



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

EVALUACIÓN FUNCIONAL Y BIOLÓGICA DE UN COMPUESTO DE FIBRA SOLUBLE COMO SUSTITUTO DE GRASA EN PRODUCTOS DE PANADERÍA

Luis Carlos Garay Quintero

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2017

Evaluación funcional y biológica de un compuesto de fibra soluble como sustituto de grasa en productos de panadería

Luis Carlos Garay Quintero

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Directora:

MSc Olga Cobos de Rangel

Línea de Investigación:

Diseño y desarrollo de productos alimenticios

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2017

En memoria de Nancy Paola Escobar Moreno, una gran profesional, una excelente amiga y un ser humano maravilloso, que partió prematuramente, pero llenó el mundo de alegría y buena energía, que me enseñó que la mejor arma ante las dificultades es una gran sonrisa, que es un modelo a seguir para mí y para muchos, que siempre tendrá un espacio en la memoria de todos los que tuvimos el privilegio de conocerla, y que seguramente me hubiera acompañado durante todo este proceso y estaría orgullosa del resultado obtenido.

A mis sobrinos y ahijados, Sebitas y Lucianito, por ser mis principales motivaciones para levantarme cada día e intentar trabajar en la construcción de un mundo mejor para ellos, mientras veo cómo se vuelven cada día más grandes, más hermosos y más inteligentes, en medio de sus juegos y ocurrencias.

Agradecimientos

A Dios por iluminarme, acompañarme y fortalecerme a lo largo de este proceso (principalmente en tantos momentos de dificultad), por ayudarme a entender que su tiempo es perfecto y por poner en mi camino tantas experiencias, oportunidades y personas que han enriquecido mi formación personal y profesional.

A mi compañera de estudio, trabajo, historias, risas, llantos, aventuras y de la vida en su conjunto, por acompañarme paso a paso en la construcción y ejecución de este proyecto, por su paciencia, cariño, capacidad de gestión, trabajo incansable y apoyo incondicional en cada una de las actividades desarrolladas en esta investigación.

A mis papás, por ser un ejemplo de responsabilidad y constancia, por su apoyo permanente y por hacer propias muchas de las necesidades derivadas del cumplimiento de los objetivos de este trabajo.

A la Profesora Olga Cobos de Rangel, por ofrecerme sus conocimientos y crear en mí la necesidad de esforzarme por ser cada día un profesional más comprometido y de mayor calidad, por confiar en mí y brindarme el apoyo requerido para culminar este trabajo.

A Orlando Bernal Chía por su valiosa y desinteresada colaboración en la realización de los análisis químicos de los productos desarrollados en esta investigación.

A cada uno de los participantes que hicieron posible la realización del ensayo biológico gracias a su solidaridad, voluntad, colaboración y compromiso permanentes.

Al Laboratorio de Alimentos de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, por abrirme sus puertas y brindarme la infraestructura y equipos necesarios para el desarrollo de cada una de las pruebas de este trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera permitieron que este trabajo se realizara y concluyera con éxito.

Resumen

Uno de los desafíos actuales para la industria de alimentos, en respuesta a la alta prevalencia mundial de enfermedades crónicas, consiste en lograr la reducción calórica y del contenido de grasa en productos procesados, procurando mantener las características de aceptabilidad sensorial para los consumidores. El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades funcionales y biológicas de un compuesto tipo dextrano utilizado como sustituto de grasa en productos de panadería. Para esto, se desarrollaron formulaciones de muffins de zanahoria con diferentes niveles (0%, 15%, 25% y 35%) de sustitución de grasa por fibra, para evaluar sus características funcionales, térmicas, físicas, sensoriales, nutricionales y microbiológicas, y también el efecto de consumir estos productos, sobre el perfil lipídico en individuos sanos. La sustitución de grasa por fibra hasta el 35%, redujo los niveles de lípidos y energía y aumentó el contenido de fibra de los productos, pero modificó su viscosidad, volumen, volumen específico y altura, lo cual tendió a disminuir los puntajes sensoriales para el atributo textura, aunque conservó la aceptabilidad e intención de compra positiva de los muffins sustituidos. Los productos desarrollados son nuevos alimentos funcionales que responden a los descriptores “reducido en grasa” y “buena fuente o excelente fuente de fibra”, y demostraron reducir significativamente ($p < 0,05$) los niveles de c-total y c-LDL con respecto a la línea de base, después de 21 días de ser consumidos. Los muffins de zanahoria constituyen una nueva opción para aumentar la ingesta de fibra, manteniendo condiciones de calidad apreciadas por los consumidores.

Palabras clave: Fibra soluble, sustitución de grasa, alimentos funcionales, productos de panadería, lípidos sanguíneos.

