% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014). Aún con esta diversidad, en el mercado es el plátano dominico hartón el que mayor volumen de comercialización tiene; esta es una variedad originaria del Asia Meridional y su fruta de forma oblonga, alargada y curvada, se puede consumir en estado verde cuando su pulpa es consistente y harinosa o madura cuando es dulce y flexible (SIC, 2012).

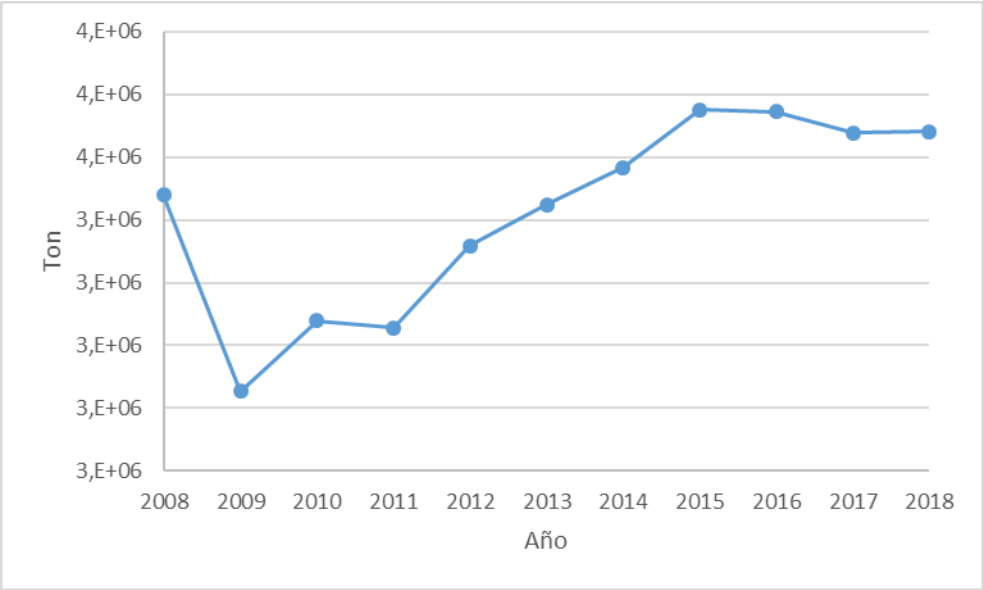


Ilustración 9. *Producción de plátano en Colombia durante los últimos diez años (2008-2018)*
Fuente: (FAOFAST, 2018)

Los principales exportadores de plátano, para el periodo comprendido entre el año 2008 y 2018, fueron Guatemala, Ecuador y Colombia respectivamente (Figura 10.), siendo Ecuador y Colombia los primeros exportadores mundiales del grupo Plantain (Barraganete, Dominico, Dominico Hartón, Hartón) con un promedio de 130.000 toneladas para cada país representando el 4,1% de la producción en Colombia y el 21,7% de la producción en Ecuador. Colombia es el primer productor mundial de plátano de cocción del grupo Plantain con 3 millones de toneladas. La producción de plátano de cocción representa 43,5% de las musáceas comestibles en el mundo (Sosa, 2016). Mientras que la Unión Europea, Estados Unidos, Arabia Saudita y Sudáfrica se destacan como los principales importadores. (Figura 11.)

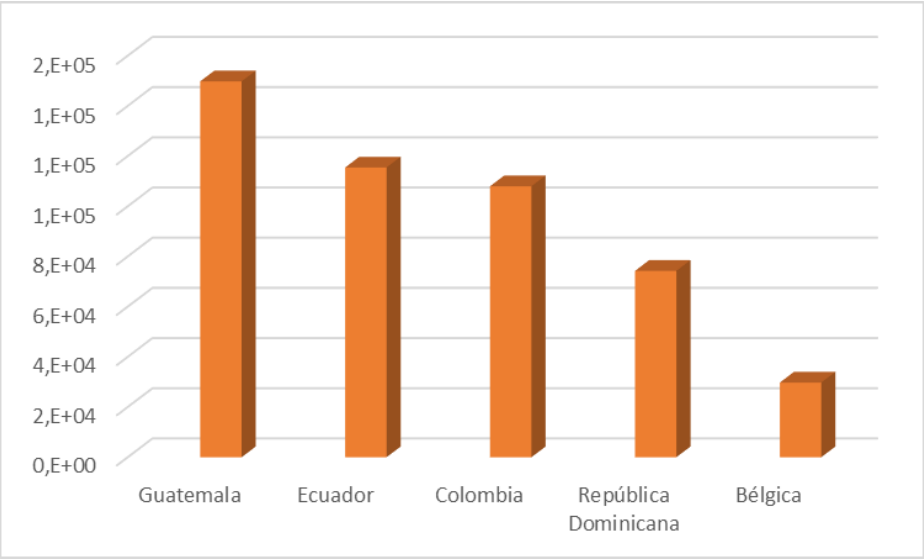


Ilustración 10. *Principales exportadores de plátano en los últimos diez años a nivel mundial (2008-2018)*
Fuente: (FAOFAST, 2018)

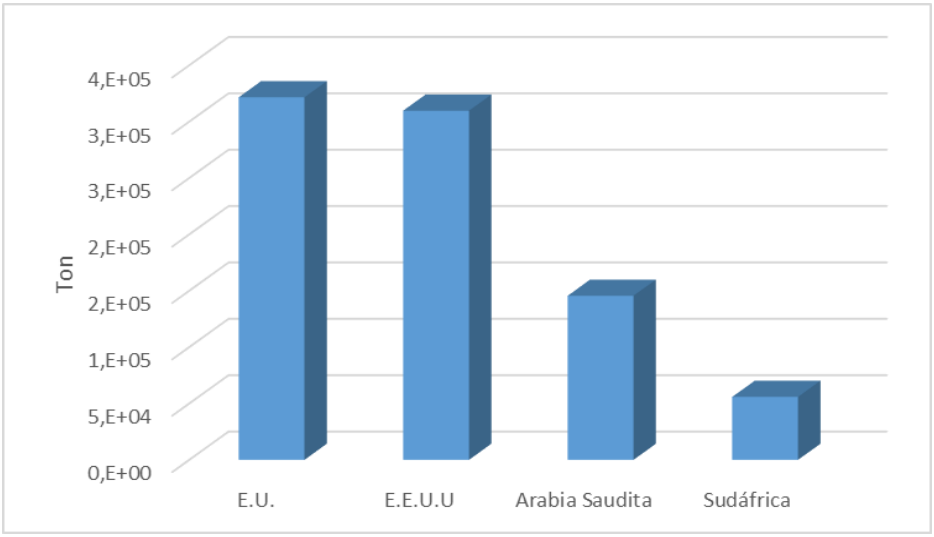


Ilustración 11. *Principales importadores de plátano a nivel mundial en los últimos diez años (2008-2018)*
Fuente: (FAOFAST, 2018)

Las variedades de plátanos Hartón, Dominico hartón y Dominico, del sub-grupo Plantain, aportan el 18% de la producción mundial (41,7% del total de los plátanos de cocción en el mundo). Estas tres variedades son las más exportadas y las más utilizadas en procesos agroindustriales (Lescot, 2008)

3.3.2.9 Industrialización del plátano

La industria agroalimentaria utiliza el plátano para la elaboración de snacks y para la fabricación de almidones y harinas principalmente. En el país se utilizan más de 20 variedades de plátano, de estas especies, el hartón y el dominico hartón son los que tienen mayor potencial para el procesamiento, sin embargo Hoyos-Leyva, Jaramillo-Jiménez, Paula Andrea Giraldo-Toro, Dufour, Sánchez, & Lucas-Aguirre, (2012) indican que, los consumidores tienen preferencias por algunas variedades específicas de acuerdo al método de preparación (cocción en agua, asado, fritura, transformación en harinas para coladas, entre otras).

Frituras

Una de las maneras más utilizadas de industrializar el plátano es en la preparación de “snacks” comestibles, un producto de mucha aceptación que se desarrolla a partir de plátano verde y maduro, éste es elaborado a partir de tajadas de plátano sometidas a fritura para obtener un producto de color amarillo dorado o café, de textura crujiente (A. A. Bermúdez, Romero Barragan, & Arrazola Paternina, 2016). Estas frituras tienen grandes proyecciones hacia el mercado nacional e internacional. La vida útil del producto terminado varía desde uno a tres meses, dependiendo del proceso y el material de empaque.

Congelados

El proceso consiste en un pelado y empacado al vacío, y se envía generalmente a empresas que producen frituras. En algunas ocasiones, se procesan trozos de diferentes tamaños para otras presentaciones, que luego son empacados al vacío o en bolsas plásticas y puestos en refrigeración (Hoyos-Leyva et al., 2012). De acuerdo con las estadísticas registradas por el departamento de Comercio de Estados Unidos, en el período 2005 al 2008 el origen del producto registrado bajo la partida arancelaria 08.11.90.10.00 contó con un ingreso constante y aumentó durante los últimos cinco años, la tasa promedio de crecimiento anual

que estimó este departamento de comercio fue de un 22%, hecho que lo hace un producto atractivo para los exportadores latinoamericanos (Macotto & Masias, 2009). El principal proveedor de este producto en los Estados Unidos fue Costa Rica, el aporte de este país en las importaciones del año 2007 equivalieron al 66.5 % de 32,085.66 toneladas importadas, le siguen en volumen los despachos de Ecuador y Colombia, con participaciones del 19.74 % y 6.91 % respectivamente (Macotto & Masias, 2009).

3.3.2.10 Harina de Plátano

Según la NTC 2799 (ICONTEC, 1991) la harina de plátano es el producto obtenido por la desecación y pulverización de los frutos de diversas especies de bananas. Su color suele ser ligeramente grisáceo. Excelente para usarlo en la preparación de sopas y mazamorras. El plátano contiene grandes cantidades de almidón y es rico en minerales como potasio y magnesio, por lo que constituye una importante fuente de energía y sus compuestos bioactivos funcionales son reconocidos por combatir o enfrentar enfermedades como la diabetes, distintos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, entre otros, aportando más que solo beneficios nutricionales. El proceso de elaboración de harina de plátano, se ha realizado históricamente con la finalidad de reducir las pérdidas de postcosecha (Mohapatra, Mishra, & Meda, 2009), ya que los bajos niveles de humedad previenen el ataque de bacterias y hongos (Butt, Nasir, Akhtar, & Sharif, 2004) y durante el proceso de transformación disminuye la actividad enzimática responsable de la senescencia en frutos climatéricos (Arisa, Ngozi. U; Adelekan, Aminat. O; Alamu Adediran. E; Ogunfowora, 2013).

Composición Química de la Harina de Plátano

Las harinas de plátano contienen altos niveles de magnesio, potasio (Montoya, Quintero, & Lucas, 2014) y almidón, así mismo Pinzón et al., (2015) encontraron valores superiores para la humedad y similares para el contenido de ceniza y proteína, comparado con lo reportado por da Mota, Lajolo, Cordenunsi, &

Ciacco, (2000), que reportaron parámetros dentro de los establecidos por la Norma Técnica Colombiana 267 para harina de trigo (ICONTEC, 2006) y cumple con lo establecido en la NTC 2799 (ICONTEC, 1991) (Tabla 8.). Las características sensoriales de la harina de plátano como el olor, color y sabor son característicos del producto, su aspecto es harinoso sin aglutinación o compactación, debe estar libre de materias extrañas, contaminación por presencia de plagas, o residuos de plaguicidas y se debe empacar en condiciones de humedad y limpieza que garanticen su conservación.

Tabla 8. *Composición química de harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

Producto	Variables
Humedad %	9,45
Cenizas %	2,10
Proteína %	3,32
Lípidos %	2,45
Fibra Cruda %	1,65

Fuente: (Soto, 2010)

3.3.3 Alimentos Funcionales

Los alimentos además de ser absolutamente necesarios para nuestra subsistencia, también tienen un papel preponderante en el desarrollo cultural, social y económico de un país y del mundo. Durante el transcurso de siglo XX, aunque se realizaron grandes descubrimientos, el proceso de la alimentación se vio reducido a mínimos cambios y poco trascendentales, y más bien se mantuvieron vigentes aquellos alimentos que culturalmente se consumían, alimentos tradicionales, donde el enfoque que se tenía, pretendía saciar el hambre y muy pocas personas mostraban interés en la importancia de los contenidos nutricionales de estos alimentos. La alimentación presenta uno de los principales problemas del futuro, debido a: los cambios en la dieta, la aparición de nuevas enfermedades derivadas de la alimentación y cambios en la idea de la seguridad (Silveira Rodríguez, Monereo Megías, & Molina Baena, 2003). A finales del siglo XX y principios del siglo XXI la mentalidad de los consumidores comenzó a cambiar paulatinamente, además del interés en desarrollar nuevas investigaciones y nuevos productos, empezó a destacarse la preferencia por alimentos que no solo calmaran el hambre,

sino que además causaran un efecto benéfico en el organismo al consumirlos (López-Nicolás, 2004).

La población debe ser consiente hasta qué punto su salud está supeditada a la existencia de unos alimentos satisfactorios y placenteros, todo el mundo debe seguir una dieta mucho más sana, en concordancia con sus costumbres culturales, aunque la mayoría no se dé cuenta de lo que habrá en las comidas, estas dietas deben tener en consideración la singularidad de las personas, es decir, el sexo, la edad, entre otras (Mínguez Mosquera & Pérez Gálvez, 2005), además de considerar la calidad nutricional de los alimentos involucrados en ellas, puesto que muchos de estos alimentos si son consumidos en exceso pueden causar problemas, alergias, intolerancias y enfermedades, como las cardíacas, que se generan por alto contenido de sustancias grasas saturadas y altos niveles de colesterol en la sangre o los problemas digestivos, generados por la falta de consumo de fibra insoluble (Dapcich et al, 2004).

En este contexto surgen a principios de los 80 en Japón los alimentos funcionales. Debido al incremento gradual de ciertas enfermedades relacionadas con el estilo de vida, la población empezó a darse cuenta de la importancia de mantener y mejorar su salud (Ohama, Ikeda, & Moriyama, 2014) y el gobierno tomó conciencia de los costos sanitarios generados por la mayor esperanza de vida de la población anciana. En 1991, el ministerio de Salud y Bienestar de este país fue pionero en publicar una reglamentación permitiendo legalmente la comercialización de algunos alimentos funcionales en términos de “alimentos para uso específico en la salud” (Foods for specified health usus o FOSHU), refiriéndose a aquellos alimentos con componentes que desempeñan una función favorable y específica en las funciones fisiológicas del organismo humano más allá de su aporte nutricional. Para su aprobación como FOSHU, un alimento debe cumplir fundamentalmente tres requisitos (Arai, Soichi. Toshiko Osawa., 2001;Shimizu, 2003).

- Que exista evidencia científica de su eficacia, incluyendo estudios clínicos.
- Que su consumo sea seguro, con estudios adicionales en humanos.
- Y que se hayan determinado analíticamente sus compuestos bioactivos.

En 2001, el gobierno japonés amplió el rango de los FOSHU añadiendo los complementos alimenticios en forma de cápsulas y comprimidos a los alimentos tradicionales. También estableció una nueva legislación acerca de los “alimentos con alegaciones sanitarias” (Foods with heakth claims), los cuales incluyen los existentes FOSHU y los nuevos “alimentos con alegaciones nutricionales” (Foods with nutrient function claims o FNFC). Como alimentos FNFC se han homologado doce vitaminas (Vitaminas A, B_1, B_2, B_6, B_{12}, C, E, D, biotina, niacina y ácidos pantoténico y fólico) y dos minerales (Calcio y Hierro),(Shimizu, 2003).

Los alimentos funcionales aparecieron en Europa gracias al proyecto Functional Food Science in Europe (FUFOSE) cuyo objetivo era proponer una serie de conceptos y definiciones de consenso con el fin de proporcionar bases y fundamentos apropiados para el futuro desarrollo científico de la alimentación funcional (Roberfroid, 2003) y que definió alimentos funcionales como “aquel que contiene un componente, nutriente o no nutriente, con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, con efecto añadido por encima de su valor nutricional y cuyos efectos positivos justifican que pueda reivindicarse su carácter funcional o incluso saludable. Los alimentos funcionales no dejan de ser alimentos y deben demostrar sus efectos en las cantidades que se consideren normales para su consumo en la dieta: no se trata de pastillas o píldoras, sino que forman parte de los hábitos alimenticios normales. Un alimento funcional puede ser un alimento natural o un alimento en el que el componente haya sido añadido/retirado tecnológica o biotecnológicamente (Illanes, 2015). También puede ser un alimento en el que la naturaleza o la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes hayan sido modificados, o cualquier combinación de estas posibilidades.

En Estados Unidos se permite desde 1993 que se aleguen propiedades “que reducen el riesgo de padecer enfermedades” en ciertos alimentos. Solo se autoriza una declaración de beneficio para la salud en el etiquetado de productos regulados por la administración para alimentos y medicamentos (FDA), siempre que existan evidencias científicas públicamente disponibles que demuestren la validez de la relación descrita en esa declaración (Thomson, Bloch, & Hasler, 1999). Según la

FDA, las discusiones pueden basarse también en “declaraciones autorizadas” de Organismos Científicos Federales, como los Institutos Nacionales de la Salud (National Institutes of Health) y los Centros para la Prevención y el Control de Enfermedades (Centres for Disease Control and Prevention), así como de la Academia Nacional de las Ciencias. En Colombia se empieza a hablar de este tipo de alimentos, en el año de 1984 con la resolución 11488 del Ministerio de Salud (Ministerio de Salud, 1984), la cual es creada con el fin de mejorar el estado nutricional de la población colombiana; en ella se definen parámetros asociados a fortificación, alimentos infantiles y alimentos de uso dietético (bajo en: sodio, gluten, calorías, carbohidratos; aptos para diabéticos); en el año de 1996 se reglamenta la fortificación de la harina de trigo y se establecen las condiciones de comercialización, rotulado, vigilancia y control, mediante al Decreto 1944 (Ministerio de Salud, 1996) y por último en el año 2008 se genera la Resolución 288 del Ministerio de la Protección Social (Ministerio de la Protección Social, 2008), la cual se establece con el fin de brindar condiciones para la declaración de propiedades nutricionales o de salud de los alimentos.

4. Hipótesis

Hipótesis alternativa (Hμ): La matriz alimentaria elaborada a base de harina de plátano Dominico Hartón *(Musa Paradisiaca L.)* mejorada tecnológica y nutricionalmente, permitirá la formulación y elaboración de alimentos libres de gluten.

5. Objetivos de la investigación

5.1 Objetivo General

- Formular una matriz alimentaria a base de harina de plátano dominico hartón (*Musa paradisiaca L*.), como sustituto de la harina de trigo comercial; para diseñar alimentos funcionales libres de gluten.

5.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar fisicoquímica y morfológicamente los frutos, pastas y almidones de plátano Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L*.), e identificar su potencial tecnológico, incrementando su funcionalidad comparativamente a la harina de trigo comercial.

- Diseñar una matriz alimentaria con comportamiento funcional y nutricional para aplicaciones en panadería comparable con la harina de trigo comercial.

- Elaborar y evaluar el comportamiento funcional y nutricional de un alimento a base de la matriz alimentaria diseñada y compararlo con el obtenido tradicionalmente.

Bibliografía

Abiodun-Solanke, A. O., & Falade, K. O. (2010). A review of the uses and methods of processing banana and plantain (Musa spp.) into storable food products. A.O. ABIODUN-SOLANKE and K.O. FALADE. *J. Agric. Res & Dev.*, *9*(2), 85–96.

Álvarez-Barreto, C. I. (2014). *Propiedades Reológicas de Frutos y Masas de Plátanos Procesados por Cocción y su Relación con la Modificación del Almidón*. Universidad del Valle.

Álvarez Barreto, C. I. (2014). *Propiedades reológicas de frutos y masas de plátanos procesados por cocción y su relación con la modificación del almidón*. *Escuela Ingeniería de Alimentos*. Retrieved from http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8764/1/Tesis Doctoral Cristina Inés Álvarez Barreto.pdf

Álvarez Sánchez, D., Diana, ;, & Chaves, M. (2017). The wheat crop in Colombia: Its agony and possible disappearance. *Cienc. Agr. Julio-Diciembre*, (2), 125–137. https://doi.org/10.22267/rcia.173402.77

Arai, Soichi. Toshiko Osawa., et al. (2001). A mainstay of functional food science in Japan. *Functional Food Science*.

Arias Velázquez, C., & Toledo Hevia, J. (2000). *Manual de Manejo Postcosecha de Frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos)*. Roma. Retrieved from http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s00.htm

Arisa, Ngozi. U; Adelekan, Aminat. O; Alamu Adediran. E; Ogunfowora, E. J. (2013). The Effect Of Pretreatment Of Plantain (Musa Parasidiaca) Flour On The Pasting And Sensory Characteristics Of Biscuit 1. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *2*(June), 10–24.

Arteaga, P. M., & Rufino, A. L. (2015). *SUSTITUCION PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO (Triticum Aestivum) POR HARINA DE TARWI (Lupinus Mutabillis sweet) Y HARINA DE CASCARA DE MARACUYA (Passiflora Edulis) EN LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS Y SENSORIALES DE CUPCAKES*. Retrieved from http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2625

Banacol – Home. (2018). Retrieved March 4, 2019, from https://www.banacol.com/

Barrera, J. L., Segundo, G., & Cayon, D. G. (2010). Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. *Acta Agronómica*, *1*, 20–29. https://doi.org/10.15446/acag

Bermúdez, A. A., Romero Barragan, P., & Arrazola Paternina, G. (2016). Pérdida de humedad y absorción de aceite durante fritura de tajadas de plátano (musa

paradisiaca L.). *Biotecnoloía En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, *14*(2), 119. https://doi.org/10.18684/bsaa(14)119-124

Bezerra, C. V., Rodrigues, A. M. da C., Amante, E. R., & Silva, L. H. M. da. (2013). Nutritional potential of green banana flour obtained by drying in spouted bed. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *35*(4), 1140–1146. https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000400025

Blasco, G., & Gómez, F. (2014). Propiedades funcionales del plátano (Musa sp). *Universidad Veracruzana*, 5. Retrieved from http://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2014/muv142d.pdf

Blasco López, G., & Gomez Montaño, F. J. (2014). Propiedades funcionales del plátano (Musa sp). *Rev Med UV*, 22–26. Retrieved from www.uv.mx/rm

Butt, M. S., Nasir, M., Akhtar, S., & Sharif, K. (2004). Effect of moisture and packaging on the shelf life of wheat flour. *International Journal of Food Safety*, *4*(February 2014), 1–6.

da Mota, R. V., Lajolo, F. M., Cordenunsi, B. R., & Ciacco, C. (2000). Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. *Starch - Stärke*, *52*(2–3), 63–68. https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(200004)52:2/3<63::aid-star63>3.3.co;2-m

Dapcich, V., Salvador Castell, G., Ribas Barba, L., Pérez Rodrigo, C., Aranceta Bartirna, J., & Serra Majem, L. (2004). *Guía de la alimentación Saludable*. (Sociedad Española de Nutrición Comunitaria, Ed.), *Senc*. Madrid.

de la Vega, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia Y Tecnología*, *13*(38), 27–32.

Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A., Sánchez, T., Reynes, M., Pain, J. P., … Díaz, A. (2009). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. thermal and functional characterization of cultivated colombian musaceae (Musa sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(17), 7870–7876. https://doi.org/10.1021/jf900235a

Dufour, D., Giraldo, A., Gibert, O., Sánchez, T., Reynes, M., Gónzalez, A., … Diaz, A. (2008). de cocción y FHIA híbridos : preferencia varietal de los consumidores en Resumen Résumé. *Memories of XVIII ACORBAT Meeting*, 10–14.

Espinal, C. F., Martinez, H. J., & Peña, Y. (2005). *La cadena del plátano en Colombia*. *Ropdigital.Ciccp.Es*. Bogotá, Colombia. Retrieved from http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1902/1902_tomoII_1388_02.pdf

Espinosa, V. (2008). *Estudios Estructurales de Almidón de Fuentes no Convencionales: Mango (Mangifera indica L.) y Plátano (Musa paradisiaca L.).* Instítuto Politécnico Nacional.

FAO, & OMS. (2005). *CODEX ALIMENTARIUS* (2a ed.). Roma, Italia: Secretariado de la Comisión del Codex Alimentarius. Retrieved from

www.codexalimentarius.net

FAOSTAT. (2018). FAO Country Indicators. Retrieved March 1, 2019, from http://www.fao.org/faostat/en/#home

FENALCE, F. N. de C. de C. y L. (2017). *Informe de gestión 2017-A*. Bogotá, Colombia.

Flores Navarrete, D. S. (2018). *" Obtención de harina de plátano verde tipo HARTÓN (Musa AAB) precocida y fortificada ."* Universidad Central del Ecuador.

Forrellat-Barrios, M., Gautier du Défaix-Gómez, H., & Fernandez-Delgado, N. (2000). Metabolismo del Hierro. *Rev Cubana Hematol Inmunol Hemoter*, *16*(3), 149–160. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/pdf/gmm/v141n2/v141n2a9.pdf

García-Tejeda, Y. V., Zamudio-Flores, P. B., Bello-Pérez, L. A., Romero-Bastida, C. A., & Solorza-Feria, J. (2011). Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros (Internet)*, *12*(3), 125–135.

Hernandez, E. (1986). Cambios físicos y químicos durante la maduración de cambures y plátanos. *Revista de La Facultad de Agronomía*, *7*(1), 7–19.

Hoyos-Leyva, J. D., Jaramillo-Jiménez, Paula Andrea Giraldo-Toro, A., Dufour, D., Sánchez, T., & Lucas-Aguirre, J. C. (2012). Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (Musa spp.). *Acta Agronómica*, *61*(3), 1–13.

Hurtado Macias, H. C. (2016). *Descripción de la Agrocadena del Plátano en Colombia*. Universidad de la Salle.

ICONTEC. NTC 2799 (1991). Colombia.

ICONTEC. (2006). NTC 267. Harina de trigo. Bogotá, Colombia, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Illanes, A. (2015). Alimentos funcionales y biotecnología. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *17*(1), 5–8. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50997

Jaramillo, P. A., & Hoyos, J. D. (2010). *Caracterización Física, Morfológica y Evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas no cultivadas de la colección Colombiana de la Federación Nacional de Plataneros de Colombia FEDEPLATANO*. Universidad La Gran Colombia Armenia.

Kumar, K. P. S., Bhowmik, D., Duraivel, S., & Umadevi, M. (2012). Traditional and Medicinal Uses of Banana. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *1*(3), 51–63.

Lagos, P. (2015). *Manual de buenas prácticas para el amnejo del trigo candeal*.

Latham, M. C. (2002). *Nutricion humana en el mundo en desarrollo* (Colección). Ithaca, Nueva York, Estados Unidos. Retrieved from http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm

Lescot, T. (2008). La diversité génétique des bananiers en chiffres. *Fruitrop (Ed. Française)*, *155*, 29–33. Retrieved from http://agritrop.cirad.fr/544315/

López-Nicolás, J. M. (2004). *Nuevos alimentos para el siglo XXI*. (M. Universidad Católica San Antonio, Ed.). Fundación Universitaria San Antonio. Retrieved from https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=5458

Lovesio., C. (2006). Metabolismo del potasio. In *El ateneo, bueos aires* (p. 22). Buenoa Aires, Argentina: El Ateneo. https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e31821a3b7d

Macotto, A., & Masias, F. (2009). Estudio de factibilidad para la producción y exportación de tostones desde Rivas, Nicaragua hacia el mercado de Miami, EE.UU. Retrieved February 27, 2019, from https://es.scribd.com/document/183759148/Estudio-de-Tiempos

Market Research Reports, Marketing Research Company, Business Research by MarketsandMarkets. (2019). Retrieved March 4, 2019, from https://www.marketsandmarkets.com/

Martínez de Victoria, E. (2016). El calcio, esencial para la salud. *Nutr Hosp*, *33*, 26–31. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20960/nh.341

Massey, V. (2011). Plátano Macho (Plantain). Escala de colores. Retrieved May 30, 2019, from http://vmasseyors.blogspot.com/2011/02/platano-macho-plantain-escala-de-colores.html

Matos-Chamorro, A., & Muñoz-Alegre, K. I. (2010). Elaboración de pan con Sustitucion de Harina Pre Cocida de Ñuña (Phaseoleus vulgaris L.) y Tarwi (Lupinus mutabilis). *Revista de Investigacion En Ciencia Y TEcnologia de Alimentos*, *1*, 31–35.

Mejía Gutierrez, L. F. (2013). *Evaluación del Comportamiento Físico y Químico Poscosecha del Plátano Dominico Hartón (Musa AAB Simmonds) Cultivado en el Municipio de Belalcazar (Caldas)*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from http://bdigital.unal.edu.co/9479/1/01107468.2013.pdf

Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, *3*(5), 307–313.

Mínguez Mosquera, M. I., & Pérez Gálvez, A. (2005). Características químicas nutricionales y funcionales de los alimentos. *CTC Alimentación*, *24*(Figura 1), 11–20.

Ministerio de Agricultura, C. (2018). *Cadena del plátano*. Bogotá, Colombia.

Retrieved from https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Documentos/002 - Cifras Sectoriales/Cifras Sectoriales - 2018 Febrero Platano.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, C. (2014). *BULLET ´ S PLÁTANO*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de la Protección Social, C. (2008). Resolucion_0288De2008_Rotuladoyetiquetado. Bogotá, Colombia: República del Colombia.

Ministerio de Salud, C. (1984). Resolcuión Número 11488 de 1984. *República de Colombia*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Salud de Colombia.

Ministerio de Salud, C. (1996). Decreto N° 1944 de 1996. Bogotá: República de Colombia.

Mohapatra, D., Mishra, S., & Meda, V. (2009). Plantain and their postharvest uses: an overview. *Stewart Postharvest Review*, *5*(4), 1–11. https://doi.org/10.2212/spr.2009.5.4

Montoya, J., Quintero, V. D., & Lucas, J. C. (2014). Evaluación fisicotermica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (musa paradisiaca ABB). *Temas Agrarios*, *19*(2), 214–233. https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.736

Ohama, H., Ikeda, H., & Moriyama, H. (2014). Health Foods and Foods with Health Claims in Japan. *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and Around the World: Second Edition*, *221*, 265–299. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405870-5.00016-5

Ortiz, R., & Vuylsteke, D. (1996). Recent advances in Musa genetics. *Plant Breeding Abstracts*, *66*(10), 1355–1363.

Pinzon, G. A. (2017). *Establecimiento y comercialización de una hectárea de Plátano (Musa paradisiaca) variedad hartón musa AAB en el municipio de Uribe para la venta en fresco.* Universidad de la Salle.

Pinzón, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (Passiflora edulis Sims.) Determination. *Agronomía Colombiana*, *25*(1), 83–95. Retrieved from http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a10.pdf

Pinzón, M. I., Lucas-Aguirre, J. C., & Montoya, J. (2015). *Evaluación de las características morfológicas , físico - químicas , nutricionales de frutos de Musáceas y desarrollo y mejoramiento de productos de interés al sector industrial alimentario y no alimentario en el eje cafetero*. Armenis, Colombia.

Quiceno, M., Giraldo, G., & Villamizar, R. (2014). Physical-chemical characterization of plantain (Musa paradisiacal sp . AAB , Simmonds) for industrialization. *UGCiencia*, *20*(1), 48–54. Retrieved from revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/download/313/578

Roberfroid, M. B. (2003). Global view on functional foods: Asian perspectives. *British Journal of Nutrition*, *88*(S2), S133–S138. https://doi.org/10.1079/bjn2002678

Rojas Gonzalez, J. A. (2007). Impact de l ' opération de friture du plantain (Musa AAB " barraganete ") sur différents marqueurs nutritionnels : caractérisation et modélisation To cite this version : HAL Id : pastel-00004530 Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l ' Env.

Salazar, J., & Quiñones, V. (1958). Cultivo de Trigo. *Misnisterio de Agricultura Y Ganadería*, (6), 162.

Sánchez;, G. M., Romero;, J. O., Mario;, O. S., & Guzmán González Salvador. (2009). Diversidad genética de bananos y plátanos (Musa spp.) determinada mediante marcadores RAPD. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *32*(1), 01–07. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000100001

Science consulting expertise in food & beverage. (2019). Retrieved March 4, 2019, from https://www.leatherheadfood.com/

Serna jiménez, J. A., Torres Valenzuela, L. S., Melo Sabogal, D. V., & Torres Grisales, Y. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (musa paradisiaca spp) para la obtención de maltodextrina. *Biotecnoloía En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, *13*(2), 76. https://doi.org/10.18684/bsaa(13)76-85

Serpa, A. M., Vélez, L. M., Barajas, J. A., Castro, C. I., & Gallego, R. (2016). Compuestos de hierro para la fortificaciónde alimentos: El desarrollo de una estrategia nutricional indispensable para países en vía de desarrollo. - Una revisión TT - Iron compounds for food fortification: The development of an essential nutritional str. *Acta Agronómica*, *65*(4), 340–353. https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.50327

Shimizu, T. (2003). Health claims on functional foods: the Japanese regulations and an international comparison. *Nutrition Research Reviews*, *16*(2), 241–252. https://doi.org/10.1079/nrr200363

SIC, S. de industria y comercio. (2012). *Cadena Productiva del Plátano. Diagnostico de Libre Competencia*. *Superintendencia de Industria y Comercio* (Vol. 1).

Silveira Rodríguez, M. B., Monereo Megías, S., & Molina Baena, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos? *Revista Espanola de Salud Publica*, *77*(3), 317–331.

Simmonds, M. A., & Shepherd, B. S. (1955). The taxonomy and origins of the cultivated bananas. *Imperial College of Tropical Agriculture*, (6), 302–312. https://doi.org/10.1007/BF02364943

Solis Rosales, A. (2007). *El cultivo de plátano (genero musa) en México*.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de Agronomía. Retrieved from http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4956/T16494 SOLIS ROSALES, ADALBERTO TESIS.pdf?sequence=1

Sosa, M. D. (2016). *Implementación de un cultivo de plátano hartón (musa paradisiaca) en altas densidades como sistema de producción sostenible en el municipio de Cúcuta norte de Santander*. Universidad de la Salle.

Soto, V. S. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (Musa Cavendishii) y banana verde (Musa paradisíaca). *Revista Bolivariana de Química*, *27*(2), 94–99. Retrieved from http://www.scielo.org.

Thomson, C., Bloch, A., & Hasler, C. (1999). Position of The American Dietetis Association: Funcional Foods. *The American Dietetic Associatios*, *99*(10), 1278–1285.

Torres Camacho, V., & Chogar Oquendo, D. (2014). Magnesio-Selenio. *Revista de Actualización Clínica*, *41*(I), 2291–2294. Retrieved from http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2304-37682014000200007&script=sci_arttext

Turner, D. W., Fortescue, J. A., & Thomas, D. S. (2007). Environmental physiology of the bananas (Musa spp.). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *19*(4), 463–484. https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400013

Vergara Cantillo, E. (2010). Origen e historia del plátano Musa paradisiaca L. Retrieved May 30, 2019, from https://apiciusysuslibros.blogspot.com/2010/12/origen-e-historia-del-platano-musa.html

Villegas, B., Villa, G., Torres, J., Ospina, S., Rocha, L., & Laverde, J. (2012). Bananut Plus : Harina De Banano Verde, *19*(1), S213–S215.

Vuylsteke, D., Ortiz, R., & Swennen, R. (1993). Genetic improvement of plantains and bananas at IITA. *Plantain & Banana Improvement Program (PBIP), International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria. INIBAP Transit Center and Laboratory of Trobical Husbandry, K.U. Leuven, Belgium*, (January 1993), 9–12.

6. Capítulo 1

Determinación de las variables física de los frutos, obtención de harinas y caracterización funcional, fisicoquímica y estructural de las harinas nativas de plátano dominico hartón (Musa paradisiaca L.) y del control de harina de trigo

6.1 Resumen

En Colombia, el plátano es uno de los productos alimenticios de mayor importancia y es el cultivo permanente con mayor presencia en los sistemas de economía campesina. Es un producto básico en la dieta de los colombianos, con un consumo per cápita estimado de 155 kg/año y sigue incrementando su demanda interna y externa para el consumo en fresco y para el procesamiento industrial. El objetivo de este trabajo fue caracterizar físicamente los frutos y obtener harinas y almidones del plátano Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L*.), con el fin de identificar peso del racimo, número de manos, número de frutos por mano y peso, longitud, diámetro y densidad de cada uno de los frutos. Los resultados mostraron que el diámetro de los frutos, la densidad con y sin cáscara son los datos más homogéneos y con poca variabilidad, en cuanto al peso, la longitud y el diámetro de la pulpa, se presentaron los mayores valores en las manos 1, 2 y 3 independientemente del racimo de procedencia; los diferentes métodos de obtención de harina arrojaron resultados similares de rendimiento y el contenido de almidón en promedio fue de 20,93%. La harina se puede extraer de cualquier fruto, garantizando concentraciones de almidón similares.

La harina de plátano es rica en almidón, fibra, minerales, vitaminas y cantidades significativas de otros componentes bioactivos; que le otorgan propiedades excepcionales para la alimentación humana. Por este motivo el objetivo fue caracterizar fisicoquímica, morfológica y estructuralmente las harinas y el almidón en plátano, con el fin de contrastarlos con el control (trigo). Se evaluó el bromatológico mediante el análisis proximal; las propiedades funcionales como la

Capacidad de Retención de Agua (CRA), Capacidad de Absorción de Agua (CAA), Capacidad de Hinchamiento (CH) y Capacidad de Absorción de Aceite (CAc) y color; asimismo las harinas se caracterizaron por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Análisis Termogravimétrico (TGA), Viscosidad de Pasta (RVA), Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR), Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), además de los análisis anteriores, a los almidones se les realizó microscopia de luz polarizada y tamaño de partícula. A partir de los resultados obtenidos se encontraron valores de proteína menores para las harinas de plátano (3,33%) y mayores en fibra (1,58%) comparada con la harina de trigo (12,61 y 0,46% respectivamente. El análisis de color presentó diferencias de color (L* y b*) entre las harinas de plátano y la harina de trigo, los parámetros térmicos demostraron que el proceso es irreversible para ambos tipos de harina; el análisis de RVA mostró que tanto las harinas de plátano como la harina de trigo desarrollan normalmente su viscosidad cuando se someten a procesos de cocción. Los espectros por FTIR permitieron identificar diferencias en bandas de absorción características, debidas a las proteínas y lípidos presentes en la harina de trigo. Se identificó que el almidón de plátano y trigo tienen diferente estructura cristalina y tamaño, que los almidones de trigo y de maíz presentan estructuras poliédricas y esféricas relacionadas al tipo de cereal; los gránulos de almidón de plátano presentaron una superficie lisa y pulida dando una apariencia de suavidad y con formas irregulares ovaladas. Los análisis de microscopía de luz polarizada evidenciaron la birrefringencia en todos los gránulos de almidón, debido a la orientación regular de las regiones amorfas y cristalinas.

6.2 Introducción

Por sus características alimenticias y por cultivarse en regiones tropicales, el plátano es parte de la canasta familiar colombiana, el 98.29% de su producción nacional se dedica al consumo interno (Ministerio de Agricultura, 2018). El incremento en el consumo nacional en los últimos 5 años ha sido aproximadamente de un 20%, presentándose igualmente un aumento del 20,9% en la producción entre los años 2015 y 2018 (Ministerio de Agricultura, 2018); el plátano ocupa el primer

lugar en consumo de productos básicos de la canasta familiar, en forma secundaria, se consume procesado en otras presentaciones como snacks, pre cocidos y féculas, existiendo otro gran número de posibilidades de transformación complementaria del plátano con otros productos, haciéndolo más nutritivo contribuyendo al objetivo de resolver deficiencias de la alimentación en países en vía de desarrollo.

Según la base de datos de la Asociación de Fruticultores de Colombia (ASOHOFRUCOL, 2017), para el año 2016, Colombia con 3.908.986 de toneladas ocupó el cuarto lugar en producción mundial de plátano; de las cuales exportó el 3,6% y cerca del 1,0% se destinó al consumo de la agroindustria y se estimaron pérdidas equivalentes al 10% de la producción (Olmos, 2015), este porcentaje de pérdidas, hace necesario promover investigaciones relacionadas con el procesamiento del fruto del plátano y su potencial de industrialización, estudiando la relación entre las características funcionales y tecnológicas de las variedades de plátanos comerciales y su aptitud para la elaboración de productos industriales.

Las harinas son una excelente alternativa, debido a que, además de ofrecer grandes beneficios de conservación y transformación, también aportan grandes posibilidades gastronómicas (Melorose, Perroy, & Careas, 2007). Sin embargo, la ausencia de gluten en la harina de plátano puede generar efectos negativos en su transformación (Gutiérrez, 2018), para contrarrestar estos problemas, últimamente se están desarrollado investigaciones sobre la utilización de aditivos como: hidrocoloides, proteínas sin gluten y auxiliares de procesamiento, apropiados para tales sistemas de harinas libres de gluten (Alvarez-Jubete, Arendt, & Gallagher, 2010; Capriles & Arêas, 2014; Deora, Deswal, & Mishra, 2014; Witczak, Ziobro, Juszczak, & Korus, 2016; O'Shea, Arendt, & Gallagher, 2014; Gómez & Sciarini, 2015), con el fin de mejorar tecnológicamente, además de esto, la fortificación des estas harinas se realizaría con el fin de adicionar nutrientes que contribuyan en la disminución de problemas de nutrición de la población (Flores Navarrete, 2018).

En este sentido el desarrollo de un producto nuevo que logre la interacción de los ingredientes adicionados (Vitaminas y minerales) con la matriz alimentaria

(plátano), permitirá obtener un producto saludable con elevadas cualidades nutricionales y funcionales que garantice la disponibilidad y la asimilación por parte del organismo. (Holst & Williamson, 2008) sustituyendo parcialmente fuentes convencionales como la harina de trigo comercial.

Los alimentos ricos en almidones son parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria. El trigo es un cereal rico en almidón que al ser refinado para la obtención de harina no presenta ningún valor nutricional, por ello la legislación exige a los productores enriquecer esta harina con vitaminas sintéticas para su comercialización (Ministerio de Salud, 1996). Esto ha permitido que actualmente se adelanten estudios que faciliten la incorporación de vitaminas y minerales en productos alimenticios no tradicionales, provenientes de raíces, tubérculos, frutas y leguminosas, las cuales pueden presentar diferentes propiedades funcionales a las de las harinas de fuentes convencionales (Sandoval-Aldana & Fernández-Quintero, 2013). El plátano es uno de los productos básicos más cultivados y consumidos del planeta (Espinal et al., 2005), contiene una buena calidad de proteína, fibra dietaría, minerales y poca o despreciable cantidad de grasa (D. Dufour et al., 2008). La harina de plátano se ha ido convirtiendo en un producto con valor agregado muy interesante, debido a su versatilidad, ya que funciona como mejorador de sabor, color y como espesante; además, se ha investigado su desempeño en productos de panadería, extruidos, sopas instantáneas, entre otros (Yadav, Guha, Tharanathan, & Ramteke, 2006). Su alto contenido de carbohidratos lo hacen buena fuente de almidón, el cual se encuentra presente en el fruto en estado verde, haciendo más fácil su extracción con tecnologías sencillas.

6.3 Metodología

6.3.1 Materiales

6.3.1.1 Materia prima

Harina de plátano

Se trabajó con la variedad Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L*.) suministrada por la Granja Integral Andalucía ubicada a 4° 27' latitud norte y 75° 47' longitud oeste, la temperatura y la humedad relativa promedio son 22°C y 85%, la presión atmosférica es de 1018,63 hPa y la altura es de 1200 msnm (Figura 12.); los racimos fueron seleccionados y cosechados a las 16 semanas bajo los criterios técnicos manejados por la asociación de Musáceas del Quindío y se almacenaron a 13ºC de temperatura y 90%HR, hasta la realización de la caracterización física para lo cual se empleó la Lista de Descriptores para el Banano (INIBAP, 1996); se tomarán tres plantas con su racimo en formación al tiempo y se seleccionaron aleatoriamente, se evaluaron 4 características (peso, longitud, diámetro y densidad de los frutos), determinadas en la segunda mano del racimo; adaptado según la metodología propuesta por (Daniells, Jenny, Karamura, & Tomekpe, 2001).

Ilustración 12. *Planta de plátano Dominico Hartón (Musa Paradisiaca L.) Granja integral Andalucía ubicada a 4°27´ latitud norte y 75°47´longitud oeste.*

Harina de Trigo

Se utilizó una harina de trigo comercial, seleccionada por ser la de mayor uso en el sector industrial de la región, comprada en un supermercado de la ciudad de Armenia Quindío, la empresa garantiza en su composición los siguientes ingredientes: Harina de trigo (cereal que contiene gluten) fortificada con Niacina (55

mg/kg), Hierro (44 mg/kg), vitamina B1 (6mg/kg), vitamina B2 (4 mg/kg) y ácido fólico (1,54 mg/kg).

6.3.2 Caracterización física del plátano Dominico Hartón *(Musa paradisiaca L.)*

6.3.2.1 Recepción y adecuación

Los racimos se ubicaron a la sombra protegidos del sol y del agua, y se transportaron en canastillas a la planta piloto de alimentos de la Universidad del Quindío, donde se almacenaron en racimo a una temperatura de 13ºC y 90% HR, hasta el momento de su análisis, se enumeraron, rotularon, desgajaron y seleccionaron los frutos para las diferentes pruebas (Figura 13.).

Ilustración 13. *Traslado y rotulado de Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

6.3.2.2 Peso

Se registró el peso de cada uno de los frutos (plátanos con cáscara), posteriormente de la pulpa y la cáscara por separado; respetando su ubicación dentro del racimo y la mano (Castellanos & Lucas, 2011). Estas medidas se realizaron en una balanza de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g. Se calcularon los porcentajes de pulpa y cáscara para determinar los rendimientos de producción.

6.3.2.3 Longitud

Se realizaron con una cinta métrica con ± 1 mm de precisión, a cada uno de los frutos de plátano con y sin cáscara. La medida de la longitud se realizó a la sección transversal externa debido a la curvatura que presenta el plátano siguiendo la metodología descrita por Castellanos & Lucas, (2011).

6.3.2.4 Diámetro

El diámetro de cada plátano se calculó con la fórmula de perímetro de un círculo, se midieron tres perímetros: proximal, intermedio y distal, con cinta métrica. Para la fórmula se utilizó el perímetro intermedio que determina el ancho máximo del plátano siguiendo la metodología descrita por Castellanos & Lucas, (2011).

$$P = \pi D_{intermedio} \quad (1)$$

Dónde:
P= Perímetro (cm)
D intermedio = Diámetro intermedio (cm)

6.3.2.5 Densidad aparente

La densidad se calculó utilizando el peso del plátano y el peso del volumen desplazado del agua, se aplicó en este caso la metodología sugerida por Castellanos & Lucas, (2011).

$$pp = mp/mad \quad (2)$$

Dónde:
ρp = densidad del plátano (g/ml)
mp= masa del plátano (con cáscara o sin cáscara) (g)
mad = masa del agua desplazada por el plátano (con cáscara o sin cáscara) (g ó ml).

6.3.3 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados empleando el Software Statgraphics versión Stratus, se realizaron análisis de varianza (ANOVA SIMPLE)

acoplada a una prueba de Tukey con nivel de significancia del 95% (α=0.05). Todas las muestras se analizaron al menos por triplicado.

6.3.4 Obtención de las harinas

La obtención de las harinas de plátano se llevó a cabo utilizando dos métodos diferentes, cuyas diferencias radican en el proceso de molienda; los cuales se describen a continuación.

6.3.4.1 Método 1 (Harina H1)

Los plátanos se pesaron en una balanza analítica de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g, se pelaron y se cortaron en rodajas de espesor aproximado de 1 cm, se llevaron a una estufa de secado marca Binder GmbH de convección a 40 °C durante 48 horas, se molieron en un molino de disco (Corona). Finalmente se pasaron por filtro con membrana de tamaño de poro de 100 µm, con el fin de obtener la harina (Lucas, Quintero, & Cárdenas Valencia, 2013).

6.3.4.2 Método 2 (Harina H2)

Los plátanos se pesaron en una balanza analítica de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g, se pelaron y se molieron directamente en un molino de disco (Corona), se pasaron por filtro con membrana de tamaño de poro de 100 µm, con el fin de obtener la harina y se llevaron a una estufa de secado marca Binder GmbH de convección a 40 °C durante 48 horas, con el fin de obtener la harina.

6.3.4.3 Harina de trigo comercial (HT)

Se utilizó una harina de trigo comercial comprada en un supermercado de la ciudad de Armenia Quindío, elaborada con los siguientes ingredientes: Harina de

trigo (cereal que contiene gluten) fortificada con Niacina (55 mg/kg), Hierro (44 mg/kg), vitamina B1 (6mg/kg), vitamina B2 (4 mg/kg) y ácido fólico (1,54 mg/kg) (Etiquetado).

6.3.4.4 Porcentaje de harina de recuperada

El porcentaje de harina recuperada se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\%\ de\ almidón\ recuperado = \frac{Peso\ de\ harina\ recuperada}{Peso\ de\ la\ pulpa}\ x\ 100\% \quad (3)$$

6.3.5 Determinación de las variables fisicoquímicas de las harinas

6.3.5.1 Análisis proximal harinas

El contenido de humedad se determinó por método oficial AOAC 925.10 (A.O.A.C. USA, 2005), el contenido de ceniza se realizó siguiendo el método oficial AOAC 923.03 (A.O.A.C. USA, 2005), la fibra se determinó por método oficial AOAC 991.42 (A.O.A.C. USA, 2005), la grasa se cuantificó por el método Oficial AOAC 922.06 (A.O.A.C. USA, 2005) y la cantidad de proteínas por el método oficial AOAC 960.52 (A.O.A.C. USA, 2005); los carbohidratos y el valor calórico se determinaron por diferencia de acuerdo al cálculo según el siguiente aporte nutricional por gramo. Carbohidratos 4 kcal/g, grasas 9 Kcal/g y proteínas 4 Kcal/g (Ruiz-Cano et al., 2013). La caracterización proximal se realizó por triplicado utilizando un diseño experimental completamente al azar con un nivel del 95% de confianza ($P \leq 0,05$) ($n=3$).

6.3.5.2 Color

El color de las harinas, se midió por reflectancia en un espectrocolorímetro marca HunterLab ColorQuest XE calibrado con un estándar blanco en forma de placa (L=97.79, a=-0.53 y b=+2.28), leyendo con un iluminante de tipo C, la valoración del color se realizó utilizando el sistema uniforme de espacio de color CIELab; en donde L* representa la luminosidad, a* la variación rojo–verde y b* la variación del amarillo–azul (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

El índice de blancura se calculó teniendo en cuenta dichos parámetros de acuerdo con la ecuación (4).

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

Con la finalidad de determinar la diferencia de color ΔE* (métrica), entre la harina de trigo comercial (referencia) y las harinas de plátano obtenidas (ensayo), a partir de las magnitudes colorimétricas definidas anteriormente, es necesario calcular el valor descrito en la ecuación (5):

$$\Delta E^*_{CIE} = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (5)$$

6.3.5.3 Poder de Hinchamiento (PH), Capacidad de Retención de Agua (CRA), Capacidad de Absorción de Agua (CAA) y Capacidad de Retención de Aceite (CRAc) a temperatura ambiente de las harinas.

Poder de Hinchamiento (PH)

Es la facilidad que tiene el producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua. Se pesaron 0,833 g de muestra en una probeta graduada de 10 mL y se adicionó un exceso de agua (10mL) y se agitó suavemente; se dejó en reposo durante 24 horas, a temperatura ambiente de 26 °C ± 0,5 y luego se midió el volumen final (Vf) de la muestra en mL (Robertson et al., 2000). El resultado de PH se obtuvo aplicando la ecuación (1.6).

$$PH = \frac{Vf(mL)}{peso\ de\ la\ muestra\ (g)} \quad (6)$$

Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Se define como el peso en gramos de agua retenidos por un gramo de matera seca. Se pesó 0,5 g de muestra en un tubo de ensayo, posteriormente se adicionó 10 mL de agua, se agitó y se dejó hidratar durante 18 horas. Posteriormente se centrifugó a 2000 rpm durante 30 min, se separó el sobrenadante y se determinó el

peso del residuo húmedo (RH), se secó a 105°C ± 1 por 24 horas y se determinó el peso del residuo seco (RS) (McConnell, Eastwood, & Mitchell, 1974). La CRA se obtuvo aplicando la ecuación (7).

$$CRA = \frac{RH\ (g) - RS\ (g)}{RS\ (g)} \quad (7)$$

El porcentaje de solubilidad se calculó indirectamente de la CRA con la ecuación (8).

$$\%\ Solubilidad = \frac{peso\ de\ muestra\ (g) - RS\ (g)}{peso\ de\ muestra\ (g)} \quad (8)$$

Capacidad de Absorción de Agua (CAA)

Expresa la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua bajo la acción de una fuerza patrón. Se pesaron 0,5 g de muestra en un tubo de ensayo, se adicionó un exceso de agua (10 mL) y se agitó durante 30 minutos; posteriormente se centrifugó la muestra a 3000 rpm durante 10 minutos, se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento (Lajolo & wenzel de Menezes, 1998). La CAA se obtuvo aplicando la ecuación (9).

$$CAA = \frac{peso\ sedimento\ (g) - peso\ muestra\ (g)}{peso\ sedimento\ (g)} \quad (9)$$

Capacidad de Retención de Aceite (CRAc)

Expresa la máxima cantidad de retención de aceite en mL por un gramo de muestra (mL/g). En un tubo de ensayo se pesó 0,5 g de muestra a la cual se le adicionó 5 mL de aceite de maíz, se agitó durante 30 minutos y posteriormente se centrifugó por 30 minutos a 4800 rpm y finalmente se midió el volumen del sobrenadante (Chou,C.F and Huang, 2003). La CRAc se determinó con la ecuación (10).

$$CRAc = \frac{Vi - Vf}{peso\ de\ la\ muestra\ (g)} \quad (10)$$

6.3.5.4 Viscoamilografia (RVA)

Las propiedades funcionales de tipo textural de las harinas, se realizaron por medio de un analizador rápido de viscosidad RVA-4 (Viscoamilograma RVA Rapid Visco Analyser, Newport Scientific Narabeen, NSW, Australia), con perfil de temperatura de 50ºC hasta 90°C incrementando 6°C/min., la temperatura se mantuvo durante 5 min. y luego se enfrió hasta 50°C disminuyendo 6°C/min. En la preparación de las muestras se utilizó una suspensión al 8% de muestra en base seca en presencia de inhibidor de α-amilasa ($AgNO_3$; 0.002 mol/l) (Lucas et al., 2013).

6.3.5.5 Caracterización Térmica

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La determinación de la temperatura y la entalpía de gelatinización (T_p y ΔH_p) de la harina se llevó a cabo en un equipo DSC NETZSCH 214 Polyma, en muestras de (10,00 ± 0,50) mg con un contenido de humedad del 80%, para una velocidad de calentamiento de 5°C/min, desde temperatura ambiente hasta 100°C, en atmósfera de Nitrógeno (Lucas et al., 2013).

6.3.5.6 Caracterización Estructural

Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF)

Se utilizó un espectrofotómetro IR Prestige 21 Shimadzu en el modo de porcentaje de transmitancia, en la región del infrarrojo medio comprendido entre 4.000 y 400 cm^{-1} (López-Medina, Agudelo, Fonfthal, & Ariza, 2017).

Difracción de Rayos X (DRX)

Las muestras fueron reducidas a un polvo fino y pasados a través de una malla de 150 µm, posterior a esto se empacaron densamente dentro de una charola de aluminio; los patrones de difracción de rayos X se obtuvieron usando un difractómetro marca Bruker D8 – Advance provisto de un tubo con ánodo de CuK que emite radiación de λ = 1.543 nm y un detector con un voltaje de 40 KV y una corriente de 40 mA. Las mediciones se realizaron en un rango de 3 – 60° (Lucas et al., 2013).

Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

Las imágenes fueron obtenidas de un microscopio electrónico de barrido (SEM) (JSM – 6610LV, JEOL Ltd. Japón). Las muestras fueron pulidas con diferentes tipos de papel lija (Fandeli SIC A-99-600, 1200). Las condiciones de análisis usadas para la obtención de las imágenes sobre diferentes superficies con la señal electrónica retro dispersa fueron: Un voltaje de 15 kV, una presión de 12 – 20 Pa en el porta muestras. El análisis fue hecho en cortes internos y transversales observándose sistemáticamente con 200x, 500x y 1000x aumentos (García-Tejeda et al., 2011).

6.3.6 Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados empleando el software STATGRAPHICS CENTURION XV versión 15.2.05, se realizaron análisis de varianza (ANOVA SIMPLE) acoplada a una prueba de Tukey con nivel de significancia del 95% (α=0.05). Todas las muestras se analizaron al menos por triplicado.

6.4 Resultados y Discusión

6.4.1 Caracterización física y morfológica de los racimos y frutos

6.4.1.1 Caracterización Física

La evaluación de los racimos seleccionados (Figura 14) se muestra en la Tabla 9. El R1 presentó los valores más altos en general, mayor número de manos por racimo (6), mayor número de frutos por mano (10), mayor número de frutos por racimo (58) y el mayor peso del dedo central (460 g); probablemente esto podría tener relación con el desarrollo de la planta, la ubicación de la misma y las prácticas agrícolas.

Ilustración 14*. Racimo y raquis Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

En todos los casos se obtuvo el mayor número de frutos en las manos 1, 2 y 3 y el peso del raquis fue menor al 10% del peso del racimo, generando buenos rendimientos en fruta y pulpa del racimo.

Tabla 9. *Características físicas del plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

Descriptor	R1	R2	R3	Promedio
Peso del racimo, Kg	20,80	14,00	12,60	15,80 ± 4,39
Peso del dedo central, g	460,00	447,50	432,30	446,60 ± 13,88
Grosor del raquis, cm	5,00	4,00	3,80	4,27 ± 0,64
Longitud del raquis, cm	106,00	91,00	97,00	98,00 ± 7,55
Número de frutos/mano	10,00	9,00	7,00	9,00 ± 2,00
Número de manos /racimo	6,00	5,00	5,00	5,00 ± 1,00
Número de frutos/racimo	58,00	44,00	35,00	46,00 ± 12,00

Los porcentajes de cáscara oscilaron entre 39-42%, similares a lo reportado en otros trabajos realizados con esta variedad, Dufour et al, (2008). Los frutos de la mano uno de todos los racimos, presentan pesos promedios mayores (384,72 g)

(Tabla 10), decreciendo de acuerdo a la mano evaluada, es así como los frutos de la mano cinco en todos los racimos presentaron un peso promedio de 303,79 g, generando un 21% menos de crecimiento comparando estos con el promedio de la mano uno. Al analizar los aportes porcentuales de pulpa y de cascara en los diferentes frutos, se puede evidenciar que no existe diferencia estadística significativa entre ellos.

Tabla 10. *Peso, promedio y % de pulpa y cáscara de los frutos por mano plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

Mano	Peso (g)	% Pulpa	% Cáscara
1	384,72 ± 47,14^{a}	59,33 ± 2,77^{a}	40,92 ± 1,28^{a}
2	354,27 ± 47,32^{b}	60,76 ± 13,10^{a}	41,58 ± 7,92^{a}
3	325,92 ± 35,72^{c}	59,52 ± 1,91^{a}	40,59 ± 2,15^{a}
4	313,14 ± 45,91^{c}	59,16 ± 3,13^{a}	39,53 ± 1,20^{a}
5	303,79 ± 32,97^{c}	60,52 ± 1,23^{a}	39,12 ± 1,51^{a}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

La tendencia, de mayor a menor de los frutos de las manos (Figura 15.) uno a cinco, se conserva para la longitud y diámetro de los frutos con y sin cáscara (Tabla 11). Las longitudes cercanas a los 25 cm y diámetro medios en la pulpa mayores a los 4.0 cm, confirman el gran potencial de industrialización de las musáceas.

Ilustración 15. *Manos Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

Las densidades de los diferentes frutos de las manos se encuentran en la Tabla 11 y la figura 16, las cuales presentan poca variabilidad en los datos y se

encuentran en un rango de densidades de 1.00 a 1.03 g/ml; en cuanto a la densidad del fruto los más densos fueron los frutos de las manos 1 y 4 con valores de 1.02 g/mL cada uno, sin presentar diferencias significativas con los frutos de las otras manos.

Tabla 11. *Características de los frutos plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

Mano	Longitud con Cáscara (cm)	Longitud sin Cáscara (cm)	Diámetro con Cáscara (cm)	Diámetro sin Cáscara (cm)	Densidad con Cáscara (g/ml)	Densidad sin Cáscara (g/mL)
1	34,31 ± 2,41^{a}	28,14 ± 2,86^{a}	5,11 ± 0,21^{a}	4,16 ± 0,30^{a}	1,01 ± 0,03^{a}	1,04 ± 0,15^{a}
2	33,52 ± 2,00^{ab}	27,79 ± 2,01^{a}	4,96 ± 0,18^{b}	4,03 ± 0,12^{a}	1,00 ± 0,05^{a}	1,01 ± 0,05^{a}
3	32,30 ± 2,17^{bc}	26,11 ± 2,07^{b}	4,78 ± 0,21^{c}	5,27 ± 6,47^{a}	1,03 ± 0,04^{a}	1,00 ± 0,03^{a}
4	30,17 ± 2,49^{c}	23,52 ± 3,80^{c}	4,84 ± 0,19^{c}	3,93 ± 0,17^{a}	1,03 ± 0,03^{a}	1,01 ± 0,02^{a}
5	29,29 ± 2,58^{c}	23,72 ± 2,47^{c}	4,83 ± 0,14^{c}	3,96 ± 0,13^{a}	1,03 ± 0,04^{a}	0,98 ± 0,10^{a}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Ilustración 16. *Longitud dedos con y sin cáscara y diámetro Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L)*

6.4.2 Obtención de las harinas de plátano

6.4.2.1 Harinas de Plátano

Porcentaje de Rendimiento en la obtención de harina de plátano

En la tabla 12 se observa que para el plátano Dominico Hartón, se obtuvo el 40.47% de cáscara y 59.53% de pulpa; el rendimiento para el método 1 en la

obtención de harina con respecto al plátano con cáscara fue 22.79% y con respecto a la pulpa húmeda fue de 38.29% y el método 2 presentó un rendimiento de recuperación de 37,97%.

Ilustración 17*. Harina y almidón obtenidos Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

Estos resultados fueron mayores a lo reportado por Montoya & Quintero, 2014 y Mazzeo M., León Agatón, Mejía Gutierrez, Guerrero Mendieta, & Botero López, 2010, que obtuvieron valores de 16.5 y 14.3% para el rendimiento de harina con respecto al plátano con cáscara y 25.7 y 26.5% con respecto a la pulpa húmeda respectivamente, en estudios que han evaluado el rendimiento en la obtención de harina de plátano Dominico Hartón, para posible uso agroindustrial.

Tabla 12. *Porcentaje harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) recuperada*

Mét. 1	Plátano entero (kg)	Pulpa (Kg)	Materia seca (Kg)	Harina recuperada (Kg)	Mét. 2	Plátano entero (kg)	Pulpa (Kg)	Materia seca (Kg)	Harina recuperada (Kg)
1	9,58	5,70	0,48	2,20	1	1,68	1,00	0,48	0,35
2	5,60	3,30	0,27	1,25	2	0,83	0,49	0,27	0,09
3	7,30	4,40	0,31	2,81	3	0,53	0,32	0,31	0,06

6.4.3 Análisis Proximal

La composición proximal de las harinas de plátano (H1, H2) y de la harina de trigo (HT) se observa en la Tabla 13. La H1 con 9.58%, presentó mayor contenido de humedad que H2, estos resultados comparados con los obtenidos por de da Mota, Lajolo, Cordenunsi, & Ciacco, (2000) (3,91 a 6,17%) para plátano de diferentes variedades, evidenciaron valores muy superiores y comparados con Lawal, Ogundiran, Awokoya, & Ogunkunle, (2008) valores similares con un contenido de humedad reportados de 9,5% para harina de esta misma variedad de plátano. El contenido de humedad registrado en las harinas de plátano Dominico Hartón, se encuentra dentro de los parámetros de calidad establecidos por la Norma Técnica Colombiana para harina de trigo NTC 262 (ICONTEC, 2006), asimismo la HT presentó valores similares en todos los parámetros fisicoquímicos comparados con los valores reportados en la literatura (de la Horra & Seghezzo, 2012).

La humedad de las harinas tiene una influencia directa por la tecnología de secado y no por la composición del producto. Con respecto a los valores de cenizas, entre H1 y H2 no hubo diferencias significativas, y los valores obtenidos son similares con lo reportado por otros autores (da Mota et al., 2000), mientras que en parámetros como proteína, grasa y fibra las dos harinas presentaron diferencias significativas, que indica que el método de extracción probablemente afecta la composición de las mismas, en todos los casos H1 reportó valores más altos. En cuanto a la proteína H1 y H2 presentaron valores de 3,33 y 3,05% respectivamente, similares con lo reportado por (da Mota et al., 2000) y significativamente menores al contenido de proteína encontrado para la harina de trigo (12.61%) en este estudio, debido a la no presencia de la red de gluten en las harinas de plátano.

El contenido de grasa en H1 fue de 0,53% y en H2 de 0,21%, los valores de H1 concuerdan con (da Mota et al., 2000); H1 no presenta diferencias significativas con HT. El porcentaje de fibra permitió comprobar que las harinas de plátano aportan mayores cantidades de fibra que la harina de trigo.

Los resultados de carbohidratos y valor calórico de las harinas de plátano están en el rango de 82,60-84,68% y 348,49-352,81 Kcal/100g que representan un aporte mayor a los de la harina de trigo; esto sumado al mayor aporte de fibra, grasa y minerales de la harina de plátano; hacen factible mejorar sus propiedades tecnológicas para el desarrollo de alimentos libres de gluten.

Tabla 13. *Análisis fisicoquímico Harinas*

	Humedad (%)	Proteína Total (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)	Valor Calórico (Kcal/100g)
H1	9,58 ± 0,03[a]	3,33 ± 0,03[a]	0,53 ± 0,02[a]	1,58 ± 0,03[a]	2,38 ± 0,02[a]	82,60	348,49
H2	7,49 ± 0,02[b]	3,05 ± 0,02[b]	0,21 ± 0,01[b]	1,19 ± 0,02[b]	3,39 ± 0,03[a]	84,68	352,81
HT	12,60 ± 0,17[c]	12,61 ± 0,21[c]	0,50 ± 0,03[a]	0,46 ± 0,02[c]	1,06 ± 0,06[b]	65,41	311,00

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

6.4.4 Color e índice de blancura

Los parámetros de color de las harinas de plátano nativa y el control HT se presentan en la Tabla 14. Las harinas de plátano H1 y H2 presentaron luminosidad (L*) media con diferencias significativas entre ambas, debido a las diferencias en los procesos de extracción, mientras que HT obtuvo una luminosidad alta de 92.01 unidades. En cuanto a las variables a* y b*, la H2 con valores de 3.17 y 17.70 unidades tuvo mayor desplazamiento hacia los tonos rojos y amarillos que la H1, lo que demuestra que el método de extracción y el grado de maduración, si afectan el color de las harinas de plátano. Colmenares, Marín, Martínez, & Pérez, (2009) obtuvieron valores mayores para L* y menores para b* en plátano hartón gigante, popocho verde y FHIA 21. Aunque el color de las dos harinas es similar, el valor de ΔE* de 7.2 muestra que estas diferencias son perceptibles al ojo humano (Pereira, 2011). En este mismo sentido H1 y H2 presentan diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para el IB entre sí; y también presentan diferencias significativas con HT. Al observar el plano cromático a*b*, esta coordenada ubica las harinas de plátano en la zona

de los grises, lo cual denota mucha acromaticidad y aspecto mate. Los valores de IB indican que las harinas de plátano y trigo se encuentran dentro de la gama de color de los amarillos claros, pero la harina de trigo se acerca más al blanco (Tabla 2.3).

Tabla 14. *Coordenadas de color CIELAB harinas*

Muestra	L*	a*	b*	IB
H1	$73,33 \pm 0,31^{a}$	$1,33 \pm 0,15^{a}$	$15,70 \pm 0,10^{a}$	$69,03 \pm 0,23^{a}$
H2	$66,70 \pm 0,10^{b}$	$3,17 \pm 0,06^{b}$	$17,70 \pm 0,10^{b}$	$62,16 \pm 0,08^{b}$
HT	$92,01 \pm 0,06^{c}$	$0,56 \pm 0,00^{c}$	$9,78 \pm 0,10^{c}$	$74,16 \pm 0,10^{c}$

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

6.4.5 Determinación de las propiedades funcionales

La cuantificación de las propiedades funcionales es muy importante debido a que proporcionan información que permite determinar el nivel de utilización de las muestras, para la formulación de los ingredientes y el empleo de estos en el desarrollo de nuevos productos alimenticios (Fasasi, Eleyinmi, & Oyarekua, 2007). En la Tabla 15. se muestran los resultados de las interacciones de las harinas con el agua. El valor de (CAA) para H1 y H2 fue de 0,65 y 0,66 respectivamente sin diferencias significativas; son ligeramente superiores al valor obtenido de 0,59 para la harina de trigo e inferiores a 1.5 gH_2O/g muestra en harina de trigo reportado por Tagodoe & Nip, (1994); en las harinas de plátano la CAA se puede atribuir probablemente al mayor contenido de fibra (Yangilar, 2013) y de carbohidratos principalmente almidón (Flores-Farías et al., 2000), se ha encontrado que un mayor contenido de estos compuestos puede propiciar una mayor cantidad de agua absorbida (Tjahjadi, Lin, & Brenne, 1988). La CAA de la harina de trigo está relacionada con la presencia de proteínas (Cerda-Mejía, Cerda Mejía, Pilamala Rosales, Moreno Miranda, & Pérez-Martínez, 2017); (Thompson, Liu, & Jones, 1982). Como se observa en la Tabla 2.5, existe diferencia significativa en la CRA entre las harinas de plátano y la harina de trigo, de la misma manera se observa que H1 presentó el valor más alto, esto se atribuye principalmente al almidón y a la

desintegración estructural de la matriz (Hwang & Kokini, 1992) debido a que las ramificaciones laterales de las moléculas del almidón facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares (N. D. Bermúdez, 2017), también puede deberse al tamaño del gránulo y la organización supra molecular de los componentes del almidón (Granados, Enrique Guzman, Acevedo, Díaz, & Herrera, 2014). Para la CH existió diferencias significativas entre las tres harinas. La H1 presentó una mayor capacidad de hinchamiento que H2 y HT (Tabla 2.5), posiblemente por el mayor contenido de fibra (Umaña, Alvarez, Lopera, & Gallardo, 2013) que presentaron las harinas de plátano (ver Tabla análisis proximal). Asimismo, con respecto a los valores del Índice de Solubilidad (IS) se observa que existen diferencias significativas entre las harinas de plátano y la HT. Según García, Aiello, Peña, Ruíz, & Acevedo, (2012) la cantidad de carbohidratos y fibra favorece la absorción de agua, de esta manera la solubilidad de las harinas de plátano es significativamente mayor, debido a que tienen un alto contenido de estos compuestos, comparadas con HT.

Tabla 15. *Interacción entre las harinas y el agua*

	CH (%)	CAA (g/g)	CRA (g/g)	IS (%)
H1	$11,20 \pm 0,09^{a}$	$0,65 \pm 0,03^{a}$	$3,10 \pm 0,12^{a}$	$0,58 \pm 0,04^{a}$
H2	$10,60 \pm 0,14^{b}$	$0,66 \pm 0,00^{a}$	$2,69 \pm 0,12^{a}$	$0,58 \pm 0,04^{a}$
HT	$9,76 \pm 0,06^{c}$	$0,59 \pm 0,02^{a}$	$1,90 \pm 0,11^{b}$	$0,25 \pm 0,03^{b}$

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

Los valores de CRAc se muestran en la Tabla 16., se observó diferencias significativas entre H1 y H2, mientras que H1 no presentó diferencias significativas con HT. La CRAc de las tres harinas es mayor que los resultados obtenidos por Araya-Quesada, Morales-Torres, Vargas-Aguilar, & Lea, (2014) para harina de plátano con cáscara y por Aguilera, (2009) que reportó valores entre 0,95 – 1,290 mL/g para harinas de leguminosas; también que las harinas de guisantes (0,69 mL/g) (Prinyawiwatkul, Beuchat, McWatters, & Phillips, 2002) y de judías (0,80 mL/g) (Granito, Brito, & Torres, 2007). Por otro lado la H2 y HT presentaron valores más altos que los observados en harina de soja (1,93 mL/g) (Chau, Cheung, & Wong, 1997).

Los valores de CRAc en las harinas de plátano, se deben probablemente al alto contenido de fibra y de almidón resistente (Duque & Delgado, 2016); sin embargo, los mayores valores de CRAc presentados por H1 y HT se puede relacionar con el mayor contenido de grasa en estas harinas (ver Tabla 13.), lo que puede favorecer las interacciones hidrofóbicas con el aceite. Por otro lado, las variaciones de la CRAc también vienen determinadas por la presencia de cadenas laterales no polares de aminoácidos presentes en la proteína que se unen a las cadenas laterales hidrocarbonadas del aceite (Aguilera, 2009).

Tabla 16. *Interacciones de las harinas y el aceite.*

Muestra	CRAc (mL/g)
H1	2,40 ± 0,07[a]
H2	1,83 ± 0,25[b]
HT	2,16 ± 0,06[a]

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

La diferencia significativa entre los valores experimentales para H1 y H2 se puede atribuir a la extracción de H2 donde se pudo presentar un proceso de desnaturalización de la proteína, que conllevaría la agregación de los grupos hidrofóbicos, y por lo tanto, la unión de dichos grupos con el aceite se vería reducida (Granito et al., 2007), además el porcentaje de grasa en H2 es significativamente menor y por tanto las interacciones hidrofóbicas serían menores que en H1.

6.4.6 Viscoamilografia (RVA)

En la Tabla 17., se observan las temperaturas de inicio de la gelatinización para H1, H2 y HT: fueron 79,69, 80,35 y 74,85 respectivamente; datos similares a los reportados por DSC confirman el comportamiento en los productos analizados.

***Tabla 17**. Perfiles de gelatinización y empastamiento de harinas de plátano y trigo.*

Parámetros	H1	H2	HT
Temperatura de inicio de gelatinización (°C)	79,69	80,35	74,85
Tiempo en temperatura de inicio de gelatinización (min)	5,97	6,09	5,13
Viscosidad máxima Vmax (cP)	1263	915	825
Temperatura en pico (°C)	90	89,95	90,05
Tiempo en pico (min)	10,72	12,35	8,2
Viscosidad de la pasta caliente VPC (cP)	1230	923	523
Viscosidad mínima Vmin (cP)	1214	912	490
Viscosidad de la pasta fría (VPF) (cP)	1358	1012	850
Breakdown (cP)	49	3	335
Setback (cP)	144	100	360
Facilidad de cocción (min)	4,75	6,26	3,07
Consistencia	95	97	25

El comportamiento en viscosidad de las pastas de las harinas se muestra en la Figura 18 A y B. La temperatura de empastamiento da inicio a la primera etapa o etapa de calentamiento, incrementando la viscosidad de la pasta hasta llegar a un pico de viscosidad de 1263 y 915 cP para las H1 y H2 respectivamente y 825 cP para la HT; el incremento en la viscosidad se debe al hinchamiento de los gránulos de almidón al calentarse, los puentes de hidrógeno más débiles en el área amorfa se rompen y el gránulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata (Whisler & BeMiller, 1997); luego el gránulo pierde su cristalinidad al gelatinizarse, colapsando (Whistler, BeMiller, & Paschall, 1984). El pico máximo de viscosidad se alcanza durante la cocción, siendo un indicador de la resistencia de las pastas formadas por la gelatinización durante el procesamiento (Adebowale, Sanni, & Fadahunsi, 2011); los valores de viscosidad máxima observados en este trabajo son menores que los valores (1433-1974 cP) obtenidos para harinas de musáceas variedad plantains de (D. Dufour et al., 2008) y menores (2471–2864 cP) obtenidos para el trigo por (Bamigbola, Awolu, & Oluwalana, 2016). El mayor valor de

viscosidad de las harinas de plátano, se debe además de su alto contenido de almidón al mayor contenido de fibra que mejora sus propiedades viscoelásticas. En la segunda etapa del proceso las pastas disminuyeron su viscosidad hasta los 1214 y 912 cP para H1 y H2 y 490 cP para HT. Finalmente, durante la fase de enfriamiento, se presentó un incremento en la viscosidad debido a la formación del gel, con valores de 1358 y 1012 cP para H1 y H2 y 850 cP para las pastas de HT. La viscosidad final define la calidad particular del almidón y la estabilidad de la pasta cocida; la viscosidad más baja la presentó la HT demostrando su capacidad reducida para formar pastas viscosas (Awolu, Omoba, Olawoye, & Dairo, 2017).

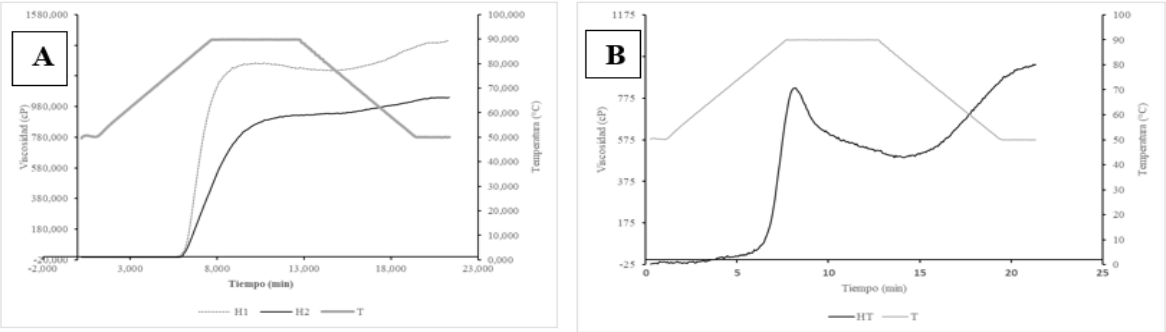


Ilustración 18. *A) Curvas de empastamiento de RVA de harina nativa de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (H1) y (H2) B) Curvas de empastamiento de RVA de harina de trigo (HT)*

La inestabilidad del gel (Breakdown), obtuvo valores de 49 y 3 cP para las pastas de harina de plátano H1 y H2 y 335 cP para la pasta de harina de trigo, la HT presenta mayor inestabilidad, comparada con las harinas de plátano, siendo más estable H2 que H1, debido probablemente al menor tamaño de partícula de los gránulos de almidón presentes; así mismo Awolu et al., (2017) informó que menores valores de Breakdown generan una mayor capacidad para soportar el calentamiento y el corte durante la cocción. Los valores de viscosidad de recuperación (Setback) se encuentran asociados a los contenidos de amilosa (Montoya et al., 2014) y obtuvieron valores de 144 y 100 cP para H1 y H2 y 360 cP HT; harinas y almidones con altos contenido de amilosa presentan mayores viscosidades de recuperación y se asocia a la retrogradación. La variable facilidad de cocción se encuentra relacionada con el tiempo que transcurre en alcanzar el hinchamiento de todos los

gránulos desde el momento en que este se inicia y obtuvo valores de 4,75 y 6,26 min para H1 y H2 y 3,07 min para la pasta de HT.

6.4.7 Caracterización Térmica

6.4.7.1 Temperatura de Gelatinización por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La figura 19. muestra los termogramas de las harinas de plátano y la harina de trigo. Las harinas de plátano presentaron temperaturas de inicio de gelatinización (T_o) entre 73,7 – 77,3°C y temperaturas pico (Tp) entre 77,8 – 85,2°C, la entalpía de gelatinización H_p, obtuvo valores entre 9,398 – 10,435 J/g y la temperatura final del proceso (T_e) estuvo entre 80,5 - 84,1°C; estos valores son superiores a lo reportado por Dufour et al., (2009) y Montoya et al., (2014) para esta misma variedad de plátano, (Dufour et al., 2008) encontraron que la T_o para harina de guineo fue de 64.40°C; no obstante Nimsung, Thongngam, & Naivikul, (2007) revelaron valores de 78ºC para harina de musáceas y valores de entalpías de gelatinización entre 15 y 16 J/g, las diferencias en las temperaturas de gelatinización dependen en gran medida de las condiciones genéticas de los frutos, las condiciones climáticas del cultivo y de las semanas de cosecha (Montoya et al., 2014). La harina de trigo presentó la gelatinización como un suave pico endotérmico sobre la línea base del termograma con 59,07±0,02ºC de temperatura inicial (T_o), la temperatura de pico (Tp) fue de 64,18±0,03ºC y la temperatura final (T_e) de 72,94±0,09°C. La energía necesaria para completar el proceso fue de 5,681±0,31 J/g, estos valores son similares a lo reportado por Montoya López & Giraldo Giraldo en, (2010). Teniendo en cuenta que los análisis de DSC se realizaron con un 80% de humedad, los resultados de las curvas de temperatura de gelatinización para la harina de plátano Dominico Hartón, concuerdan con estudios previos de harina de maíz con temperaturas que varían entre 67,3 y 73,2°C con 75% de humedad, los cuales indican que para altos porcentajes de humedad la temperatura de gelatinización disminuye (Pineda, Bedoya, & Rosales, 2011) y son mayores a las temperaturas de la harina de trigo con valores de 61,34°C para (T_e) (Montoya López & Giraldo Giraldo, 2010). El principal cambio que ocurre en el proceso de gelatinización, es el

cambio de una forma semicristalina (la cual no es digerible), a una forma eventualmente amorfa (digerible) (Tester & Morrison, 1990), cuando el almidón es hidratado y calentado, se observan cambios químicos, de textura y estructurales los cuales influyen de manera considerable en la calidad del producto final cuando este es incorporado. Al comparar los termogramas, se observa que los datos de gelatinización son mayores en las harinas de plátano por 10°C aproximadamente, lo que demuestra que el almidón del plátano es más resistente que el almidón de trigo.

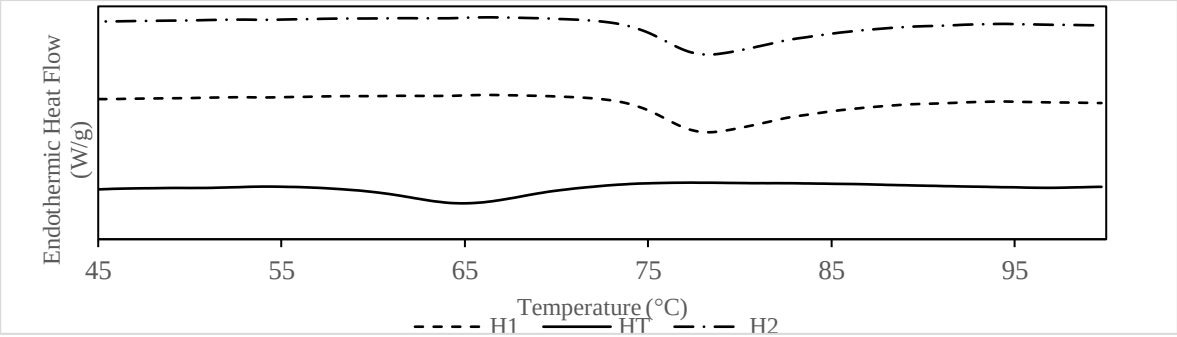


Ilustración 19. *Termogramas de DSC harina nativa de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (H1) y (H2) y harina de trigo comercial (HT)*

6.4.8 Caracterización Estructural

6.4.8.1 Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)

Los espectros FTIR de las harinas se presentan en la Figura 20. Las tres harinas mostraron estiramientos principales de los grupos funcionales característicos; bandas cercanas a los 3400 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones por estiramientos de grupos hidroxilos (OH), a 1640 cm^{-1} atribuible a la banda de flexión de los grupos (O-H) del agua, que indica que los polímeros son higroscópicos (Avilés, 2006), las bandas observadas a 2988 cm^{-1} se deben a la tensión simétrica y asimétrica de los grupos C-H de grupos CH_2 y CH_3 principalmente de cadenas carbonadas (Abugoch, Tapia, Villamán, Yazdani-Pedram, & Díaz-Dosque, 2011),

bandas a los 1159, 1082 y 1014 cm^{-1} correspondientes al estiramiento de C-O y alrededor de 1400 cm^{-1} atribuible a flexión de grupos metilo y metileno, las bandas comprendidas entre 1400 y 1700 cm^{-1} se atribuyen a modos vibracionales de grupos C=O, C-N y N-H, presentes en HT, debido al contenido y naturaleza de sus ácidos grasos y proteínas (García-Salcedo, Torres-Vargas, & Ariza-Calderón, 2017) proteínas presentes en forma de gluten, de las cuales carece la harina de plátano.

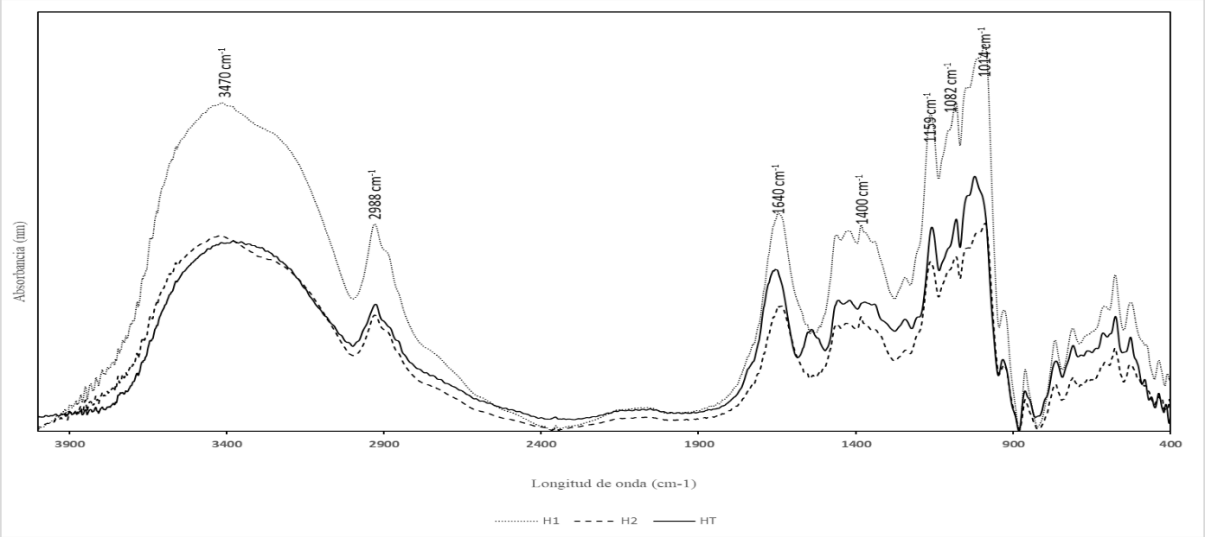


Ilustración 20*. Espectros FTIR harinas nativa de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (H1) y (H2) y harina de trigo comercial (HT)*

6.4.8.2 Difracción de Rayos X (DRX)

De acuerdo a la evaluación hecha por difracción de rayos X, la estructura de las harinas de plátano Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L*.), presentaron un patrón difracción tipo C, el cual es una mezcla entre los polimorfismos A y B. Las harinas de plátano registraron picos en los ángulos 2 θ = 12, 15, 17, 23 (Figura 21.), este patrón de rayos X encontrado coinciden con lo reportado por otros autores (Millan-Testa, Mendez-Montealvo, Ottenhof, Farhat, & Bello-Pérez, 2005) que determinaron un patrón tipo C para harina de Musa Paradisiaca. La difracción de rayos X tipo C como la obtenida para los almidones de plátano, se encuentra relacionada con una mayor proporción de cadenas largas de amilopectina; debido al arreglo de estas cadenas en una estructura cristalina la hidrólisis enzimática de

este tipo de almidón se ve disminuida, esta característica del almidón de plátano puede ser utilizada para la producción de almidón resistente (Aparicio-Saguilán et al., 2005). El espectro de difracción de rayos X de la harina de trigo (Figura 2.7) presentó un pico leve alrededor de 2θ=15º un pico pronunciado a los 2θ=17º y un pico menos pronunciado a 2θ = 23º, estos picos son característicos del patrón tipo A, propio del almidón de harina de trigo (Oliveira, Alencar, & Steel, 2018). Los patrones de difracción de rayos X tipo A, presentan un tipo compacto de paquete cristalino de las dobles hélices, existen contenidos bajos de moléculas de agua y forma una celda unitaria del tipo monoclínico.

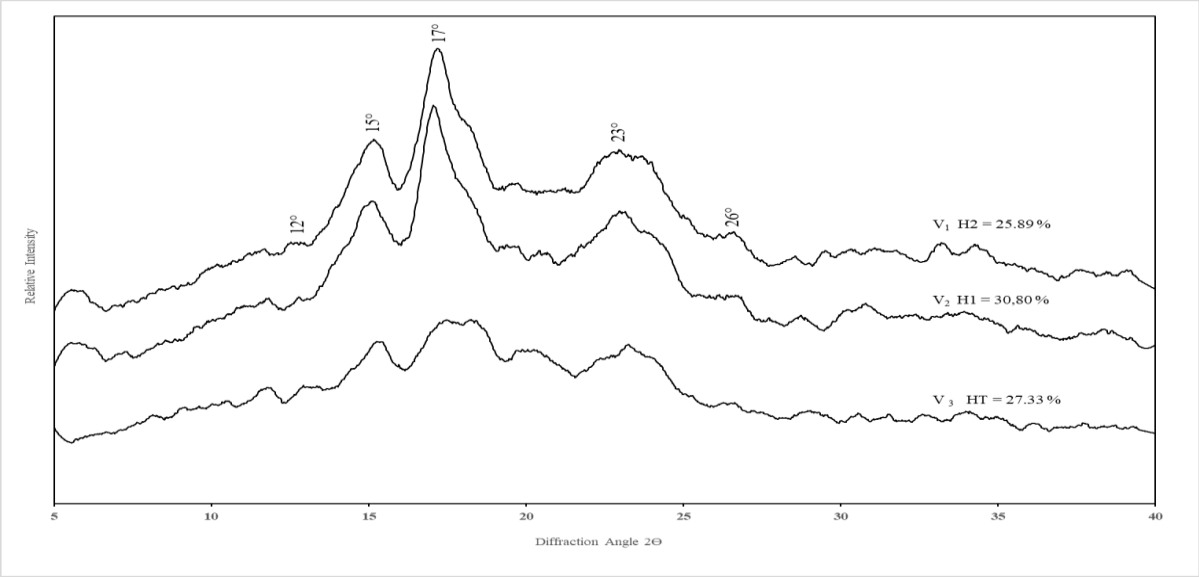


Ilustración 21. *Difractogramas harinas nativas de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) y harina de trigo comercial (HT)*

La H1 presentó el mayor porcentaje de cristalinidad (30,80%), este nivel puede ser importante ya que durante el almacenamiento de alimentos se presenta el fenomeno de retrogradación del almidón, que modifica las propiedades de textura y nutricionales de productos a base de estos. Los almidones con mayor cristlinidad pueden retogradar a mayor velocidad o producir estructuras que son resistantes a la hidrolisis por las enzimas digestivas (Agama-Acevedo, Bello-Pérez, Pacheco-Vargas, & Evangelista-Lozano, 2015).

6.4.8.3 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

En la Figura 22. se observan micrografías obtenidas por SEM para las harinas. En las imágenes de las harinas de plátano se observa que los gránulos de almidón nativo de plátano presentaron una superficie lisa y pulida dando una apariencia de suavidad y con formas irregulares ovaladas, indicando que no hubo presencia de poros ni grietas, así mismo se observa que los almidones presentan formas semi-redondeadas para los gránulos pequeños y elíptica para los gránulos de mayor tamaño; se han reportado formas similares por otros autores (Olayide et al., 2008); Rendón Villalobos, García Hernández, Güizado Rodríguez, Mlarisol Salgado Delgado, & Rangel Vázquez, 2011) para almidones de Dominico Hartón.

El tamaño del gránulo de almidón es un parámetro importante que afecta las características funcionales y fisicoquímicas; se observaron tamaños entre 10,79 - 39,87 µm para H1 y 7,11 – 40,19 µm para H2, aunque los tamaños de los gránulos de almidón de las harinas de plátano son diferentes, no existe diferencia significativa (P = 0,05) entre los dos; al analizar el trigo, se encontraron tamaños de gránulo entre 5,45 – 23,00 µm, valor inferior a lo encontrado para el plátano y que coincidió con lo reportado por (Vansteelandt & Delcour, 1999) presentando diferencias significativas con el almidón de plátano.

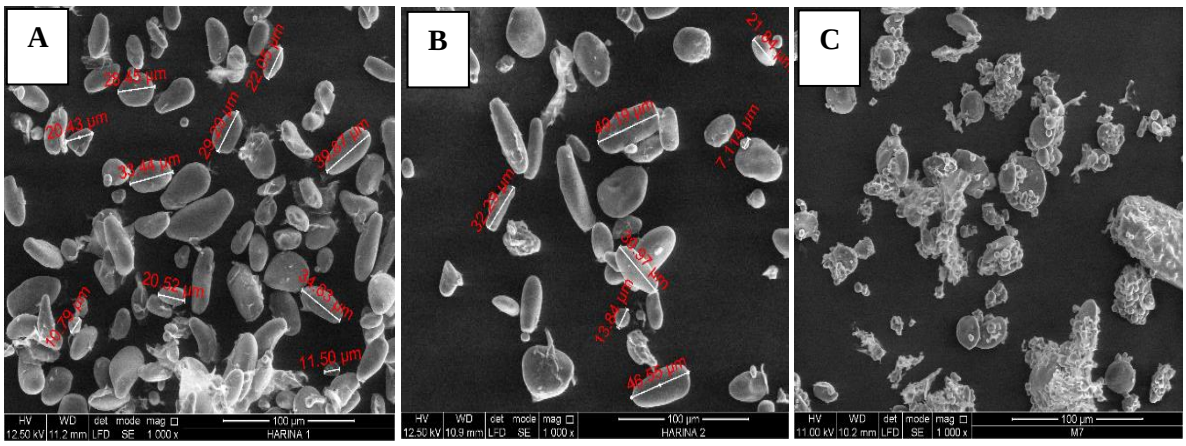


Ilustración 22. *Micrografías SEM A y B) harinas nativas de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (H1) y (H2) y C) harina de trigo comercial (HT) 100x.*

6.5 Conclusiones

Los racimos presentaron un peso promedio de 15,80 ± 4,39 Kg, mostrando variaciones entre ellos; el racimo R1 presentó el mayor peso, el mayor número de manos, el mayor número de frutos por racimo y por mano, el mayor diámetro y longitud de los frutos. El vástago o raquis representó menos del 10% de peso en todos los racimos, generando buenos rendimientos en fruta y pulpa. La pulpa, la cáscara, la densidad con y sin cáscara fueron los datos más homogéneos sin diferencias significativas, sin que el tamaño del racimo influya en estas variables. En cuanto al peso, la longitud y el diámetro de la pulpa, se presentaron los valores más altos en las manos 1, 2 y 3 independientemente del racimo de procedencia; en cuanto al porcentaje de cáscara, se evidenció un valor promedio de 40.354 %; los métodos de obtención de almidón arrojaron diferentes resultados de rendimiento, siendo mayor la recuperación del almidón de trigo, debido al mayor contenido de almidón (86 %), comparado con el de plátano (72 %) ; la harina de plátano se puede extraer de cualquier fruto, garantizando niveles de almidón similares. El rendimiento de la harina y del almidón de plátano aislado a nivel de laboratorio, mostró que el proceso puede ser escalable a nivel de planta. Las características conjuntas de longitud del fruto sin cáscara 25,86 ± 2,18 cm, diámetro del fruto sin cáscara 4,27 ± 0,57 cm, peso del fruto 336,37 ± 33,05 g y número de frutos por racimo 46,00 ± 12,00 unidades, hacen esta variedad interesante en la industria de los alimentos y en la extensión de los subproductos de esta musácea.

Las harinas de plátano Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L.*) obtenida por dos diferentes métodos, comparten algunas propiedades con la harina de trigo, entre ellas, el % de grasa, la CH, la CAA y CRAc; sin embargo, los análisis fisicoquímicos de porcentaje de humedad, porcentaje de proteína, porcentaje de fibra y el índice de blancura, demuestran que las harinas de plátano tienen una composición y un color muy diferente a la harina de trigo; los análisis FTIR mostraron bandas características tanto para las harinas de plátano como la harina de trigo, sin embargo, para la harina de trigo se evidenció una banda propia correspondiente a las proteínas presentes en forma de gluten; el análisis de DRX definió que las

harinas de plátano exhiben un patrón de difracción tipo C mientras que la harina de trigo posee un patrón de difracción tipo A; el valor de viscosidad de la pasta fría (VPF) fue mayor en la harina de plátano corroborando la capacidad superior de las suspensiones de harina de plátano para formar pastas viscosas después de cocción o enfriamiento, contrario a esto la inestabilidad del gel y la reorganización presentaron valores menores para la harina de plátano corroborando la debilidad de las masas de harina de este fruto; en lo referente al color las harinas de plátano y la harina de trigo presentaron uniformidad en cuanto a los tres factores obtenidos, siendo más clara la harina de trigo.

7. Bibliografía

A.O.A.C. USA. (2005). *Of fi cial Methods of Anal y sis of AOAC IN TER NA TIONAL*. (W. Horwitz & G. Latimer, Eds.) (18th ed.). Gaithersburg, Maryland.

Abugoch, L. E., Tapia, C., Villamán, M. C., Yazdani-Pedram, M., & Díaz-Dosque, M. (2011). Characterization of quinoa protein-chitosan blend edible films. *Food Hydrocolloids*, *25*(5), 879–886. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.08.008

Adebowale, A. A., Sanni, L. O., & Fadahunsi, E. L. (2011). Functional and pasting properties of cassava – sweetpotato starch blends. *African Journal of Root and Tuber Crops*, *9*(1), 6–10. Retrieved from http://istrc-ab.org/wp-content/uploads/2014/09/Journal-9edit21.pdf

Agama-Acevedo, E., Bello-Pérez, L. A., Pacheco-Vargas, G., & Evangelista-Lozano, S. (2015). Estructura interna de los gránulos de Almidón de Plátano mediante gelatinización química superficial: Propiedades morfológicas, fisicoquímicas y moleculares. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, *14*(1), 73–80.

Aguilera, Y. (2009). *Harinas de Leguminosas Deshidratadas: Caracterización Nutricional y Valoración de sus Propiedades Tecno-Funcionales*. Universidad Autónoma de Madrid.

Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, *21*, 106–113. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014

Aparicio-Saguilán, A., Flores-Huicochea, E., Tovar, J., García-Suárez, F., Gutiérrez-Meraz, F., & Bello-Pérez, L. A. (2005). Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: Partial characterization. *Starch/Staerke*, *57*(9), 405–412. https://doi.org/10.1002/star.200400386

Araya-Quesada, Y., Morales-Torres, A., Vargas-Aguilar, P., & Lea, W. (2014). Potencial tecnológico de harina de plátano verde con cáscara (Musa AAB) como sustituto de grasa para geles cárnicos Technological use of green banana flour with shell (Musa AAB) as a fat susbtitute for meat models. *Revista Del Laboratorio Tecnológico Del Uruguay*, *9*(2011), 50–60.

ASOHOFRUCOL, F. N. de F. H. (2017). *Informe de Gestión Año 2017*. Bogotá, Colombia.

Avilés, G. (2006). Obtencion y caracterizacion de un polımero biodegradable a partir del almidon de yuca. *Ingeniría Y Ciencia*, *2*(4), 5–28.

Awolu, O. O., Omoba, O. S., Olawoye, O., & Dairo, M. (2017). Optimization of production and quality evaluation of maize-based snack supplemented with soybean and tiger-nut (Cyperus esculenta) flour. *Food Science and Nutrition*, *5*(1), 3–13. https://doi.org/10.1002/fsn3.359

Bamigbola, Y. A., Awolu, O. O., & Oluwalana, I. B. (2016). The effect of plantain and tigernut flours substitution on the antioxidant, physicochemical and pasting properties of wheat-based composite flours. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1), 1–19. https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1245060

Bermúdez, N. D. (2017). *Evaluación tecnológica de la harina de quinua (Quenopodium quinoa) variedad piartal como espesante alimentario obtenida bajo diferentes condiciones de proceso*. Universidad de la Salle. Retrieved from http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/21531/43082000_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Capriles, V. D., & Arêas, J. A. G. (2014). Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between food science, nutrition, and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(5), 871–890. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12091

Castellanos, F. J., & Lucas, J. C. (2011). Physical characterization of the fruit of plantain varieties cropping in the coffee region of Colombia Caracterización física del fruto en variedades de plátano cultivadas en la zona cafetera de Colombia Introducción. *Acta Agronómica*, *60*(2), 176–182.

Cerda-Mejía, L., Cerda Mejía, V., Pilamala Rosales, A., Moreno Miranda, C., & Pérez-Martínez, A. (2017). Proteína de harinas de maíz, cebada, quinua, trigo nacional y papa: características y funcionalidad como sustitutos de la proteína de harina de trigo importado en la producción de pan y fideos. *Revista Amazónica Ciencia Y Tecnología*, *6*(3), 201–216.

Chau, C. F., Cheung, P. C. K., & Wong, Y. S. (1997). Functional Properties of Protein Concentrates from Three Chinese Indigenous Legume Seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*(7), 2500–2503. https://doi.org/10.1021/jf970047c

Chou,C.F and Huang, Y. L. (2003). Comparison of the chemical composition and

physical properties of different fiber prepared from the peel of orange fruit (Citrus sinensis L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *51*, 2615–2618.

Colmenares, M., Marín, J., Martínez, E., Martinez, G., & Pérez, E. (2009). Evaluación de la composición proximal , almidón total y color de las harinas obtenidas de la pulpa de clones de musáceas . *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, *18*(January), 1–5.

da Mota, R. V., Lajolo, F. M., Cordenunsi, B. R., & Ciacco, C. (2000). Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. *Starch - Stärke*, *52*(2–3), 63–68. https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(200004)52:2/3<63::aid-star63>3.3.co;2-m

Daniells, J., Jenny, C., Karamura, D., & Tomekpe, K. (2001). *A catalogue of Musa germplasm Diversity in the genus Musa* (IPGRI/INIB). Montpellier, Francia.

de la Horra, A., & Seghezzo, M. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *AGRISCIENTIA*, *29*(2), 81–89. Retrieved from http://www.revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/3886

Deora, N. S., Deswal, A., & Mishra, H. N. (2014). Alternative Approaches Towards Gluten-Free Dough Development: Recent Trends. *Food Engineering Reviews*, *6*(3), 89–104. https://doi.org/10.1007/s12393-014-9079-6

Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A., Sánchez, T., Reynes, M., Pain, J. P., … Díaz, A. (2009). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. thermal and functional characterization of cultivated colombian musaceae (Musa sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(17), 7870–7876. https://doi.org/10.1021/jf900235a

Dufour, D., Giraldo, A., Gibert, O., Sánchez, T., Reynes, M., Gónzalez, A., … Diaz, A. (2008). de cocción y FHIA híbridos : preferencia varietal de los consumidores en Resumen Résumé. *Memories of XVIII ACORBAT Meeting*, 10–14.

Duque, G. A., & Delgado, M. C. (2016). *CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE HARINA OBTENIDA A PARTIR DE LA CASCARA DEL MARACUYÁ (passiflora edulis flavicarpa) EN SUS DIFERENTES ESTADOS DE MADURACIÓN Y APLICACIÓN EN UN PAN BLANCO*. Universidad Francisco de Paula Santander.

Espinal, C. F., Martinez, H. J., & Peña, Y. (2005). *La cadena del plátano en Colombia*. *Ropdigital.Ciccp.Es*. Bogotá, Colombia. Retrieved from http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1902/1902_tomoII_1388_02.pdf

Fasasi, O. S., Eleyinmi, A. F., & Oyarekua, M. A. (2007). Effect of some traditional processing operations on the functional properties of African breadfruit seed (Treculia africana) flour. *LWT - Food Science and Technology*, *40*(3), 513–519. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.11.009

Flores-Farías, R., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y., Chang, Y. K., Hernández, J. G., & Ríos, E. (2000). Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalised Mexican maize flours for tortillas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *80*(6), 657–664. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80:6<657::AID-JSFA576>3.0.CO;2-J

Flores Navarrete, D. S. (2018). *" Obtención de harina de plátano verde tipo HARTÓN (Musa AAB) precocida y fortificada ."* Universidad Central del Ecuador.

García-Salcedo, Á. J., Torres-Vargas, O. L., & Ariza-Calderón2, H. (2017). Physical-chemical characterization of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.), amaranth (Amaranthus caudatus L.), and chia (Salvia hispanica L.) flours and seeds. *Acta Agronomica*, *67*(2). https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.63666

García-Tejeda, Y. V., Zamudio-Flores, P. B., Bello-Pérez, L. A., Romero-Bastida, C. A., & Solorza-Feria, J. (2011). Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros (Internet)*, *12*(3), 125–135.

García, O., Aiello, C., Peña, M. C., Ruíz, J. L., & Acevedo, I. D. C. (2012). Caracterización físico quimicas y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (Cajanus cajan (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Cientifica UDO Agrícola*, *12*(4), 919–928.

Gómez, M., & Sciarini, L. S. (2015). Gluten-Free Bakery Products and Pasta. *OmniaScience*, 565–604. https://doi.org/10.3926/oms.265

Granados, C. C., Enrique Guzman, L. C., Acevedo, D. C., Díaz, M. M., & Herrera, A. A. (2014). PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDON DE SAGU (Maranta arundinacea) FUNCIONALES PROPERTIES SAGO STARCH (Maranta arundinacea) PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO AMIDO DE ARARUTA (Maranta arundinacea). *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, *12*(2), 90–96.

Granito, M., Brito, Y., & Torres, A. (2007). Fatty acid composition of advanced olive. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *87*, 2801–2809. https://doi.org/10.1002/jsfa

Gutiérrez, T. J. (2018). Plantain flours as potential raw materials for the development of gluten-free functional foods. *Carbohydrate Polymers*, *202*(July), 265–279. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.121

Holst, B., & Williamson, G. (2008). Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology*, *19*(2), 73–82. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.03.003

Hwang, J., & Kokini, J. L. (1992). Contribution of the side branches to rheological properties of pectins. *Carbohydrate Polymers*, *19*(1), 41–50.

https://doi.org/10.1016/0144-8617(92)90053-S

ICONTEC. (2006). NTC 267. Harina de trigo. Bogotá, Colombia, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

INIBAP. (1996). *Descriptores para el banano (Musa spp.)* (IPGRI-INIB). Montpellier, Francia.

Lajolo, F. M., & wenzel de Menezes, E. (1998). *Temas en Tecnología de Alimentos*. (F. M. Lajolo & E. Wenzel de Menezes, Eds.). Tresguerras, México: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED, Instituto Politécnico Nacional. https://doi.org/https://doi.org/10.1177/108201329900500314

López-Medina, D., Agudelo, C. A., Fonfthal, G., & Ariza, H. (2017). CARACTERIZACIÓN POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FT-IR) DE EXUDADOS GOMOSOS DE CINCO ESPECIES DE PLANTAS PRESENTES EN EL EJE CAFETERO. *Revista de Divulgación Científica Y Tecnológica*, *1*, 31–37.

Lucas, J. C., Quintero, V. D., & Cárdenas Valencia, C. A. (2013). Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (Musa sapientum L.) = Characterization of flour and starch from guineo plantain AAAea (Musa sapientum L.). *Acta Agronómica*, *62*(2), 83–96. Retrieved from http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/30816/42998

Mathias-Rettig, K. ., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *AgroSur. Universidad Austral de Chile*, *42*(2), 39–48. https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07

Mazzeo M., M., León Agatón, L., Mejía Gutierrez, L. F., Guerrero Mendieta, L. E., & Botero López, J. D. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. *Revista Educación En Ingeniería*, *9*, 128–139. Retrieved from www.acofi.edu.co

McConnell, A. A., Eastwood, M. A., & Mitchell, W. D. (1974). Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *25*(12), 1457–1464. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740251205

Melorose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2007). *De tales harinas,tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. (A. León, C. Rosell, & H. Báez, Eds.), *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (1a Edición, Vol. 1). Cordoba, Argentina. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Millan-Testa, C. E., Mendez-Montealvo, M. G., Ottenhof, M. A., Farhat, I. A., & Bello-Pérez, L. A. (2005). Determination of the molecular and structural characteristics of okenia, mango, and banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(3), 495–501. https://doi.org/10.1021/jf048862x

Ministerio de Agricultura, C. (2018). *Cadena del plátano*. Bogotá, Colombia. Retrieved from https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Documentos/002 - Cifras Sectoriales/Cifras Sectoriales - 2018 Febrero Platano.pdf

Ministerio de Salud, C. (1996). Decreto N° 1944 de 1996. Bogotá: República de Colombia.

Montoya, J., Quintero, V. D., & Lucas, J. C. (2014). Evaluación fisicotermica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (musa paradisiaca ABB). *Temas Agrarios*, *19*(2), 214–233. https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.736

Montoya López, J., & Giraldo Giraldo, G. A. (2010). Caracterización físico-química de harina de trigo, masa y pan. *Rev. Invest. Univ. Quindío*, *XX*(20), 29–35. Retrieved from http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/bd5a_RIUQ2004.pdf

Nimsung, P., Thongngam, M., & Naivikul, O. (2007). Compositions , Morphological and Thermal Properties of Green Banana Flour and Starch. *Kasetsart Journal: Nature Science*, *41*(2007), 324–330.

O'Shea, N., Arendt, E., & Gallagher, E. (2014). State of the Art in Gluten-Free Research. *Journal of Food Science*, *79*(6), 1067–1076. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12479

Olayide, S. L., Olusegun, O. O., Awokoya, K., & Ogunkunle. A.O. (2008). The low-substituted propylene oxide etherified plantain (Musa paradisiaca normalis) starch: Characterization and functional parameters. *Carbohydrate Polymers*, *74*(3), 717–724. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.039

Oliveira, L. C., Alencar, N. M. M., & Steel, C. J. (2018). Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jabuticaba (Myrciaria cauliflora) peel. *LWT - Food Science and Technology*, *90*(June 2017), 207–214. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.017

Olmos, A. (2015). Cadena productiva del plátano departamento de Casanare 2015. *Secretaria de Agricultura Y Ganadería Y Medio Ambiente*, (308), 10–13.

Pereira, J. (2011). Calculo de delta e, diferencia entre colores en perfiles de color ICC. Retrieved June 28, 2019, from http://www.jpereira.net/rough-profiler/validar-perfil-color-icc-delta-e

Pineda, P., Bedoya, C., & Rosales, A. (2011). Estimación de los parámetros cinéticos y tiempos de vida de la cáscara de arroz y arcilla mediante la técnica de análisis termogravimétrico (TGA). *DYNA*, *78*, 1–8. Retrieved from https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/25662/39184

Prinyawiwatkul, W., Beuchat, L. R., McWatters, K. H., & Phillips, R. D. (2002). Functional Properties of Cowpea (Vigna unguiculata) Flour As Affected by

Soaking, Boiling, and Fungal Fermentation . *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*(2), 480–486. https://doi.org/10.1021/jf9603691

Rendón Villalobos, R., García Hernández, E., Güizado Rodríguez, Marisol Salgado Delgado, R., & Rangel Vázquez, N. A. (2011). Obtención y caracterización de almidón de plátano (Musa paradisiaca L.) acetilado a diferentes grados de sustitución. *Afinidad Lxviii*, 294–300.

Robertson, J. A., De Monredon, F. D., Dysseler, P., Guillon, F., Amadò, R., & Thibault, J. F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: A European collaborative study. *LWT - Food Science and Technology*, *33*(2), 72–79. https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0595

Ruiz-Cano, D., Pérez-Llamas, F., López-Jiménez, J. Á., González-Silvera, D., Frutos, M. J., & Zamora, S. (2013). Caracterización y valor nutritivo de un alimento artesanal: El pastel de carne de Murcia. *Nutricion Hospitalaria*, *28*(4), 1300–1305. https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.4.6520

Sandoval-Aldana, A., & Fernández-Quintero, A. (2013). Physicochemical characterization of two cassava (manihot esculenta crantz) starches and flours. *Revista Scientia Agroalimentaria*, *1*, 19–25. Retrieved from http://revistas.ut.edu.co/index.php/scientiaagro/article/view/5

Tagodoe, A., & Nip, W. -K. (1994). Functional properties of raw and precooked taro (Colocasia esculenta) flours. *International Journal of Food Science & Technology*, *29*(4), 457–462. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02087.x

Tester, R. F., & Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chemistry*, *67*(6), 551–557.

Thompson, L. U., Liu, R. F. K., & Jones, J. D. (1982). Functional Properties and Food Applications of Rapeseed Protein Concentrate. *Journal of Food Science*, *47*(4), 1175–1180. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb07643.x

Tjahjadi, C., Lin, S., & Brenne, W. M. (1988). Isolation and Characterization of Adzuki Bean (Vigna angularis cv Takara) Proteins. *Journal of Food Science*, *53*(5), 1438–1443. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb09294.x

Umaña, J., Alvarez, C., Lopera, S., & Gallardo, C. (2013). Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten. *Alimentos Hoy*, *22*, 33–46. Retrieved from http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/230/223

Vansteelandt, J., & Delcour, J. A. (1999). Characterisation of Starch from Durum Wheat (Triticum durum). *Starch/Staerke*, *51*(2–3), 73–80. https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199903)51:2<73::AID-STAR73>3.0.CO;2-8

Whisler, R. L., & BeMiller, J. N. (1997). Carbohydrate chemistry for food scientists. *St. Paul*, 117–151. https://doi.org/10.1016/s0308-8146(97)82714-8

Whistler, R. L., BeMiller, J. N., & Paschall, E. F. (1984). Organisation of starch granules. *Starch: Chemistry and Technology*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746270-7.50005-7

Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L., & Korus, J. (2016). Starch and starch derivatives in gluten-free systems - A review. *Journal of Cereal Science*, *67*, 46–57. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.007

Yadav, A. R., Guha, M., Tharanathan, R. N., & Ramteke, R. S. (2006). Influence of drying conditions on functional properties of potato flour. *European Food Research and Technology*, *223*(4), 553–560. https://doi.org/10.1007/s00217-005-0237-1

Yangilar, F. (2013). The application of dietary fibre in food industry : Structural features , effects on health and definition , obtaining and analysis of .... The Application of Dietary Fibre in Food Industry : Structural Features , Effects on Health and Definition , Obtain. *Journal of Food and Nutrition Research*, *1*(3), 13–23. https://doi.org/10.12691/jfnr-1-3-1

8. Capítulos 2.

Efecto de diferentes aditivos en el comportamiento reológico y textural de una matriz alimentaria a base de harina de plátano dominico hartón (*Musa paradisiaca L*.) comparada con el control de harina de trigo

8.1 Resumen

Teniendo en cuenta que las pérdidas de producción del plátano en Colombia son mayores al 10%, se hace necesario su aprovechamiento por medio de la elaboración de productos industriales; las harinas son una excelente alternativa debido a que ofrecen una gran variedad de posibilidades gastronómicas y de conservación; sin embargo, la ausencia de gluten en las harinas de plátano puede generar efectos tecnológicos diversos en su transformación. Últimamente se ha investigado sobre la utilización de aditivos como: hidrocoloides, proteínas sin gluten y otros ingredientes con el fin de promover la mejora tecnológica de harinas nativas. Este capítulo evalúa el efecto de la adición de aditivos a la harina de plátano dominico hartón *(Musa Paradisiaca L.),* para ello se evaluó la adición de proteínas (Huevo en polvo y lactosuero), emulsificantes (Ésteres de Glicerol y Ácidos Grasos del Ácido Diacetil Tartárico (DATEM) y Estearoil 2-lactilato de sodio (SSL), hidrocoloides (Goma xántan, carraginato, alginato y carboximetilcelulosa) y almidón de maíz, y se determinó su efecto mediante el comportamiento reológico y textural de las masas adicionadas de harina. El comportamiento reológico fue analizado a través de parámetros como módulo elástico (G'), módulo viscoso (G''), tangente de pérdida (tan δ) y módulo complejo G*. Así mismo, se realizó un análisis del perfil de textura, con la finalidad de cuantificar parámetros tales como: dureza, gomosidad, elasticidad y cohesividad, que se relacionan a su vez con variables, como la tasa de deformación aplicada y la composición del producto. Se encontró que el componente elástico predominó sobre el viscoso (G'>G'') y en general todas las masas adicionadas desarrollaron flujo viscoso. La adición de proteínas,

emulsificantes e hidrocoloides mejoraron significativamente las propiedades reológicas y texturales de las masas de harina de plátano nativa. Con base en estas propiedades se seleccionó el huevo en polvo, el DATEM y la goma xantán además del almidón de maíz, como los aditivos más adecuados para la formulación de una harina funcional de plátano. El proceso de optimización experimental de la formulación se desarrolló con éxito de acuerdo con la metodología de la función de deseabilidad y cuyo hallazgo determinó que la formulación óptima de la matriz alimentaria de harina de plátano fuera aquella que contuviera 6,79 % de proteína, 1,86 % de almidón, 0,20 % de hidrocoloide y 1,80 % de emulsionante.

8.2 Introducción

Según la base de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2018), para el año 2016, Colombia con 4.728.179 de toneladas ocupó el cuarto lugar en producción mundial de plátano; de las cuales exporta el 3,6%, cerca del 1,0% se destina al consumo de la agroindustria y se estiman pérdidas equivalentes al 10% de la producción (Olmos, 2015), este porcentaje de pérdidas referenciado hace necesario promover investigaciones relacionadas con el procesamiento del fruto del plátano y su potencial de industrialización, estudiando la relación entre las características funcionales y tecnológicas de las variedades de plátanos comerciales en Colombia y su aptitud para la elaboración de productos industriales. Las harinas son una excelente alternativa para la conservación y la disminución de pérdidas poscosecha, debido a que, además de ofrecer grandes beneficios de conservación y transformación, facilitan la incorporación de aditivos que mejoran notablemente su funcionalidad nutricional. Sin embargo, la ausencia de gluten en las harinas de plátano puede generar efectos diversos en su transformación; para contrarrestar estos problemas, últimamente se ha investigado sobre la utilización de aditivos como hidrocoloides, proteínas sin gluten y otros ingredientes apropiados para harinas libres de gluten (Alvarez-Jubete, Wijngaard, Arendt, & Gallagher, 2010; L. S. Sciarini, Ribotta, León, & Pérez, 2012 ; Capriles & Arêas, 2014; Deora, Deswal, & Mishra, 2014; Witczak, Ziobro, Juszczak, & Korus, 2016 y), con el fin de mejorar tecnológicamente estas

harinas. Una forma de evaluar el impacto de la adición de otras sustancias a las harinas es por medio de la reología de sus masas, estas masas son alimentos fluidos que contienen compuestos de alto peso molecular que exhiben propiedades viscoelásticas; que son altamente sensibles a la temperatura, al contenido de agua y a la composición (origen del almidón, tipo de proteína, presencia de lípidos, etc.) (Ronda, Pérez-Quirce, & Villanueva, 2016) y por ello la adición de otras sustancias puede afectar estas propiedades positiva o negativamente. Además, la reología es una ciencia importante en el estudio de las propiedades de las masas, debido a que están relacionadas con su facilidad de manejo y su capacidad de desarrollo en los procesos de amasado, fermentación y horneado; siendo relevante en la determinación de la aplicación de los ingredientes para el desarrollo de productos (Villegas et al., 2012).

Los emulsionantes se utilizan en la industria de la panadería debido a su capacidad de facilitar el proceso de estructuración de los ingredientes de la masa, reduciendo la tensión superficial entre dos fases inmiscibles (Parra, 2008; Onyango, Mutungi, Unbehend, & Lindhauer, 2010) incorporaron emulsionantes en formulaciones libres de gluten de pan hecho a base de almidón de yuca pre-gelatinizado y encontró que, el emulsionante disminuyó la firmeza de la miga. La adición de proteínas en masas con ausencia de gluten, favorece el mejoramiento del sabor y la textura, y la disminución de la velocidad de endurecimiento de la miga (Kenny, Wehrle, Auty, & Arendt, 2001) además de aumentar su valor nutricional (Ronda et al., 2016). Estudios realizados por (Gallagher, Gormley, & Arendt, 2004) comprobaron que proteínas de suero de leche mejoran la capacidad de absorción de agua y las propiedades mecánicas de las masas libres de gluten. Los hidrocoloides suministran numerosas propiedades funcionales a los alimentos como dar cuerpo, gelificar, espesar y estabilizar (L. Sciarini, 2011). El uso de carboximetilcelulosa (CMC) en pan libre de gluten demostró que su inclusión a mayores concentraciones genera productos libres de gluten, con mayor firmeza, cohesividad, elasticidad y dureza (Martínez-Jiménez, Rodríguez-Sandoval, & Soledad Hernández-Gómez, 2015). La mezcla de goma xántan y goma guar en

harinas de arroz con almidón de maíz y de papa, aumentó la retención de gas al interior de la matriz que ayudó a la estabilidad de la masa, durante el proceso de horneado (Mahmoud, Yousif, Gadallah, & Alawneh, 2013). Por otro lado, Jekle & Becker, (2015) demostraron que la microestructura del almidón influye notablemente en la apariencia, textura y estabilidad del producto final. Además, los sistemas de almidón pueden ser modificados por adición de diversos componentes como emulsionantes, almidones, hidrocoloides y proteínas, que interactúan con los polisacáridos de las harinas proporcionando estabilidad, propiedades densificantes, gelificantes y emulsionantes (Bemiller, 2011). No obstante, es importante aclarar que el efecto de los aditivos depende de su calidad y naturaleza, de la calidad de la materia prima y la disponibilidad de agua, siendo difícil predecir el efecto real de cada uno de ellos en las diferentes formulaciones (L. S. Sciarini et al., 2012). Teniendo en cuenta estas mejoras en las propiedades de las harinas al agregar aditivos, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de emulsionantes, almidones, hidrocoloides y proteínas, en el comportamiento reológico y textural de masas de harina de plátano para la formulación de una harina mejorada tecnológicamente al compararlas con la masa de harina de trigo.

8.3 Metodología

8.3.1 Materia prima

Se trabajó con las harinas de plátano Dominico Hartón:

8.3.1.1 Harina H1

Los plátanos se pesaron en una balanza analítica de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g, se pelaron y se cortaron en rodajas de espesor aproximado de 1 cm, se llevaron a una estufa de secado marca Binder GmbH de convección a 40 °C durante 48 horas, se molieron en un molino de disco (Corona). Finalmente se pasaron por filtro con membrana de tamaño de poro de 100 µm, con el fin de obtener la harina (Lucas et al., 2013).

8.3.1.2 Harina H2

Los plátanos se pesaron en una balanza analítica de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g, se pelaron y se molieron directamente en un molino de disco (Corona), se pasaron por filtro con membrana de tamaño de poro de 100 µm, con el fin de obtener la harina y se llevaron a una estufa de secado marca Binder GmbH de convección a 40 °C durante 48 horas, con el fin de obtener la harina.

Y como control, harina de trigo comercial.

8.3.1.3 Proteínas

Proteínas (5%) proteína de leche en forma de suero (LS) parcialmente desmineralizado 40% (Compañía láctea agropecuaria lecheros de Young CLALDY S.A) y huevo entero (HP) salado pasteurizado deshidratado (OVOBRAND).

8.3.1.4 Almidón

Almidón de maíz (5%) (PROMIDEX) por ser el que presentaba las características más similares al almidón de trigo (Brumovsky, 2014).

8.3.1.5 Hidrocoloides

Hidrocoloides (0,5%) grado alimenticio como goma xántan (GX), carraginato (CARR), alginato (ALG) y carboximetilcelulosa (CMC) NORTHEAST PHARM. TRADING COMPANY.

8.3.1.6 Emulsionantes

Emulsionantes (1%). Ésteres de monoglicéridos y del ácido diacetil tartárico (DATEM) y estearoil 2-lactilato de sodio (SSL) (CIMPA S.A.S.).

Las dosis de aditivos utilizadas fueron seleccionadas a partir de una serie de ensayos previos.

8.3.2 Preparación de las masas

Para la preparación de las masas se adicionó 100 g de harina de plátano y 60g de agua y las cantidades de los aditivos se definieron de acuerdo a la metodología propuesta por L. S. Sciarini, Ribotta, León, & Pérez, (2012) con algunas

modificaciones y todos los ingredientes se mezclaron basados en los protocolos descritos por Borges, (2009). Las mezclas se batieron por 1 min a 150 RPM y luego por 2 min a 220 RPM, se dejaron en reposo durante 5 min.

8.3.3 Selección de los aditivos

Inicialmente, se evaluaron las dos harinas de plátano nativas H1 y H2, seleccionando la que presentó el comportamiento más adecuado (H1) comparada con el control de harina de trigo (HT); posteriormente, se evaluaron los aditivos: proteínas, hidrocoloides y emulsionantes y de estos se seleccionaron individualmente los que produjeron el mejor comportamiento reológico y textural comparados con el control (HT), por medio de análisis comparativos de Tukey bajo una confiabilidad del 95% utilizando el software estadístico STATGRAPHICS Centurión XV.II. Posteriormente se establecieron las concentraciones de los aditivos seleccionados: huevo en polvo (proteína), almidón de maíz, goma xántan (hidrocoloide) y SSL (emulsionante), mediante la utilización de un diseño central compuesto rotable, compuesto por 3 niveles 4 factores con tres repeticiones en el punto central, que consistió en un arreglo factorial fraccionado con 8 variables de respuesta y 4 factores experimentales en el que cada variable fue probada en tres niveles codificados diferentes: bajo (−1), medio (0) y alto (+1) (Ecuación (3.1)).

Diseño:

$$-\alpha, -1, 0, +1, \alpha \quad \text{donde } \alpha=1.68 \tag{11}$$

$$Y_n = \beta_0 + \sum_{i=1}^{4} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=2,\, j>1}^{4} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^{4} \beta_{ii} X_i^2 \tag{12}$$

Donde,

Y_n es la respuesta predicha
β_0 es la constante del modelo
β_i es el coeficiente lineal
β_{ii} es el coeficiente cuadrático
β_{ij} es el coeficiente para el efecto de interacción
X_i es un valor codificado sin dimensiones de la variable independiente x_i.

Con este diseño se obtuvieron 27 formulaciones a las cuales se les realizaron los estudios propuestos; y por medio de su análisis se encontró la formulación a base de harina de plátano con las características tecnológicas más deseables.

8.4 Métodos empleados para analizar las muestras

8.4.1 Análisis Reológico de las pastas

8.4.1.1 Análisis reológico

Para la caracterización reológica de las masas se utilizó un reómetro dinámico (reómetro Marca Physica Anton Paar, MODELO MCR 301. Stuttgart, Alemania). Los ensayos que se realizaron fueron:

Barrido de frecuencia: Se realizó un barrido de frecuencia de 0,1 a 10 Hz a una deformación desde 0,01 a 100%, con el fin de establecer los módulos viscoelásticos de las pastas, a una temperatura de 30 °C con una geometría plato-plato (60 mm de diámetro y un ángulo de 4°). Después de la carga, se cortó el exceso de masa y se aplicó una capa delgada de vaselina al borde de la muestra expuesta para evitar la pérdida de humedad durante las mediciones. La masa se dejó reposar durante 30 minutos para equilibrar las tensiones, antes de comenzar la prueba. La preparación de las muestras se realizó por triplicado, realizando tres determinaciones por cada una. En estos ensayos, se obtuvieron los valores de módulo elástico (G´) y viscoso (G´´) y tangente δ, (G´´/G´) para distintos valores de frecuencia ω (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003).

Viscosidad aparente: La viscosidad aparente se calculó como el cociente entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte o cizalla. El ensayo se desarrolló a una temperatura de 30 °C, y la velocidad de corte se delimitó entre 0,02 a 100 s^{-1}, utilizando una geometría de plato rugoso de 40 mm de diámetro, a 1 mm de distancia del plato. La preparación de las muestras se realizó por triplicado, realizando tres determinaciones por cada una.

8.4.2 Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Se realizó un análisis de perfil de textura utilizando un analizador de textura

Stable MicroSystem (modelo TA - XT plus. Surrey, UK). Aplicando compresión uniaxial a las masas de harina de plátano y al control; este método comprime una porción del alimento dos veces en movimientos recíprocos, consta de dos ciclos de compresión con 5 s de intervalo entre cada compresión hasta un 50% de deformación con la sonda SMS P/75 a una velocidad de 10 mm/s a esferas de masa de 10 g que reposaron cubiertas por 15 min. De esta prueba se obtuvieron gráficas de fuerza-tiempo y se midieron los siguientes parámetros: dureza, que es la altura del pico máximo de la gráfica, cohesividad, que es la razón entre las áreas de la curva correspondiente solo a las bajadas del émbolo, adhesividad y finalmente elasticidad, que se define como la altura que recobra el alimento durante el tiempo que pasa entre el final de la primera compresión y el máximo de la segunda (Rivera et al., 2016)

8.4.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Los promedios de las ocho variables de respuesta se introdujeron al modelo central compuesto, los análisis de los datos experimentales se realizaron utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión XV.II, la calidad del ajuste del modelo fue evaluada por el parámetro R^2 y análisis de varianza (ANOVA) utilizando el procedimiento de regresión de superficie de respuesta (RSREG), la prueba estadística del modelo fue realizada por la prueba de Fisher's y la robustez del modelo se evaluó por el coeficiente de determinación R^2 ajustado, el error estándar y el error absoluto medio, para realizar optimización simultánea, el análisis funcional de deseabilidad y los diagramas 3D de las respuestas, se utilizó el software estadístico STATGRAPHICS Centurión XV.II. con los valores obtenidos en la optimización se realizó la formulación de la matriz alimentaria a base de harina de plátano.

8.5 Resultados y discusión

8.5.1 Selección mejor harina de plátano

8.5.1.1 Análisis reológico

En la Tabla 18, se presentan los módulos viscoelásticos de las harinas de plátano H1 y H2 comparados con los de la harina de trigo comercial HT (control) a 1 Hz. La HT y la H1 presentaron valores del módulo de almacenamiento (G') mayores que el módulo de pérdida (G'') en todo el rango de frecuencias (Figuras 23 a y 23 b), que indica un predominio de las propiedades elásticas por sobre las viscosas y que es común tanto en las harinas de trigo, como en las harinas libres de gluten (GF) que se comportan como sólidos viscoelásticos (Ronda et al., 2016)(Korus et al., 2012). Por otro lado, la H2 en un principio presentó un comportamiento de líquido viscoelástico, y tuvo un punto de gelificación en 1 Hz a partir del cual se comportó como un sólido viscoelástico; en el que G' fue mayor que G'' (Figura 3.1). Tal y como reportan Yu et al., 2018 para harina de trigo sarraceno, los métodos de molienda influyen directamente sobre las propiedades físico-químicas y viscosas de las harinas y Drakos et al., 2017 informaron que también afectan las propiedades moleculares y estructurales de los gránulos de almidón nativo, y que un mayor contenido de almidón dañado tiene una mayor capacidad para enlazar el agua. Es así como la H1 pudo presentar un mayor daño en el almidón, debido a que se sometió a licuado y molienda, mientras que la H2 solo se molió y por este motivo se observan estas diferencias en los módulos viscoelásticos en las harinas de plátano. Ésta mayor capacidad de enlazar el agua de la H1 pudo generar una red con una mayor estabilidad que hizo a la masa más similar en comportamiento a la HT.

Tabla 18. *Valores de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G"), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H2 y HT*

.Muestra	G' (Kpa)	G" (KPa)	tan δ	G* (KPa)
HT	2,16±0,08^{a}	1,49±0,06^{a}	0,69±0,00c	2,62±0,11^{a}
H1	164,00±1,20^{b}	52,00±0,28^{b}	0,81±0,01a	182,46±1,13^{b}
H2	175,00±3,25^{c}	75,00±0,71^{c}	1,00±0,03a	106,07±2,83^{b}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

La Figura 23 muestra los valores del módulo de almacenamiento G' y el módulo de pérdida G'' para las masas evaluadas; la masa de harina de trigo

presentó valores por el orden de los 5 KPa para el módulo de almacenamiento y pérdida, mientras que las masas de harina de plátano adicionadas, presentaron valores por el orden de los 160 KPa para el módulo de almacenamiento y 60 KPa para el módulo de pérdida a 100 Hz (Figura 23); los valores del módulo de almacenamiento están asociados a la energía almacenada en el material mientras que los valores del módulo de pérdida se asocian con la energía disipada por el material.

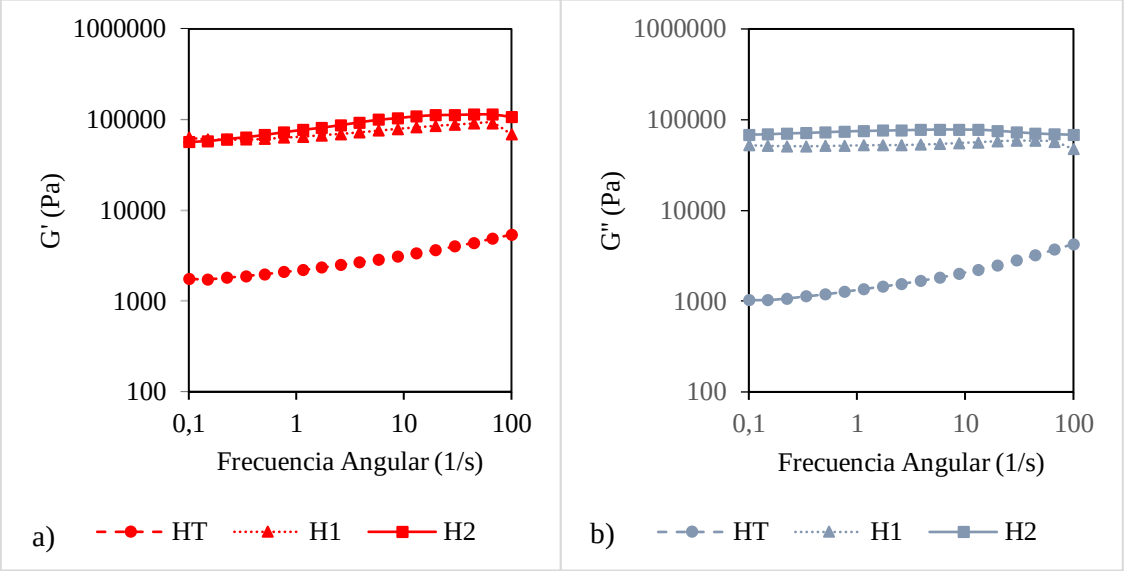


Ilustración 23. *Módulos viscoelásticos a) módulo de almacenamiento, b) módulo de pérdida de masas de harina de plátano nativo obtenidas por diferentes métodos H1 y H2 comparadas con la masa de harina de trigo HT.*

En la Figura 24 se puede observar la variación de la viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla de las masas preparadas con harina de plátano nativa H1 y H2, comparadas con el control harina de trigo HT. HT presentó una disminución de la viscosidad a medida que aumentó la velocidad de corte, este comportamiento es típico de fluidos pseudoplásticos y se debe a que el aumento del esfuerzo produce la destrucción de la interacciones entre las proteínas que forman la red de gluten con características viscoelásticas únicas (Burešová, Kráčmar, Dvořáková, & Středa, 2014) lo cual se traduce en una mayor fluidez de la masa. Por el contrario las masas H1 y H2 no presentaron flujo viscoso, debido a que según lo reportado por Ronda, Pérez-Quirce, & Villanueva, 2016 el índice de

flujo depende de la formulación y específicamente del grado de hidratación de la masa, y en el caso de las harinas nativas de plátano, al presentar un contenido bajo en proteínas son incapaces de formar una red viscoelástica al adicionar el agua, y por este motivo no fluyen y se comportan como un sólido elástico.

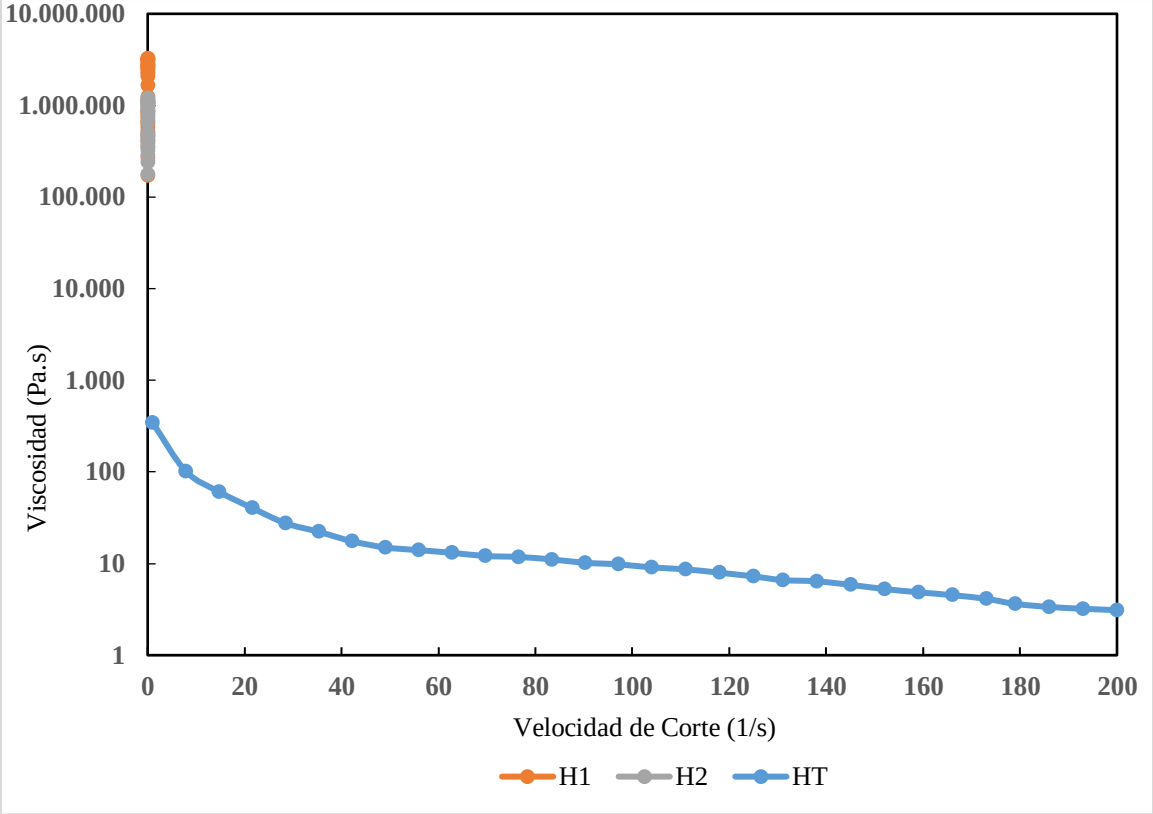


Ilustración 24. *Variación de la viscosidad aparente en función de la frecuencia de las masas preparadas con harina de plátano nativa H1, H2, comparadas con el control harina de trigo (HT) (control)*

8.5.1.2 Análisis de textura

En la Tabla 19 se muestran los valores de dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad para las masas de harina de plátano y el control. Tal y como se observa, la HT presenta el valor más bajo de dureza y valores más altos en los demás parámetros en comparación con las harinas de plátano H1 y H2, y en todos los casos se presentan diferencias significativas entre las tres muestras.

Tabla 19. *Perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H2 y harina de trigo comercial HT*

Muestra	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad	Adhesividad (N.s)
HT	8,49 ± 0,00[a]	0,90 ± 0,00[a]	0,93 ± 0,00[a]	3,33 ± 0,00[a]
H1	52,23 ± 0,00[b]	0,16 ± 0,00[b]	0,15 ± 0,00[b]	0,45 ± 0,00[b]
H2	72,31 ± 0,00[c]	0,14 ± 0,00[c]	0,11 ± 0,00[c]	0,08 ± 0,00[c]

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

La dureza de las masas de harina de plátano se debe a la ausencia de gluten González et al., (2016). Asimismo Rivera et al., (2016), informaron que la sustitución con harina de papa roja en la harina de trigo aumenta la dureza debido al impedimento de la formación de redes de gluten en la masa. Este hecho confirma que el tipo de proteínas y su cantidad en las harinas de plátano no conforman una red viscoelástica como la del gluten, lo que repercute directamente en la dureza, cohesividad y elasticidad de las masas de harina de plátano y por este motivo estos parámetros son significativamente diferentes a los de la HT.

Por otro lado, entre la H1 y la H2 se observan diferencias significativas en todos los parámetros texturales y esto comprueba, como en el caso del comportamiento reológico, que el método de obtención de las harinas influye significativamente en las propiedades de las masas. El parámetro de adhesividad, según lo reportado por González et al., (2016), cuando aumenta, indica una mayor capacidad de absorber el agua en la harina. Es por este motivo que la H1 tiene un valor significativamente más alto de adhesividad con respecto a la H2, bebido a que como se mencionó anteriormente el método de obtención tradicional (H1) da lugar a una mayor cantidad de almidón dañado que tiene mayor capacidad de enlazar el agua (Drakos et al., 2017), posiblemente por tener más componentes solubles (Sandoval, Quintero, & Aponte, 2005).

Teniendo en cuenta las propiedades reológicas y texturales de las masas H1 y H2, se eligió el método de obtención tradicional de la harina de plátano como el más adecuado para continuar con el proceso de desarrollo de la harina funcional;

debido a que tanto las propiedades reológicas como los parámetros texturales de la masa H1 se acercaron más a la harina de trigo (control).

8.5.2 Efecto de la adición de proteínas sobre las propiedades de las masas.

8.5.2.1 Análisis reológico

La Tabla 20 muestra los valores de los módulos viscoelásticos de las masas con los agregados de lacto-suero (H1LS) y huevo en polvo (H1HP). Se observa que la adición de proteínas cambió el comportamiento de los módulos, sin embargo el valor de G' se mantuvo mayor que G" en todo el espectro de las frecuencias analizadas (Figura 25.). Por tanto las masas presentan un comportamiento viscoelástico que les confiere la capacidad de almacenar energía y es similar a lo reportado por L. Sciarini, (2011), Miller & Hoseney, (1997)

Tabla 20. *Valores de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G"), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para masas preparadas con harina de trigo (HT) y harinas de plátano adicionadas con lacto-suero (H1LS) y huevo en polvo (H1HP)*

Muestra	G' (Kpa)	G" (KPa)	tan δ	G* (KPa)
HT	2,16±0,08^{a}	1,49±0,06^{a}	0,69±0,00^{a}	2,62±0,11^{a}
H1	164,00±1,20^{b}	52,00±0,28^{b}	0,81±0,01^{b}	182,46±1,13^{b}
H1LS	238,00±0,00^{c}	53,00±0,00^{c}	0,22±0,00^{c}	243,83±0,00^{c}
H1HP	140,00±0,00^{d}	51,30±0,00^{d}	0,20±0,00^{d}	147,70±0,00^{d}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Se encontraron diferencias significativas entre las harinas de plátano H1LS y H1HP para los valores de módulo de almacenamiento y de pérdida, y en comparación con el control HT. Como se observa la adición de lactosuero provocó un aumento de estos dos parámetros con respecto a H1. El aumento del módulo G' en la masa preparada con lactosuero indica una mayor capacidad para almacenar energía de la estructura y que por tanto revela la creación de nuevas interacciones. Para las masas de harina de plátano con proteínas, los valores de G' y G´´ fueron alrededor de 140000 Pa (Figura 25.); de acuerdo a estos resultados todas las masas se comportaron como un semisólido en todo el rango de frecuencias estudiadas, donde predomina el carácter elástico sobre el viscoso (G'>G). En cuanto a la

tangente de pérdida los valores menores a 1 indican un comportamiento de gel o sólido viscoelástico (Mezger, T. G., 2011), cuanto más bajo el valor de este parámetro, la estructura suele asociarse con una mayor rigidez al acercarse al comportamiento de sólido.

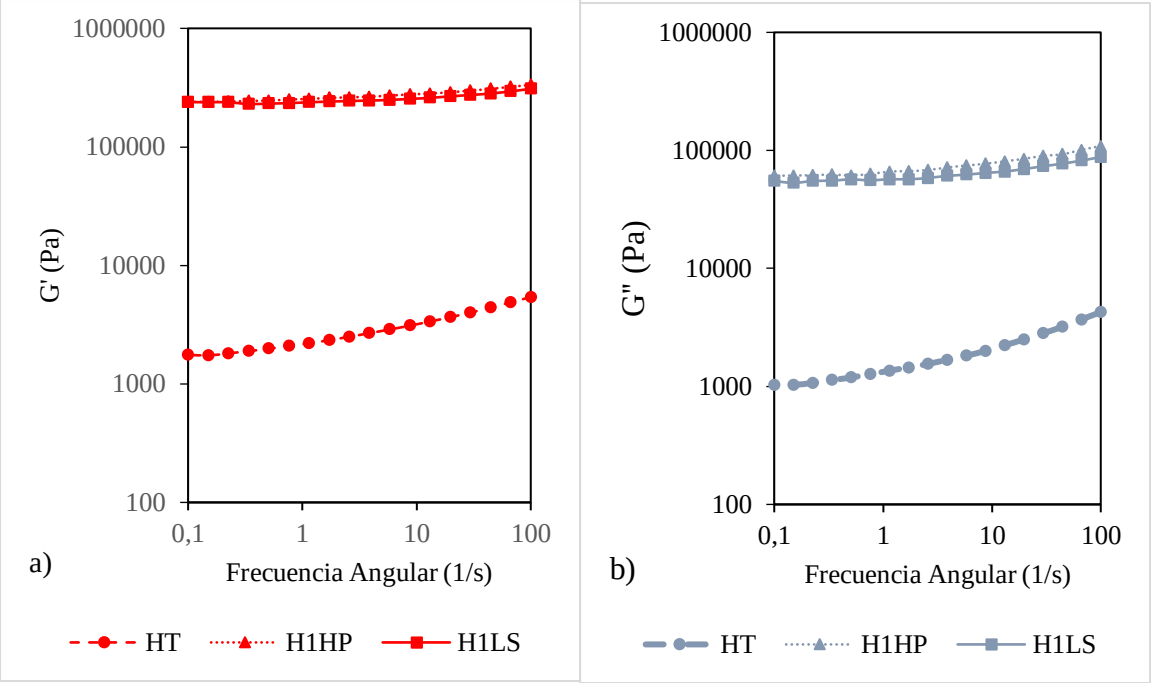


Ilustración 25. *Módulos viscoelásticos a) módulo de almacenamiento, b) módulo de pérdida de masas de harina de plátano nativo (H1) adicionada con proteínas: Huevo en polvo (HP) y Lactosuero (LS) comparadas con la masa de harina de trigo (HT)*

En la Figura 26 se puede observar que, con la adición de proteínas, las masas a base de harina de plátano presentaron un comportamiento similar al observado anteriormente para la HT. En primer lugar se observa que las viscosidades aparentes iniciales de la masas de harina plátano disminuyeron al orden de 1000 Pa, aproximándose notablemente a la HT, además presentan flujo viscoso, lo que revela la formación de nuevas interacciones al agregar proteínas que permite que las masas fluyan; esto se debe a que según lo reportado por Sciarini., (2011) tanto las proteínas de leche como las de huevo tienen la capacidad de formar una red proteica similar a la del gluten y es por este motivo que se observa

el adelgazamiento por cizalla típico de los fluidos pseudoplásticos, debido a que a medida que avanza la velocidad de corte la estructura se relaja y se requiere de un menor esfuerzo para que las masas fluyan (Mezguer, 2011). Estos cambios en la reología de las masas al agregar proteínas se debe a su capacidad de absorber y contener el agua cuando se forma la red proteica (Parra, 2008).

La proteína que generó un comportamiento más parecido a la HT fue el huevo en polvo mientras que el lactosuero provocó una pérdida de estructura alrededor de los 110 s^{-1} que se evidencia por una caída repentina de la viscosidad de 50 Pa a 8 Pa aproximadamente, debido probablemente al alto contenido de proteínas hidrosolubles e hidratos de carbono del LS, que no favorecen el flujo viscoso, aunque esta disminución en la viscosidad de la H1LS se acerca más a los valores de la viscosidad aparente de la HT, el huevo en polvo genera una mayor estabilidad de la masa H1HP al no presentar caídas abruptas en la viscosidad, y además se asemeja al comportamiento de la HT en todo el rango de velocidades de corte, debido primordialmente a que el HP, contiene agregados de proteínas-grasa-colesterol-lecitina, que le dan notables propiedades para emulsionar y enriquecer.

A pesar de que la composición y calidad de la proteína del lactosuero es bastante parecida a la del huevo (Parra, 2008), se encuentran diferencias en las cantidades de aminoácidos que pueden propiciar las interacciones que dan lugar a una red proteica más parecida a la del gluten.

Es así como el huevo en polvo tiene una mayor cantidad de cisteína, metionina, valina, fenilalanina, histidina y triptófano que pueden favorecer interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas en la estructura de la red proteica y que repercuten en las propiedades funcionales de la H1HP haciéndola más parecida a la HT.

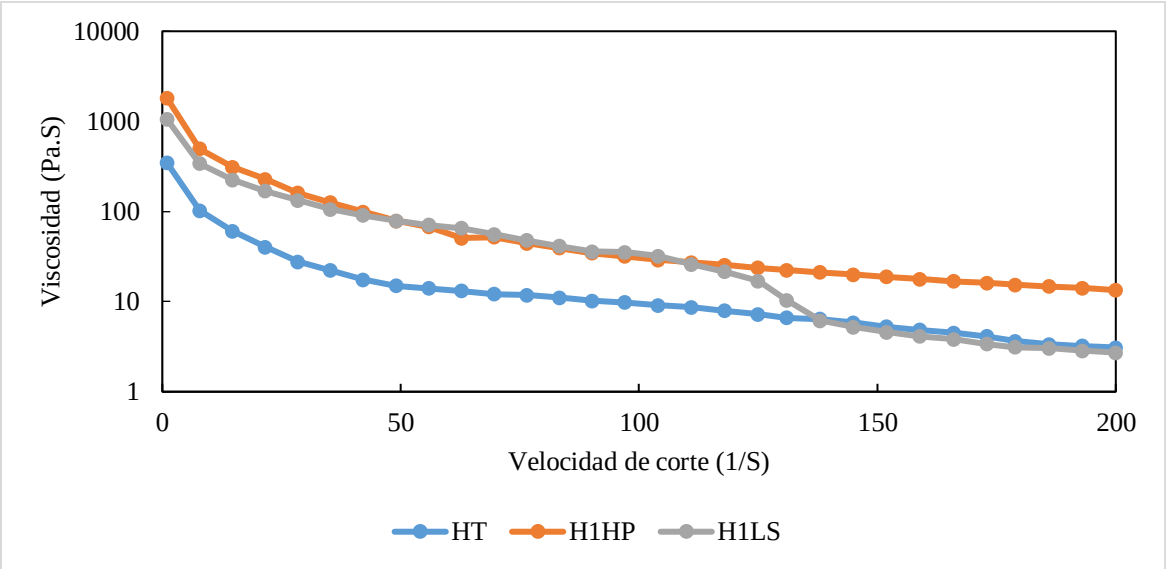


Ilustración 26.*Variación de la viscosidad aparente en función de la frecuencia de las masas preparadas con harina de plátano con huevo en polvo (H1HP), lacto-suero (H1LS) y harina de trigo (HT) (control)*

8.5.2.2 Análisis de textura

La Tabla 21 muestra los parámetros texturales de las masas sin adicionar y la H1 adicionada con proteínas como lacto suero (H1LS) y huevo en polvo (H1HP).

Tabla 21. *Perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H1LS, H1HP y harina de trigo comercial HT*

Muestra	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad (m)	Adhesividad (N.s)
HT	8,49 ± 0,00^{a}	0,90 ± 0,00^{a}	0,93 ± 0,00^{a}	3,33 ± 0,00^{a}
H1	52,23 ± 0,00^{b}	0,16 ± 0,00^{b}	0,15 ± 0,00^{b}	0,45 ± 0,00^{b}
H1LS	10,14 ± 1,59^{c}	0,21 ± 0,01^{c}	0,25 ± 0,01^{c}	0,48 ± 0,24^{b}
H1HP	4,41 ± 3,79^{d}	0,14 ± 0,08^{bc}	0,20 ± 0,14^{bc}	0,12 ± 0,05^{c}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

En primer lugar, se observa que la adición de proteínas a la harina de plátano nativa generó una disminución significativa de la dureza de las masas atribuible a la degradación estructural de las proteínas y almidón, lo que lleva a una matriz más débil dando por resultado la textura más suave (Jan, Saxena, y Singh, 2016). Los parámetros de cohesividad y elasticidad aumentaron significativamente para la H1LS con respecto a H1, pero no existe una diferencia significativa entre las masas con LS y HP. En cuanto a la adhesividad los efectos fueron diferentes, la adición del

lactosuero provocó un aumento en la adhesividad mientras que el huevo en polvo disminuyó este parámetro.

La dureza de la masa de H1LS fue mayor que la de HT, este hecho concuerda con lo reportado por Güemes Vera, Totosaus, Hernandez, Soto, & Bolaños, (2009) que demostraron que la adición de suero de leche comercial a la harina de trigo hacía las masas más duras, posiblemente por la interacción con otras proteínas, y por tanto requerían de mayor fuerza para su deformación (Totosaus, 2004). Por otro lado, la proteína de huevo disminuyó la dureza de las masas de harina de plátano, lo que es consecuente con lo reportado por Larrosa, Lorenzo, Zaritzky, & Califano, (2016) quienes informaron que la adición de proteína de huevo a harinas libres de gluten en todos los casos mejoraron la dureza de las pastas por debajo del control (HT) y que a bajos contenidos de agua, el aumento de la cantidad de proteína de huevo disminuye la dureza de las pastas.

Teniendo en cuenta que la dureza es una de las características más importantes en el alimento (Torres, González, & Acevedo, 2015), y que los consumidores prefieren una textura firme, sin ser tan dura, y con baja elasticidad (Phongthai, D'amico, Schoenlechner, Homthawornchoo, & Rawdkuen, 2017), la proteína de huevo se eligió como la más adecuada para la formulación de la harina funcional tanto texturalmente como reológicamente.

Además se ha reportado que las proteínas de leche no son adecuadas para buscar reemplazar al gluten y son agregadas en los productos de panificación por sus propiedades nutricionales como la presencia de aminoácidos esenciales, o funcionales, como mejoradoras de las propiedades organolépticas o para retrasar el envejecimiento del pan (L. S. Sciarini et al., 2012) y que se adicionan como mejoradoras de las propiedades organolépticas o para retrasar el envejecimiento del pan (Miller & Hoseney, 1997).

8.5.3 Efecto de la incorporación de emulsionantes sobre las propiedades de las masas.

8.5.3.1 Análisis reológico

En la Tabla 22 se presentan los valores obtenidos de los módulos de almacenamiento (G'), de pérdida (G''), complejo (G*) y del factor de amortiguamiento (tan δ) de las masas de harina de trigo (control) y harina de plátano agregada con éster de monoglicéridos de ácido diacetil tartárico (DATEM), y estearoil 2-lactilado de sodio (SSL). Los valores promedios muestran que la adición de DATEM generó valores más de G´ y G´´ cercanos al control. En comparación con la H1 y la HT, la adición de SSL generó valores de los módulos de almacenamiento y complejo significativamente altos, que como en el caso de la adición de proteínas a las masas, revelan una mayor capacidad de las estructuras para almacenar energía. En la H1DATEM el aumento significativo del módulo de almacenamiento con respecto a la H1, provocó un incremento de la tangente de pérdida que es indicativo de una mejora en la elasticidad de las masas, logrando de esta manera un comportamiento similar al control. Los cambios en la reología de las masas de harina de plátano se deben a que la adición de emulsionantes; por su naturaleza anfipática, posibilita la interacción entre los lípidos, proteínas y el almidón presentes en la harina nativa de plátano (L. S. Sciarini et al., 2012).

Estos resultados son similares a lo reportado por Demirkesen, Mert, Sumnu, & Sahin, (2010) en harinas de arroz adicionadas con diferentes gomas y emulsionantes y L. S. Sciarini, Ribotta, León, & Pérez, (2012) para masas a base de harina de arroz adicionadas con DATEM y SSL. En el caso del DATEM la presencia de grupos hidroxilos en su estructura puede propiciar la interacción por puentes de hidrógeno con las proteínas y el almidón de la harina de plátano que estabilizaría mucho más la estructura que el SSL, haciendo la masa más elástica y confiriéndole propiedades funcionales más aproximadas a la harina de trigo.

Tabla 22.*Módulos viscoelásticos de las masas de harina de trigo (control) y harina de plátano (H1) adicionada con éster de monoglicéridos de ácido diacetil tartárico (DATEM) y estearoil 2-lactilado de sodio (SSL).*

Tratamiento	G' (Kpa)	G" (KPa)	tan δ	G* (KPa)
HT	2,16±0,08[a]	1,49±0,06[a]	0,69±0,00[a]	2,62±0,11[a]
H1	164,00±1,20[b]	52,00±0,28[b]	0,81±0,01[b]	182,46±1,13[b]
H1DATEM	118,00±0,00[c]	50,20±0,00[c]	0,43±0,00[c]	128,23±0,00[c]
H1SSL	213,00±18,38[d]	46,45±5,30[c]	0,22±0,00[c]	218,01±19,09[d]

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

En la Figura 27, se puede observar que la adición de los emulsionantes no cambia la tendencia de las masas, debido a que en todo el rango de frecuencias predomina el módulo de almacenamiento sobre el viscoso. En comparación, la adición del emulsionante DATEM genera un comportamiento más aproximado de los dos módulos a la HT, aunque las magnitudes son mayores para las masas de plátano adicionadas con los emulsionantes. Un valor más alto para el módulo de pérdida se puede atribuir a la capacidad que tienen las emulsionantes de favorecer la afinidad entre los lípidos y el agua, presentes en la muestra, lo que favorece la formación de una emulsión estable (L. S. Sciarini et al., 2012).

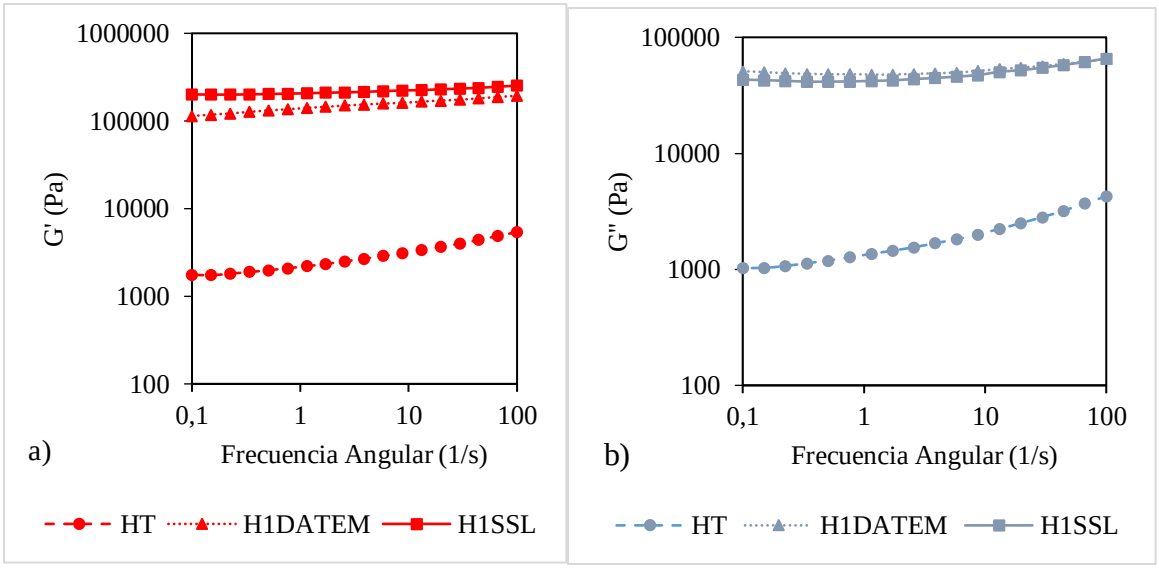


Ilustración 27. *Módulos viscoelásticos a) módulo de almacenamiento, b) módulo de pérdida de masas de harina de plátano nativo (H1) adicionada con emusionantes: DATEM y SSL comparadas con la masa de harina de trigo (HT)*

La Figura 28 muestra la viscosidad aparente de las harinas de plátano adicionadas con los emulsionantes y el control. Las harinas adicionadas de plátano presentaron un comportamiento de un fluido pseudoplástico que causó un adelgazamiento por corte debido a la degradación de fricción de la amilosa y amilopectina que posee el almidón; a mayor velocidad de deformación, la destrucción de las interacciones provoca un reacomodo de la estructura de tal forma que las masas presentan una menor resistencia al flujo y por lo tanto presentan una menor viscosidad. Es evidente que el DATEM confiere a la masa de plátano un comportamiento más aproximado al control que el SSL, a pesar de que este al principio presentó una mayor viscosidad. Si se observa el perfil de flujo, la H1DATEM estructuralmente revela una mayor estabilidad que la H1SSL que, muestra ciertas irregularidades en su comportamiento viscoso. Este hecho podría reforzar la teoría de que los grupos OH presentes en la estructura del DATEM generan una mayor estabilidad por la creación de puentes de hidrógeno con los componentes de la harina de plátano.

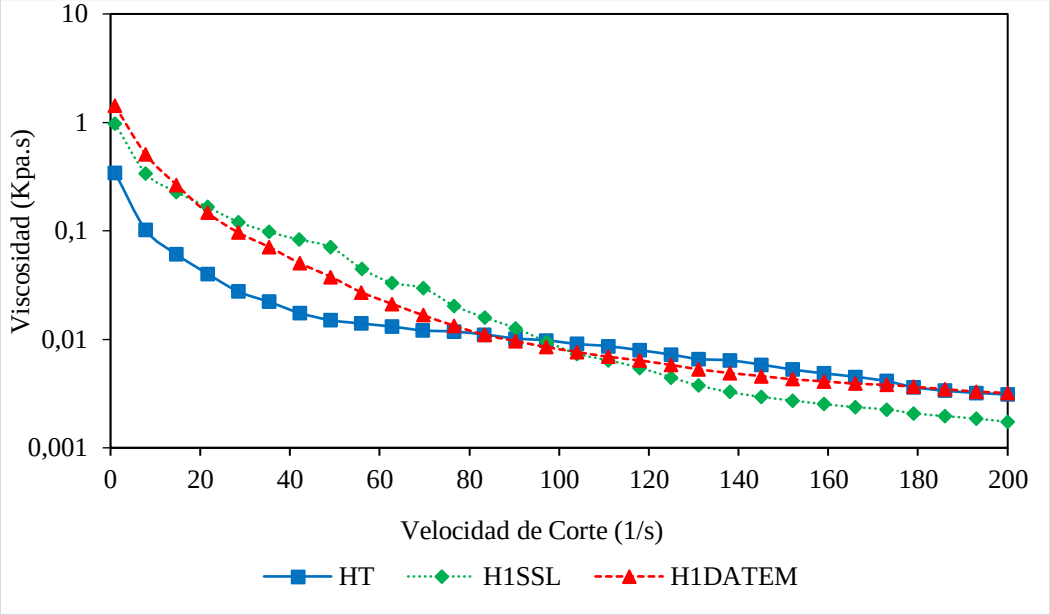


Ilustración 28. *Variación de la viscosidad aparente en función de la frecuencia de las masas de harina de trigo (control) y harina de plátano (H1) con éster de monoglicéridos de ácido diacetil tartárico (H1DATEM), y estearoil 2-lactilado de sodio (H1SSL)*

8.5.3.2 Análisis de textura

En la Tabla 23 se observan los parámetros texturales de las masas de harina nativa de plátano adicionadas con emulsionantes, en general, la adición de DATEM y SSL tuvo efectos significativos sobre la dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad de las muestras con respecto a la harina de trigo (control) y la harina de plátano nativa.

Tabla 23.*Perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H1DATEM, H1SSL y harina de trigo comercial HT.*

Muestra	Dureza ($kg\ m\ S^{-2}$)	Cohesividad	Elasticidad (m)	Adhesividad ($kg\ m^2\ S^{-2}$)
HT	$8,49 \pm 0,00^{a}$	$0,90 \pm 0,00^{a}$	$0,93 \pm 0,00^{a}$	$3,33 \pm 0,00^{a}$
H1	$52,23 \pm 0,00^{b}$	$0,16 \pm 0,00^{b}$	$0,15 \pm 0,00^{b}$	$0,45 \pm 0,00^{b}$
H1DATEM	$3,13 \pm 0,58c$	$0,42 \pm 0,05^{c}$	$0,55 \pm 0,10^{c}$	$0,14 \pm 0,09^{c}$
H1SSL	$6,91 \pm 0,01^{d}$	$0,16 \pm 0,04^{b}$	$0,19 \pm 0,05^{d}$	$1,14 \pm 0,35^{d}$

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

Se observa que la adición de DATEM y SSL a la harina de plátano disminuyó 18,6% la dureza de la H1SSL y 63,1% la H1DATEM con respecto a la masa de harina de trigo. En la masa H1DATEM se observó un aumento significativo de la cohesividad y la elasticidad, que acercó estos parámetros a los valores del control; por otro lado, aunque la adición de SSL provocó un aumento significativo de la elasticidad de las masas con respecto a la harina de plátano nativa, este valor está muy por debajo de la H1DATEM y del control. En el caso de la adhesividad se observó un efecto contrario en las dos masas adicionadas, debido a que la adición de DATEM provocó un descenso significativo en este parámetro, mientras que el SSL un aumento significativo de la adhesividad.

Gómez, Buchner, Tadini, Añón, & Puppo, (2013) adicionaron tres tipos de emulsificantes, entre ellos el SSL y el DATEM a una formulación de harina de trigo, y observaron que su adición aumentó la dureza, adhesividad y cohesividad de la masa, e informaron que tanto el DATEM como el SSL son más efectivos en la estructuración del gluten. A pesar de que no hubo diferencias significativas, se observó una tendencia en el SSL a aumentar la adhesividad de la masa, tal y como se observa en este estudio. Por otro lado, Zhang, Zeng, Li, & Gao, (2012) mostraron

que la adición de SSL a la harina de trigo contribuyó a la disminución de la dureza y la cohesividad de la masa; mientras que, aumentó su adhesividad; estos efectos concuerdan con los resultados obtenidos, debido a que la adición de SSL provocó una disminución de la dureza y cohesividad de la masa de harina de plátano, y un aumento de la adhesividad en la misma. Esto se debe a que según lo reportado por Ding & Yang, (2013) los emulsificantes tienen la capacidad de interactuar con las proteínas y el almidón por medio de interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas por su naturaleza anfipática. En específico, informan que el DATEM por su naturaleza aniónica se utiliza como fortalecedor de la masa de harina de trigo, por su interacción con las proteínas del gluten. En este estudio, se observa un efecto contrario, debido a que la adición del DATEM a la harina de plátano permite la formación de interacciones que suavizan la masa de harina de plátano, incluso más que el SSL; esta diferencia, se puede deber a que la harina de plátano contiene proteínas sin gluten, y las interacciones que se crean en vez de fortalecer la masa, la suavizan.

Para la elección del emulsificante más adecuado para la formulación de la harina funcional, se debe tener en cuenta que la masa no debe de ser tan dura como para tener dificultad en su moldeo, pero tampoco debe ser tan débil como para que no se conserve su forma (Patil & Arya, 2018). En cuanto a la dureza de las masas adicionadas, a pesar de que hay una diferencia significativa en cuanto a la dureza de las masas adicionadas con DATEM y SSL, los valores no están tan alejados, y en comparación con los valores obtenidos en los estudios anteriormente mencionados, la masa H1DATEM no llega a tener un valor tan bajo de dureza como para no permitir que se conserve la forma de la masa durante procesos de transformación de la misma.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el aumento en la cohesividad y elasticidad de la masa H1DATEM revela la formación de interacciones en la masa harina de plátano al acomplejarse con el almidón, favoreciendo la suavidad de la miga, tal y como se observó en las propiedades reológicas, al favorecer el incremento del volumen de pan y es por este motivo que se corrobora que la adición

del DATEM a la masa de harina de plátano genera un comportamiento más similar al control tanto textural como reológicamente, y es el emulsificante más adecuado para la formulación de la harina mejorada tecnológicamente.

8.5.4 Efecto de la incorporación de hidrocoloides sobre las propiedades de las masas.

8.5.4.1 Análisis reológico

La harina de plátano H1 fue adicionada con los siguientes hidrocoloides: carragenato (CARR), alginato (ALG), carboximetilcelulosa (CMC) y goma xántan (GX) con el fin de evaluar su comportamiento en la mejora de las cualidades tecnológicas de la masa elaborada.

En la Tabla 24 se presentan los valores medios del módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G''), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para las masas adicionadas con hidrocoloides a una frecuencia de 1 Hz. La adición de CARR y CMC a la H1 generó un aumento más significativo de G' y G'' para las masas. Este incremento del módulo de almacenamiento fue más acentuado para la H1CARR y por este motivo el factor de amortiguamiento disminuyó mientras que para la H1CMC aumentó. Por otro lado, la adición de ALG y GX a la harina de plátano provocó una disminución significativa del módulo de pérdida de las masas. El valor de G' para las dos masas fue alrededor de 69 Kpa, mientras que para G'' hubo una reducción más significativa en la H1GX que en H1ALG. Este comportamiento provocó efectos diferentes en la tangente de pérdida, debido a que este parámetro disminuyó para la masa adicionada con GX mientras que aumentó para la adicionada con ALG. De acuerdo a los resultados obtenidos la adición de la GX generó un efecto significativo en los parámetros viscoelásticos de la masa de harina nativa de plátano que los acercó a la harina de trigo (control) tal y como se observa en la Figura 29. Según lo reportado por L. S. Sciarini et al., (2012) para masas a base de harina de arroz, la CMC y el ALG fueron los hidrocoloides que generaron una disminución de G' y G'' mientras que la GX y el CARR tuvieron un efecto contrario; por otro lado Lazaridou, Duta, Papageorgiou,

Belc, & Biliaderis, (2007) obtuvieron un aumento de G' de las masas con la adición de CMC a la harina de arroz. Por tanto, se puede afirmar que el efecto de los hidrocoloides en las propiedades viscoelásticas depende de la naturaleza de la harina. Para el caso del CARR y la GX la adición de hidrocoloides generó una disminución del factor de amortiguamiento (tan δ) comparados con la harina de plátano nativa (H1), mientras que el ALG y la CMC generaron un aumento en el factor de amortiguamiento, siendo el ALG el valor que más se acercó al obtenido para la harina de trigo (control)

Tabla 24. *Valores de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G"), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para las masas adicionadas con hidrocolides.*

Tratamiento	G' (Kpa)	G" (KPa)	tan δ	G* (KPa)
HT	2,16±0,08[a]	1,49±0,06[a]	0,69±0,00[a]	2,62±0,11[a]
H1	164,00±1,20[b]	52,00±0,28[b]	0,81±0,01[b]	182,46±1,13[b]
H1CARR	403,00±19,80c	96,25±8,13[c]	0,24±0,01[c]	414,34±21,15[c]
H1ALG	68,95±1,48[b]	32,75±0,64[d]	0,48±0,00[d]	76,33±1,61[d]
H1CMC	227,00±0,00[e]	98,00±0,00[c]	0,43±0,00[e]	247,25±0,00[e]
H1GX	69,70±0,00[b]	14,40±0,00[e]	0,21±0,00[f]	71,17±0,00[d]

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

El comportamiento viscoelástico se evaluó mediante un barrido de frecuencia (Figura 3.7), la cual consiste en pruebas de oscilación realizadas a frecuencias variables, mientras se mantiene la amplitud a un valor constante. En todos los casos los valores del módulo de almacenamiento (G') fueron mayores que los valores del módulo de pérdida (G"), comprobando el comportamiento elástico de las muestras (Demirkesen et al., 2010). Tanto el módulo de almacenamiento como el módulo de pérdida mostraron un comportamiento dependiente de la frecuencia y todas las masas tienen una estructura menos resistente a bajas deformaciones (<1,0 Hz) respecto a la masa control, como se muestra en la Tabla 5. Resultados similares han sido reportados en masas enriquecidas en fibras (Magaña-Barajas, E.;Ramírez-Wong, B.;Platt-Lucero, L. C.;López-Ahumada & A.;Torres, P.I.;Sánchez-Machado, 2009)

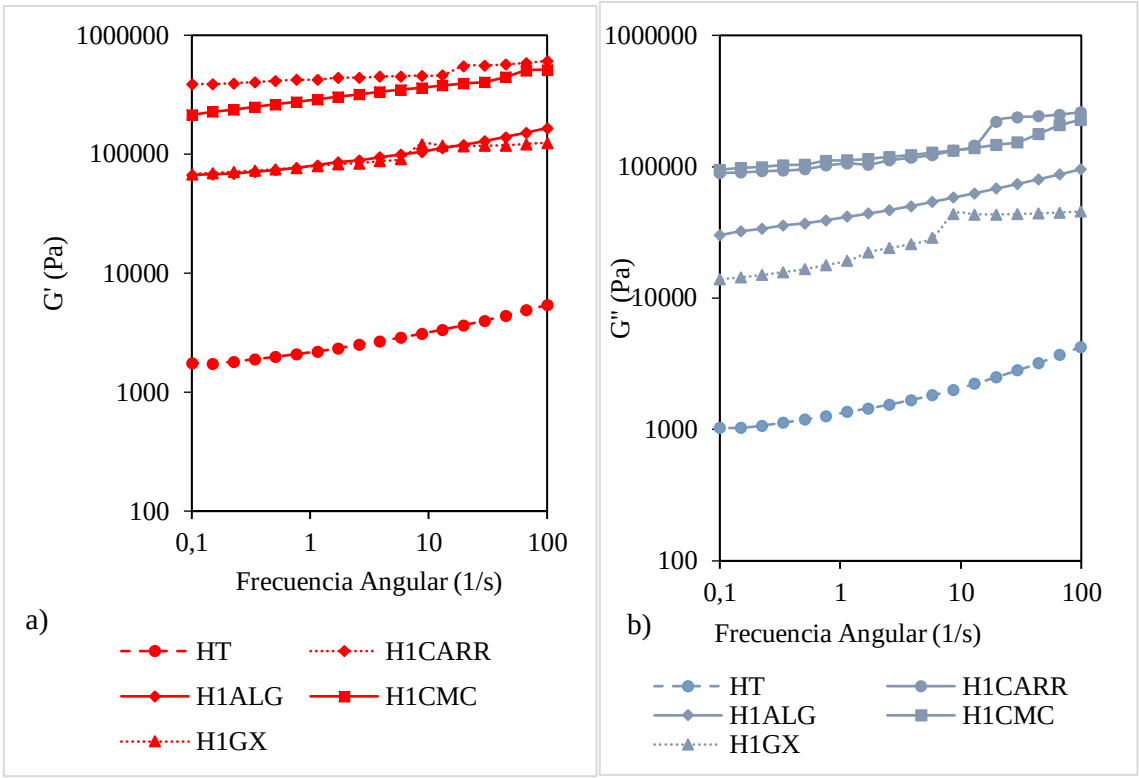


Ilustración 29. *Módulos viscoelásticos a) módulo de almacenamiento, b) módulo de pérdida de masas de harina de plátano nativo (H1) adicionadas con hidrocoloides: Carragenato (CARR), alginato (ALG), carboximetilcelulosa (CMC) y goma xantán (GX) comparadas con HT.*

En la Figura 30 se presenta la variación de la viscosidad aparente en función de la velocidad de corte de las masas preparadas con harina de trigo (control) y harina de plátano (H1) con carragenato (H1CARR), alginato (H1ALG), carboximetilcelulosa (H1CMC) y goma xantan (H1GX). En general los hidrocoloides pueden simular las propiedades viscoelásticas del gluten (Sanz, Salvador, & Hernández, 2016), pero tal y como se observa la H1CARR y H1CMC no desarrollaron un perfil de flujo a medida que avanzó la velocidad de corte, comportándose como sólidos elásticos. Este resultado es congruente con el aumento observado anteriormente en el módulo G' para las dos masas. Por otro lado, H1ALG y H1GX presentaron flujo viscoso bastante parecido al de la harina de trigo (control), como consecuencia de un menor valor en los módulos G' y G'' de las masas cuando se les adicionó respectivamente los hidrocoloides. Esto demuestra que tanto el ALG como la GX tuvieron la capacidad de interactuar con los

componentes de la harina nativa de plátano, dando lugar a una estructura con propiedades viscoelásticas. En general la GX es el hidrocoloide que le confiere a la harina de plátano los valores más cercanos al control en los parámetros viscoelásticos (excepto en la tangente de pérdida), y consecuentemente obtuvo valores más parecidos de viscosidad aparente a la harina de trigo a medida que avanzó la velocidad de cizalla. Resultados diferentes fueron reportados por L. Sciarini, 2011 para harinas de arroz, debido a que todas las masas adicionadas con CARR, CMC, ALG y GX presentaron un comportamiento característico de fluidos pseudopláticos, mostrando así que el efecto de los hidrocoloides depende de la composición de las harinas.

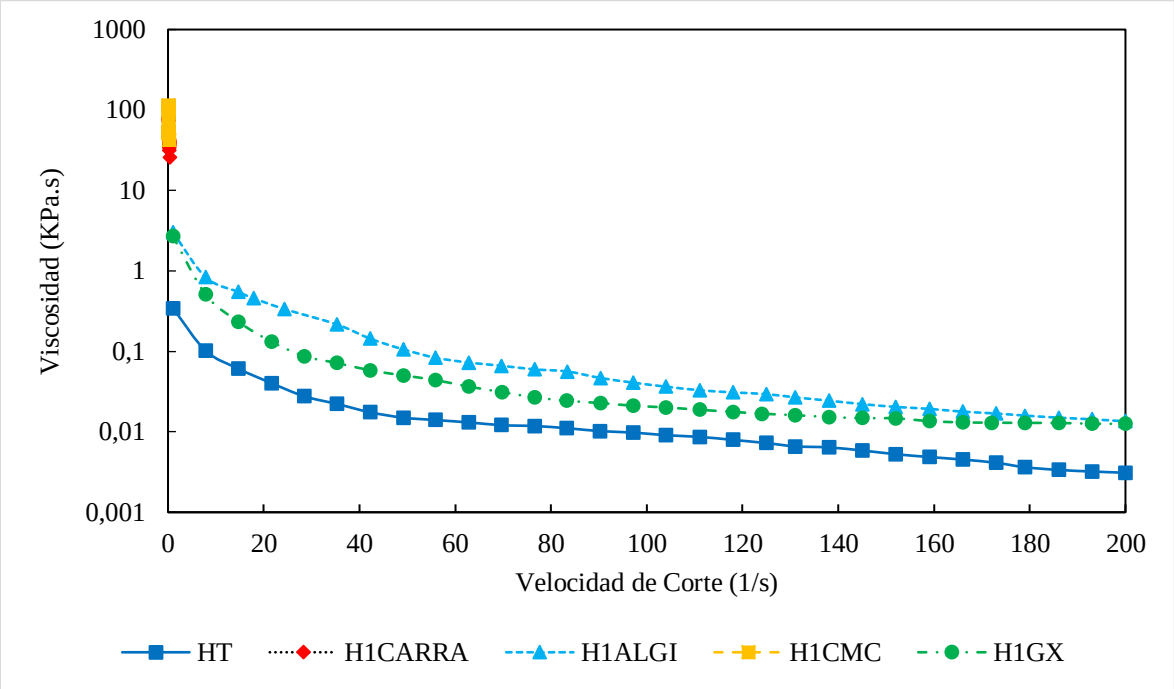


Ilustración 30. *Variación de la viscosidad aparente en función de la velocidad de corte de las masas preparadas con harina de trigo (control) y harina de plátano (H1) con carragenato (H1CARR), alginato (H1ALG), carboximetilcelulosa (H1CMC) y goma xantan (H1GX)*

8.5.4.2 Análisis de textura

En la Tabla 25 se observan los datos de análisis de perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano nativa H1, harina de trigo HT y

harinas de plátano adicionadas con hidrocoloides carraginato H1CAR, alginato H1ALG, carboximetilcelulosa H1CMC, goma xántan H1GX.

Tabla 25. *Perfil de textura (TPA) para las masas preparadas con harina de plátano H1, H1CAR, H1ALG, H1CMC, H1GX y harina de trigo comercial HT.*

Muestra	Dureza ($kg\ m\ S^{-2}$)	Cohesividad	Elasticidad (m)	Adhesividad ($kg\ m^2\ S^{-2}$)
HT	$8,49 \pm 0,00^{a}$	$0,90 \pm 0,00^{a}$	$0,93 \pm 0,00^{a}$	$-3,33 \pm 0,00^{a}$
H1	$52,23 \pm 0,00^{b}$	$0,16 \pm 0,00^{b}$	$0,15 \pm 0,00^{b}$	$0,45 \pm 0,00^{b}$
H1CAR	$11,96 \pm 2.35^{c}$	$0,16 \pm 0,01^{b}$	$0,12 \pm 0,01^{c}$	$0,12 \pm 0,01^{c}$
H1ALG	$7,77 \pm 3,39^{a}$	$0,16 \pm 0,06^{b}$	$0,23 \pm 0,16^{bc}$	$0,29 \pm 0,17^{c}$
H1CMC	$14,11 \pm 4,30^{c}$	$0,25 \pm 0,01^{bc}$	$0,15 \pm 0,02^{bc}$	$0,15 \pm 0,03^{c}$
H1GX	$7,85 \pm 0,44^{a}$	$0,32 \pm 0,03^{d}$	$0,20 \pm 0,03^{bc}$	$0,06 \pm 0,05^{c}$

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

En el caso de la dureza, el control tuvo un valor 8,49 N y las harinas nativas adicionadas con alginato y goma xantán tuvieron los valores más aproximados de 7,77 y 7,85 N, pero no hubo una diferencia significativa entre las masas H1ALG y la H1GX. El único parámetro en el que se observó una diferencia significativa fue en la cohesividad de la H1GX, que aumentó a 0,32 con respecto al valor de la H1 y se acercó al valor del control.

Patil & Arya, (2018**)** adicionaron hidrocoloides como goma de guar y goma xántan a masas de harina libre de gluten. El aumento en la proporción de goma xántan dio lugar a los valores más bajos de dureza y contribuyó al aumento de la elasticidad y la gomosidad de la masa (dureza x cohesividad), que indica una mayor cohesividad de la masa de harina libre de gluten. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en este estudio y se debe a que los hidrocoloides propician interacciones de tipo iónico, que permiten la formación de complejos hidrofílicos con las proteínas (Ribotta, Ausar, Beltramo, & León, 2005), y además también pueden interferir en las interacciones proteína-almidón o en la formación de entrecruzamientos físicos (Rosell, Collar, & Haros, 2007), lo que repercute directamente en las propiedades texturales de las masas adicionadas.

Los resultados obtenidos por medio del análisis de perfil de textura de las masas no son concluyentes para la selección del hidrocoloide más adecuado para

la formulación de la harina funcional, debido a que no se observaron diferencias en la mayoría de los parámetros. Pero se debe tener en cuenta que la GX fue el hidrocoloide con una dureza más parecida al control y que además presentó un aumento significativo de la cohesividad, que revela la creación de interacciones observadas previamente en los análisis de la reología de las masas adicionadas; y por este motivo se eligió para la formulación de la harina funcional.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las masas de harina de plátano adicionadas con proteínas, emulsionantes e hidrocoloides; se seleccionaron los siguientes aditivos por presentar mejores propiedades reológicas y texturales: huevo en polvo, DATEM y goma xántan. Una vez seleccionados se prepararon formulaciones a base de estos aditivos y almidón de maíz en diferentes proporciones con el fin de elegir la harina con mejores propiedades funcionales.

8.5.6 Efecto de la incorporación de los aditivos seleccionados sobre las propiedades de las masas

La Tabla 26 muestra los porcentajes de sustitución determinados a partir de ensayos previos para las 27 muestras de masa y el diseño experimental con el nivel real (xi) de las variables independientes. Las variables de respuesta elegidas fueron Módulo elástico (G´), Módulo viscoso (G´´), Tangente de pérdida (Tan. δ), Módulo complejo (G*), Dureza, Elasticidad, Cohesividad y Adhesividad, se utilizó un polinomio de segundo grado (Ecuación (3.2)) para ajustar las respuestas medidas a las variables codificadas.

Las dosis de aditivos utilizadas fueron seleccionadas a partir de una serie de ensayos previos y se definieron de acuerdo a la metodología propuesta por L. S. Sciarini, Ribotta, León, & Pérez, (2012)

Tabla 26. *Códigos y valores de los niveles de factores para la optimización de la formulación de una harina de plátano mejorada tecnológicamente.*

	Factores							
	Variables codificadas				Valores reales			
For	A	B	C	D	A	B	C	D
1	-1	-1	-1	-1	2,5	2,5	0,3	0,5
2	1	-1	-1	-1	7,5	2,5	0,3	0,5
3	-1	1	-1	-1	2,5	7,5	0,3	0,5
4	1	1	-1	-1	7,5	7,5	0,3	0,5
5	-1	-1	1	-1	2,5	2,5	0,7	0,5
6	1	-1	1	-1	7,5	2,5	0,7	0,5
7	-1	1	1	-1	2,5	7,5	0,7	0,5
8	1	1	1	-1	7,5	7,5	0,7	0,5
9	-1	-1	-1	1	2,5	2,5	0,3	1,5
10	1	-1	-1	1	7,5	2,5	0,3	1,5
11	-1	1	-1	1	2,5	7,5	0,3	1,5
12	1	1	-1	1	7,5	7,5	0,3	1,5
13	-1	-1	1	1	2,5	2,5	0,7	1,5
14	1	-1	1	1	7,5	2,5	0,7	1,5
15	-1	1	1	1	2,5	7,5	0,7	1,5
16	1	1	1	1	7,5	7,5	0,7	1,5
17	-1,7	0	0	0	0,8	5	0,5	1
18	1,7	0	0	0	9,2	5	0,5	1
19	0	-1,7	0	0	5	0,8	0,5	1
20	0	1,7	0	0	5	9,2	0,5	1
21	0	0	-1,7	0	5	5	0,2	1
22	0	0	1,7	0	5	5	0,8	1
23	0	0	0	-1,7	5	5	0,5	0,2
24	0	0	0	1,7	5	5	0,5	1,8
25	0	0	0	0	5	5	0,5	1
26	0	0	0	0	5	5	0,5	1
27	0	0	0	0	5	5	0,5	1

For = Formulaciones, A = proteína (%), B = almidón (%), C = hidrocoloide (%), D = emulsionante (%).

Los resultados de los análisis reológicos y texturales de las 27 masas adicionadas se muestran en la Tabla 27. Se observó que la tendencia en el comportamiento de los módulos elástico y viscoso de las masas se mantiene al agregar los aditivos a la vez en la harina de plátano en diferentes proporciones, así

mismo, una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el control y las 27 formulaciones para la dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad; que muestra que ninguna de las formulaciones es estadísticamente similar a la harina de trigo.

La tabla 27, muestra los valores del módulo elástico, módulo viscoso, tangente de pérdida y módulo complejo, respectivamente; estas variables tienen influencia en el comportamiento reológico de las masas, las cuales se comportaron como un sólido viscoelástico con valores del módulo elástico (G') mayores que el módulo viscoso (G'') en todo el rango de frecuencias en las 27 formulaciones (F1, F2…), Magaña-Barajas, E.;Ramírez-Wong, B.;Platt-Lucero, L. C.;López-Ahumada & A.;Torres, P.I.;Sánchez-Machado, (2009) argumentan que la predominancia del G' puede sugerir una mayor fuerza en las masas, dadas por las proteínas, como ocurre en las masas preparadas con harina de trigo por la presencia de gluten; las 27 formulaciones desarrollaron flujo viscoso en todo el rango de velocidad de corte, este comportamiento de los módulos viscoelásticos es común tanto para las masas a base de harina de trigo como para las libres de gluten; y se debe a que la adición de agua a la harina, permite el desarrollo de una red viscoelástica (Ronda et al., 2016).

Las figuras 31A, 31B y 31D muestran el comportamiento del módulo elástico (G´), módulo viscoso (G´´) y módulo complejo (G*) con la adición; se puede observar que, en orden de significancia, el hidrocoloide y la mezcla de hidrocolide-emulsionante impactan el comportamiento de los tres módulos al generar principalmente nuevas interacciones entre el almidón de la harina de plátano y el emulsionante DATEM , reduciendo la viscosidad y favoreciendo la consistencia de las masas (Rafał Ziobro, Witczak, Juszczak, & Korus, 2013), logrando disminuir los valores de acuerdo a lo previsto en la deseabilidad para estas variables (Tabla. 28).

La figura 31C muestra que en el factor de amortiguamiento (tan δ), la proteína con un 95% de confianza impacta significativamente los valores de este módulo, al generar procesos de gelificación, cuando las moléculas desnaturalizadas se agregan para formar una red proteica ordenada, aumentando la capacidad de

retener agua debido a la formación de puentes de hidrógeno, además de generar mayor cohesión y adhesión en las masas (Torres, González, & Acevedo, 2015), y el almidón al retener agua en su superficie, puede formar más de la mitad del volumen de la masa y los gránulos de almidón impregnan la red proteica, reventándola y ablandando la masa (Totosaus, 2004).

En cuanto a la textura la tabla 27, muestra los valores de dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad. En todas las formulaciones la adición de aditivos generó una disminución significativa en la dureza de las masas de harina de plátano, se pueden observar valores por debajo de los 10 N que son más similares al valor que presentó la masa de harina de trigo de 8.49 N.

De forma general, en las formulaciones con una mayor cantidad de proteína la disminución de la dureza fue mayor que en las preparaciones con valores intermedios y bajos de proteína, esto podría deberse a que la proteína de huevo adicionada, tiene un efecto sobre la estructura de la masa que, al ser hidratada en presencia del emulsionante forma complejos, reduciendo la viscosidad y favoreciendo la aireación y la textura (Appelqvist & Debet, 2016; Whisler & BeMiller, 1997; Ziobro et al., 2013 y Shi & BeMiller, 2002).

Las figuras 31G y 31H muestran que el hidrocoloide y la mezcla hidrocolide-almidón con un nivel de confianza del 95% afectan significativamente los valores de elasticidad y adhesividad respectivamente, debido probablemente a que las largas cadenas de la goma xántan, forman dispersiones viscosas al mezclarse con el agua presente en la masa, favoreciendo mayores valores de elasticidad y adhesividad (Rafał Ziobro, Witczak, Juszczak, & Korus, 2013); en el caso de la dureza y la cohesividad, ninguno de los aditivos individualmente generó un efecto significativo en la deseabilidad (Tabla. 28) de minimizar y maximizar cada una ellas respectivamente.

Tabla 27. *Valores de módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G"), factor de amortiguamiento (tan δ) y módulo complejo (G*) para las masas con los aditivos seleccionados y Perfil de textura (TPA) para las masas con los aditivos seleccionados en comparación con HT*

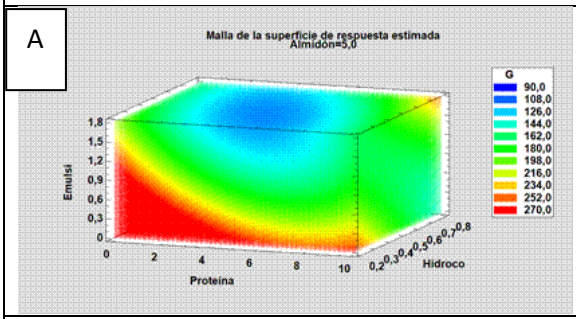
For	G'	G"	tan δ	G*	Dureza	Cohesividad	Elasticidad	Adhesividad
1	254,5±8,23	77,0±2,24	0,3±0,06	266,1±3,09	9,52 ± 0,58	0,13 ± 0,06	0,15 ± 0,09	0,61 ± 0,15
2	222,5±9,46	55,3±2,34	0,2±0,01	229,3±8,03	2,81 ± 0,42	0,37 ± 0,06	0,52 ± 0,04	0,51 ± 0,20
3	267,5±2,92	84,6±6,05	0,3±0,09	281,0±6,04	4,46 ± 1,43	0,25 ± 0,09	0,31 ± 0,14	0,28 ± 0,21
4	159,0±2,43	38,1±4,69	0,2±0,00	163,5±3,52	3,82 ± 0,00	0,25 ± 0,00	0,31 ± 0,00	0,29 ± 0,00
5	123,0±7,07	34,4±2,33	0,3±0,00	127,7±7,44	1,99 ± 0,55	0,23 ± 0,01	0,24 ± 0,00	0,13 ± 0,03
6	114,4±2,13	34,5±3,69	0,3±0,03	119,4±3,98	2,85 ± 1,08	0,22 ± 0,02	0,24 ± 0,03	0,14 ± 0,02
7	136,0±3,11	32,7±2,13	0,2±0,00	139,9±3,15	3,46 ± 0,94	0,27 ± 0,12	0,30 ± 0,22	0,26 ± 0,03
8	141,0±4,24	34,4±0,85	0,2±0,01	145,1±3,92	4,24 ± 0,48	0,23 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,05 ± 0,02
9	147,0±5,66	38,6±1,13	0,3±0,02	152,0±5,18	2,52 ± 0,54	0,31 ± 0,07	0,44 ± 0,13	0,35 ± 0,08
10	135,5±3,65	35,0±1,17	0,3±0,02	140,0±5,34	3,28 ± 0,91	0,24 ± 0,01	0,32 ± 0,06	0,25 ± 0,08
11	167,5±3,54	42,1±1,48	0,3±0,00	172,7±3,79	3,05 ± 0,18	0,21 ± 0,01	0,23 ± 0,03	0,16 ± 0,04
12	139,0±5,66	36,7±2,76	0,3±0,01	143,8±6,17	4,84 ± 1,34	0,15 ± 0,02	0,13 ± 0,06	0,09 ± 0,01
13	115,5±2,12	30,2±0,64	0,3±0,01	119,4±1,89	2,21 ± 0,19	0,21 ± 0,02	0,17 ± 0,04	0,06 ± 0,02
14	137,0±2,28	31,3±2,78	0,2±0,01	140,5±2,31	3,78 ± 0,44	0,20 ± 0,00	0,14 ± 0,02	0,03 ± 0,01
15	120,0±1,41	33,9±2,76	0,3±0,02	124,7±2,11	5,18 ± 0,80	0,17 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,08 ± 0,02
16	118,0±4,24	30,0±3,04	0,3±0,02	121,7±2,11	5,01 ± 0,68	0,19 ± 0,05	0,16 ± 0,05	0,07 ± 0,06
17	161,0±4,21	44,1±1,08	0,3±0,01	166,9±4,59	3,29 ± 1,49	0,19 ± 0,03	0,20 ± 0,07	0,38 ± 0,02
18	152,3±5,04	36,2±5,74	0,2±0,02	156,6±1,93	4,38 ± 0,67	0,19 ± 0,00	0,16 ± 0,00	0,07 ± 0,04
19	134,0±3,22	30,7±6,40	0,2±0,01	137,5±1,87	7,29 ± 3,34	0,28 ± 0,01	0,31 ± 0,01	0,54 ± 0,19
20	136,7±1,02	30,1±2,47	0,2±0,00	139,9±1,31	4,22 ± 0,82	0,20 ± 0,01	0,19 ± 0,00	0,11 ± 0,01
21	142,3±8,62	35,7±1,76	0,2±0,00	146,8±8,77	5,13 ± 1,19	0,22 ± 0,03	0,34 ± 0,02	0,33 ± 0,03
22	118,3±1,69	25,7±3,21	0,2±0,01	121,1±1,11	2,80 ± 0,48	0,24 ± 0,01	0,24 ± 0,04	0,05 ± 0,02
23	153,7±6,03	31,7±2,45	0,2±0,02	156,9±6,19	3,22 ± 0,04	0,17 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,07 ± 0,02
24	119,7±1,37	26,3±2,47	0,2±0,00	122,5±1,64	4,89 ± 0,94	0,20 ± 0,00	0,16 ± 0,01	0,12 ± 0,04
25	118,5±2,12	26,6±0,21	0,2±0,01	121,4±2,02	5,74 ± 2,54	0,22 ± 0,05	0,22 ± 0,07	0,24 ± 0,08
26	112,0±4,14	23,1±1,48	0,2±0,01	114,4±4,15	6,05 ± 4,69	0,18 ± 0,03	0,15 ± 0,03	0,16 ± 0,12
27	116,5±4,95	25,2±1,56	0,2±0,00	119,2±5,17	3,43 ± 0,10	0,21 ± 0,03	0,20 ± 0,06	0,08 ± 0,03
HT	2,16±0,08	1,49±0,06	0,69±0,00	2,62±0,11	8,49 ± 0,00	0,90 ± 0,00	0,93 ± 0,00	3,33 ± 0,00
R^2	0,8872	0,8909	0,7902	0,8994	0,5670	0,6671	0,7792	0,8685
DS	21,79	7,58	0,04	22,80	1,74	0,05	0,07	0,10

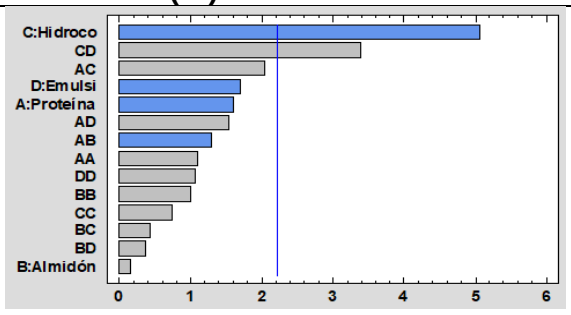
For = Formulaciones, G´ = modulo elástico (Kpa), G´´= modulo viscoso (Kpa), tan δ = tangente de pérdida, G*= módulo de almacenamiento (Kpa), Dureza (N), cohesividad, elasticidad (m) y adhesividad (N.s).

Finalmente, para encontrar los valores óptimos de cada una de las variables de respuesta (G', G'', tan δ, G*, Dureza, Cohesividad, Elasticidad y Adhesividad) se utilizaron los modelos polinomiales de segundo orden obtenidos en este estudio, con el fin obtener las condiciones óptimas especificadas, con los siguientes criterios de optimización: se minimizaron G', G'', G* y dureza y se maximizaron las demás variables; a su vez se estableció una sensibilidad media para G´, G´´, tan δ, dureza y elasticidad y el impacto para G´, G´´, tan δ, G*, dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad fue (5.0, 5.0, 5.0, 1.0, 4.0, 1.0, 4.0 y 1.0) respectivamente, que permitió encontrar los valores óptimos de los factores (proteína, almidón, hidrocoloide y emulsionante). En la Tabla 27 se observan los valores de R^2 para cada una de las ecuaciones polinómicas y la desviación estándar de cada una de las variables.

Módulo de Almacenamiento (G')

A

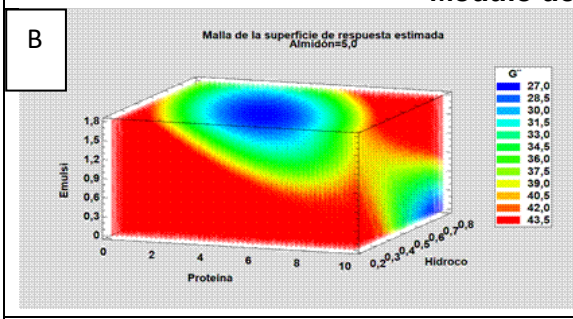


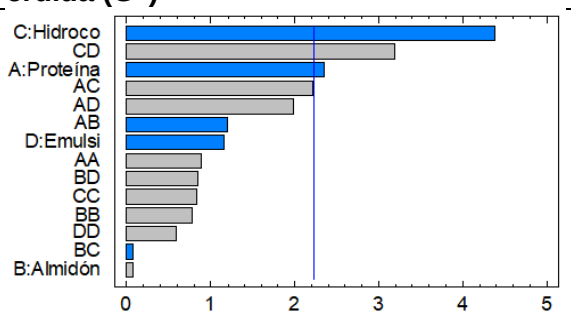


G = 565,465 - 41,5253*Proteína - 9,11857*Almidón - 615,585*Hidroco - 231,691*Emulsi + 2,59852*Proteína^2 - 1,1645*Proteína*Almidón + 22,9187*Proteína*Hidroco + 6,83252*Proteína*Emulsi + 1,11584*Almidón^2 + 4,8187*Almidón*Hidroco + 1,67252*Almidón*Emulsi + 162,593*Hidroco^2 + 189,782*Hidroco*Emulsi + 32,8646*Emulsi^2

Módulo de Pérdida (G")

B

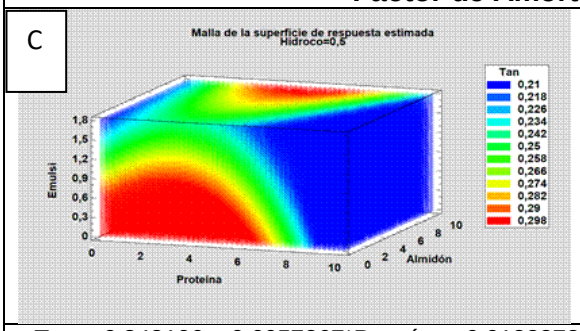


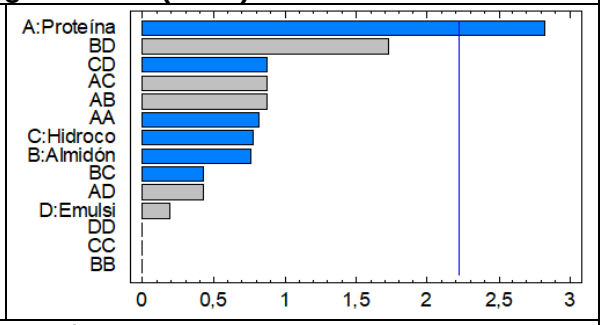


G¨ = 174,903 - 14,4938*Proteína - 2,35308*Almidón - 205,016*Hidroco - 72,3607*Emulsi + 0,738927*Proteína^2 - 0,371425*Proteína*Almidón + 8,63219*Proteína*Hidroco + 3,08712*Proteína*Emulsi + 0,308012*Almidón^2 - 0,267808*Almidón*Hidroco + 1,30712*Almidón*Emulsi + 63,7037*Hidroco^2 + 61,964*Hidroco*Emulsi + 6,30208*Emulsi^2

Factor de Amortiguamiento (tan δ)

C

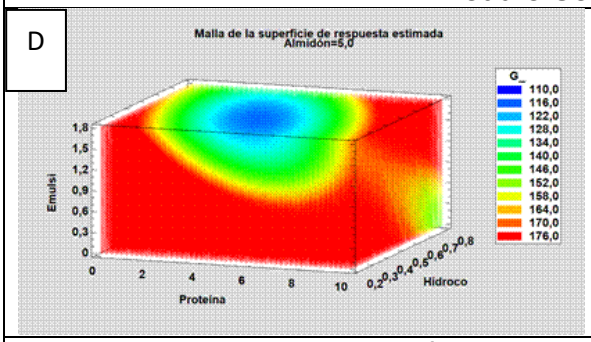


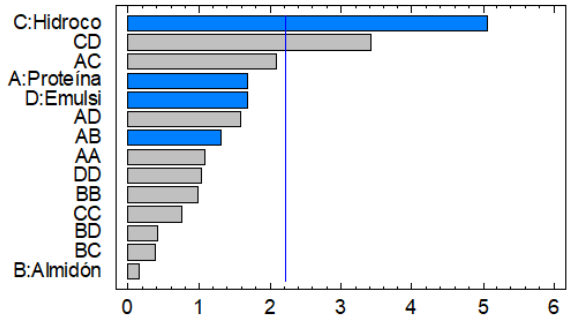


Tan = 0,343106 + 0,0057867*Proteína - 0,0183878*Almidón + 0,00817584*Hidroco - 0,0351864*Emulsi - 0,00334752*Proteína^2 + 0,0013445*Proteína*Almidón + 0,0168063*Proteína*Hidroco + 0,00327749*Proteína*Emulsi + 0,0*Almidón^2 - 0,00819372*Almidón*Hidroco + 0,0132775*Almidón*Emulsi + 0,0*Hidroco^2 - 0,0840314*Hidroco*Emulsi + 0,0*Emulsi^2

Módulo Complejo (G*)

D

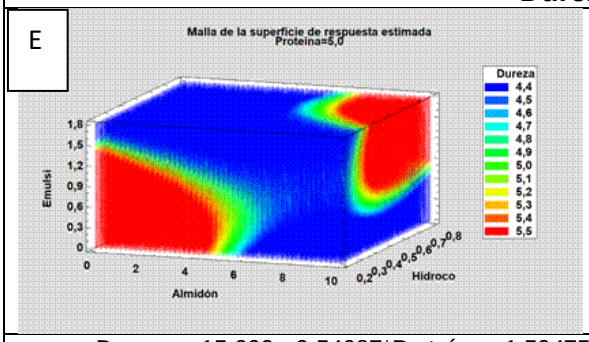


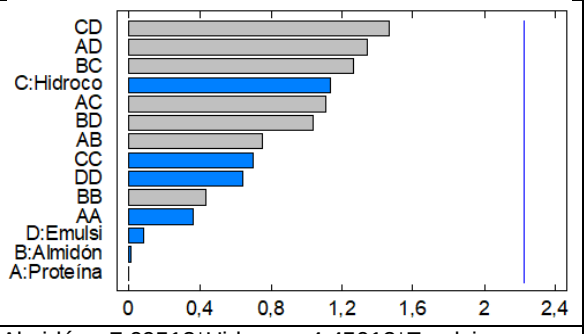


G*_ = 592,16 - 43,9159*Proteína - 9,29915*Almidón - 648,839*Hidroco - 243,128*Emulsi + 2,69826*Proteína^2 - 1,22698*Proteína*Almidón + 24,4628*Proteína*Hidroco + 7,45489*Proteína*Emulsi + 1,15457*Almidón^2 + 4,53779*Almidón*Hidroco + 1,92489*Almidón*Emulsi + 173,519*Hidroco^2 + 200,061*Hidroco*Emulsi + 33,3854*Emulsi^2

Dureza (N)

E

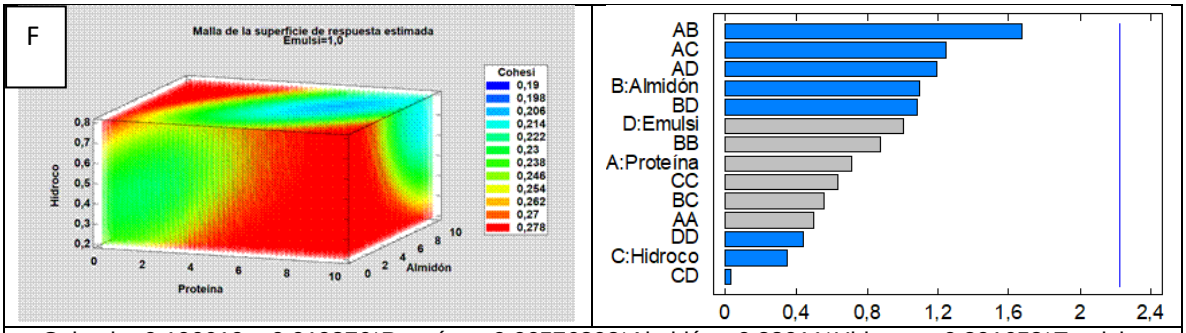




Dureza = 15,009 - 0,54687*Proteína - 1,59475*Almidón - 7,09513*Hidroco - 4,45012*Emulsi - 0,0694316*Proteína^2 + 0,0534794*Proteína*Almidón + 0,988493*Proteína*Hidroco + 0,479603*Proteína*Emulsi + 0,0386432*Almidón^2 + 1,13599*Almidón*Hidroco + 0,370603*Almidón*Emulsi - 12,3148*Hidroco^2 + 6,55754*Hidroco*Emulsi - 1,59115*Emulsi^2

Cohesividad

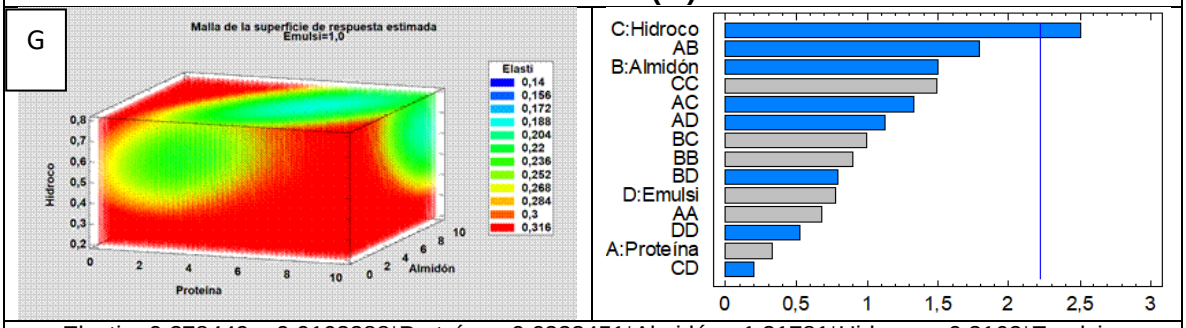
F



Cohesi = 0,106619 + 0,019376*Proteína - 0,00576308*Almidón - 0,23011*Hidroco + 0,201658*Emulsi + 0,00251856*Proteína^2 - 0,00315119*Proteína*Almidón - 0,0293899*Proteína*Hidroco - 0,011244*Proteína*Emulsi + 0,00207861*Almidón^2 + 0,0131101*Almidón*Hidroco - 0,010244*Almidón*Emulsi + 0,296296*Hidroco^2 - 0,00305035*Hidroco*Emulsi - 0,0286458*Emulsi^2

Elasticidad (m)

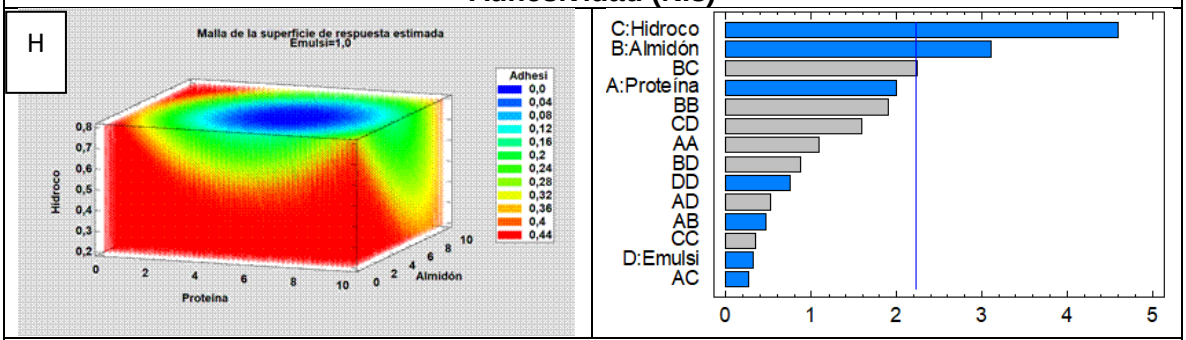
G



Elasti = 0,378449 + 0,0163288*Proteína - 0,0233451*Almidón - 1,21781*Hidroco + 0,3162*Emulsi + 0,00548136*Proteína^2 - 0,00540714*Proteína*Almidón - 0,0500892*Proteína*Hidroco - 0,0169643*Proteína*Emulsi + 0,00340136*Almidón^2 + 0,0374108*Almidón*Hidroco - 0,0119643*Almidón*Emulsi + 1,11111*Hidroco^2 - 0,0370538*Hidroco*Emulsi - 0,0546875*Emulsi^2

Adhesividad (N.s)

H



Adhesi = 1,62001 - 0,125087*Proteína - 0,182353*Almidón - 1,69993*Hidroco - 0,150434*Emulsi + 0,0113792*Proteína^2 - 0,00181253*Proteína*Almidón - 0,0126567*Proteína*Hidroco + 0,0100627*Proteína*Emulsi + 0,00935374*Almidón^2 + 0,109843*Almidón*Hidroco + 0,0170627*Almidón*Emulsi + 0,333333*Hidroco^2 + 0,388283*Hidroco*Emulsi - 0,101562*Emulsi^2

Ilustración 31. *Volúmenes de respuesta, diagrama de Pareto y ecuación polinómica A) Módulo de Almacenamiento (G'), B) Módulo de Pérdida (G''), C) Factor de Amortiguamiento (tan δ), D) Módulo Complejo (G*), E) Dureza (N), F) Cohesividad, G) Elasticidad (m) y H) Adhesividad (N.s)*

Se utilizó la función de deseabilidad para la optimización simultánea de las respuestas múltiples, esta función buscó una combinación de niveles de factores que satisficieran simultáneamente los requisitos para cada respuesta en el diseño; los límites inferior y superior de estas variables obtenidos experimentalmente (Tabla 28) se aplicaron para el cálculo de la función de deseabilidad y estas respuestas fueron consideradas para predecir una formulación que optimizara las propiedades reológicas y texturales de la matriz comparada con el control; de acuerdo con el análisis propuesto, la formulación óptima de la matriz a base de harina de plátano que propuso el modelo debía contener: Proteína: 6,79 % Almidón: 1,86 % Hidrocoloide: 0,20 % y Emulsionante: 1,80 %; para verificar estas condiciones óptimas, se validaron los factores experimentalmente por triplicado y se compararon los resultados observados con los predichos por el modelo (Tabla 28).

***Tabla 28**. Predicción y conveniencia de las variables de respuesta del proceso de formulación*

	Límite inferior	Límite superior	Valor experimental[a]	Meta
G´	112	267,5	118,00 ± 5,80	Minimizar
G´´	23,1	84,6	73,00 ± 19,20	Minimizar
Tan	0,2	0,3	0,213 ± 0,02	Maximizar
G*	114,4	281	73,30 ± 19,19	Minimizar
Dureza	1,99	9,52	1,72 ± 0,40	Minimizar
Cohesividad	0,03	0,61	0,212 ± 0,03	Maximizar
Elasticidad	0,13	0,52	0,219 ± 0,04	Maximizar
Adhesividad	0,13	0,37	2,15 ± 1,59	Maximizar

[a] Valores medidos por triplicado en las condiciones óptimas

8.6 Conclusiones

La Metodología de Superficies de Respuesta (RSM) junto con el diseño experimental central compuesto rotable propuesto para este estudio, constituyeron una herramienta eficaz en el modelamiento y predicción de propiedades reológicas (módulo elástico (G'), módulo viscoso (G''), tangente de pérdida (tan δ) y módulo complejo (G*)) y de textura (dureza, gomosidad, elasticidad y cohesividad) de las formulaciones de harina de plátano. Los modelos de regresión obtenidos y los perfiles de las superficies de respuesta analizadas mostraron una clara influencia

de las concentraciones de proteína, almidón, hidrocoloide y emulsionante en cada una de las variables respuesta estudiadas; el almidón y el hidrocoloide, dada su estructura polimérica, favorecieron las interacciones en la formación de red viscoelastica aumentando la calidad de masas preparadas con harina de plátano y una adición mayor de proteínas generó valores más bajos del módulo elástico y viscoso, indicativo de la creación de nuevas interacciones, entre el emulsionante y el almidón de plátano, la proteína y el hidrocolide adicionados, permitiendo la formación de una estructura continua con propiedades viscoelásticas. Considerando estos efectos, el proceso de optimización de la formulación se desarrolló con éxito de acuerdo con la metodología de la función de deseabilidad y cuyo hallazgo determinó que la formulación óptima de la matriz alimentaria de harina de plátano fue aquella que contenía 6,79 % de proteína, 1,86 % de almidón, 0,20 % de hidrocoloide y 1,80 % de emulsionante. De acuerdo con los requerimientos planteados, esta formulación presentó valores de módulo elástico, módulo viscoso, módulo complejo y dureza relativamente bajo (118, 73, 73,30 Kpa y 1,72 N) respectivamente, y valores de tangente de pérdida, cohesividad, elasticidad y adhesividad altos (0,213, 0,212, 0,219 m y 2,15 N.s) respectivamente, resultando una harina de plátano con características adecuadas para su utilización en la formulación de alimentos libres de gluten.

9. Bibliografía

Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, *119*(2), 770–778. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032

Appelqvist, I. A. M., & Debet, M. R. M. (2016). Starch - biopolymer interactions — a review starch-biopolymer interactions — a review, *9129*(December), 37–41. https://doi.org/10.1080/87559129709541105

Bemiller, J. N. (2011). Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations. *Carbohydrate Polymers*, *86*(2), 386–423. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.064

Borges, J. T. (2009). *Avaliação Tecnológica de Farinha Mista de Trigo e de Linhaça Integral e sua Utilização na Elaboração de Pão de Sal*. Universidade Federal

de Viçosa. Retrieved from http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/413/texto completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Brumovsky, L. A. (2014). Química del Almidón. Retrieved August 13, 2019, from https://es.scribd.com/document/317196898/Almidon2014

Burešová, I., Kráčmar, S., Dvořáková, P., & Středa, T. (2014). The relationship between rheological characteristics of gluten-free dough and the quality of biologically leavened bread. *Journal of Cereal Science*, *60*(2), 271–275. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.07.001

Capriles, V. D., & Arêas, J. A. G. (2014). Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between food science, nutrition, and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(5), 871–890. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12091

Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, *96*(2), 295–303. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004

Deora, N. S., Deswal, A., & Mishra, H. N. (2014). Alternative Approaches Towards Gluten-Free Dough Development: Recent Trends. *Food Engineering Reviews*, *6*(3), 89–104. https://doi.org/10.1007/s12393-014-9079-6

Ding, S., & Yang, J. (2013). The influence of emulsifiers on the rheological properties of wheat flour dough and quality of fried instant noodles. *LWT - Food Science and Technology*, *53*, 61–69. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.031

Dobraszczyk, B. J., & Morgenstern, M. P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, *38*(3), 229–245. https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00059-6

Drakos, A., Kyriakakis, G., Evageliou, V., Protonotariou, S., Mandala, I., & Ritzoulis, C. (2017). Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.169

FAOSTAT. (2018). FAO Country Indicators. Retrieved March 1, 2019, from http://www.fao.org/faostat/en/#home

Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology*, *15*(3–4), 143–152. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012

Gómez, A. V., Buchner, D., Tadini, C. C., Añón, M. C., & Puppo, M. C. (2013). Emulsifiers: Effects on Quality of Fibre-Enriched Wheat Bread. *Food and Bioprocess Technology*, *6*(5), 1228–1239. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0772-7

González, V. L., Romero Muñoz, I. G., Moreno Velázquez, A. L., Cruz Cuevas, J.,

Hernández Uribe, J. P., S., S. S., & Güemes Vera, N. (2016). Análisis de perfil de textura en masas de sémola de trigo adicionadas con harina de chayotextle (Sechium edule). *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, *1*(1), 31–35.

Güemes Vera, N., Totosaus, A., Hernandez, J. F., Soto, S., & Bolaños, N. A. (2009). Propiedades de textura de masa y pan dulce tipo “concha” fortificados con proteínas de suero de leche. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, *29*(1), 70–75.

Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). Physico-chemical, textural, sensory and antioxidant characteristics of gluten - Free cookies made from raw and germinated Chenopodium (Chenopodium album) flour. *LWT - Food Science and Technology*, *71*, 281–287. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.001

Jekle, M., & Becker, T. (2015). Wheat Dough Microstructure: The Relation Between Visual Structure and Mechanical Behavior. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *55*(3), 369–382. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.656476

Kenny, S., Wehrle, K., Auty, M., & Arendt, E. K. (2001). Influence of sodium caseinate and whey protein on baking properties and rheology of frozen dough. *Cereal Chemistry*, *78*(4), 458–463. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.4.458

Korus, J., Juszczak, L., Ziobro, R., Witczak, M., Grzelak, K., & Sójka, M. (2012). Defatted strawberry and blackcurrant seeds as functional ingredients of gluten-free bread. *Journal of Texture Studies*, *43*(1), 29–39. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00314.x

Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., & Califano, A. (2016). Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. *LWT - Food Science and Technology*, *70*, 96–103. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.039

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, *79*(3), 1033–1047. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032

Lucas, J. C., Quintero, V. D., & Cárdenas Valencia, C. A. (2013). Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (Musa sapientum L.) = Characterization of flour and starch from guineo plantain AAAea (Musa sapientum L.). *Acta Agronómica*, *62*(2), 83–96. Retrieved from http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/30816/42998

Magaña-Barajas, E.;Ramírez-Wong, B.;Platt-Lucero, L. C.;López-Ahumada, G., & A.;Torres, P.I.;Sánchez-Machado, D. . (2009). Viscoelastic characteristics of dough from soft wheat cultivars. *Tecnologìa, Ciencia, Educación*, *24*(1), 12–22. Retrieved from file:///C:/Users/veteri/Downloads/48212169004.pdf

Mahmoud, R. M., Yousif, E. I., Gadallah, M. G. E., & Alawneh, A. R. (2013).

Formulations and quality characterization of gluten-free Egyptian balady flat bread. *Annals of Agricultural Sciences*, *58*(1), 19–25. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2013.01.004

Martínez-Jiménez, F., Rodríguez-Sandoval, E., & Soledad Hernández-Gómez, M. (2015). Impact of Carboxymethylcellulose and Water Addition on Baking Quality and Physicochemical Properties of Gluten-Free Bread, *18*(2), 445–454.

Miller, R. A., & Hoseney, R. C. (1997). Use of elongational viscosity to estimate cookie diameter. *Cereal Chemistry*, *74*(5), 614–616. https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.5.614

Olmos, A. (2015). Cadena productiva del plátano departamento de Casanare 2015. *Secretaria de Agricultura Y Ganadería Y Medio Ambiente*, (308), 10–13.

Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., & Lindhauer, M. G. (2010). Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase. *Journal of Food Engineering*, *97*(4), 465–470. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.11.002

Parra, R. A. (2008). Lactosuero: Importancias en la industria de alimenticia. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, *62*(1), 4967–4982.

Patil, S., & Arya, S. S. (2018). Characterization of gluten free flatbread: quality improvement by the addition of hydrocolloids and emulsifiers using simplex centroid design. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *0*(0), 0. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9994-y

Phongthai, S., D'amico, S., Schoenlechner, R., Homthawornchoo, W., & Rawdkuen, S. (2017). Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.044

Ribotta, P. D., Ausar, S. F., Beltramo, D. M., & León, A. E. (2005). Interactions of hydrocolloids and sonicated-gluten proteins. *Food Hydrocolloids*, *19*, 93–99. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.04.018

Rivera, R. E., Velázquez, M. AL, Muñoz, R. I., Martini, P. J., Uribe, H. J., Lira, Q. A., … Hidalgo México, T. (2016). *Análisis de Perfil de Textura en Masas y Donas de Harina de Trigo Adicionadas con Harina de Oxalis tuberosa* (Vol. 1).

Ronda, F., Pérez-Quirce, S., & Villanueva, M. (2016). *Rheological Properties of Gluten-Free Bread Doughs: Relationship With Bread Quality*. *Advances in Food Rheology and Its Applications*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00012-7

Rosell, C. M., Collar, C., & Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*, *21*, 452–462. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.05.004

Sandoval, E. R., Quintero, A. F., & Aponte, A. A. (2005). Reología y textura de

masas: aplicaciones en trigo y maíz Rheology and texture of doughs: applications on wheat and corn. *Ingeniería E Investigación* , *57*, 72–78.

Sanz, T., Salvador, A., & Hernández, M. J. (2016). *Creep-Recovery and Oscillatory Rheology of Flour-Based Systems*. *Advances in Food Rheology and Its Applications*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00011-5

Sciarini, L. (2011). *Estudio del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad y la conservación de panes libres de gluten*. (U. de la Plata, Ed.) (1a ed.). La plata, Argentina.

Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E., & Pérez, G. T. (2012). Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering*, *111*(4), 590–597. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.011

Shi, X., & BeMiller, J. N. (2002). Aqueous leaching of derivatized amylose from hydroxypropylated common corn starch granules. *Starch/Staerke*, *54*(1), 16–19. https://doi.org/10.1002/1521-379X(200201)54:1<16::AID-STAR16>3.0.CO;2-P

Torres, J., González, K., & Acevedo, D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *ReCiTeIA*, *14*(2), 63–75.

Totosaus, A. (2004). Functionality of Glycosilated Heart Surimi and Heat-Precipitated Whey Proteins in Meat Batters, *15*, 256–268.

Villegas, B., Villa, G., Torres, J., Ospina, S., Rocha, L., & Laverde, J. (2012). Bananut Plus : Harina De Banano Verde, *19*(1), S213–S215.

Whisler, R. L., & BeMiller, J. N. (1997). Carbohydrate chemistry for food scientists. *St. Paul*, 117–151. https://doi.org/10.1016/s0308-8146(97)82714-8

Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L., & Korus, J. (2016). Starch and starch derivatives in gluten-free systems - A review. *Journal of Cereal Science*, *67*, 46–57. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.007

Yu, D., Chen, J., Ma, J., Sun, H., Yuan, Y., Ju, Q., … Luan, G. (2018). Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour. *LWT - Food Science and Technology*, *92*, 220–226. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.033

Zhang, J. H., Zeng, J., Li, G. L., & Gao, H. Y. (2012). Effect of Stearoyl Lactate Calcium-Sodium as Promising Improvers for Wheat Bread. *Advanced Materials Research*, *554–556*, 1406–1409. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.554-556.1406

Ziobro, R., Witczak, T., Juszczak, L., & Korus, J. (2013). Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. *Food Hydrocolloids*, *32*(2), 213–220.

10. Capítulo 3.

Fortificación y caracterización de las propiedades tecnofuncionales y nutricionales de harina de plátano dominico hartón (*Musa paradisiaca L*.)

10.1 Resumen

La deficiencia de micronutrientes ha sido reconocida como un problema de salud pública, debido a sus implicaciones económicas y en el bienestar de la población. Para países en desarrollo como Colombia, esta deficiencia afecta a gran parte de sus habitantes; de allí la importancia de generar estrategias como la fortificación de alimentos, con el objetivo de mejorar los niveles de consumo en la población y contrarrestar las consecuencias que se generan con la carencia de estos micronutrientes. Así mismo, la necesidad de tomar conciencia entre la relación dieta/salud hace necesario el estudio de las características funcionales de los alimentos. El objetivo de este trabajo fue fortificar con vitaminas del complejo B, vitamina D, calcio y hierro la harina de plátano Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L*.) con funcionalidad tecnológica (H1FTN) de acuerdo a lo establecido en el decreto 1944, como alternativa de un alimento fortificado y analizar algunas de sus propiedades nutricionales y funcionales con el fin de generar conocimiento básico que permita su aplicación en la elaboración de productos nutritivos libres de gluten. El análisis bromatológico mostró que la adición y fortificación de H1 cambia la cantidad de macronutrientes significativamente, así mismo, la fortificación permitió obtener concentraciones mayores de Vit B1, B2, B3, B9, Hierro y Calcio que los contenidos en la harina nativa H1; la adición y fortificación no generó cambios significativos entre H1 y H1FTN para color, almidón de digestión rápida (ADR), almidón resistente (AR) y temperatura de inicio de gelatinización; por el contrario, la H1FTN presenta una disminución del poder de hinchamiento, del índice de solubilidad en agua y del índice de absorción de agua a temperaturas mayores de 70°C, acercándose al comportamiento mostrado por HT; H1FTN presentó mayores temperaturas de gelatinización, mayor estabilidad de pasta y menor de facilidad de cocción que H1 y la caracterización microestructural mostró una red de proteínas en H1FTN, que eran inexistentes en H1, estos cambios se deben a la presencia de

la proteína y del almidón adicionados con la intención de mejorar su comportamiento funcional.

10.2 Introducción

El número de personas que padecen malnutrición ha ido en aumento desde 2014. Las últimas estimaciones indican que cerca de 815 millones de personas en el mundo, algo más de una de cada nueve, sufrían malnutrición en 2017 y no tienen los alimentos necesarios para estar sanos y llevar una vida activa (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018). De hecho, el hambre y la malnutrición son el principal riesgo de salud a nivel mundial, incluso mayor que el sida, la malaria y la tuberculosis juntos (Naciones Unidas, 2018.). América latina no es ajena a este contexto, actualmente existen 39.3 millones de personas padeciendo hambre en estos países y paradójicamente cada año hay 3,6 millones de nuevas personas obesas en la región (FAO; OPS; WFP; UNICEF, 2018) y según la OMS, más de la mitad de las muertes de niños es causada por desnutrición, que además trae como consecuencia alteraciones del crecimiento y desarrollo cognitivo, que afecta el estado de salud y rendimiento cuando son adultos (Daza, 1997). La malnutrición, además puede afectar a personas de todas las edades, pero los niños y las mujeres en edad reproductiva presentan mayor riesgo de desarrollar deficiencias de micronutrientes (Ahmed, Hossain, & Sanin, 2012). Por ejemplo, la deficiencia de hierro, es la causa en la mayoría de los casos de anemia, afecta la función y estructura gastrointestinal y disminuye la respuesta inmunológica, lo que lleva a un aumento de las infecciones y altera la función neurológica física (Álvarez, Serna, Villada, & López, 2012); la deficiencia de ácido fólico, está asociada a la anemia macrocitica y a patologías como malformaciones congénitas, cáncer y enfermedad cardiovascular (Suárez de Ronderon, 2003); la deficiencia de la vitamina B12, produce anemia perniciosa, desconcentración y fallas de memoria, y depresión (Pita Rodriguéz, 1998) y la deficiencia de Calcio provoca deformaciones en la estructura ósea de los niños, afecta la contracción muscular, la coagulación sanguínea y el transporte de oxígeno (Fernandez et al.,

2011); La vitamina D participa en la homeostasis calcio-fósforo del organismo. Su deficiencia mantenida origina la osteomalacia en el adulto. Pero además, en los últimos años se ha observado que la vitamina D influye en un número importante de procesos fisiológicos, especialmente en relación con el sistema inmune, además la acción principal de la vitamina D consiste en aumentar la absorción intestinal de calcio y fósforo. (M.A. & Hawkins Carranza, 2007).

La desnutrición por falta de micronutrientes, además, de los efectos evidentes y directos para la salud, tiene profundas implicaciones para el desarrollo económico y la productividad de un país, particularmente en términos de costos de salud pública potencialmente enormes por el gran número de personas que se ven afectadas que contribuyen a los altos índices de morbilidad y mortalidad. Se ha estimado que las deficiencias de micronutrientes representan alrededor del 7.3% de las causas globales de enfermedades. Según los datos de mortalidad de la OMS, alrededor de 0,8 millones de muertes se puede atribuir a la deficiencia de hierro cada año (World Health Organization, 2002).

El gobierno implementó como estrategia de salud pública y a través del Ministerio de Salud Pública, del ICBF y las entidades territoriales, la intervención con alimentos fortificados como es el caso de la harina de trigo comercial (Ministerio de Salud, 1996), la bienestarina (ICBF, 2014) que se distribuye a todos los niños del país a través del programa de cero a siempre, el programa de alimentación escolar (Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas., 2018) y desayunos con amor (DIA), en el cual se fortifican leche, galletas y otros cereales, con ácido fólico, hierro y zinc (Álvarez et al., 2012). Algunos programas departamentales y municipales también fortifican sus propios alimentos, es el caso del departamento de Antioquia con su leche en polvo MANA fortificada con vitaminas A ,C, D_3, E, H, K_1, B_1,B_2, B_3, B_5, B_6, B_9, B_{12} e Inositol y minerales como el hierro, zinc, yodo, calcio, fósforo y magnesio (Álvarez et al., 2012).

Por otra parte, los consumidores están cada vez más conscientes de la relación entre la dieta y su salud, lo que ha generado un impulso en el desarrollo y

la comercialización de alimentos funcionales con propiedades beneficiosas (Corzo et al., 2015), promoviendo a su vez investigaciones a nivel mundial que buscan alternativas para mejorar el acceso a esta clase de ingredientes, por lo que comienzan a ser conocidos y consumidos por la población en general (Rolim, 2015). La harina de plátano es una fuente importante de macroelementos, especialmente potasio y contiene ingredientes benéficos para la salud como almidón resistente, fibra dietética total, almidón rápidamente digerible y lentamente digerible, oligosacáridos y polifenoles (Anyasi, Jideani, & Mchau, 2013), además el almidón presente en la mayoría de estas harinas, es la mayor fuente de hidratos de carbono en la dieta del ser humano (Sajilata, Singhal, & Kulkarni, 2006). El objetivo de este trabajo fue la fortificación de harina de plátano Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L*.) con funcionalidad tecnológica, y analizar algunas de sus propiedades nutricionales y tecnofuncionales, con el fin de generar conocimiento básico que permita su aplicación en la elaboración de productos nutritivos libres de gluten.

10.3 Metodología

10.3.1 Materia prima

10.3.1.1 Harinas de plátano (H1)

Los plátanos se pesaron en una balanza analítica de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g, se pelaron y se cortaron en rodajas de espesor aproximado de 1 cm, se llevaron a una estufa de secado marca Binder GmbH de convección a 40 °C durante 48 horas, se molieron en un molino de disco (Corona). Finalmente se pasaron por filtro con membrana de tamaño de poro de 100 µm, con el fin de obtener la harina (Lucas, Quintero, & Cárdenas Valencia, 2013).

10.3.1.2 Harina de plátano con funcionalidad tecnológica (H1FTN)

Los plátanos se pesaron en una balanza analítica de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g, se pelaron y se cortaron en rodajas de espesor

aproximado de 1 cm, se llevaron a una estufa de secado marca Binder GmbH de convección a 40 °C durante 48 horas, se molieron en un molino de disco (Corona). Finalmente se pasaron por filtro con membrana de tamaño de poro de 100 µm, con el fin de obtener la harina (Lucas et al., 2013) y posteriormente se adicionó proteína: 6,79%, almidón: 1,86%, hidrocoloide: 0,20 y emulsionante: 1,80%.

10.3.1.3 Harina de trigo comercial (HT)

Se utilizó una harina de trigo comercial, comprada en un supermercado de la ciudad de Armenia Quindío, elaborada con los siguientes ingredientes: Harina de trigo (cereal que contiene gluten) fortificada con Niacina (55 mg/kg), Hierro (44 mg/kg), vitamina B_1 (6mg/kg), vitamina B_2 (4 mg/kg) y ácido fólico (1,54 mg/kg) (Etiquetado).

10.3.1.4 Vitaminas

Microvitamina B_1 tiamina mononitrato (Smart Chemical), B_2 supra 80 riboflavina (Adisseo S.A.S.), B_3 niacina (Vertellus S.A.), microvitamina B_9 promix folic acid (Adisseo S.A.S.), microvitamina D_3 promix 500 (Adisseo S.A.S.).

10.3.1.5 Calcio

Fumarato de calcio

10.3.1.6 Hierro

Sulfato ferroso monohidratado (ATEQUIMICOS S.A.S).

10.3.2 Fortificación de la harina

La fortificación se desarrolló con la ayuda del software Brill Formulation®, el cual cuenta con opciones de manejo de fórmulas maestras. La optimización de la formulación de rangos permitió crear una fórmula de fortificación denominada *fórmula maestra* para la harina de plátano obtenida en al capítulo 3.

10.3.3 Caracterización de las Harinas

10.3.3.1 Análisis proximal harinas

El contenido de humedad se determinó por método oficial AOAC 925.10 (A.O.A.C. USA, 2005), el contenido de ceniza se realizó siguiendo el método oficial AOAC 923.03 (A.O.A.C. USA, 2005), la fibra se determinó por método oficial AOAC 991.42 (A.O.A.C. USA, 2005), la grasa se cuantificó por el método Oficial AOAC 922.06 (A.O.A.C. USA, 2005) y la cantidad de proteínas por el método oficial AOAC 960.52 (A.O.A.C. USA, 2005); los carbohidratos y el valor calórico se determinaron por diferencia de acuerdo al cálculo según el siguiente aporte nutricional por gramo. Carbohidratos 4 kcal/g, grasas 9 Kcal/g y proteínas 4 Kcal/g. La caracterización proximal se realizó por triplicado utilizando un diseño experimental completamente al azar con un nivel del 95% de confianza ($P \leq 0,05$) ($n=3$).

10.3.3.2 Cuantificación de vitaminas hidrosolubles D_3, B_1, B_3, B_6, B_8 y B_9 por cromatografía liquida HPLC

Se determinaron mediante el método AOAC Capítulo 45 Tomo 2 y las USP 30 NF25 (Ame, Nacional, Ame, Peri, & Meses, 2007). En un Cromatógrafo LC 2010 HT liquid Chromatograph SHIMADZU®, equipado con columna cromatográfica synergi 4 hydro – RP 80 A de 250mm x 4.6 mm y tamaño de partícula de 4 µm, con detector ultravioleta – LC-2010 SERIAL AK 4173 Longitud de onda 210 nm y 270 nm, programa cromatográfico LC solution; se trabajó con un flujo de 1 mL/min en modo gradiente, cada corrida tuvo una duración de 30 min, la composición de la fase móvil inició con 77% de buffer pH 3 y 23% de metanol desde el tiempo 0 hasta el min 17, la composición varió a 50/50 hasta el min 21, posteriormente 80% de buffer hasta el min 25, finalmente la composición fue 100% de buffer hasta el min 30. Tanto las muestras como los estándares fueron filtrados empleando una membrana de nylon de 0,45 µm de tamaño de poro y 13 mm de diámetro. El

volumen de cada inyección fue de 100 µL y el resultado del análisis cuantitativo se proporcionó en mg/ por cada 100 gramos de muestra.

La cuantificación se realizó teniendo en cuenta el factor de respuesta, el cual se determinó mediante las siguientes ecuaciones:

$$\boldsymbol{FR}\ (Factor\ de\ respuesta) = \frac{[ppm\ del\ estándar]}{Área\ del\ estándar} \quad (13)$$

Se prepararon concentraciones para cada uno de los estándares de 41 ppm, con la finalidad de obtener la respuesta del equipo en términos de área. Una vez conocido este factor de respuesta, se multiplica por el área de las muestras problema.

$$ppm = FR\ x\ FD\ x\ Área\ del\ analito\ en\ la\ muestra \quad (14)$$

$$\boldsymbol{FD}\ (Factor\ de\ dilución) = \frac{Volumen\ de\ enrase}{Peso\ de\ la\ muestra} \quad (15)$$

El factor de dilución de las muestras se aplicó cuantas veces se diluyó la muestra.

10.3.3.3 Cuantificación de calcio y hierro por absorción atómica

La determinación de calcio y hierro se llevó a cabo mediante el método AOAC 968.08 (AOAC, 1990), en un equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-7OOO, equipado con lámparas de cátodo hueco para análisis de calcio y hierro; la muestra se carbonizó en mechero y se calcinó en la mufla durante 4 horas a 550°C, posteriormente de adicionó HNO_3 concentrado para el calcio y HCl concentrado para el hierro, con la finalidad de disolver completamente los métales y agua destilada hasta aforar. Para preparar la curva de calibración, se tomaron balones de 50 mL de concentraciones de 0.2, 2 y 5 ppm y 0.2, 1, y 2 ppm para calcio y hierro respectivamente a partir del patrón de 1000 ppm, en el caso de los patrones de calcio se adicionó 5 mL de la solución de lantano con la finalidad de disminuir las interferencias químicas, se mezclaron los patrones y luego se aforraron con una solución de HCl al 0.74%. El contenido de calcio y hierro se determinó directamente

en el software del equipo, teniendo en cuenta el peso de muestra, el volumen de trabajo y el factor de dilución utilizado.

10.3.3.4 Cuantificación del perfil de aminoácidos por cromatografía liquida HPLC

El perfil de aminoácidos se determinó en un cromatógrafo líquido de alta resolución Agilen 1100 series con detector UV/VIS, equipado con columna cromatográfica AGILENT – ZORBAX eclipse® AAA Analytical de 150 x 4.6 mm y tamaño de partícula 5 µm; se trabajó con un flujo isocrático de 2 mL/min, la composición de la fase móvil fue (A) solución de Buffer monofosfato de sodio pH 7.8 y (B) mezcla de acetonitrilo – metanol - agua. A una porción de la muestra se le realizó el proceso de hidrólisis establecido en la norma AOAC 994.12, Alternative III, Acid Hydrolysis Method (AOAC, 1990). La solución final se inyectó siguiendo la metodología descrita en la nota de análisis “Amino Acid Analysus Using Zorbax Eclipse-AAA Columns and the Agilent 1100 HPLC”. El volumen de cada inyección fue de 5 µL y el resultado del análisis cuantitativo se proporcionó con los promedios obtenidos a partir del análisis de diferentes réplicas.

10.3.3.5 Color e índice de blancura

El color de las harinas, se midió por reflactancia en un espectrocolorímetro marca HunterLab ColorQuest XE calibrado con un estándar blanco en forma de placa (L=97.79, a=-0.53 y b=+2.28), leyendo con un iluminante de tipo C, la valoración del color se realizó utilizando el sistema uniforme de espacio de color CIELab; en donde L* representa la luminosidad, a* la variación rojo–verde y b* la variación del amarillo–azul (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

El índice de blancura se calculó teniendo en cuenta dichos parámetros de acuerdo con la ecuación (2.1).

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (16)$$

Con la finalidad de determinar la diferencia de color ∆E* (métrica), entre la harina de trigo comercial (referencia) y las harinas de plátano obtenidas (ensayo), a partir de las magnitudes colorimétricas definidas anteriormente, es necesario calcular el valor descrito en la ecuación (2.2):

$$\Delta E^*_{CIE} = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (17)$$

10.3.3.6 Caracterización nutricional

Determinación de almidón total

La cuantificación del almidón total se realizó siguiendo el método 76.13 de la AACC (2000). En tubos de centrífuga se pesaron 100 mg de muestra en base seca a los que se le añadieron 0.2 mL de etanol y 2 mL de KOH 2 M. se mezclaron y agitaron vigorosamente durante 20 min en un baño de hielo y agua. A continuación, se le adicionaron 8 mL de regulador acetato de sodio 1.2 M. Se ajustó el pH a 3.8 y se agregaron 0.1 mL de α-amilasa termoestable y 0.1 mL de amiloglucosidasa. Posteriormente, se mezclaron bien y se incubaron por 30 min en un baño de agua a 50°C con agitación constante. Se sometieron a centrifugación a 1800 g por 10 min y se recogió el sobrenadante en matraces aforados de 100 mL. Se llevó a volumen total de 100 mL con agua destilada y se mezcló bien. Se tomaron alícuotas de la solución y se centrifugaron a 1800 g por 10 min. Para determinar la concentración de glucosa liberada se tomaron alícuotas de 0.1 mL del contenido del matraz en tubos que contenían 3 mL del reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD-POD) y se incubaron en un baño de agua a 50°C por 20 min. El contenido de glucosa liberada se midió en un espectrofotómetro a 510 nm. Para llevar a cabo este análisis se hizo uso del paquete enzimático para la determinación de almidón total MEGAZIME INTERNACIONAL (Wicklow, Ireland) (Megazyme, 2017b).

Determinación de las fracciones de almidón de digestión rápida y lenta

Se pesaron 800 mg de muestra y 50 mg de goma guar en matraces Erlenmeyer de 125 ml. Se adicionaron 10 mL de una solución de pepsina (50 mg de enzima/10 mL de HCL 0.05M) y 5 perlas de ebullición, se homogenizó el contenido con la ayuda del agitador vortex. Para la incubación, los matraces se colocaron en

un baño de agua con agitación orbital (200 strokes/min) a 37 °C durante 30 min. Posteriormente de adicionaron 5 mL de acetato de sodio 0.5 M y homogenizar el contenido, se colocaron los matraces en un baño de agua a 37°C y se adicionó 5 mL de una mezcla de enzimas (pancreatina, invertasa y amiloglucosidasa) a intervalos de 1 min entre cada tubo, se ajustó el baño de agua orbital a una velocidad de agitación de 200 strokes/min por 20 min; se tomó una alícuota de 0.5 mL de la muestra (G20) en un tubo de centrífuga de 50 mL, que contenía 20 mL de etanol al 66% y con la ayuda del vórtex se agitó. Después de 120 min se tomó la segunda alícuota (G120) de 0.5 mL. De igual manera, la alícuota se transfirió a un tubo de centrífuga con 20 mL de etanol al 66%. Los tubos con las muestras (G20 y G120) se centrifugaron a 1500 g por 5 min y se cuantificó el contenido de glucosa con el reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD-POD). Se realizó un análisis de regresión lineal para calcular la concentración de las muestras (Englyst et al., 1992). Empleando ésta, se calculó la concentración de glucosa y por tanto de las fracciones del almidón de digestión rápida y lenta. Para esta prueba se utilizó el paquete enzimático para determinación de almidón de digestión rápida y lenta MEGAZYME INTERNACIONAL (Wicklow, Ireland) (Megazyme, 2019).

Para el cálculo de las fracciones de almidón se usaron las siguientes ecuaciones:

$$ADR = (G_{l20} - Gl) \times 0.9 \quad (18)$$

$$ADL = (G_{120} - Gl_{20}) \times 0.9 \quad (19)$$

Donde, Gl: glucosa libre; Gl20: glucosa liberada a los 20 min, G120: glucosa liberada entre los 20 y 120 min de digestión *in vitro* y 0.9: factor de conversión de glucosa a glucano.

Determinación de almidón resistente

El contenido de almidón resistente de las harinas y los almidones se determinó siguiendo el método 32-40 de la AACC (2000) (Megazyme, 2014). 100 mg de muestra se incubaron en agitación constante en un baño de agua, con α-amilasa y amiloglucosidasa por 16 horas a 37°C, con el fin de solubilizar e hidrolizar

el almidón a glucosa. La reacción se suspendió por la acción de etanol al (50% v/v) seguidos de centrifugación a 1500 g por 10 min, removiendo el sobrenadante por decantación. El almidón resistente contenido en el precipitado se disolvió en 2 mL de KOH 2.0 M con agitación en un baño con hielo durante 20 min, con la finalidad de resuspender los sólidos. Posteriormente se adicionaron 8 mL de regulador de acetato 1.2 M ajustando pH A 3.8; el almidón fue hidrolizado a glucosa con 0.1 mL de amiloglucosidasa. Finalmente, la glucosa liberada se determinó con el método de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD-POD), midiendo las absorbancias a 510 nm. Para esta prueba se utilizó el paquete enzimático para determinación de almidon resistente MEGAZYME INTERNACIONAL (Wicklow, Ireland) (Megazyme, 2014).

Determinación de amilosa y amilopectina

Para este análisis se tomó como referencia el método establecido por MEGAZYME INTERNATIONAL (Megazyme, 2011) para la cuantificación de la Amilosa/Amilopectina, el cual se fundamenta en la formación específica de complejos de amilopectina con la lectina concanavalina A, en condiciones definidas de pH, temperatura y fuerza iónica; la Concavalina A específicamente forma complejos con polisacáridos ramificados basados en unidades de α-D-glucopiranosil o α-D-manopiranosil en múltiples grupos terminales no reductores con la formación de un precipitado. Por lo tanto, la Concavalina A acompleja de manera efectiva el componente amilopectina del almidón.

El cálculo del contenido de amilosa se realiza de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$Amilosa,\%\ (p/p) = \frac{Absornacia\ (Con\ un\ sobrenadante)}{Absorbancia\ (Alicuota\ total\ almidón)}\ x\ 6.15/92\ x\ 100/1 \quad (20)$$

$$Amilosa,\%\ (p/p) = \frac{Absornacia\ (Con\ un\ sobrenadante)}{Absorbancia\ (Alicuota\ total\ almidón)}\ x\ 66.8 \quad (21)$$

Determinación de fibra dietaría total

El contenido de fibra dietaría total de las harinas y los almidones se determinó siguiendo los métodos descritos por AOAC 985.29, AOAC 991.42, AOAC 991.43,

AOAC 993.19, AOAC 32-05.01, AOAC 32-06.01, AOAC 32-07.01, AOAC 32-21.01 (Megazyme, 2017a). La fibra dietética total (TDF) se determinó por duplicado. Las muestras se calentaron a ~ 100° C con α-amilasa estable al calor para generar la gelatinización, hidrólisis y despolimerización del almidón; posteriormente se incubaron a 60 ° C con proteasa con el fin de solubilizar y despolimerizar proteínas y amiloglucosidasa para hidrolizar fragmentos de almidón a glucosa;las muestras posteriormente se trataron con cuatro volúmenes de etanol para precipitar la fibra soluble y eliminar las proteína despolimerizadas y glucosa contenidas en el almidón. El residuo se filtró; se lavó etanol al 78%, al 95% y acetona; posteriormente la muestra se secó y se pesó. Un duplicado se analiza en busca de proteínas y el otro se incuba en 525 ° C para determinar la ceniza. El TDF es el peso del filtrado y residuo seco menos el peso de la proteína y la ceniza. Para esta prueba se utilizó el paquete enzimático para determinación de fibra dietaría total de MEGAZYME INTERNACIONAL (Wicklow, Irlanda).

10.3.3.6 Caracterización funcional

Determinación de índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) a 60, 70, 80 y 90°C

Estas determinaciones se hicieron con base en la metodología citada por (Bryant & Hamaker, 1997). Se pesaron 250 mg de muestra en un tubo de centrífuga, se adicionaron 5 ml de agua destilada y se mezcló la suspensión (Vortex), se calentó por triplicado cada juego de tubos a 60, 70, 80 y 90°C por 15 min, agitando cada 5 min (vórtex), se centrifugaron los tubos a 1000 g durante 15 min, se transfirió el sobrenadante a tubos previamente tarados; se pesó el residuo y registró el peso, El sobrenadante se decantó, y se llevó a estufa a 40°C, durante 24 horas y posterior secado en estufa a 105°C hasta que se evaporara el agua restante y se registró el peso; finalmente se pesaron los tubos y la ganancia de peso se emplea para calcular IAA, ISA y PH. Los ensayos se realizaron por triplicado y los índices de absorción y solubilidad en agua, así como el poder de hinchamiento, se determinaron de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

$$IAA = \frac{Peso\ del\ gel\ (g)}{Peso\ de\ la\ muestra\ (g)} \quad (22)$$

$$ISA\ (\%) = \frac{Peso\ de\ solubles\ (g)}{Peso\ de\ la\ muestra\ (g)}\ x\ 100 \quad (23)$$

$$PH = \frac{Peso\ del\ gel\ (g)}{Peso\ de\ la\ muestra\ (g) - Peso\ de\ Solubles\ (g)} \quad (24)$$

10.3.3.7 Viscoamilografia (RVA)

Para determinar el perfil de viscosidad de las harinas, se empleó el método 61-02 de la AACC (2000). Se preparó una dispersión de harina de plátano/agua (3.0 ± 0,3 g en base seca de harina y se completó con agua a 30 g peso total) se colocó en el Peltier del reómetro TA Instruments AR1500ex estándar con rango de torque de 0.0001 a 150mN.m, con resolución ultra alta 0.04 micro rad y una velocidad angular de 300 rad/s, con sistema de temperatura Smart Swap. Se programó al equipo para que realizara un ciclo de calentamiento-cocción-enfriamiento, cada muestra fue equilibrada a 50 °C por un min a una velocidad de paletas de 960 rpm por 10 s, posteriormente, la velocidad se mantuvo a 160 rpm y la temperatura se incrementó de 50 °C a 95 °C a una velocidad de 6 °C/min, se mantuvo constante a 95 °C por 5 min y se enfrío hasta 50 °C a una velocidad de 6 °C/min donde se mantuvo a esa temperatura por 2 min.

10.3.3.8 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La determinación de la temperatura y la entalpía de gelatinización (Tp y ΔHp) de las harinas de plátano y la harina de trigo (control) se llevó a cabo en un equipo DSC Qseries Q20 TA Instruments Explorer. Se pesaron muestras de (2.2 ± 1.0) mg tanto de las harinas por duplicado, a las cuales se les adicionó 7 µL de agua desmineralizada con la jeringa del HPLC, las condiciones del equipo fueron: velocidad de calentamiento de 10°C/min, desde 30 °C hasta 130°C, en atmosfera de Nitrógeno. Se pesaron, se prepararon las muestras, se calculó la temperatura y la entalpía de gelatinización; las muestras se almacenaron por un periodo de 8 días, con la finalidad de permitir que el almidón retrograde y posteriormente se corrieron

nuevamente los ensayos y se obtuvo la temperatura y la entalpía a la que ocurre la retrogradación del almidón presente en las muestras.

10.3.3.9 Espectroscopia de infrarrojo con transformada de fourier (EITF)

Se utilizó un espectrofotómetro IR Prestige 21 Shimadzu en el modo de porcentaje de transmitancia, en la región del infrarrojo medio comprendido entre 4.000 y 400 cm^{-1} (López-Medina et al., 2017).

10.3.3.10 Caracterización microestructural

Las muestras se analizaron mediante microscopía confocal de barrido láser (MCBL) (LSM 710. Carl Zeiss, Oberkochen, Baden – Wurttemberg, Alemania) utilizando la metodología propuesta por (Ramírez-Miranda, Salgado Cruz, & Calderón-Domínguez, 2017) con ligeras modificaciones. Las muestras hidratadas se colocaron en heparina (1 mL, 5000 unidades, Inhepar PiSa) durante 5 min. Enjuagando la muestra con 5 mL de agua destilada y se eliminó el exceso de agua con un material absorbente. Para este estudio la muestra se dejó en contacto con dos fluorocromos: 25 min con 5-isotiocianato de fluoresceína (FITC, 0.05% en agu) para marcar almidón y 5 min con rodamina B (0.015% en agua) para marcar proteína. Posteriormente, las muestras se enjuagaron con agua destilada y colocaron en un medio de montaje histológico (FluoroshieldTM, Sigma) sobre placas de vidrio para evitar la deshidratación de la muestra. La longitud de onda del láser de excitación fue de 488 y 568 nm para FITC y rodamina B, respectivamente y las emisiones máximas fueron a 518 y 625 nm.

10.3.3.11 Análisis de elementos químicos (EDS)

El análisis elemental EDS (EDS, por sus siglas en inglés, Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) se realizó con un microscopio de electrones Carl Zeiss modelo EVO LS 10 (life Science), usando un bombardeo de electrones con 16 kV. Los polvos de las muestras se adhirieron a una cinta con carbón y los análisis EDS se

realizaron bajo vacío de 1 Pa. Estas condiciones permiten hacer las mediciones SEM y EDS sin recubrir las muestras con un conductor. Este análisis de midió en regiones puntuales de las micrografías con magnificación de 500X

10.3.4 Análisis estadístico

Para las variables fisicoquímicas el diseño experimental que se aplicó fue un análisis descriptivo e inferencial con la finalidad de llegar a obtener conclusiones o generalizaciones que sobrepasan los límites de los conocimientos aportados por el conjunto de datos fisicoquímicos. Pretende obtener información sobre la cuantificación fisicoquímica basándose en el estudio de los datos de la muestra tomada a partir de ella.

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos se utilizó un diseño completamente aleatorizado (ANOVAS) con pruebas comparativas de Tukey, en donde los tratamientos se asignan al azar entre las unidades experimentales ya que se espera que los factores estén controlados y actúen por igual entre las unidades experimentales.

10.4 Resultados y Discusión

10.4.1 Fortificación de la harina

Inicialmente se caracterizó la harina de plátano adicionada, en los valores de macro y micronutrientes, se definieron los valores máximos y mínimos de fortificación y pérdidas basados en la especificación de la fórmula descrita en el decreto número 1944 del 28 de octubre de 1996, “Por el cual se reglamenta la fortificación de la harina de trigo y se establecen las condiciones de comercialización, rotulado, vigilancia y control”; la adición de vitamina D_3, se realizó teniendo en cuenta lo establecido por el IOM (Instituto de Medicina de los EE.UU) que recomienda 600 UI para la población de entre 1 y 70 años y una ración equivalente al 20% de este valor, con la finalidad de ayudar en la fijación de calcio,

garantizando la concentración de la vitamina D_3 en su formulación, por medio del certificado de análisis del lote en consumo, finalmente con estos antecedentes, se determinó por balance de materia la cantidad de micronutrientes a adicionar (Tabla 29).

Tabla 29. *Concentración final micronutrientes harina de plátano*

Análisis	Unidad	Cantidad mínima establecida decreto 1944 de 1996 (mg)	Harina de plátano con funcionalidad tecnológica (mg/kg)	Cantidad a fortificar (mg)
Hierro	mg/kg	44	36.7	87.09
Calcio	mg/kg	1280	512.7	1888.67
Vit. B1 (Tiamina)	mg/kg	6	3.3	14.23
Vit. B2 (Riboflavina)	mg/kg	4	12.1	18.36
Vit. B3 (Niacina)	mg/kg	55	9.2	104.92
Vit. B9 (Ácido Fólico)	mg/kg	1.54	3.3	56.85
Vit. D	mg/kg	-	-	0.003

Los micronutrientes se agregaron directamente para facilitar el proceso de mezclado y homogenización de la harina. Las formas químicas de los micronutrientes adicionados se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. *Concentración y formas químicas de los aditivos*

Aditivos	Forma química	Unidad	Concentración
Vit. B1 (Tiamina)	Mononitrato de Tiamina	%	99.50
Vit. B2 (Riboflavina)	Riboflavina	%	81.60
Vit. B3 (Niacina)	Nicotinamida	%	99.00
Vit. B9 (Ácido Fólico)	Ácido Fólico	%	97.10
Vit. D_3	Vitamina D3	UI/g	528000
Calcio	Fumarato de Calcio	%	99.00
Hierro	Fumarato Ferroso	%	30.20

Una vez establecida la concentración final deseada, las formas químicas y la concentración de los aditivos a adicionar, se suministraron al software de formulación Brill Formulation®, y mediante una optimización de la formulación de rangos, se obtuvo los porcentajes de los ingredientes a utilizar creando una fórmula de fortificación denominada *fórmula maestra* para la harina de plátano (Tabla 31).

***Tabla 31**. Fórmula maestra harina de plátano*

Informe de Solucion
FORMULA MAESTRA

C-0851 PMZ SUPLEMENTO HARINA DE PLATANO

Codigo	Actual	Nombre	%	Min.	Max.
C-062	995.890,9	HARINA DE PLATANO	99,59		
027141	2.432,709	MICROVIT B9 PROMIX FOLI	0,24		
C-063	1.391,926	FUMARATO DE CALCIO 99	0,14		
024010	168,469	SULFATO HIERRO 30%	0,02		
027065	96,725	NIACINA 99% B3	0,01		
027028	11,167	MICROVIT B1 THIAMINE			
027030	7,887	MICROVIT B2 SUPRA 80%			
027235	0,240	MICROVIT D3 500			

	1.000,000				

Nombre de Nutriente	Unidades	Actual	Min.	Max.
DOSIS	Kg	1.000,00	1.000,00	1.000,00
VITAMINA D3	UI	120,00	120.000,00	120.000,0
VITAMINA B1 TIAMINA	mg	14,23	14.230,00	14.230,00
VITAMINA B2 RIBOFLAV	mg	18,36	18.360,00	18.360,00
VITAMINA B3 NIACINA	mg	104,92	104.920,00	104.920,0
ACIDO FOLICO	mg	5.685,00	5.685.000,00	5.685.000
HIERRO	mg	87,09	87.090,00	87.090,00
CALCIO	mg	1.888,60	1.888.600,00	1.888.600
PROTEINA	g	57,66		
CENIZA CRUDA	g	26,99		
HUMEDAD	g	99,09		
FRIBRA CRUDA	g	7,87		
GRASA	g	25,30		

Los ingredientes obtenidos en el formulador para la fórmula maestra, fueron pesados con precisión, adicionados a la harina de plátano con funcionalidad tecnológica y homogenizados por premezclado de rotación para su posterior caracterización y utilización en la elaboración de productos funcionales libres de gluten.

10.4.2 Caracterización fisicoquímica de las harinas

10.4.2.1 Análisis Proximal Harinas

En la tabla 32 se presentan los parámetros fisicoquímicos de humedad, cenizas, proteína, grasa y fibra correspondientes a H1, H1FTN y HT. Los porcentajes de humedad obtenidos para la H1 y H1FTN fueron mayores a los

reportados por (Pacheco, 2001) (Juarez-Garcia, Agama-Acevedo, Sáyago-Ayerdi, Rodríguez-Ambriz, & Bello-Pérez, 2006) y similares a lo reportado por (Colmenares-Leal, 2009) en harinas de plátano. Para la HT el valor de la humedad fue de 12,60%. Los resultados de cenizas para H1 y H1FTN fueron 2,38% y 2,66% respectivamente, (Pacheco, 2001) reportó 2% y (Colmenares-Leal, 2009) 2,18% de cenizas para harinas de plátano; valores que son menores a los obtenidos en esta investigación para la harina nativa; la fortificación con hierro y calcio, generó un aumento en el contenido de cenizas en H1FTN comparado con H1; la determinación de cenizas da cuenta de la cantidad de minerales que quedan después de la calcinación de la materia orgánica del alimento, usualmente los cereales presentan cantidades considerables de hierro (1,8 – 4,7 mg), magnesio (121 – 177 mg) y zinc (1,93 – 5,95 mg) (Menkir, Liu, White, Maziya-Dixon, & Rocheford, 2008).

El resultado de la concentración de proteína cruda evidenció diferencias significativas ($P < 0,05$) para H1, H1FTN y HT, siendo mayor en las dos últimas. Las harinas de plátano presentan contenidos bajos de proteína, Pacheco, (2001) encontró 3,80%, Juarez-Garcia et al., (2006) 3,3% y Colmenares-Leal, (2009) 2,35% y el contenido de proteína que posee la HT es similar a lo reportado por de la Horra & Seghezzo, (2012).

Se ha reportado que el porcentaje de grasa cruda varia de 0,17 a 2,7% en harinas de pulpa de musáceas (Pacheco-Delahaye, Maldonado, Pérez, & Schroeder, 2008), los valores encontrados para H1 (0,53%) y H1FTN (2,08%) son coherentes con lo reportado en la literatura. La H1FTN presentó un aumento significativo ($P < 0,05$) del contenido de compuestos lipídicos y de proteína comparado con H1, debido a la adición de proteínas de huevo para aumentar su funcionalidad tecnológica, los valores lipídicos de HT y H1 se atribuyen a compuestos naturales.

Para el contenido de fibra cruda, se observa que H1 y H1FTN tienen significativamente ($P < 0,05$) mayor porcentaje de fibra cruda que la HT, esto se debe, principalmente, al mayor contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina que

posee el fruto del plátano, comparado con el trigo; por otro lado, el contenido de fibra dietaría fue mayor en H1FTN sin existir diferencia significativa (P < 0,05) con H1, pero sí, con HT; en otras investigaciones se reportan valores que van desde el 7% al 14% de fibra dietaría (Pacheco, 2001; Pacheco-Delahaye et al., 2008 y Juarez-Garcia et al., 2006) para harina de pulpa de plátano y Colmenares-Leal, (2009) reportó un valor inferior de 2,3% en harina de pulpa de plátano verde clon hartón. La adición generó una disminución de la fibra cruda pero un aumento en la fibra dietaría, debido posiblemente, a un incremento de componentes como celulosa, hemicelulosa y alfaglucanos, principalmente (Rivera-quixchan, González-cortés, García-zarracino, & Jiménez-vera, 2018). Los carbohidratos son el mayor compuesto en todas estas harinas, el plátano y el trigo se caracterizan por ser altas fuentes de energía en azúcares y almidón.

Tabla 32. *Análisis proximal para H1, H1FTN y HT (100g)*

	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína cruda (%)	Grasa cruda (%)	Fibra cruda (%)	Fibra dietaría (%)
H1	9.58 ± 0,03[a]	2.38 ± 0.02[a]	3.33 ± 0.03[a]	0.53 ± 0.02[a]	1.58 ± 0.03[a]	5,73 ± 0,47[a]
H1FTN	10.89 ± 0,02[b]	2.66 ± 0,02[b]	6.11 ± 0,02[b]	2.08 ± 0,02[b]	1.50 ± 0,01[b]	6,25 ± 0,32[b]
HT	12,60 ± 0,17[c]	1,06 ± 0,06[c]	12,61 ± 0,21[c]	0,50 ± 0,03[a]	0,46 ± 0,02[c]	4,05 ± 0,17[c]

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

10.4.2.2 Cuantificación de vitaminas hidrosolubles B_1, B_3, B_6, B_8 y B_9 por cromatografía liquida HPLC

La tabla 33 muestra la cuantificación del contenido de vitaminas del complejo B en H1, H1FTN y HT; se puede observar que la adición de vitaminas del complejo B fue exitosa, ya que se obtuvo valores superiores en H1FTN comparada con H1 y valores por encima de la cantidad mínima establecida en el decreto 1944 de 1996 para fortificación de HT.

Tabla 33. *Cuantificación de vitaminas del complejo B para H1, H1FTN y HT*

	Vitamina B1 (mg/kg)	Vitamina B2 (mg/kg)	Vitamina B3 (mg/kg)	Vitamina B9 (mg/kg)
H1	3.3 ± 0.07^{a}	12.1 ± 0.24^{a}	9.2 ± 0.184^{a}	3.3 ± 0.07^{a}
H1FTN	12.8 ± 0.26^{b}	21.1 ± 0.42^{b}	229.1 ± 0.80^{b}	35.1 ± 0.70^{b}
HT	57.8 ± 0.75^{c}	36.5 ± 0.73^{c}	523.1 ± 0.81^{c}	14.21 ± 0.28^{c}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

La cuantificación de vitaminas del complejo B, evidenció valores superiores para HT comparada con las harinas de plátano, en las concentraciones de vitamina B_1, vitamina B_2 y vitamina B_3, mientras que la concentración de vitamina B_9 de la HT fue mayor comparada con H1 y menor comparada con H1FTN. Con base en los resultados obtenidos, la matriz alimenticia final de harina de plátano además de su alto contenido de potasio, magnesio y fibra, puede ser considerada como una buena fuente de vitaminas del complejo B y un contenido de 120 UI de vitamina D_3 por cada kg de harina. Al comparar los resultados del presente trabajo, con los que reporta en la tabla de composición de alimentos colombianos (ICBF, 2015), se encontró que en todos los casos las concentraciones de vitaminas del complejo B, fueron superiores a lo reportado en la tabla tanto para la harina de trigo como para la harina de plátano.

10.4.2.3 Cuantificación de calcio y hierro por absorción atómica

Los resultados obtenidos en la determinación de calcio y hierro se muestran en la tabla 34 donde se evidencia el promedio de las concentraciones de Calcio (Ca) y hierro (Fe), en la HT, H1 y H1FTN. Se puede observar que las concentraciones de Ca y Fe, fueron superiores en HT (3162 mg/kg) y (841.8 mg/kg) respectivamente, comparados con HT sin fortificar, la cual obtuvo valores de 512.7 mg/kg para el Ca y 36.7 mg/kg para el Fe.

Tabla 34. *Cuantificación de Ca y Fe para H1, H1FTN y HT*

	Calcio (mg/kg)	Hierro (mg/kg)
H1	512.7 ± 0.73[a]	36.7 ± 0.73[a]
H1FTN	1311.5 ± 0.84[b]	73.6 ± 0.69[b]
HT	3162 ± 0.78[c]	841.8 ± 0.82[c]

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

La adición de calcio y hierro a H1 generó un aumento de 2.56 veces en la concentración de Ca y 2 veces para la concentración de Fe en la matriz final (H1FTN). Al comparar los resultados del presente trabajo, con los que reporta en la tabla de composición de alimentos colombianos (ICBF, 2015), se encontró que las concentraciones de Ca y Fe para la H1FTN fueron mayores que las reportadas en la tabla.

10.4.2.4 Cuantificación del perfil de aminoácidos por cromatografía liquida HPLC

Se identificaron y cuantificaron los aminoácidos presentes en la H1, H1FTN y HT; los resultados se presentan en la tabla 35 se puede observar que en las tres muestras se encuentran presentes la mayoría de aminoácidos esenciales con un buen balance y similitud en sus valores. En la proteína de H1 se evidencia la menor concentración de todos los aminoácidos comparados con los de HT. La adición de proteína de huevo para generar aumento de la funcionalidad de la harina de plátano, generó un aumento en la concentración de todos los aminoácidos y la presencia de L-tirosina en la H1FTN comparada con H1, acercándose a las concentraciones de aminoácidos obtenida para la HT y predominando aminoácidos como el L-ácido aspártico, L-alanina y L-leucina con valores que superan los reportados para HT.

Tabla 35. *Perfil de aminoácidos para fracciones proteicas de H1, H1FTN y HT*

	Determinación	H1 (g/100g)	H1FTN (g/100g)	HT (g/100g)
ASP	L-Ácido aspártico	0,31	0,60	0,39
THR	L-Treonina	0,22	0,35	0,41
SER	L-Serina	0,11	0,34	0,45
GLU	L-Ácido glutámico	0,56	1,18	3,99
GLY	L-Glicina	0,29	0,30	0,65
ALA	L-Alanina	0,28	0,44	0,39
VAL	L-Valina	0,21	0,58	0,63
ILE	L-Isoleucina	***	***	***
LEU	L-Leucina	0,11	0,30	0,21
TYR	L-Tirosina	***	0,18	0,25
PHE	L-Fenilalanina	0,12	0,29	0,34
LYS	L-Lisina	***	***	***
HIS	L-Histidina	0,11	0,17	0,23
ARG	L-Arginina	0,30	0,59	0,65

10.4.2.5 Color e índice de Blancura

En la tabla 36 se presentan los parámetros de color L*, a* y b* correspondientes a H1, H1FTN y HT. Se puede observar diferencias significativas ($P < 0,05$) en los parámetros L* y b* para las tres harinas, a* no presenta diferencia significativa entre H1 y H1FTN, pero éstas si con HT, presentándose la misma situación para el IB. H1 y H1FTN presentan los valores más altos para a* y b* con una leve tendencia a tonos rojizos y a amarillos claros, el iluminante L* presentó valores menores para las harinas de plátano. Los valores de IB indican que no existe diferencia significativa ($P < 0,05$) entre H1 y H1FTN, todas las harinas se acercan más al color amarillo que al blanco, siendo la HT la que se acerca más al blanco.

Tabla 36. *Índice de blancura H1, H1FTN y HT*

Muestra	L*	a*	b*	IB
H1	$73,33 \pm 0,31^{a}$	$1,33 \pm 0,15^{a}$	$15,70 \pm 0,10^{a}$	$69,03 \pm 0,23^{a}$
H1FTN	$74,80 \pm 0,10^{b}$	$1,30 \pm 0,06^{a}$	$18,30 \pm 0,06^{b}$	$68,81 \pm 0,09^{a}$
HT	$92,01 \pm 0,06^{c}$	$0,56 \pm 0,00^{b}$	$9,78 \pm 0,10^{c}$	$74,19 \pm 0,10^{b}$

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

10.4.2.6 Caracterización nutricional

Determinación de almidón total (AT), almidón de digestión rápida (ADR), almidón de digestión lenta (ADL), almidón resistente (AR) y contenido de amilosa – amilopectina.

En la tabla 37 Se obtuvieron los siguientes resultados de almidón total (AT), almidón de digestión rápida (ADR), almidón de digestión lenta (ADL) y almidón

resistente (AR), en las harinas de plátano y la harina de trigo realizándose tres repeticiones. Los resultados obtenidos muestran que H1 obtuvo un valor mayor de almidón total (71,98 g/100g) y que los aditivos y micronutrientes causaron un aumento en el porcentaje de almidón total en H1FTN sin existir diferencia significativa ($P < 0,05$), logrando acercarse al valor obtenido por HT. El contenido de almidón AT tanto de las harinas de plátano (Soto, 2010) como de la harina de trigo (de la Vega, 2009) se encuentran dentro de los intervalos reportados en la literatura. La determinación de las fracciones de almidón se evaluó en las harinas gelatinizadas, la HT presentó un alto contenido de ADR (93,70 g/100g), mientras que H1 mostró el valor más alto de AR (18,90 g/100g) (Tabla 37); los valores de ADL de las harinas de plátano fueron superiores y el AR fue menor a lo reportado por M. M. Sánchez-Rivera, R. A. González-Soto, (2017) que analizaron las propiedades fisicoquímicas y de digestibilidad de harinas de plátano. Los valores superiores de AR de las harinas de plátano comparadas con la HT, son importantes debido a que alimentos con alto contenido de AR restringen el metabolismo de estos presentando respuestas glicémicas más bajas en sujetos humanos sanos (Bharath Kumar & Prabhasankar, 2014), además que ésta fracción de almidón se fermenta en el colon favoreciendo la producción de ácidos grasos de cadena corta. La H1 presentó valores superiores de ADL (4,80 g/100g) y AR (18,90 g/100g) que la HT. La menor digestibilidad del almidón en las harinas de plátano en comparación con la HT puede atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos que pueden interferir en la digestibilidad del almidón (Bordenave, Janaswamy, & Yao, 2014).

Tabla 37. *Cuantificación de almidón total (AT), almidón de digestión rápida (ADR), almidón de digestión lenta (ADL), almidón resistente (AR) y contenido de amilosa para H1, H1FTN y HT*

	AT (%)	ADR (%)	ADL (%)	AR (%)	Amilosa (%)
H1	71,98 ± 0,29^{a}	77,10 ± 0,20^{a}	4,80 ± 0,60^{a}	18,90 ± 1,20^{a}	15,28 ± 0,34^{a}
H1FTN	69,65 ± 0,26^{b}	76,90 ± 1,10^{a}	4,00 ± 0,90^{b}	18,30 ± 1,70^{a}	17,29 ± 0,52^{b}
HT	69,73 ± 2,30^{b}	93,70 ± 0,50^{b}	0,90 ± 0,40^{c}	5,40 ± 0,90^{b}	17,44 ± 0,44^{b}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

Los contenidos de amilosa de las harinas H1, H1FTN y HT fueron de 15,28, 17,29 y 17,44%, respectivamente; evidenciándose una diferencia significativa ($P <$

0,05) entre el contenido de amilosa de HT y H1FTN con H1; el resultado de HT fue mayor a los obtenidos por Bamigbola, Awolu, & Oluwalana, (2016) para harina de trigo (12,50%) y las tres muestras presentaron valores menores a lo reportado por Eskin, (1990) quien reportó que el nivel de amilosa en almidones oscila entre 21 al 30%. La relación amilosa–amilopectina, imparte características definitivas en las propiedades funcionales de las harinas, dada la aplicación específica que se puede dar de éstas en el desarrollo de un producto. La amilosa se caracteriza porque favorece la retrogradación de sus pastas durante el enfriamiento, ocasionando el indeseable fenómeno de sinéresis, que consiste en la separación de las fases sólida (cristales de amilosa y amilopectina) y líquida (agua) al enfriarse el gel, mientras que la amilopectina presenta pastas espesas que no se retrogradan fácilmente al enfriarse (Hoover, 2001).

10.4.2.7 Caracterización funcional

Índice de absorción de agua (IAA), de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) a 60, 70, 80 y 90°C.

Las tendencias para el índice de absorción de agua (IAA), índice se solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH), para H1, H1FTN y HT se presentan en la Figura 32. Las tres harinas presentan variación en función de la temperatura ($P < 0,05$). En la Figura 32a, se puede apreciar que para los tres tipos de harina el IAA tiende a aumentar cuando la temperatura es mayor, pues durante este proceso se desnaturalizan las proteínas, se gelatiniza el almidón y se favorece el hinchamiento de la fibra cruda, facilitando la capacidad de absorción de agua por parte de la harina al momento de rehidratarse (Reyes-Moreno, Milán-Carrillo, Rouzaud-Sanchez, A., & Mora-Escobedo, 2002), también se debe a la ruptura de los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas, que permiten una absorción irreversible y progresiva del agua (Hernández-Medina, Torruco-Uco, Chel-Guerrero, & Betancur-Ancona, 2008). La H1FTN presentó menor índice de absorción de agua a partir de los 70 °C comparada con H1, acercándose al comportamiento mostrado por HT, probablemente por un aumento en las

interacciones entre las cadenas de amilosa/amilopectina que disminuyeron la hidratación (Rodriguez, Lascano, & Sandoval, 2012).

Los valores obtenidos para las harinas de plátano se encuentran dentro del rango de referencia de IAA para harinas comerciales (2,1 a 3,7 g gel/g muestra). En cuanto al comportamiento del índice de solubilidad que se muestran en la Figura 32b, se puede observar como para H1 la solubilidad disminuye con el aumento de temperatura desde 60 hasta 80°C y desde este punto en adelante aumenta; para H1FTN la solubilidad inicialmente disminuye desde los 60 hasta 70°C, aumenta conforme se incrementa la temperatura hasta 80°C y finalmente disminuye, un comportamiento similar presentó la HT, con la diferencia que incrementó paulatinamente desde los 70 hasta los 90°C y se deba probablemente a que los gránulos hinchados del almidón permiten la exudación de amilosa (GUJSKA, D.-REINHARD, & KHAN, 1994).

Cabe destacar que el valor del ISA resulta menor para H1FTN comparado con H1 a partir de los 70 °C, acercándose al comportamiento mostrado por HT, al igual que sucedió con el IAA. Los valores de PH se muestran en la Figura 32c. El PH es una propiedad del contenido de amilopectina de los almidones, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Lii, Tsai, & Tseng, 1996).

La H1FTN evidencia valores más bajos de hinchamiento a partir de los 70 °C comparada con H1; así mismo, H1FTN muestra valores constantes en los rangos de temperatura superiores, similar a HT, estas condiciones están asociadas al almidón y su resistencia al hinchamiento por tener altas temperaturas de gelatinización y por los efectos de las interacciones entre cadenas que se nombraron anteriormente para el IAA (Hernández-Medina et al., 2008).

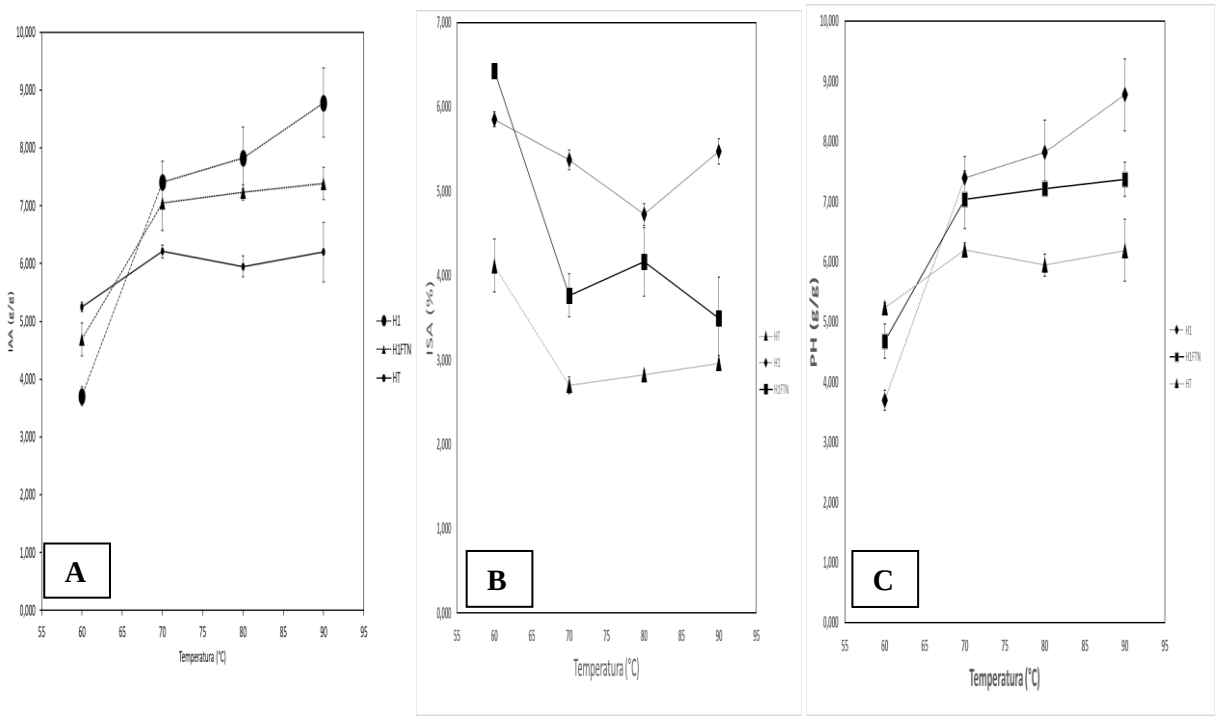


Ilustración 32. *A) Índice de absorción de agua, B) Índice de solubilidad en agua y C) Poder de hinchamiento para H1, H1FTN y HT.*

10.4.2.8 Viscoamilografia (RVA)

En la tabla 38 se muestran los resultados de las características de empastamiento de las curvas de viscosidad RVA para las harinas de plátano y la harina de trigo. Las temperaturas de inicio de la gelatinización por viscoamilografía para las H1, H1FTN y HT fueron 79,69, 77,70 y 74,85°C respectivamente; datos similares a los reportados por DSC anteriormente que confirman el comportamiento en las muestras analizadas; la temperatura de inicio de gelatinización es también llamada temperatura de empastamiento y es la que da inicio a la primera etapa o etapa de calentamiento, incrementando la viscosidad de la pasta hasta llegar a un pico de viscosidad de 163,60 y 212,10 cP para H1 y H1FTN respectivamente y 109,20 cP para la HT, este punto se localizó entre los 92,60 y 96,5ºC en todas las harinas y el gránulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata (Whisler & BeMiller, 1997); luego el gránulo pierde su cristalinidad al gelatinizarse, colapsando (Whistler et al., 1984).

Tabla 38. *Propiedades de empastamiento para H1, H1FTN y HT*

Parámetros	H1	H1FTN	HT
Temperatura de inicio de gelatinización (°C)	77,69	79,70	74,85
Tiempo en temperatura de inicio de gelatinización (min)	11,83	11,40	12,68
Viscosidad máxima (cP)	163,60	212,10	109,20
Temperatura en pico (°C)	92,60	96,50	96,20
Tiempo en pico (min)	13,57	14,50	15,00
Viscosidad de la pasta caliente (VPC) (cP)	86,40	95,80	50,90
Viscosidad mínima (cP)	86,40	95,80	50,60
Viscosidad de la pasta fría (VPF) (cP)	169,00	150,80	78,40
Breakdown (cP)	77,20	116,30	58,60
Setback (cP)	82,60	55,00	27,80
Facilidad de cocción (min)	-1,74	-3,10	-2,32
Consistencia	5,40	-61,30	-30,80

En la Figura 33 se observa el comportamiento de la viscosidad respecto al tiempo y temperatura de H1FTN, la cual presentó el mayor valor de viscosidad máxima (212,10 cP) y el mayor valor de contenido de amilosa. Este comportamiento es coherente con lo reportado por (Singh, Kaur, Sandhu, Kaur, & Nishinari, 2006), los cuales establecieron una correlación positiva entre estas dos propiedades.

El amilograma muestra una tendencia a la retrogradación, resultado de la presencia de amilosa, debido a que esta favorece la retrogradación de sus pastas durante el enfriamiento, ocasionando el fenómeno de sinéresis, mientras que la amilopectina presenta pastas espesas que no se retrogradan fácilmente al enfriarse (Gunaratne & Hoover, 2002). H1FTN, además, presentó las mayores temperaturas de gelatinización, una mayor estabilidad de pasta y la menor de facilidad de cocción. Los valores de viscosidad de recuperación (Setback) se encuentran asociados a los contenidos de amilosa (Montoya et al., 2014).

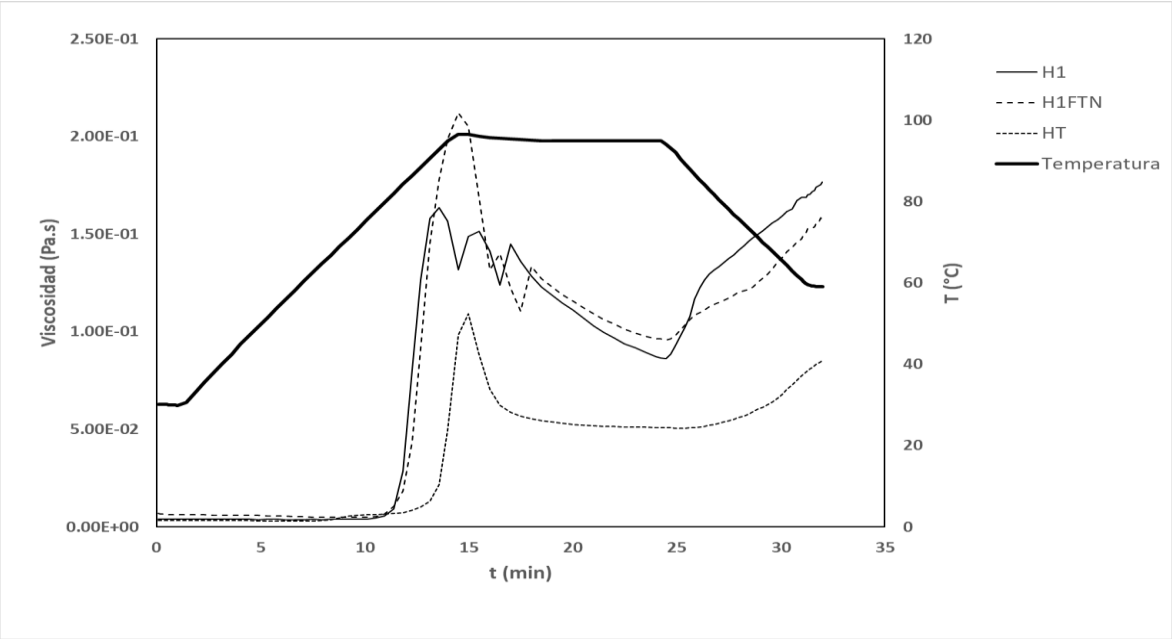


Ilustración 33. *Viscoamilograma para H1, H1FTN y HT.*

10.4.2.9 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Los valores de temperatura de inicio (To), temperatura pico (Tp), temperatura final (Tc) y entalpía de gelatinización (∆H) para H1, H1FTN y HT se muestran en la Tabla 39. Las harinas H1 y H1FTN no presentaron diferencias significativas (P < 0,000) para To y ∆H. La temperatura Tp más alta la registró la H1FTN con el valor de 75,93°C (Figura 4.3). Los valores promedio de Tp para estas harina son similares a lo reportado por Dufour et al., (2009) y Montoya et al., (2014) para esta misma variedad de plátano.

Tabla 39. *Parámetros térmicos para H1, H1FTN y HT*

	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	∆Hp (J/g)
H1	72,38 ± 1,29^{a}	75,93 ± 0,25^{a}	88,99 ± 0,08^{a}	10,35 ± 0,26^{a}
H1FTN	71,60 ± 0,01^{a}	75,93 ± 0,13^{a}	91,23 ± 0,00^{b}	11,83 ± 0,21^{b}
HT	59,07 ± 0,03^{b}	64,18 ± 0,04^{b}	72,94 ± 0,13^{c}	5,68 ± 0,44^{c}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

El ∆H refleja principalmente la pérdida del orden molecular (Cooke & Gidley, 1992). Los valores de la entalpía de gelatinización para H1, H1FTN y HT fueron

10,35, 11,83 y 5,68 J/g respectivamente; la variación en la To y en la ΔH en los almidones de diferentes variedades podría ser debido a las diferencias en las cantidades de cadenas más largas de amilopectina. Estas cadenas más largas requieren una temperatura más alta para disociarse por completo que la requerida para las dobles hélices cortas (Yamin, Lee, Pollak, & White, 1999). Esta correlación positiva se evidencia en la H1FTN, cuya entalpía fue la más alta con un valor de 11,83 J/g, al igual que la mayor Tp y Tc, debido a la adición del almidón de maíz.

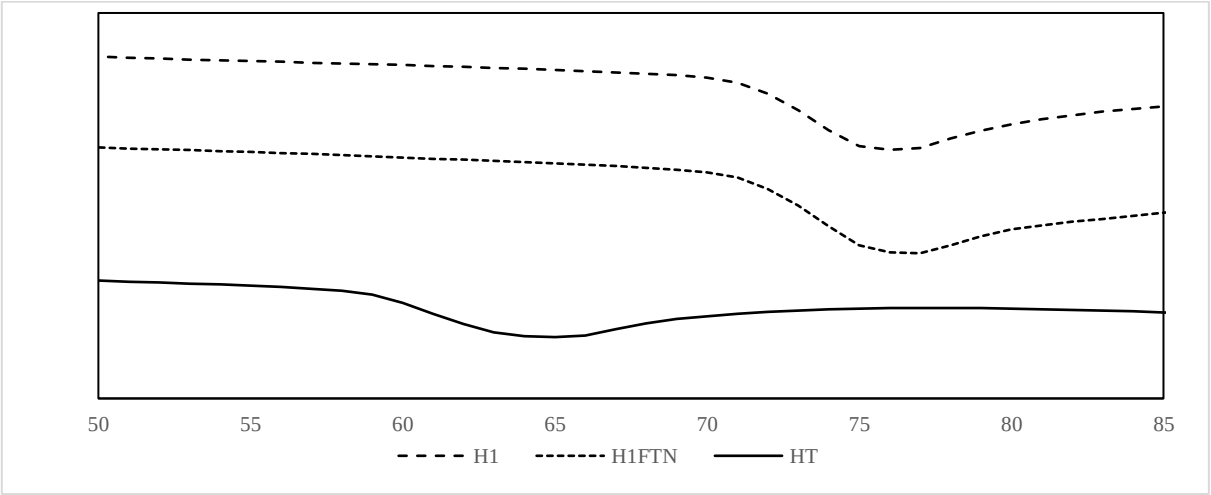


Ilustración 34. *Termogramas de calorimetría diferencial de barrido (DSC) para H1, H1FTN y HT.*

10.4.2.10 Espectrscopia de infrarrojo con transformada de fourier (EITF)

Los espectros FTIR de las harinas se representan en la Figura 35, todos mostraron un patrón similar, con picos notables de absorbancia en los números de onda 3300, 2958, 1600, 1300, 1000, 918 y 837 cm^{-1}. Las muestras mostraron un gran número de bandas de adsorción en la región 1700-1200 cm^{-1} correspondientes a C=O, C-C, C=C y C=C presumiblemente derivados de componentes menores (proteínas, lípidos), así como los picos de estiramiento de C-H a aproximadamente 2900 cm^{-1}, los picos de amida I y amida II en 1640 y 1530 cm^{-1} son particularmente prominentes en las muestras de HT y H1FTN y reflejan un contenido proteico ligeramente elevado. Las principales bandas de adsorción correspondientes al almidón se pueden observar en la región 1200-1000 cm^{-1} derivadas de C=O, C-C y estiramientos y flexión C-O-H; los espectros indican que existe una variación entre

H1 y H1FTN en la región 1800-1600 cm^{-1} correspondientes a vibraciones C=O y a los 2850 cm^{-1} correspondiente a C-H debido probablemente a la adición del almidón del maíz y a la proteína de huevo.

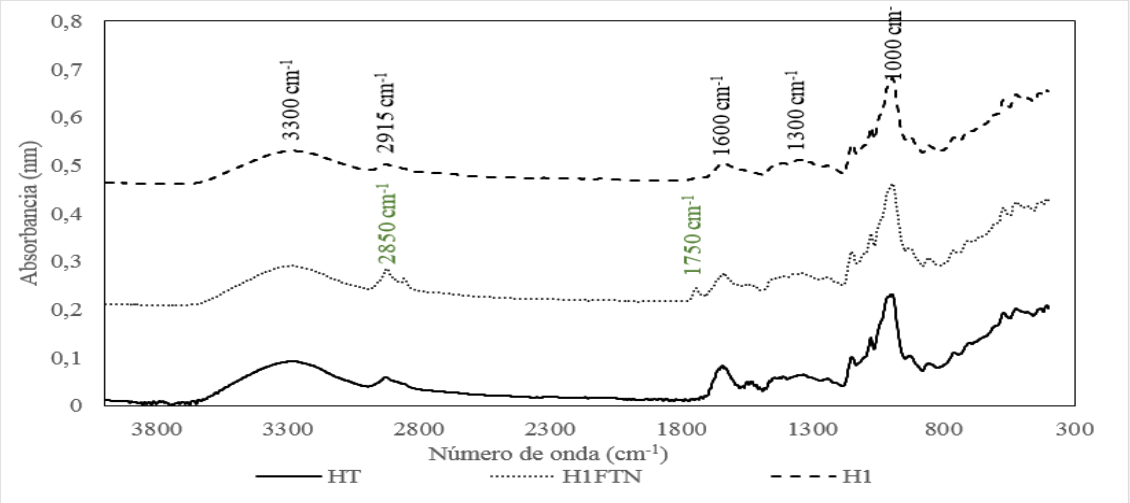


Ilustración 35. *Espectros de transmisión para H1, H1FTN y HT.*

El valor de absorbancia de todos los picos distintivos fue mayor para la HT (Fig. 35) siendo este patrón más similar al exhibido por la H1FTN. En la región de 3700 - 3000 cm^{-1} muestra diferencias en el contenido de humedad de las harinas siendo H1FTN y HT las que mostraron los valores más altos comparado con H1 (Figura 36).

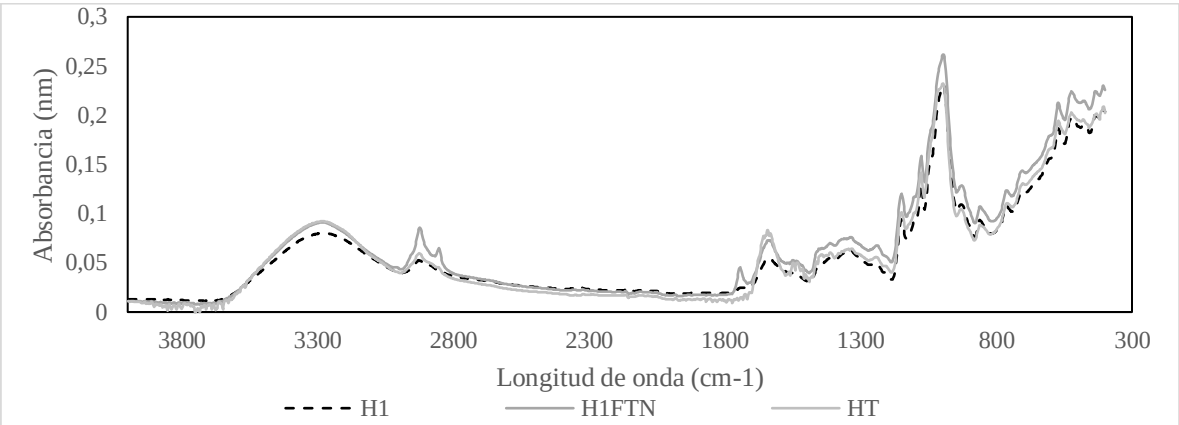


Ilustración 36. *Espectros de transmisión para H1, H1FTN y HT.*

10.4.2.11 Morfología de las harinas

El análisis realizado a la superficie de los gránulos por SEM (Figura 37), reveló unas formas ovoides con superficie lisa y tamaños diferentes (7-40 µm) observados en las H1 y en H1FTN, el complemento de aditivos con la finalidad de aumentar su funcionalidad tecnológica y la fortificación, produjeron en H1FTN la formación de agregados granulares, no observados en la H1.

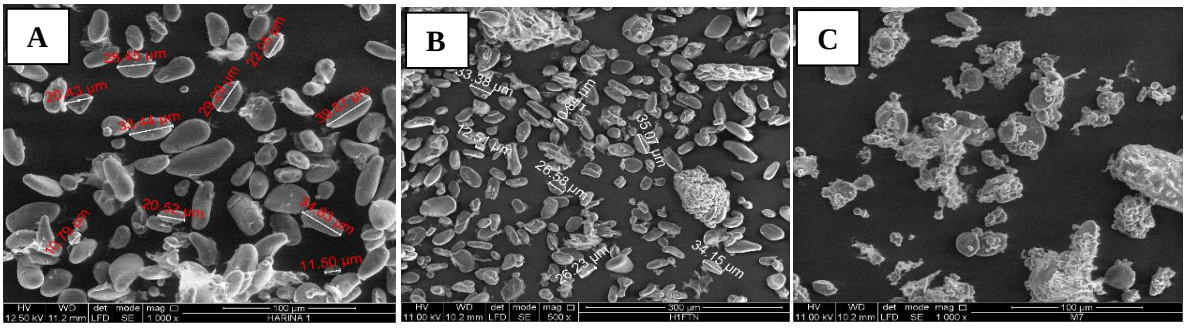


Ilustración 37. Fotografías de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para A) H1, B) H1FTN y C) HT 100x.

Figura 37. *Fotografías de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para A) H1, B) H1FTN y C) HT 100x.*

10.4.2.12 Caracterización micro-estructural

Se analizó la microestructura de H1 y H1FTN, mediante microscopía confocal de barrido láser (MCBL). Los fluorocromos FITC y Rodamina B, se utilizaron para la observación simultánea de almidón y proteína. La Rodamina B marca la proteína en rojo, mientras que FITC marca los gránulos de almidón en verde, por lo tanto, debido a la tinción dual la proteína se muestra de color amarillo bajo el microscopio. La estructura interna de las harinas se presenta en la Figura 38. En estas imágenes se observa el gran tamaño de los gránulos de almidón de plátano; las imágenes A1, A2 y A3 son de harina de plátano verde nativa H1 sin una estructura de formación de red, los gránulos de almidón hinchado se distribuyen aleatoriamente y sin apretar dentro de la matriz; las imágenes B1, B2 y B3 muestran la harina de plátano adicionada H1FTN, que comparada con A1, A2 y A3 muestra una red de proteínas derivada de la adición de proteína de huevo; estas observaciones son similares a las reportadas por Zheng, Stanley, Gidley, & Dhital, (2016), quienes observaron este mismo comportamiento en pastas sin gluten elaboradas con harina de plátano; la

HT presentó el mismo comportamiento que H1FTN solo que era mayor la red de proteínas (Fig. C1, C2 y C3) debido a la presencia de gluten.

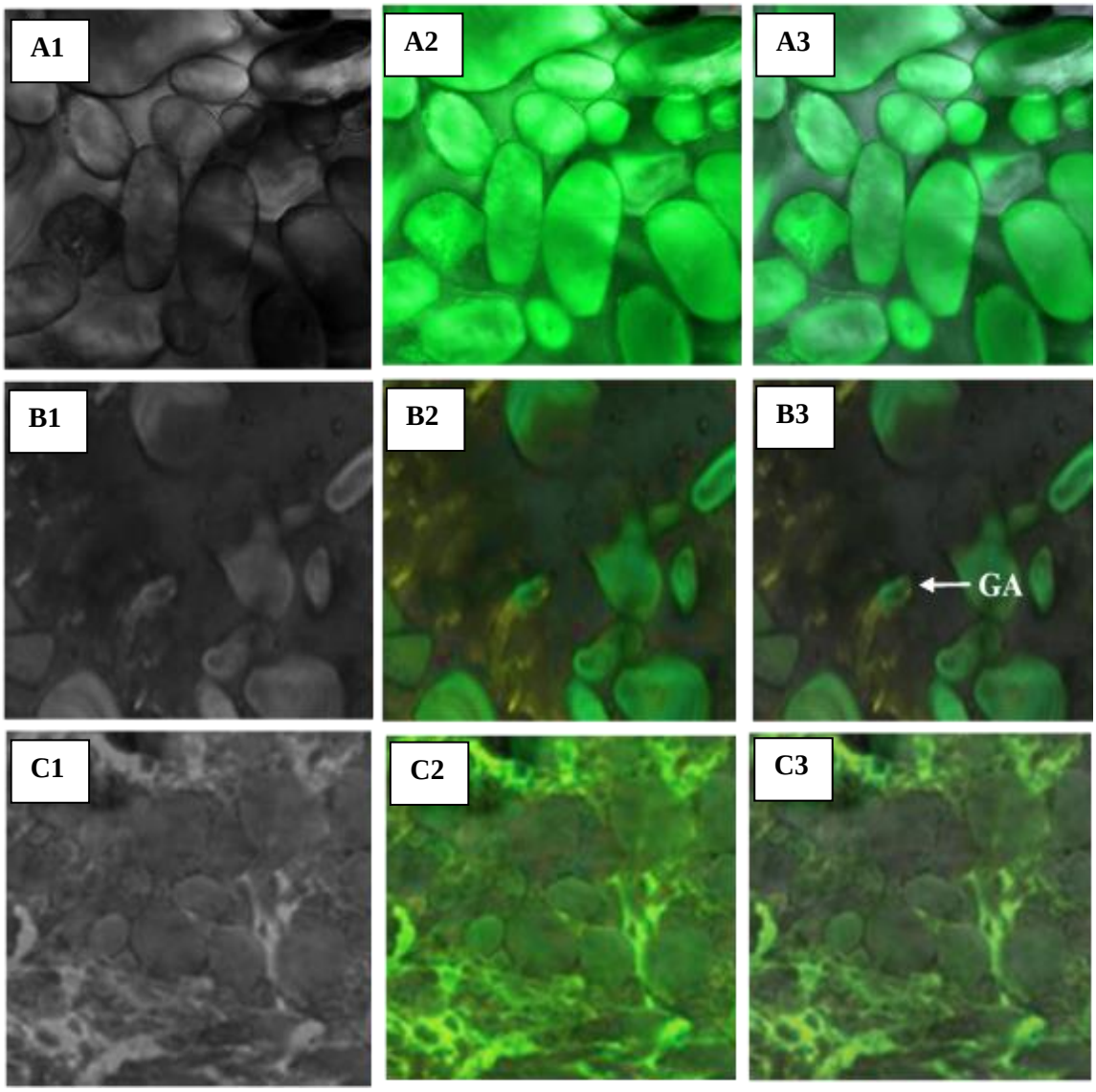


***Ilustración 38**. Imágenes confocales de H1, H1FTN y HT. A1: H1 campo claro, A2: H1: campo fluorescente, A3: H1 empalme; B1: H1FTN campo claro, B2:H1FTN campo fluorescente, B3:H1FTN empalme y C1:HT campo claro, C2:HT campo fluorescente, C3:HT empalme. 500x.*

10.4.2.13 Análisis de Elementos Químicos (EDS)

En la Figura 39 se muestran las imágenes de rayos X de H1, H1FTN y HT en donde se puede ver de forma gráfica la información de la composición elemental de las muestras. En general, los resultados EDS muestran una distribución

heterogénea de C y O en la superficie de las muestras; además permiten observar que la H1FTN contiene mayores niveles de Ca y Fe que H1; tal y como se obtuvo en los resultados de absorción atómica.

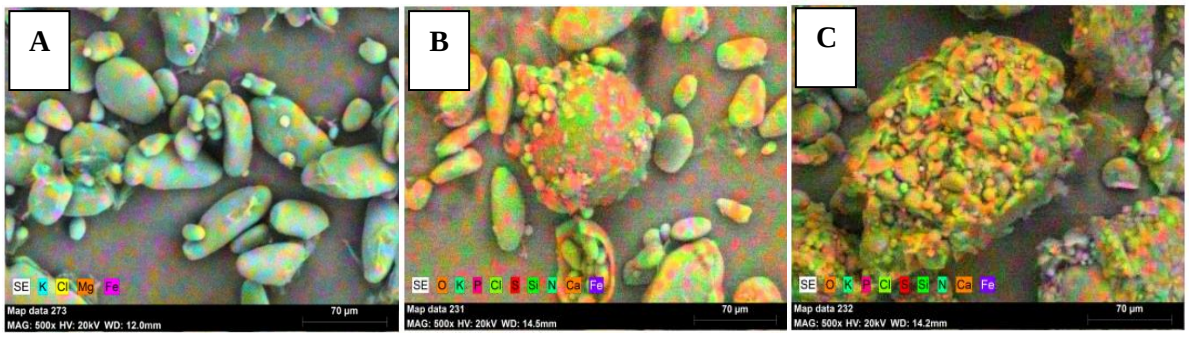


Ilustración 39. *Imágenes del Análisis de Elementos Químicos (EDS) para A) H1, B) H1FTN y C) HT. 70x.*

10.5 Conclusiones

En el proceso de fortificación de la harina de plátano, se estableció un aumento en la concentración de micronutrientes en H1FTN, Los análisis tecnofuncionales y la caracterización nutricional comparativos de las harinas de plátano nativa y fortificada y la harina de trigo, permitieron corroborar y soportar los resultados obtenidos por los análisis proximales, la harina de plátano fortificada (H1FTN) presentó un alto contenido de proteína (6.11%) y grasa (2.08%), comparada con (H1); la cuantificación de vitaminas realizada por la técnica de HPLC, permitió determinar el contenido de vitaminas del grupo B presentes en H1, H1FTN y HT, mostrando que la fortificación con vitaminas B1, B2, B3 y B9 fue efectiva, presentando diferencias significativas ($P < 0,05$) entre H1 y H1FTN; así mismo la determinación de minerales corroboró que la fortificación de Ca y Fe también fue exitosa, existiendo diferencias significativas ($P < 0,05$) para estos valores entre H1 y H1FTN. La cuantificación del perfil de aminoácidos por la técnica de HPLC permitió evidenciar los aminoácidos que predominan en cada proteína y la proporción en la que se encontraban, en relación con los aminoácidos presentes en las harinas, estos resultados mostraron que la adición de proteína de huevo en

polvo con la finalidad de mejorar tecnológicamente la harina, generó un aumento en la concentración de todos los aminoácidos presentes en la harina de plátano nativa.

La adición y la fortificación también afectó significativamente ($P < 0,05$) el color de H1FTN, con referencia a la claridad y a la coordenada colorimétrica b* (amarillo-azul), la blancura de H1FTN disminuye en comparación con H1 pero no existe diferencia significativa ($P < 0,05$) entre ellas. Los resultados obtenidos en la composición nutricional de H1, H1FTN y HT reflejan cantidades similares de Almidón Total y Amilosa en las tres muestras; los resultados obtenidos de Almidón de Digestión Rápida son mayores para la harina de trigo, mientras que los valores de Almidón de Digestión Lenta y Almidón Resistente fueron mayores en las harinas de plátano; las propiedades funcionales de H1FTN se modificaron a temperaturas de cocción superiores a los 70 °C probablemente por un aumento de interacciones al tener una mayor cantidad de proteínas. Los amilogramas permitieron establecer que tanto H1, H1FTN como HT presentan tendencia a la retrogradación como resultado de la presencia de amilosa y que H1FTN presenta las mayores temperaturas de gelatinización, mayor estabilidad de la pasta y la menor facilidad de cocción.

Los termogramas mostraron que H1, H1FTN y HT presentan un comportamiento similar, siendo HT la que presenta menor temperatura y entalpía de gelatinización comparada con las harinas de plátano, debido probablemente a que el almidón de trigo posee cadenas más cortas de amilopectina y requiere menor temperatura para disociarse. Por medio de FTIR se logró identificar que la adición generó nuevos picos en la región 1800-1600 cm^{-1} y 2850 cm-1 correspondientes probablemente a la adición de los almidones y las proteínas. El análisis morfológico de las harinas permitió identificar que las harinas de plátano y la harina de trigo poseen formas diferentes, variadas e irregulares y que el complemento de aditivos y la fortificación produjeron en H1FTN la formación de agregados granulares, no observados en la H1; el análisis micro-estructural mostró en la harina de plátano nativa (H1) gránulos de almidón hinchados distribuidos aleatoriamente dentro de la matriz, mientras que para H1FTN se puede evidenciar la formación de una red

viscoelastica derivada de la adición de proteína de huevo. El Análisis de Elementos Químicos (EDS) pone de manifiesto una heterogénea distribución del calcio y del hierro además de otros elementos en cada una de las muestras, viéndose directamente el efecto de la fortificación en la harina de plátano.

11. Bibliografía

A.O.A.C. USA. (2005). *Of fi cial Methods of Anal y sis of AOAC IN TER NA TIONAL*. (W. Horwitz & G. Latimer, Eds.) (18th ed.). Gaithersburg, Maryland.

AACC International. (2000). *AACC International approved methods of analysis.* AACC International. Retrieved from https://methods.aaccnet.org/summaries/76-13-01.aspx

Ahmed, T., Hossain, M., & Sanin, K. I. (2012). Global burden of maternal and child undernutrition and micronutrient deficiencies. *Annals of Nutrition and Metabolism*, *61*(suppl 1), 8–17. https://doi.org/10.1159/000345165

Alimentación | Naciones Unidas. (n.d.). Retrieved April 23, 2019, from https://www.un.org/es/sections/issues-depth/food/index.html

Álvarez, M. V., Serna, S. I., Villada, M. E., & López, B. E. (2012). Papilla de Arroz Instantánea para Niños de 12 a 36 Meses Fortificada con Micronutrientes: una Alternativa para la Alimentación Infantil. *Journal of Engineerinh and Technology*, *1*(2), 40–73. Retrieved from http://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2016/rmq163c.pdf

Ame, D. E., Nacional, F., Ame, E. U. De, Peri, N. D. E. L., & Meses, O. D. O. D. E. S. (2007). *NF 25 Volumen 2 formulario nacional* (City Press). Baltimore USA. Retrieved from www.usp.org.]

Anyasi, T. A., Jideani, A. I. O., & Mchau, G. R. A. (2013). Functional properties and postharvest utilization of commercial and noncommercial banana cultivars. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *12*(5), 509–522. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12025

AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*. (K. Helrich, Ed.) (15°, Vol. 1). Arlington, Virginia. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31241-0

Bryant, C. M., & Hamaker, B. R. (1997). Effect of Lime on Gelatinization of Corn Flour and Starch 1. *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, *74*(2), 171–175. https://doi.org/https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.2.171

Colmenares-Leal, M. J. (2009). *Elaboración de harina de pulpa y cáscara de plátano verde clón hartón común para la formulación de una mezcla de harina para arepas a base de plátano:maíz*. Universidad Central de Venezuela.

Cooke, D., & Gidley, M. J. (1992). Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. *Carbohydrate Research*, *227*(C), 103–112. https://doi.org/10.1016/0008-6215(92)85063-6

Corzo, N., Alonso, J. L., Azpiroz, F., Calvo, M. A., Cirici, M., Leis, R., … Clemente, A. (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. *Nutrición Hospitalaria*, *31*(1), 99–118. https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup1.8715

Daza, C. H. (1997). Nutrición infantil y rendimiento escolar. *Colombia Medica*, *28*(2), 92–98.

de la Horra, A., & Seghezzo, M. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *AGRISCIENTIA*, *29*(2), 81–89. Retrieved from http://www.revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/3886

Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A., Sánchez, T., Reynes, M., Pain, J. P., … Díaz, A. (2009). Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. thermal and functional characterization of cultivated colombian musaceae (Musa sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(17), 7870–7876. https://doi.org/10.1021/jf900235a

Eskin, N. A. M. (Neason A. M. (1990). *Biochemistry of foods*. Academic Press.

FAO; OPS; WFP; UNICEF. (2018). *Panorama de la seguridad alimentaria y la nutrición en América Latina y el Caribe 2018*. Retrieved from http://www.fao.org/publications/es

Fernandez, A., Sosa, P., Setton, D., Virginia, D., Fabeiro, M., Maria, D., … Hernandez, J. (2011). Calcio y Nutrición. *Sociedad Argentina de Pediatría*, *1*, 1–19. Retrieved from http://www.sap.org.ar/docs/calcio.pdf

GUJSKA, E., D.-REINHARD, W., & KHAN, K. (1994). Physicochemical Properties of Field Pea, Pinto and Navy Bean Starches. *Journal of Food Science*, *59*(3), 634–636. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb05580.x

Gunaratne, A., & Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, *49*(4), 425–437. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00354-X

Health, O. W. (2002). The World Health Organization Report 2002: reducing risks, promoting healthy life. *Who*.

Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, *28*(3), 718–726. https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031

Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, *45*(3),

253–267. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5

ICBF. (2014). Cartilla Bienestarina. Retrieved from http://issuu.com/icbfcolombia/docs/cartillabienestarina.pdf/1?e=7627936/10601184

ICBF. (2015). *Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (TCAC)*. (Á. M. Calderón Fernández, Ed.) (2°). Bogotá, Colombia.

Juarez-Garcia, E., Agama-Acevedo, E., Sáyago-Ayerdi, S. G., Rodríguez-Ambriz, S. L., & Bello-Pérez, L. A. (2006). Composition , Digestibility and Application in Breadmaking of Banana Flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, *61*, 131–137. https://doi.org/10.1007/s11130-006-0020-x

Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas. (2018). Programa de Alimentación Escolar (PAE). *Web Page*. Retrieved from https://www.junaeb.cl/programa-de-alimentacion-escolar

Lii, C. Y., Tsai, M. L., & Tseng, K. H. (1996). Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chemistry*, *73*(4), 415–420.

López-Medina, D., Agudelo, C. A., Fonfthal, G., & Ariza, H. (2017). Caracterización por espectroscopia infrarroja (ft-ir) de exudados gomosos de cinco especies de plantas presentes en el eje cafetero. *Revista de Divulgación Científica Y Tecnológica*, *1*, 31–37.

Lucas, J. C., Quintero, V. D., & Cárdenas Valencia, C. A. (2013). Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (Musa sapientum L.) = Characterization of flour and starch from guineo plantain AAAea (Musa sapientum L.). *Acta Agronómica*, *62*(2), 83–96. Retrieved from http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/30816/42998

M.A., V. Z., & Hawkins Carranza, F. (2007). Metabolismo, fuentes endógenas y exógenas de vitamina d. *REEMO*, *16*, 63–70.

Mathias-Rettig, K. ., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *AgroSur. Universidad Austral de Chile*, *42*(2), 39–48. https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07

Megazyme. (2011). Amylose/Amylopectin. Wicklow, Ireland.

Megazyme. (2014). Resistant starch. Wicklow, Ireland. https://doi.org/10.1016/0924-2244(92)90153-n

Megazyme. (2017a). Total Dietary Fiber.

Megazyme. (2017b). Total Starch. Wicklow, Ireland.

Megazyme. (2019). Digestible Starch. Wiclow, Ireland. https://doi.org/10.1016/0924-2244(92)90153-n

Menkir, A., Liu, W., White, W. S., Maziya-Dixon, B., & Rocheford, T. (2008). Carotenoid diversity in tropical-adapted yellow maize inbred lines. *Food Chemistry*, *109*(3), 521–529. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.002

Ministerio de Salud, C. (1996). Decreto N° 1944 de 1996. Bogotá: República de Colombia.

Montoya, J., Quintero, V. D., & Lucas, J. C. (2014). Evaluación fisicotermica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (musa paradisiaca ABB). *Temas Agrarios*, *19*(2), 214–233. https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.736

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015. (2018). *El Estado de la Inseguridad Alimentaria y la Nutrición en el Mundo*. Roma, Italia. https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2010.04268.x

Pacheco-Delahaye, E., Maldonado, R., Pérez, E., & Schroeder, M. (2008). Production and characterization of unripe plantain (Musa paradisiaca L.) flours. *Interciencia*, *33*(4), 290–296.

Pacheco, de D. E. (2001). Evaluacion nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de platano verde . Digestibilidad in vitro del almidón. *Acta Científica Venezolana*, *52*, 278–282.

Pita Rodriguéz, G. (1998). Ácido Fólico Y Vitamina B 12 En La Nutrición Humana. *Revista Cubana Aliment Nutr*, *12*(2), 107–119.

Ramírez-Miranda, M., Salgado Cruz, M. de la P., & Calderón-Domínguez, G. (2017). Cambios En La Estructura Del Almidon Jicama, Durante El Tratamiento Termico Por Simulacion De Horneo Y Su Efecto En El Indice Glicemico. *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, *2*, 256–261.

Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., Rouzaud-Sanchez, O., A., G.-T. J., & Mora-Escobedo, R. (2002). Descascarillado/suavización/extrusión (dse): alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo (Cicer arietinum L.). *Agrociencia*, *36*, 181–189.

Rivera-quixchan, J. M., González-cortés, N., García-zarracino, R., & Jiménez-vera, R. (2018). Componentes prebióticos del plátano : fibra dietética y almidón resistente. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, *5*(3), 40–50.

Rodriguez, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia De La Sustitucion Parcial De La Harina De Trigo Por Harina De Quinua Y Papa En Las Propiedades Termomecanicas Y De Panificacion De Masas. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient*, *15*(1), 199–207.

Rolim, P. M. (2015). Development of prebiotic food products and health benefits. *Food Science and Technology (Campinas)*, *35*(1), 3–10. https://doi.org/10.1590/1678-457x.6546

Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant Starch a Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *5*, 1–17. Retrieved

from https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x

Singh, N., Kaur, L., Sandhu, K. S., Kaur, J., & Nishinari, K. (2006). Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food Hydrocolloids*, *20*(4), 532–542. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.05.003

Suárez de Ronderon, M. del P. (2003). Revisiones Ácido Fólico : Nutriente redescubierto. *Acta Médica Costarricense*, *45*(1), 5–9.

Whisler, R. L., & BeMiller, J. N. (1997). Carbohydrate chemistry for food scientists. *St. Paul*, 117–151. https://doi.org/10.1016/s0308-8146(97)82714-8

Whistler, R. L., BeMiller, J. N., & Paschall, E. F. (1984). Organisation of starch granules. *Starch: Chemistry and Technology*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746270-7.50005-7

Yamin, F. F., Lee, M., Pollak, L. M., & White, P. J. (1999). Thermal properties of starch in corn variants isolated after chemical mutagenesis of inbred line B73. *Cereal Chemistry*, *76*(2), 175–181. https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.2.175

Zheng, Z., Stanley, R., Gidley, M. J., & Dhital, S. (2016). Structural properties and digestion of green banana flour as a functional ingredient in pasta. *Food and Function*, *7*(2), 771–780. https://doi.org/10.1039/c5fo01156f

12. Capítulo 4

Evaluación del comportamiento de un alimento elaborado a base de la matriz alimentaria a base de plátano Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L*.) y comparación con el control

12.1 Resumen

En este capítulo se prepararon panes a base de la harina nativa H1 y de la matriz alimenticia H1FTN desarrollada a partir de la adición de proteínas, hidrocoloides, emulsificantes, vitaminas y minerales a la harina de plátano nativo H1. La formulación para la preparación de los panes consistió en la adición de agua, sal, azúcar, aceite y levadura y una vez horneados, se evaluó el volumen específico de los panes, el color y la textura de la miga se comparó con el pan hecho a base de harina de trigo HT (control), además, se evaluó el comportamiento sensorial del pan comparado con pan hecho a base da harina nativa H1. En cuanto al volumen específico se observó un aumento aparente comparado con pan elaborado con H1, no existió cambio significativo en el color de los panes elaborados con las harinas H1 y H1FTN. Se observó que la miga de los panes hechos a base de H1 presentaron una mayor cohesividad y elasticidad que otros panes libres de gluten, y además tuvieron una menor dureza. En cuanto a los panes H1FTN se observó que los aditivos provocaron un detrimento de parámetros como la cohesividad y elasticidad, y se concluyó, que es necesario la evaluación de la cantidad de agua adicionada a la formulación ya que comúnmente se agrega una mayor cantidad de agua a las harinas para la elaboración de panes libres de gluten.

12.2 Introducción

Existen diversos productos que son elaborados a base de harinas libres de gluten debido a la demanda generada por los pacientes que sufren de trastornos celiacos. Estos productos como el pan, galletas, entre otros productos de panadería

generalmente son elaborados con harina de trigo. Habitualmente los panes libres de gluten se elaboran a partir de la combinación de almidón y harinas libres de gluten, proteínas, fibras, hidrocoloides, lípidos y enzimas específicas; pero aún estos panes no pueden competir en el mercado debido a la carencia de propiedades de la miga y la corteza; en cuanto al aroma, textura y sabor (Naqash, Gani, Gani, & Masoodi, 2017). Se ha investigado que el uso de este tipo de ingredientes en harinas libres de gluten mejora las propiedades reológicas de sus masas y de esta manera genera efectos positivos en las características de los panes (Vásquez, Verdú, Islas, Barat, & Grau, 2016).

Después de obtener la matriz alimenticia a base de harina de plátano nativa H1FTN mediante la mejora de sus propiedades reológicas y nutricionales por la adición de almidón, proteínas, hidrocoloides y emulsionantes, y de su fortificación mediante la adición de vitaminas y minerales, el objetivo de este capítulo fue evaluar la influencia de los componentes adicionados ala H1 en un pan elaborado a base la matriz alimentaria (H1FTN). Para ello se evaluó el color, el volumen específico, la textura de la miga del pan y un análisis sensorial - Prueba de aceptación

12.3 Metodología

12.3.1 Formulación

En la Tabla 40 se muestra la formulación de los panes seleccionada a base de ensayos previos. Para asegurar las mismas condiciones de amasado, leudado y horneado; los panes se hicieron en una máquina para hacer pan RMP-1129S. En primer lugar, se programó para amasar y leudar los ingredientes (1:30 h) y después se programó para hornear durante 1 h.

Tabla 40. *Formulación base de las masas de los panes libres de gluten y de trigo*

Ingredientes	Peso (g)
Harina	280
Aceite	12
Sal	4
Azúcar	12
Agua	240
Levadura	3

En la tabla 41 se presentan los aditivos utilizados, y las cantidades en las que fueron incorporados.

Tabla 41. *Aditivos utilizados en la formulación de pan libre de gluten*

Grupo	Aditivo	Cantidad (%)
Proteínas	Huevo en polvo	6,79
Almidón	Almidón de maíz	1,86
Hidrocolide	Goma xántan	0,20
Emulsionante	Éster de monoglicéridos de ácido diacetil tartárico (DATEM)	1,80

12.3.2 Métodos empleados para analizar las muestras

12.3.2.1 Color

El color de la corteza y la miga de pan, se midió por reflactancia en un espectrocolorímetro marca HunterLab ColorQuest XE calibrado con un estándar blanco en forma de placa (L*=97.79, a*=-0.53 y b*=+2.28), leyendo con un iluminante de tipo C, la valoración del color se realizó utilizando el sistema uniforme de espacio de color CIELab.

Con la finalidad de determinar la diferencia de color ∆E* (métrica), entre el pan de harina de trigo comercial (referencia) y los panes de harina de plátano nativa y funcional (ensayo), a partir de las magnitudes colorimétricas definidas anteriormente, es necesario calcular los siguientes valores:

$$\Delta E^*_{CIE} = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (25)$$

12.3.2.2 Volumen específico

El volumen de la pieza de pan se determinó por desplazamiento de semillas de coliflor (Rodriguez et al., 2012). El volumen específico (VE) se obtuvo dividiendo el volumen del pan por su peso en gramos. Se realizaron 3 determinaciones por cada pan, y se informó el valor promedio ± desviación estándar de los ensayos de panificación.

12.3.2.3 Textura de la miga

El análisis de la dureza de la miga se determinó de acuerdo al método 74-09 (AACC Internacional, 2000). El pan se cortó longitudinalmente con el objeto de extraer rodajas de 1,5 cm de espesor, se les retiró la corteza y se cortaron cuadros de 3,5 x 3,5 cm para realizar el ensayo a las 2 horas de horneado, a las 24 y a las 48 horas, los panes se almacenaron a temperatura ambiente. Se llevó a cabo un perfil de textura (TPA) usando un texturómetro .XT2iHR (Stable Micro System, Surrey, Reino Unido) equipado con la celda de compresión de 25 kg y un émbolo de penetración de 25 mm de diámetro. El ensayo se realizó a una velocidad de 5 mm/s y una compresión máxima de 40%. Cada pieza de pan se sometió a dos ciclos de compresión-descompresión para obtener la curva de TPA característica a partir de la cual se obtuvo la dureza de la miga, calculada por el programa Texture Exponent 32. La dureza se definió como la fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. En el caso de la miga, se obtuvo para el primer ciclo un solo pico cuya fuerza máxima coincidió con la dureza o firmeza de la misma. Los panes fueron almacenados en bolsas plásticas selladas, en una sala a 24°C.

12.3.2.4 Análisis sensorial - Prueba de aceptación

La aceptabilidad se determinó con un panel semi-entrenado, constituido por 12 evaluadores seleccionados (Ruiz, 2005; NTC 3501 y 4129). A cada panelista se le proporcionó un consentimiento informado (Anexo 1), en el cual se les explicó las actividades a realizar y el producto a analizar. Los parámetros evaluados fueron: color, aroma, textura y sabor. Se utilizó un test de valoración numérica, en donde se identificó primero la característica a medir y se le fijó grados sucesivos desde “mejor” a “peor” en relación a la aceptabilidad, evaluándolos en una prueba hedónica y calificando de 1, 2, 3, 4, 5; donde 1 es el valor menos agradable y 5 el más agradable (Ruiz, 2005), mediante un formulario (Anexo 2).

12.4 Resultados y Discusión

12.4.1 Evaluación de la calidad de panes a base de harina de plátano nativa.

En la Tabla 43 se observa el pan a base de harina de trigo HT, el cual presentó un volumen específico significativamente mayor que los panes hechos a base de harina nativa H1 y de harina funcional H1FTN. La incorporación de los aditivos produjo un aumento de 7,2% en el volumen específico (VE) de los panes elaborados con la H1FTN comparados con los de harina nativa H1 (Figura 40). Otros autores han demostrado que la adición de proteína, hidrocoloides y emulsificantes a las harinas nativas libres de gluten, generan efectos positivos en el volumen específico de los panes; es así como Phongthai, D'amico, Schoenlechner, & Rawdkuen, (2016) obtuvieron panes hasta con un 9.5% más de volumen específico con respecto al control, con la diferencia de que adicionaron 105% de agua a la preparación a base de harina de arroz con proteínas adicionadas para mejorar la calidad de los panes.

Así mismo Han et al., (2018), desarrollaron formulaciones a base de una harina libre de gluten comercial y adicionaron proteína de huevo a diferentes concentraciones, lograron un aumento del 17.1% en el volumen específico de los panes, teniendo en cuenta que adicionaron el 100% de agua a la preparación. En comparación con estos estudios, la diferencia radica en que para este trabajo se utilizó un 85.7% de agua para la preparación de los panes a base de harina de plátano y también para el control HT. Por lo tanto, con el fin de mejorar la calidad del pan H1FTN se propone la evaluación del efecto sobre el volumen específico cuando se agrega una mayor cantidad de agua a la receta de los panes, debido a que como reportan De La Hera, Rosell, & Gomez, (2014), una mayor cantidad de agua (90 y 110%) aumenta significativamente el volumen específico de panes hechos a base de harina de arroz. Esta hipótesis también se apoya en los resultados obtenidos por Demirkesen, Mert, Sumnu, & Sahin, (2009) quienes hicieron panes libres de gluten a base de harina de arroz con aditivos como emulsificantes e hidrocoloides, y los compararon con un control de harina de trigo, con la diferencia

de que para la preparación de los panes a base de harina de arroz utilizaron 75% más de agua que para el de harina de trigo, y de esta manera obtuvieron un 30% más de volumen específico con respecto al control y que los acercó más al volumen del pan de harina de trigo. Por otro lado, la dureza inicial de la miga de los tres panes fue similar y sin diferencias significativas, pero en todos los casos fue menor que en los estudios citados anteriormente; dado que no hubo diferencias con el pan HT, se puede afirmar que se obtuvo un resultado positivo en este parámetro.

Ilustración 40. *Panes elaborados con A) harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) nativa, B) harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) adicionada y C) harina de trigo (Control)*

En cuanto al color de la corteza no se presentaron diferencias significativas en la luminosidad de las muestras, ni en el parámetro amarillo-azul b*. En cuanto al parámetro rojo-verde a* se presentó una diferencia significativa entre HT y los panes H1 y H1FTN, tal y como se observa en la Tabla 43 el valor de a* es mayor para HT y por este motivo tiende más al rojo que los panes H1 y H1FTN. Con respecto al color de la miga se observó una diferencia significativa entre H1FTN y HT en el parámetro L*, de donde se deduce que la harina de plátano adicionada da lugar a una miga menos luminosa que H1. En el parámetro a* existe una diferencia significativa entre el color de la miga de los tres panes y en el parámetro b* entre HT y H1FTN. La miga de HT tiene un color claro, mientras que los panes a base de harina de plátano tienen un color oscuro (Figura 41). El valor de ΔE de 2.5 entre H1 y H1FTN permite confirmar que la diferencia en los parámetros de color no es perceptible al ojo humano, debido a que es menor a 3 (Pereira, 2010).

Por otro lado, a pesar de que existe una gran diferencia entre H1FTN y HT en términos de color, es posible afirmar que los aditivos producen un descenso en

los parámetros de color a* y b* que los acercan al control HT, pero que no es suficiente para considerar que la harina de plátano funcional podría generar panes con características de color parecidas a la harina de trigo debido a que ΔE está por encima de 3, por tanto se recomienda el uso de esta harina para la fabricación de otro tipo de productos o incluso de panes integrales.

Tabla 42. *Volumen específico, dureza inicial y color de los panes preparados a base de HT, H1 y H1FTN*

	Pan HT		Pan H1		Pan H1FTN	
VE (cm^3/g)	2,40±0,06		1,38±0,02		1,48±0,03	
Dureza inicial (N)	0,068±0,002		0,065±0,002		0,067±0,002	
	Corteza	Miga	Corteza	Miga	Corteza	Miga
L*	50,57±0,90	50,91±0,98	50,29±0,35	49,06±1,20	50,82±0,84	47,34±1,01
a*	6,20±0,65	-0,41±0,17	4,24±0,30	2,39±0,44	4,34±0,53	0,96±0,33
b*	19,45±0,99	14,61±0,27	17,66±0,64	13,59±0,59	18,68±0,62	12,48±0,56

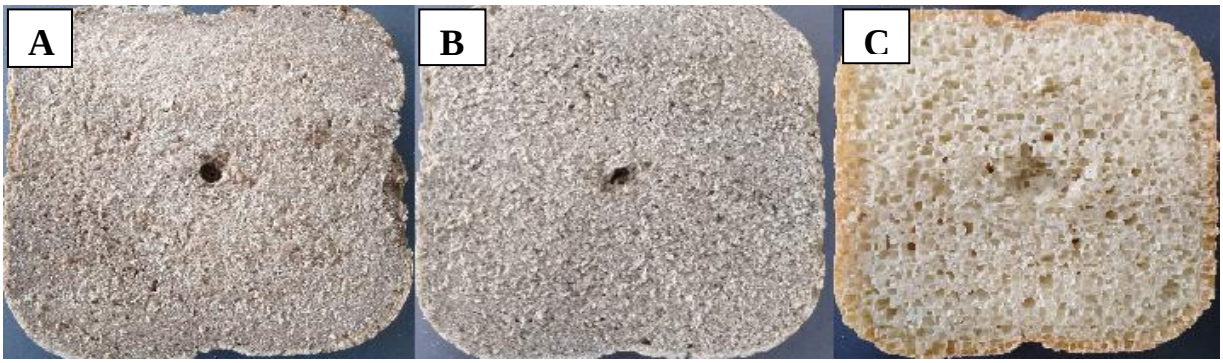


Ilustración 41. *Fotografías de los panes A) harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) nativa, B) harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) adicionada y C) harina de trigo (Control)*

En cuanto a la textura de los tres panes, en la Figura 42 se observa que la dureza de la miga tuvo un comportamiento aparentemente diferente; HT obtuvo una mayor dureza seguido por H1FTN y H1. De acuerdo a estos resultados, conviene resaltar que la harina de plátano nativa no genera migas con una dureza elevada, y esta es una propiedad importante en los productos horneados, ya que está directamente relacionada con la frescura de los alimentos y además juega un papel importante en la aceptabilidad por parte del consumidor (Kaan Ozturk & Mert, 2018). Se observan comportamientos similares en la dureza de la miga en el tiempo,

existen diferencias significativas entre las 24 y las 48 h pudiéndose afirmar que los aditivos tuvieron un efecto sobre este parámetro, para los panes elaborados con la matriz.

Por lo general, en otros estudios se observa que la dureza aumenta con el tiempo, como por ejemplo Ziobro, Witczak, Juszczak, & Korus, (2013) observaron que la dureza aumentó en los panes libres de gluten adicionados con proteínas y sin adicionar. Pero en este caso la dureza fue variable, y dependiendo del tipo de proteína se presentaron diferencias significativas entre los panes. En este caso conviene investigar si la adición de agua podría generar un efecto sobre esta propiedad, tal y como reportan De La Hera, Rosell, & Gomez, (2014) donde se observa que la variación en el contenido de agua da lugar a efectos significativos en la dureza de la miga de los panes.

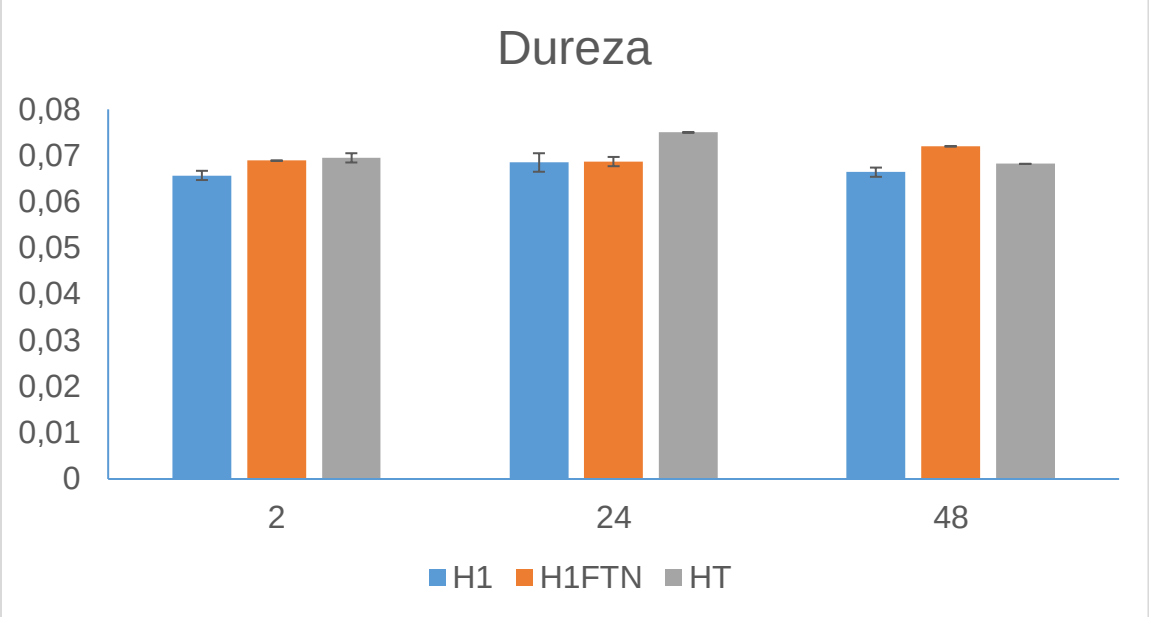


Ilustración 42. *Variación de la dureza en el tiempo de las migas de los panes H1 y H1FTN y el control HT.*

En cuanto a la elasticidad de las migas de los tres panes observada en la Figura 43 disminuyó con respecto al tiempo, lo cual concuerda con los estudios realizados por Mohammadi, Sadeghnia, Azizi, Neyestani, & Mortazavian, (2014)

para panes libres de gluten a base de harina de arroz y almidón de maíz, adicionados con hidrocoloides. En todos los casos se observó que la elasticidad descendió a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento, de igual forma se observó la misma tendencia en el trabajo de Kaan Ozturk & Mert, (2018) para panes libres de gluten a base de maíz. Por otro lado, tanto a las 2h de almacenamiento como a las 24h H1 y HT no presentaron diferencias significativas entre sí, y obtuvieron una elasticidad significativamente mayor que H1FTN. En general, todas las migas obtuvieron una elasticidad similar a los valores reportados por Mohammadi et al., (2014), Kaan Ozturk & Mert, (2018) y Turkut, Cakmak, Kumcuoglu, & Tavman, (2016) para panes libres de gluten a base de quinoa; cabe resaltar que H1 obtuvo una mayor elasticidad que los panes sin adicionar de los estudios mencionados anteriormente, lo que permite afirmar que incluso la harina de plátano sin aditivos presenta una buena elasticidad comparable a la de la miga del pan HT.

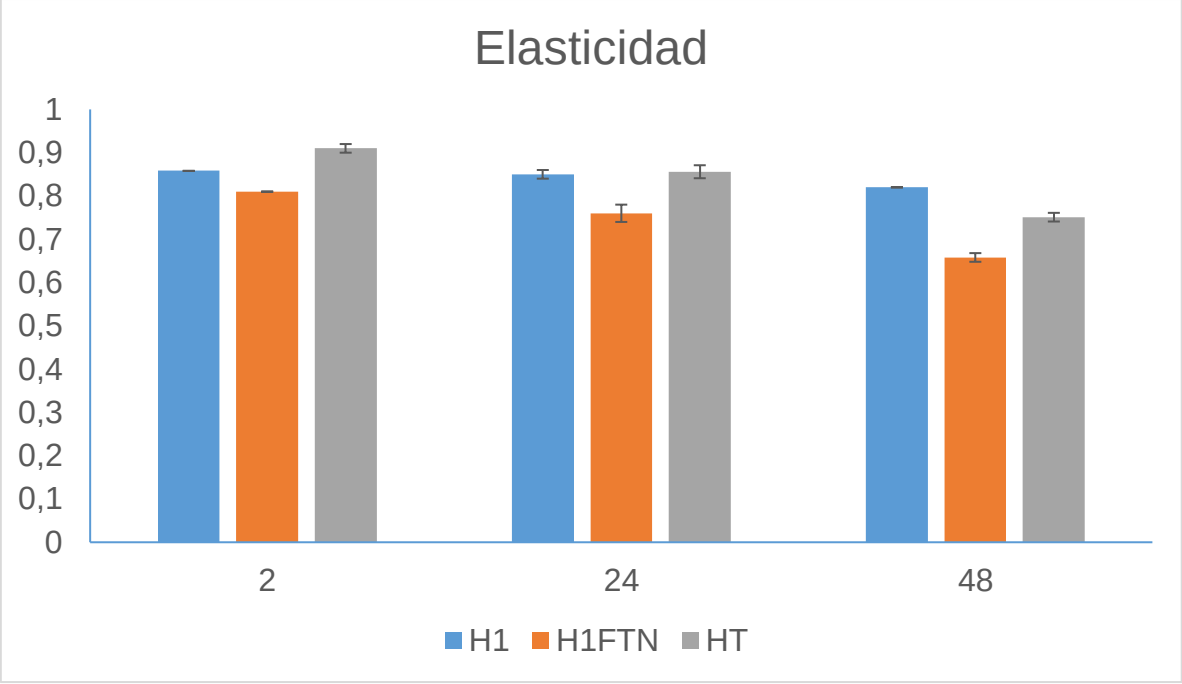


Ilustración 43. *Variación de la elasticidad en el tiempo de las migas de los panes H1 y HF y el control HT.*

En cuanto a la cohesividad de las migas de los panes (Figura 44) se observó la misma tendencia que la elasticidad, ya que disminuye con el tiempo. Asimismo, fue evidente que las migas de HT y H1 tienen una mayor cohesividad que H1FTN ($P < 0.05$), y estas diferencias se mantuvieron durante el tiempo de almacenamiento. La miga de H1 obtuvo una mayor cohesividad que las migas de los panes libres de gluten sin adicionar reportados por De La Hera et al., (2014), Turkut et al., (2016), Kaan Ozturk & Mert, (2018), , y Han et al., (2018) con valores alrededor de 0.5, lo que demuestra una vez más que la harina nativa de plátano genera migas con una cohesividad más alta (~0.65) que otras fuentes; como maíz, quinoa y arroz. Por otro lado en el estudio realizado por De La Hera et al., (2014) se observó que la cohesividad depende del tamaño de partícula y de la cantidad de agua adicionada; es así como un menor tamaño de partícula y una mayor cantidad de agua aumentan la cohesividad de las migas. Por lo tanto, para el desarrollo del pan a base de la harina mejorada tecnológicamente es necesario investigar las implicaciones que tienen estas variables y además utilizar esta matriz para la preparación de otro tipo de productos, como por ejemplo galletas, tostadas, coladas entre otros productos alimenticios que puedan adecuarse a las características de la harina funcional de plátano H1FTN desarrollada en este trabajo.

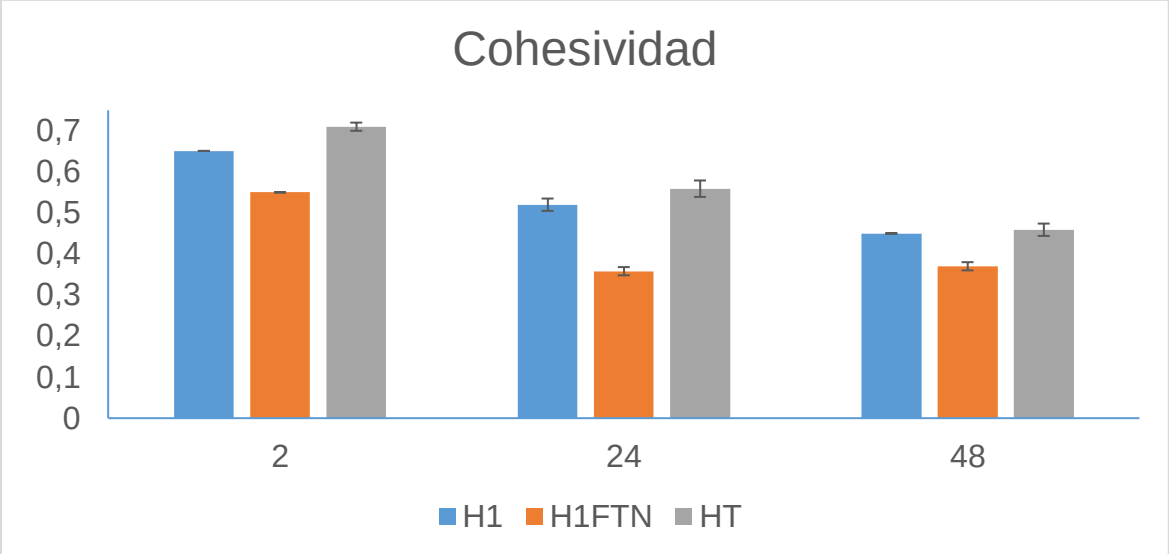


Ilustración 44. *Variación de la cohesividad en el tiempo de las migas de los panes H1 y H1FTN y el control HT.*

La selección de los panelistas se llevó a cabo con una población de 12; los cuales han realizado anteriormente análisis sensoriales en el laboratorio de Investigación Diseño de Nuevos Productos y estudiantes cercanos al área de la Química de Alimentos, del Programa de Química de la Universidad del Quindío; estos fueron entrenados utilizando la guía general para la selección, entrenamiento y seguimiento de evaluadores, parte 1 y 2 (ICONTEC, 1997a)(ICONTEC, 1997b) y mediante el análisis realizado a los resultados arrojados por los mismos se descartaron aquellos que presentaban resultados incoherentes, obteniendo finalmente una población de 10 panelistas.

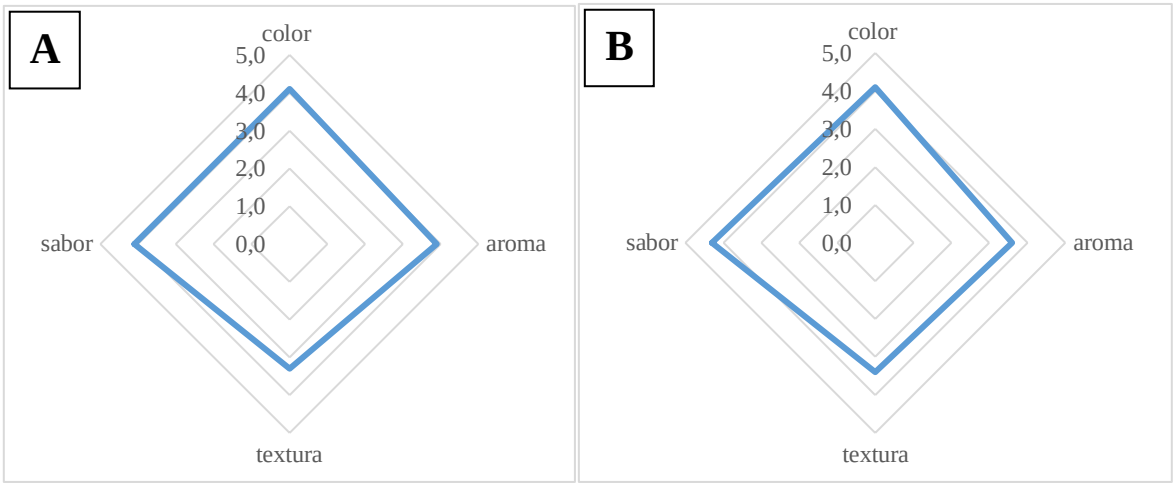


Ilustración 45. *Gráfico radial de los parámetros color, aroma, textura y sabor evaluados en las formulaciones elaboradas con harina de Plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) A) nativa y B) adicionada.*

Los resultados fueron tratados mediante un gráfico radial (Figura 45); en donde se observa que la formulación elaborada con harina de plátano nativa presentó los valores más bajos para color, textura y sabor. La disminución en el atributo olor para los panes elaborados con H1FTN, se debe probablemente a la adición del emulsionante DATEM. La formulación elaborada con harina de plátano adicionada mostró un aumento entre los panelistas en la calificación para estas variables evidenciando una mejora comparativa con la formulación elaborada con harina de plátano nativa. Se observa que la harina de plátano adicionada puede ser

una alternativa para reemplazar harinas convencionales utilizadas para la elaboración de productos alimenticios.

12.5 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que los panes elaborados con la matriz alimenticia adicionada (H1FTN) de harina de plátano presentan mejores características reológicas y texturales, y que la incorporación de los aditivos produjo un aumento en el volumen específico (VE) de los panes elaborados con la H1FTN comparados con los de harina nativa H1. Por otro lado, se observó que la formulación utilizada con baja cantidad de agua, para la preparación de los panes a base de harina de plátano nativa y adicionada, no mejoró significativamente la calidad de los mismos, por este motivo y de acuerdo a otros estudios se recomienda la evaluación de la adición de una mayor cantidad de agua para corroborar la mejora en las características organolépticas de la miga del pan elaborado con la H1FTN.

13. Bibliografía

De La Hera, E., Rosell, C. M., & Gomez, M. (2014). Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.115

Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, *96*(2), 295–303. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004

Han, A., Romero, H. M., Nishijima, N., Ichimura, T., Handa, A., Xu, C., & Zhang, Y. (2018). Effect of egg white solids on the rheological properties and bread making performance of gluten-free batter. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.022

ICONTEC. (1997a). NTC 4129 Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y seguimiento de evaluadores. Parte 1. Evaluadores seleccionados., 1–25.

ICONTEC. (1997b). NTC 4130 Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y segumiento de evaluadores. Parte 2. Expertos, 1–13.

Kaan Ozturk, O., & Mert, B. (2018). The effects of microfluidization on rheological

and textural properties of gluten-free corn breads. *Food Research International*, *105*, 782–792. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.008

Mohammadi, M., Sadeghnia, N., Azizi, M.-H., Neyestani, T.-R., & Mortazavian, A. M. (2014). Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.035

Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004

Pereira, J. (2010). Observación del Gamut.

Phongthai, S., D'amico, S., Schoenlechner, R., & Rawdkuen, S. (2016). Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, *72*, 38–45. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.015

Rodriguez, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia De La Sustitucion Parcial De La Harina De Trigo Por Harina De Quinua Y Papa En Las Propiedades Termomecanicas Y De Panificacion De Masas. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient*, *15*(1), 199–207.

Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, *69*, 174–181. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.005

Vásquez, S. C., Verdú, F. ;, Islas, S. ;, Barat, A. R. ;, & Grau, J. M. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (chenopodium quinoa) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *17*(2), 307–317. Retrieved from http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041018

Ziobro, R., Witczak, T., Juszczak, L., & Korus, J. (2013). Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.006

ANEXO 1.

Obtención y caracterización funcional, físicoquímica y estructural de almidón de plátano dominico hartón (*Musa paradisiaca L.)* y comparación con el control de harina de trigo

Obtención del Almidón

La extracción del almidón de plátano se llevó a cabo utilizando la metodología propuesta por (Montoya et al., 2014).

Almidón de plátano (AP): Inicialmente se obtuvieron rodajas de plátano de 1 cm de espesor, a las cuales se les adicionó agua en relación 1:1, las muestras en rodajas se homogenizaron a 6000 rpm durante 1 min en una licuadora industrial Oster Xpert Series metalica KU: BLST3ACPG013, se pasaron a través de una malla de 100 µm, con adición de agua destilada hasta que el agua de lavado estuvo completamente limpia. A continuación, la mezcla se centrifugó en una centrifuga marca MRC CN-2200 a 10000 rpm durante 1 min a 25 ºC. El precipitado se filtró por una membrana con tamaño de poro de 100 µm y se secó en una estufa de recirculación marca Binder GmbH de convección a 40 ºC por 48 horas, se molió directamente en un molino de disco (Corona), se pesó en una balanza analítica de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g y se almacenó a temperatura ambiente en bolsas de polietileno de alta densidad hasta su uso.

Almidón de Trigo (AT): Se tomó harina de trigo comercial, a esta harina se le hizo una extracción con agua, posteriormente se pasó la mezcla a través de una malla de 100 µm, con adición de agua destilada hasta que el agua de lavado estuvo completamente limpia. A continuación, la mezcla se centrifugó en una centrifuga marca MRC CN-2200 a 10000 rpm durante 1 min a 25 ºC. El precipitado se filtró por una membrana con tamaño de poro de 100 µm se secó en una estufa de recirculación marca Binder GmbH de convección a 40 ºC por 48 horas se molió, se

pesó en una balanza analítica de precisión marca Precisa 350-8519 con ± 0.0001 g y se almacenó en bolsas de polietileno de alta densidad hasta su uso.

Porcentaje de almidón recuperado

El porcentaje de almidón recuperado se determinó mediante la fórmula reportada por (Ji, Seetharaman, & White, 2004):

$$\%\ de\ almidón\ recuperado = \frac{Peso\ en\ seco\ del\ almidón\ recuperado}{Peso\ en\ seco\ de\ la\ harina}\ x\ 100\% \qquad (1.4)$$

Porcentaje de Rendimiento Almidones

El aislamiento del almidón se llevó a cabo utilizando tres lotes de plátano (Tabla 1), del cual entre 57,7 y 60,3 % fue pulpa, y esta contenía entre 32,45 y 40,34 % de materia seca. El contenido de almidón en la pulpa presentó valores entre 30,26 y 35,83 %. La materia seca presente en la pulpa de plátano en los diferentes lotes, presentó entre 74,2 y 92,6 % de almidón. Los valores de almidón recuperados a nivel laboratorio pueden considerarse adecuados y cuando se comparan con los reportados en otros estudios, estos son similares (Flores et al., 2004) y en ocasiones ligeramente inferiores, Bello-Pérez, Agama-Acevedo, Sánchez-Hernández, & Paredes-López, (1999) reportaron una recuperación de almidón del 54% en relación a los sólidos de la pulpa, las diferencias encontradas, en cuanto a rendimiento, pudieran deberse a las diferencias en el proceso de extracción.

Al comparar las cantidades de almidón obtenidos en los lotes 2 y 3, se encontraron valores similares, por lo que se puede considerar que el método de aislamiento es reproducible, y la variación del lote 1 se debe probablemente a que las operaciones son manuales y se introducen variaciones entre lote y lote. Para el caso de la extracción del almidón de trigo (AT) por vía seca, se utilizaron 1000 gramos de harina obteniéndose un rendimiento del 40.97 %.

Tabla 1. *Porcentaje de almidón de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.)*

Lote	Plátano entero (Kg)	Pulpa (Kg)	Materia seca (Kg)	Almidón recuperado (Kg)
1	2,08	1,20	0,48	0,43
2	1,40	0,82	0,27	0,25
3	1,26	0,76	0,31	0,23

Metodología

Materia prima

Harinas de plátano (H1 y H2): Se trabajó con las harinas de plátano dominico hartón, obtenidas en el capítulo 1.

Harina de trigo comercial (HT): Se utilizó una harina de trigo comercial marca Farallones, fabricada por harinera de occidente y comprada en un supermercado de la ciudad de Armenia Quindío, elaborada con los siguientes ingredientes: Harina de trigo (cereal que contiene gluten) fortificada con Niacina (55 mg/kg), Hierro (44 mg/kg), vitamina B1 (6mg/kg), vitamina B2 (4 mg/kg) y ácido fólico (1,54 mg/kg).

Almidón de plátano (AP): Se trabajó con el almidón de plátano dominico hartón, obtenido en el capítulo 1.

Almidón de Maíz (AM): Se caracterizó el almidón de maíz, por ser este el que presentaba las características teóricas más similares al almidón de trigo (Brumovsky, 2014), por lo que se definió su adición como agente mejorador de la calidad tecnológica.

Almidón de trigo (AT): Se trabajó con almidón de trigo, obtenido en el capítulo 1

Caracterización de los almidones

La caracterización de los almidones se llevó a cabo, de acuerdo a lo propuesto en la metodología descrita en el capítulo 1.

Resultados y discusión

Análisis Proximal

La composición proximal de los almidones de plátano, maíz y trigo se presenta en la tabla 2. El contenido de humedad para el almidón de plátano fue de 11,00%, valores dentro de este rango fueron reportados por Lawal et al, (2008) para almidón de plátano nativo, Bello et al., (2002) reportaron valores de 10,70% para almidón de plátano de la misma variedad y muy superiores a lo reportado (4,98%) de humedad para almidón nativo de banano por Aparicio-Saguilán et al., (2005); también, se evidenciaron similitudes con otras fuentes de almidón, como yuca, papa (8,50%) y ñame (8,66 y 10,22%) (Alvis, Vélez, Villada, & Rada-Mendoza, 2008); la humedad del almidón de plátano fue inferior a la humedad del almidón de trigo y ligeramente superior al almidón de maíz, debido a las tecnologías de secado usadas en el proceso. El contenido de cenizas para el almidón de plátano obtuvo valores menores a lo reportado para almidón de plátano nativo por (Olayide et al., 2008) y similares a lo reportado por Bello et al., (2002) para almidón de plátano verde macho; el almidón de plátano presentó valores menores que el almidón de trigo para la concentración de cenizas y mayores que en el almidón de maíz. La concentración de proteína del almidón de plátano fue 2,21%, valores similares a lo reportado por (Bello et al., 2002) (2,03%) para almidón de plátano; mientras que el contenido de proteína del almidón de plátano comparado con el del trigo fue muy inferior y comparado con el de maíz, fue muy superior. El contenido de grasa en el almidón de plátano obtuvo valores menores a lo reportado por Bello et al., (2002) con 0,42% y al determinado por (García-Tejeda et al., 2011) con 0,35% en almidón de plátano; los bajos valores de grasa de los almidones de plátano favorecen la disminución en la formación de complejos con la amilosa, que tienden a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos (Aristizábal & Sánchez, 2007); el valor de grasa para el almidón de plátano es menor comparado con el almidón de trigo y muy

similar al obtenido por el a maíz. El contenido de fibra en el almidón de plátano fue de 1,37%, mayor a lo reportado (Alvis et al., 2008), para almidones de otras fuentes como papa (0,05%) y yuca que varía entre (0,04 y 0,05%), éste mayor contenido de fibra en al almidón de plátano favorece el proceso digestivo; el almidón de plátano, presentó mayor contenido de fibra que los almidones de trigo y maíz.

Tabla 2. *Análisis fisicoquímico Almidones.*

	Humedad (%)	Proteína Total (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)	Valor Calórico (Kcal/100g)
AP	11,00 ± 0,20^{a}	2,21 ± 0,03^{a}	0,19 ± 0,01^{a}	1,37 ± 0,03^{a}	0,37 ± 0,01^{a}	84,86	349,99
AT	10,56 ± 0,03^{d}	7,32 ± 0,02^{d}	0,62 ± 0,04^{bc}	0,34 ± 0,06^{c}	0,51 ± 0,01^{b}	80,65	357,46
AM	12,96 ± 0,04^{a}	0,66 ± 0,02^{e}	0,28 ± 0,04^{e}	0,18 ± 0,04^{c}	0,12 ± 0,04^{c}	85,8	348,36

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Color e índice de blancura

La Tabla 3 muestra los valores obtenidos para los parámetros del color de los almidones de plátano, maíz y trigo. En la Tabla se evidencia que existe una contribución significativa de los valores de a* y b* con relación al parámetro L* y por consiguiente a la blancura de los almidones de plátano. Como la coordenada L* toma un valor máximo de 100 para un color netamente blanco, los valores de L* obtenidos no se acercaron al blanco ideal, lo que indica que el almidón de plátano extraído presentó un índice bajo de blancura tomando como referencia para este parámetro un valor de 100. Los valores obtenidos para el índice de blancura en el almidón de plátano muestran tendencia más cercana al amarillo; para el almidón de trigo y el almidón de maíz el IB es más alto; ninguno de los almidones tiene un color blanco ideal, debido probablemente a la presencia de algunos compuestos antioxidantes (vitaminas del complejo B o minerales como el hierro)

Tabla 3. *Coordenadas de color CIELAB almidones.*

	L*	a*	b*	IB
AP	67,70 ± 0,00^{a}	4,80 ± 0,00^{a}	18,10 ± 0,06^{a}	62,68 ± 0,03^{a}
AT	80,60 ± 0,10^{e}	0,10 ± 0,00^{e}	12,00 ± 0,06^{e}	77,09 ± 0,11^{d}
AM	84,10 ± 0,10^{f}	-0,63 ± 0,06^{f}	10,67 ± 0,06^{f}	80,76 ± 0,06^{e}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

Determinación de las propiedades funcionales

Las propiedades funcionales del almidón de plátano (AP), del almidón de maíz (AM) y del almidón de trigo (AT) se presentan en la Tabla 4 el almidón de plátano muestra que la CRA es menor que la CAA, lo que indica que el material no retiene la totalidad del agua absorbida, debido a la ausencia de fibras; los valores obtenidos para CH son similares a lo reportado por Hoover & Senanayake., (1996) para almidones de avenas AC Stewart (Avena sativa L.) y NO 753-2 (Avena nuda L.); la CH se relaciona con el contenido de amilosa en el almidón, la cual inhibe la capacidad de hinchamiento, debido, a la formación de complejos insolubles con los lípidos durante el hinchamiento y la gelatinización (Oladebeye, Oshodi, & Oladebeye, 2009; Tester, Karkalas, & Qi, 2004; Zeleznak & Hoseney, 1987); los almidones de trigo y de maíz tienen una CH 5 veces mayor y una CAA 4 veces menor que el almidón de plátano, debido probablemente al menor tamaño del gránulo de almidón, que permite la entrada de agua en los espacios intersticiales de los gránulos de maíz y trigo. El poder de hinchamiento, la solubilidad y la absorción de agua se ven afectados por la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas (N. D. Bermúdez, 2017).

	CH (%)	CAA (g/g)	CRA (g/g)	IS (%)
AP	2,43 ± 0,14[a]	2,38 ± 0,10[a]	1,40 ± 0,08[a]	0,06 ± 0,00[a]
AT	10,66 ± 0,68[b]	0,57 ± 0,04[c]	1,62 ± 0,07[a]	0,087 ± 0,02[a]
AM	10, 44 ± 1,30[b]	0,56 ± 0,04[c]	1,49 ± 0,56[a]	0,089 ± 0,10[a]

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

La Tabla 5 muestra los valores obtenidos para la CRAc, de los almidones de plátano, trigo y maíz, observándose que no existe diferencia significativa entre ellos. La CRAc es importante para la conservación de aromas, para mejorar la palatabilidad y para incrementar la vida media de productos de panadería, cárnicos

y sopas (García, 2016), y se debe a la presencia de cadenas laterales no polares de aminoácidos que se unen a las cadenas laterales hidrocarbonadas del aceite (Martin-Cabrejas, y otros, 2009) y además por la sustitución de moléculas de agua por moléculas de aceite al interior de los gránulos.

Muestra	CRAc (mL/g)
AP	1,69 ± 0,23[a]
AT	1,67 ± 0,37[a]
AM	1,72 ± 0,51[a]

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes ($P<0.05$).

Viscoamilografia (RVA)

Los resultados del perfil de viscosidad y la viscosidad de las pastas de los almidones de plátano, trigo y maíz se muestran en la Figura 1 y en la Tabla 6, obteniéndose valores para la temperatura de gelatinización de 79,16, 59,40 y 67,00 °C respectivamente; los gránulos de almidón de plátano se hinchan lentamente (5 min) comparado con los gránulos de almidón de trigo y maíz (2,59 y 3,84 min), debido al menor tamaño de los gránulos de los almidones de trigo y maíz; el valor de temperatura y tiempo de gelatinización para el almidón de plátano es menor a los obtenidos por Montoya et al., (2014) (89,9°C y 8,9 min para almidón de plátano Dominico Hartón), la máxima viscosidad de los gránulos de almidón de plátano se alcanza alrededor de 1289 cP, debido al hinchamiento de los mismmos al calentarse; los puentes de hidrógeno más débiles en el área amorfa se rompen y el gránulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata (Madruga et al., 2014). En la etapa de agitación a temperatura constante, los gránulos se revientan y la viscosidad disminuye a 1275 cP y algunas moléculas de amilosa salen y se solubilizan. Con el enfriamiento la pasta recupera viscosidad llegando hasta 1598 cP. esto ocurre debido a la ruptura de los gránulos hinchados por la agitación y a la reorganización de las cadenas solubilizadas durante la fase de calentamiento y fase de sostenimiento, produciendo una red que retiene una mayor cantidad de moléculas de agua (Mali et al., 2003); (Gimeno, Moraru, & Kokini, 2004) y dan las

características de una pasta. Posteriormente con el incremento de la viscosidad, se da inicio a la primera etapa o etapa de calentamiento, donde la viscosidad de la pasta llega a un pico máximo de viscosidad de 1450,5 cp, variable que obtuvo un valor menor que lo reportado en otros trabajos para diferentes variedades de plátano (1695 cP, Montoya et al., 2014).

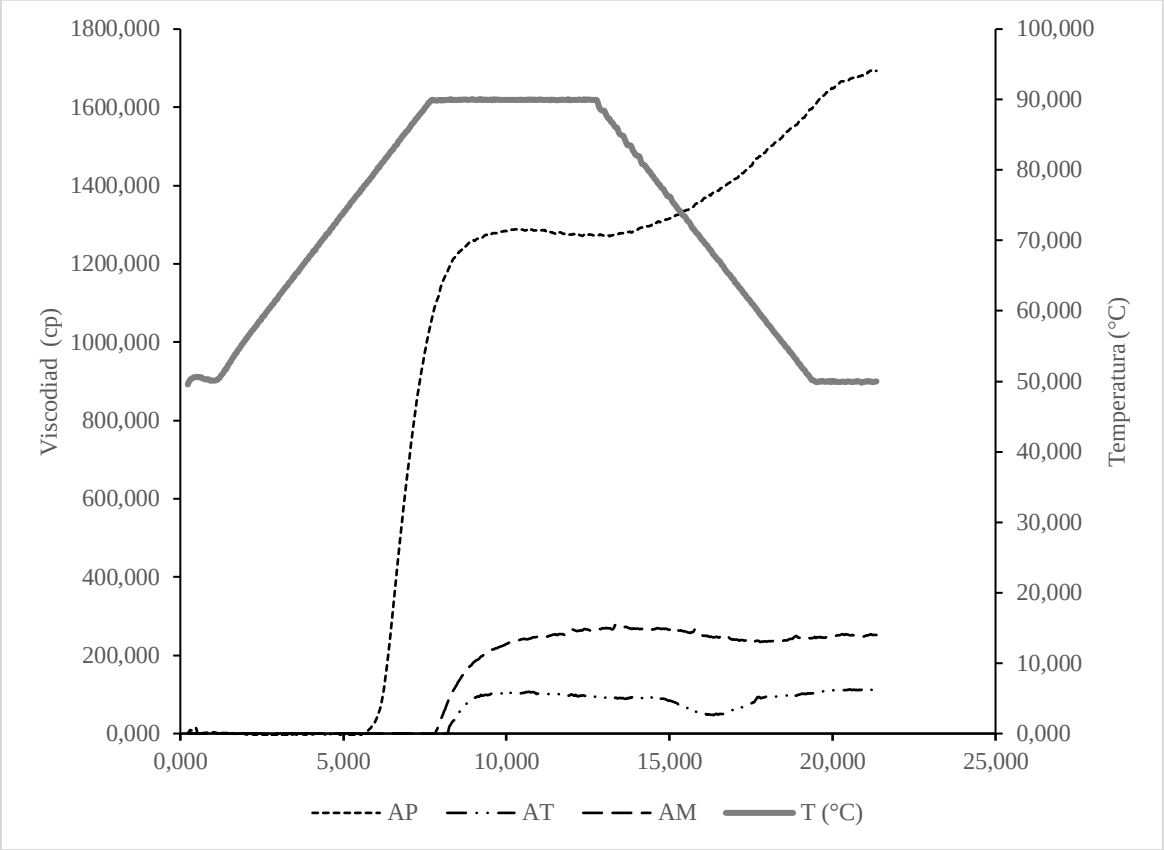


Figura 1. *Curvas de empastamiento RVA de almidón nativo de plátano dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) (AP), Almidón de Trigo (AT) y Almidón comercial de Maíz (AM)*

Los geles del almidón de plátano mostraron mayor estabilidad (Tabla 2.10) al generar más capacidad para soportar el calentamiento y el corte durante la cocción y mayores valores de viscosidad de recuperación (Setback), evidenciando un mayor contenido de amilosa y favoreciendo la retrogradación (Montoya et al.,

2014); por el contrario mostró el menor tiempo en alcanzar el hinchamiento de todos los gránulos desde que inicia el proceso de gelatinización.

Parámetros	AP	AT	AM
Temperatura de inicio de gelatinización (°C)	79,16	59,40	67,00
Tiempo en temperatura de inicio de gelatinización (min)	5,89	2,59	3,84
Viscosidad máxima Vmax (cP)	1289	NR	NR
Temperatura en pico (°C)	89,95	90	90
Tiempo en pico (min)	10,23	10,56	10,35
Viscosidad de la pasta caliente VPC (cP)	1284	12,678	12,711
Viscosidad mínima Vmin (cP)	1275	48	235
Viscosidad de la pasta fría (VPF) (cP)	1598	104,5	244
Breakdown (cP)	14	NR	NR
Setback (cP)	307	56,5	9
Facilidad de cocción (min)	4,34	7,97	6,51
Consistencia	309	NR	NR

Caracterización Térmica

Temperatura de Gelatinización por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La temperatura promedio de inicio de gelatinización para el almidón de plátano Dominico Hartón fue de 70,4±0,30°C (Figura 2), evidenciándose una reacción endotérmica propia de los almidones cuando son sometidos a un proceso hidrotérmico. La transición observada corresponde al proceso de fusión de las dobles hélices de la amilopectina y la pérdida de cristalinidad (Cooke & Gidley, 1992); la temperatura de gelatinización de almidón de plátano en este estudio (Tabla

7), es similar a lo reportado por (Dufour et al., 2009) (67,7°C) para esta misma variedad de plátano y por Espinosa, (2008)(76,5°C). La temperatura final (Te) del proceso fue de 79,1±0,62°C, y la temperatura pico (Tp) para el almidón de plátano fue de 74,1± 0,23°C. La entalpía asociada a este proceso fue (14,46±0,03 J/g).

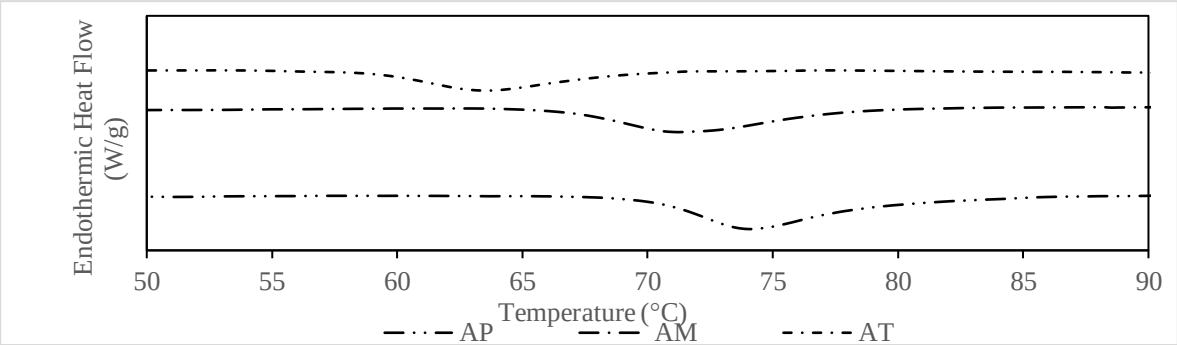


Figura 2.. *Termograma de DSC Almidón de Plátano Dominico Hartón (Musa Paradisiaca L.) (AP), Almidón de Maíz Comercial (AM) y Almidón de Trigo (AT)*

El almidón de trigo presentó una temperatura de inicio de gelatinización (To) de 59,4±0,30 °C (ver Tabla 7), la temperatura pico (Tp), donde se registran los valores más altos de absorción de calor fue de 63,5±0,23 °C. La entalpía de gelatinización ($H_{p)}$ fue de 7,32±0,03 J/g y la temperatura final del proceso (T_e) fue de 68,1±0,29 °C, estos valores son similares a lo reportado por Vansteelandt & Delcour, (1999) para almidón extraído de trigo duro.

Muestra	To (°C)	Te (°C)	Tp (°C)	ΔHp (J/g)
AP	70,4 ± 0,30^{a}	79,1 ± 0,62^{a}	74,1 ± 0,23^{a}	14,46 ± 0,03^{a}
AT	59,4 ± 0,30^{b}	68,1 ± 0,29^{c}	63,5 ± 0,23^{c}	7,32 ± 0,03^{c}
AM	67,0 ± 0,30^{c}	77,3 ± 0,21^{d}	71,1 ± 0,32^{d}	10,71 ± 0,02^{d}

Media y desviación estándar de la determinación por triplicado. Los valores medios no seguidos por el mismo superíndice en una columna son significativamente diferentes (P<0.05).

La temperatura de gelatinización del almidón de plátano evaluado presenta diferencia estadística (*P* = 0,05) frente a la temperatura del almidón de trigo y del almidón de maíz.

Caracterización Estructural

Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)

El espectro FTIR de los almidones de plátano, maíz y trigo se presentan en la Figura 3. Todos los almidones mostraron un patrón similar, con picos notables de absorbancia en las longitudes de onda 3470, 2988, 1650, 1396, 1159, 1082, 1014, 925 y 850 cm^{-1}. El valor de absorbancia de todos los picos distintivos fue mayor para los almidones de maíz y trigo; los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Xu, Miladinov, & Hanna, (2004) y Guerra-Dellavalle, Bello-Pérez, González-Soto, Solorza-Ferial, & Arámbula-Villa, (2008) quienes puntualizaron los grupos característicos de la molécula de almidón nativo de plátano y Lobato-Calleros et al., (2015) que obtuvieron resultados similares para el almidón de maíz nativo. La región de 1500 a 800 cm^{-1} es una región de huella digital propia del almidón, características adicionales aparecen en las bandas 992, 929, 861, 765, 575 cm^{-1} debido al estiramiento vibracional del anillo completo de la unidad de anhídrido glucosa (Goheen & Wool, 1991). La región de 3700 a 3000 cm^{-1} muestra diferencias en el contenido de humedad de almidón, los almidones de maíz y trigo mostraron altos valores de absorbancia que pueden ser vinculado al alto contenido de humedad o mayor cantidad de grupos hidroxilo en la cadena polimérica en comparación con los almidones de plátano (Tabla caracterización fisicoquímica de almidón).

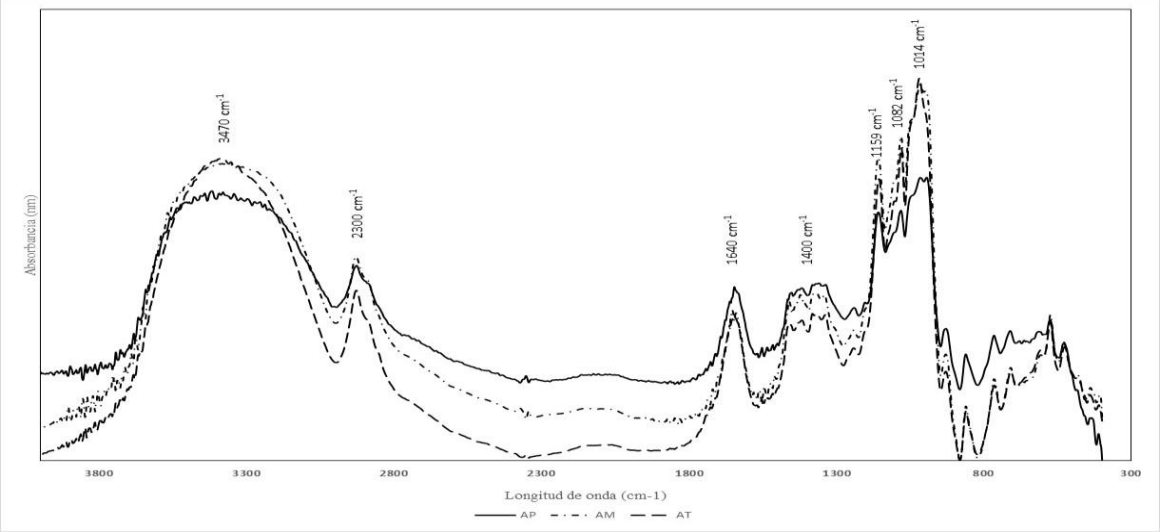


Figura 3. *Espectros FTIR Almidón de Plátano Dominico Hartón (Musa Paradisiaca L.) (AP), Almidón de Maíz Comercial (AM) y Almidón de Trigo (AT)*

Difracción de Rayos X (DRX)

La evaluación hecha, a la estructura de los almidones se presenta en la Figura 4. Los almidones de plátano Dominico Hartón, presentaron un patrón difracción tipo C, el cual es una mezcla entre los polimorfismos A y B (Figura 2.14). Los almidones presentaron picos en los ángulos 2 θ = 12, 15, 17, 23, y 26. Estos patrones de rayos X coinciden con lo reportado por otros autores (Millán-Testa, *et al.,* 2005), también determinaron un patrón tipo C para el almidón Nativo Musa Paradisiaca. Otros estudios han reportado patrones de difracción tipo A para almidón de plátano macho y criollo (Pérez et al., 2000) y (Faisant et al., 1995) reportó patrones de difracción tipo B para almidón de plátano.

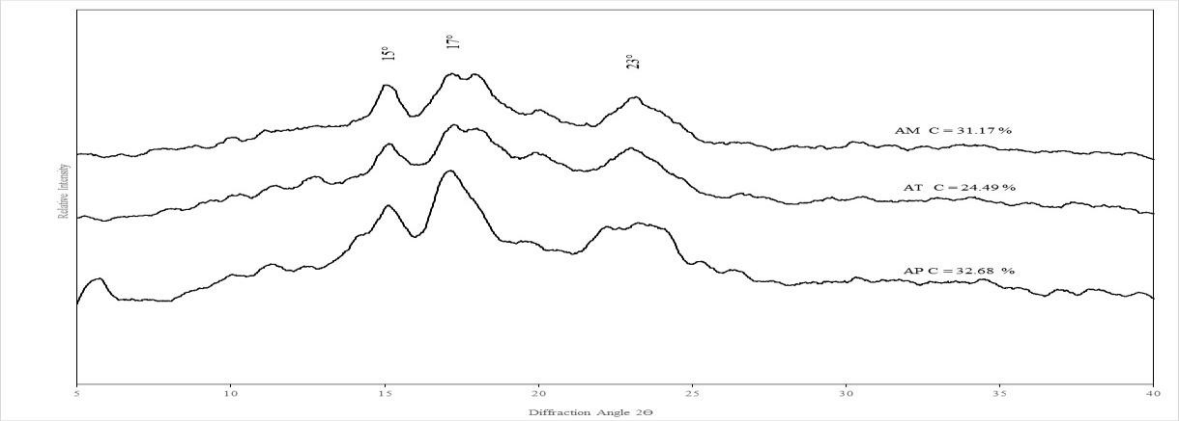


Figura 4. *Difractogramas de Almidón de Plátano Dominico Hartón (Musa Paradisiaca L.) (AP)Almidón A4, Almidón de Trigo Almidón AT y Almidón de Maíz Comercial Almidón AM.*

Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

El tamaño del gránulo de almidón es un parámetro importante que afecta las características funcionales y fisicoquímicas; el tamaño promedio de los gránulos de almidón de las harinas de plátano fueron en promedio 23,32 µm para H1 y 30,11 µm para H2, aunque los tamaños de los gránulos de almidón de las harinas de plátano son diferentes, no existe diferencia significativa (P < 0,05) entre los dos; al analizar el trigo, se encontró que el tamaño promedio de los gránulos de almidón fue 14 µm, valor inferior a lo encontrado para el plátano y que coincidió con lo reportado por (Vansteelandt & Delcour, 1999) presentando diferencias significativas con el almidón de plátano.

Los almidones de trigo y de maíz mostraron estructuras poliédricas y esféricas de forma poliédricas los más grandes y esférica los pequeños, estas formas están relacionadas al tipo de cereal (Figura 5), con tamaños promedio de 13,77 µm y 13,70 µm respectivamente, Sriroth et al., (1999)(Singh, Singh, Kaur, Sodhi, & Gill, 2003) reportaron tamaños entre 15 y 25 µm para gránulo grande de maíz, el gránulo de trigo mostró ser ligeramente más grande que los gránulos de maíz.

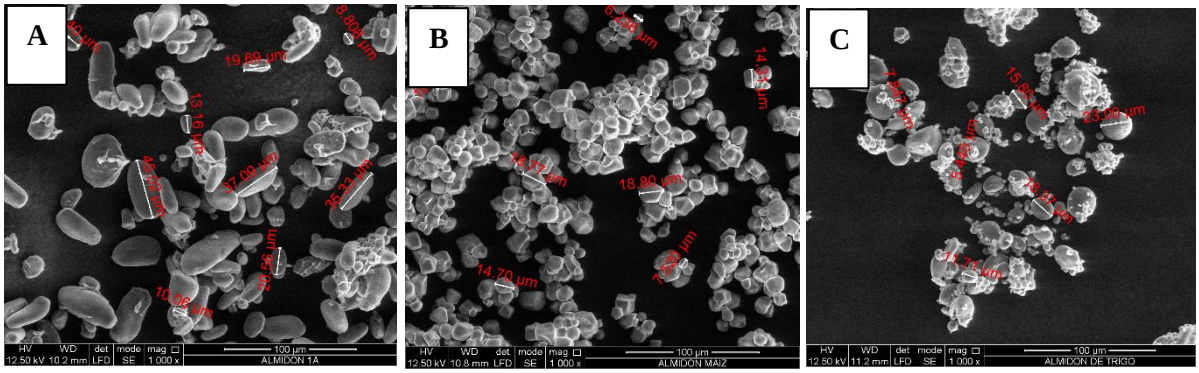


Figura 5. *Micrografía SEM A) Almidón de Plátano Dominico Hartón (Musa Paradidiaca L.) (AP), B) Almidón de Maíz Comercial, Almidón (AM) y C) Almidón de Trigo (AT) 100x.*

En lo referente al tamaño se encontró gran variabilidad en la longitud y el diámetro, la longitud estuvo en un rango desde 7,627 µm hasta 61,04 µm con un promedio de 27,17 µm, el rango obtenido con respecto al diámetro fue de 3,88 µm hasta 29,1 µm y un promedio de 12,70 µm Pérez et al., (2000), reportó un rango de tamaño de 10 µm hasta 50 µm y forma irregular para la almidón de origen botánico plátano, mientras que Guilbot y Mercier, (1985), reportaron rangos de tamaño de 10 µm hasta 40 µm y con forma elipsoidal en almidón de plátano.

Análisis de Distribución de Tamaño de Partícula de los Almidones

El Dx 90 de los almidones de plátano mostró variación de tamaño entre 0,208 y 43,824 µm (Figura 6). La curva está formada por tres diferentes tamaños de gránulos, unos desde 0,2 a 0,4 µm, otros desde 0,4 a 9,0 µm y los últimos desde 10,0 a 90,0 µm, esto debido posiblemente al efecto cizalla causado por la licuadora en el proceso de obtención. El tamaño promedio de los gránulos de almidón de plátano es mayor a lo reportado por Rendón Villalobos et al., (2011) donde son

analizados gránulos de almidón de esta misma variedad con tamaños de partícula de 27,26 µm y por Agama-Acevedo, Bello-Pérez, Pacheco-Vargas, & Evangelista-Lozano, (2015) reportando un tamaño de 25,00 µm en los gránulos de almidón de plátano. En el caso de los gránulos de almidón de maíz y de trigo se observó una población para ambas muestras; los gránulos de almidón de maíz mostraron una distribución unimodal con un estrecho tamaño de partícula entre 0,596 y 0,805 µm, mientras que los gránulos de almidón de trigo presentaron tamaños entre 2,107 y 15,880 µm, siendo mayor el tamaño del almidón de trigo.

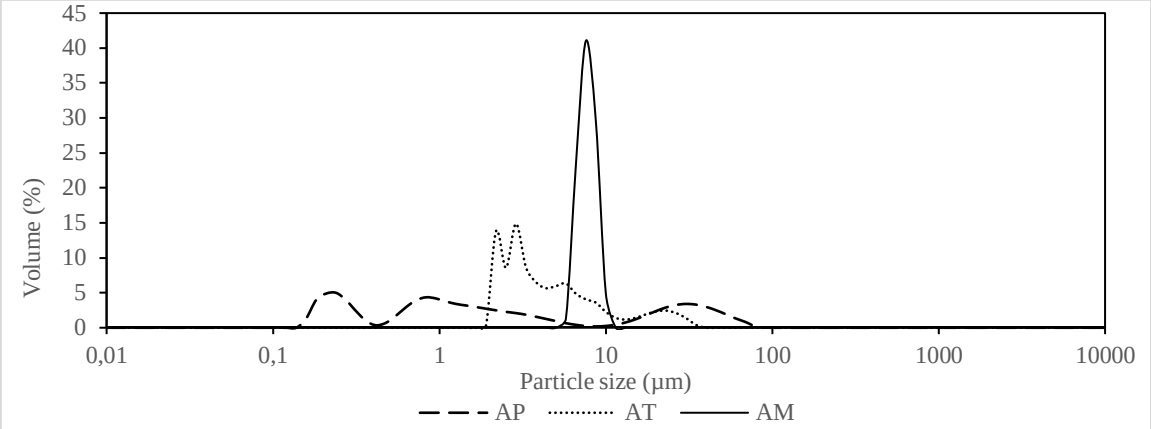


Figura 6. *Distribución del Tamaño de Partícula de los Gránulos de Almidón de Plátano Dominico Hartón (Musa Paradisiaca L.) (AP), Gránulos de Almidón de Trigo Almidón (AT) y Gránulos de Almidón de Maíz Comercial Almidón (AM)*

Microscopía de luz polarizada de los Almidones

La morfología tanto de los almidones de plátano como del almidón de trigo y del almidón de maíz evaluados por microscopía de luz polarizada se muestran en la Figura 7. Todos los gránulos de almidón observados fueron birrefringentes, indicando la presencia de cierto orden en las moléculas que forman el almidón, pero sin hacer referencia a alguna forma cristalina.

Esta birrefringencia es característica en los gránulos de almidón debido a su orden molecular formando la cruz de malta, que ocurre cuando se desdobla un rayo de luz incidente en dos rayos linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí como si el material tuviera dos índices de refracción distintos (Lagos, 2016).

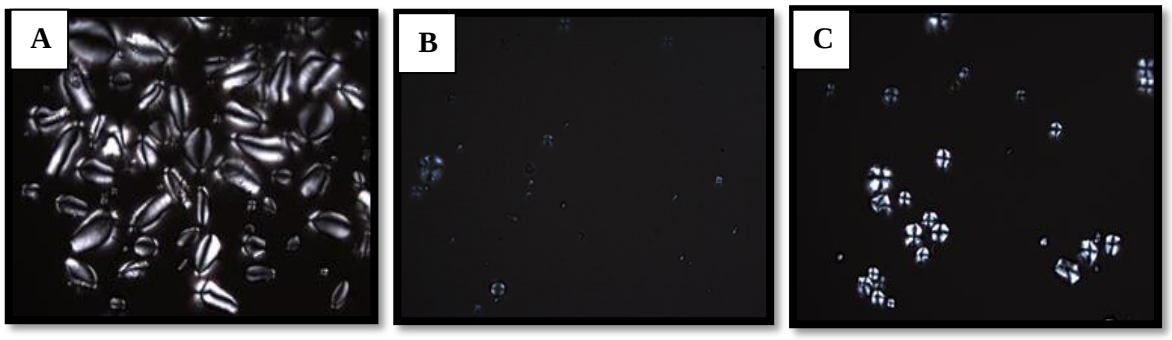


Figura 7. *Microscopia de Luz Polarizada A) Almidón de Plátano Dominico Hartón (Musa Paradidiaca L.) (AP), B) Almidón de Maíz (AM) y C) Almidón de Trigo (AT) 100x.*

Conclusiones

El almidón nativo aislado de plátano Dominico Hartón (*Musa paradisiaca L.*), comparado con los almidones de trigo y de maíz no presentó diferencias en cuanto a su estructura, sin embargo mostró un contenido muy inferior de: proteína, índice de blancura y capacidad de hinchamiento, las temperaturas de gelatinización del almidón de trigo y del almidón de maíz fueron menores respectivamente comparadas con las del almidón de plátano debido probablemente al tamaño molecular; la espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier fue similar para los tres almidones; los análisis de rayos X mostraron que los almidones de plátano presentan un patrón de difracción tipo C con cristalinidad entre de 24.49 y 32.68% atribuida a las cadenas cortas lineales de la amilopectina que forman dobles hélices organizadas en una estructura cristalina tridimensional (Zobel, 1988; Eerlingen & Delcour, 1995). En la microscopía electrónica de barrido y el análisis de distribución de tamaño de partícula se identificó que los almidones de plátano, trigo y maíz presentan diversas morfologías y tamaños.

ANEXO 2.

ANÁLISIS SENSORIAL DE UN PAN LIBRE DE GLUTEN A BASE DE HARINA DE PLÁTANO NATIVA ENRIQUECIDA.

MÉTODO: Escala por atributos

EVALUADOR: _____

FECHA: _____**HORA:** _____

INSTRUCCIONES

Tome cada una de las muestras, evalúe sus atributos según la escala de evaluación, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

a. Observe detenidamente cada muestra y evalúe su **COLOR.**
b. Acerque la muestre y olfatéela, aspirando profundo y lento para percibir su **AROMA.**
c. Ingiérala lentamente y determine la **TEXTURA**, al mismo tiempo degústela para determinar su **SABOR.**

En la hoja de evaluación, marque con una X de acuerdo a su percepción en cada uno de los siguientes ítems.

Muestra	Color		Aroma		Textura		Sabor	
1P	Muy agradable		Muy Fuerte		Muy blando		Muy agradable	
	Agradable		Fuerte		Blando		Agradable	
	Indiferente		Medio		Firme		Indiferente	
	Poco agradable		Suave		Duro		Poco Agradable	
	Desagradable		Imperceptible		Muy duro		Desagradable	
2P	Muy agradable		Muy Fuerte		Muy blando		Muy agradable	
	Agradable		Fuerte		Blando		Agradable	
	Indiferente		Medio		Firme		Indiferente	
	Poco agradable		Suave		Duro		Poco Agradable	
	Desagradable		Imperceptible		Muy duro		Desagradable	

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

ANEXO 3.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

El proyecto de investigación titulado "FORMULACIÓN DE UNA MATRIZ ALIMENTARIA A BASE DE HARINA DE PLÁTANO DOMINICO HÁRTON (*Musa Paradisiaca* L.) PARA EL DISEÑO DE ALIMENTOS FUNCIONALES LIBRES DE GLUTEN", es desarrollado por el Magíster Jairo Montoya López, investigador del Grupo Investigación Agroindustria de Frutas Tropicales, y cuenta con experiencia en este tipo de procesos.

Por lo anterior, muy respetuosamente lo invitamos a participar en la realización del análisis sensorial que se llevará a cabo a las muestras de pan de harina de plátano obtenidas en esta investigación. Es de aclarar que las muestras fueron analizadas fisicoquímica y microbiológicamente, siendo aptas para su consumo.

Señor (a) panelista cordialmente le solicitamos nos informe si usted presenta algún impedimento para la evaluación sensorial de este producto (alergias, intolerancia).

SI ( ) NO ( )

Si se encuentra interesado en conocer los resultados del proyecto, puede dirigirse al laboratorio Diseño de nuevos productos donde se les dará la información, a partir del mes Julio del año 2019

Agradecemos su amable colaboración.

Atentamente,

JAIRO MONTOYA LÓPEZ
Investigador

Firma panelista _____