Abstract

One of the current challenges for food industry, in response to the high global prevalence of chronic diseases, is to achieve caloric and fat content reduction in processed products, trying to keep sensorial acceptability features for consumers. The aim of this work was to evaluate functional and biologic properties of a dextran type compound used as fat replacer in bakery products. For this, carrot muffins with different levels (0%, 15%, 25% and 35%) of fat by fiber substitution were developed for evaluating its functional, thermic, physical, sensorial, nutritional, and microbiological characteristics, as well as the effect of consumption of these products on lipid profile in healthy people. Fat by fiber replacement until 35% reduced lipid and energy levels and increased products' fiber content, but modified its viscosity, volume, specific volume, and height, which tended to decrease sensorial scores on texture attribute, but retained acceptability and positive purchase intent of substituted muffins. Developed products are new functional foods that respond to descriptors "fat reduced" and "fiber good source or fiber excellent source", and showed significantly ($p < 0,05$) reduce total cholesterol and LDL cholesterol levels with respect to baseline, after 21 days of being consumed. Carrot muffins constitute a new option for increasing fiber intake, keeping quality conditions appreciated by consumers.

Keywords: Soluble fiber, fat substitution, functional foods, bakery products, blood lipids.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de cuadros	XIII
Lista de diagramas	XIV
Lista de gráficas.....	XV
Lista de tablas	XVI
Lista de símbolos y abreviaturas.....	XVII
Introducción	1
1. Marco conceptual	5
1.1 Fibra.....	6
1.1.1 Definición	6
1.1.2 Clasificación.....	6
1.1.3 Fuentes dietéticas	7
1.1.4 Propiedades funcionales y tecnológicas de la fibra	7
1.1.5 Efectos del procesamiento sobre las propiedades de la fibra	9
1.1.6 Aplicación de la fibra en la industria de alimentos.....	11
1.1.7 Recomendación de ingesta de fibra (AI) y valor de referencia de fibra con fines de rotulado nutricional	11
1.1.8 Asociación entre fibra y salud	12
1.2 Lípidos sanguíneos	13
1.2.1 Definición y estructura	13
1.2.2 Síntesis y secreción de lipoproteínas ricas en triglicéridos	15
1.2.3 Metabolismo de las lipoproteínas ricas en triglicéridos	16
1.2.4 Relación entre fibra y respuesta lipídica	17
2. Objetivos	21
2.1 Objetivo general	22
2.2 Objetivos específicos	22
3. Materiales y Métodos	23
3.1 Materiales	24
3.1.1 Fibra de estudio.....	24
3.1.2 Ingredientes.....	24
3.2 Métodos.....	25
3.2.1 Ensayos preliminares para el desarrollo de los productos y selección de la formulación con las mejores características.....	25
3.2.2 Caracterización de las propiedades funcionales, térmicas, físicas, sensoriales, nutricionales y microbiológicas de la formulación que presentó las mejores características	28

3.2.3 Evaluación biológica del efecto del consumo de un producto horneado con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra sobre el perfil lipídico en individuos sanos 38

4. Resultados y Discusión	45
4.1 Ensayos preliminares para el desarrollo de los productos y selección de la formulación con las mejores características.....	46
4.2 Caracterización de las propiedades funcionales, térmicas, físicas, sensoriales, nutricionales y microbiológicas de la formulación que presentó las mejores características	53
4.2.1 Propiedades funcionales de la masa	53
4.2.2 Propiedades térmicas de la masa.....	56
4.2.3 Propiedades físicas del producto horneado	61
4.2.4 Análisis de color de la miga y la corteza del producto horneado	64
4.2.5 Análisis del perfil de textura del producto horneado.....	67
4.2.6 Análisis sensorial del producto horneado	72
4.2.7 Análisis proximal del producto horneado, determinación del contenido de fibra total y cálculo del cubrimiento de la recomendación y del valor de referencia.....	76
4.2.8 Análisis microbiológico del producto horneado	80
4.3 Evaluación biológica del efecto del consumo de un producto horneado con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra sobre el perfil lipídico en individuos sanos	82
4.3.1 Caracterización de los participantes del ensayo biológico	82
4.3.2 Frecuencia de consumo de alimentos durante los periodos de intervención .	89
4.3.3 Análisis de los componentes del perfil lipídico después de la intervención	90
4.3.4 Cambio en los valores de cada uno de los componentes del perfil lipídico con respecto a la línea de base	92
5. Conclusiones y recomendaciones	101
5.1 Conclusiones.....	102
5.2 Recomendaciones	104

Lista de cuadros

	Pág.
Cuadro 3-1. Composición química por 100 g del biopolímero.....	24
Cuadro 3-2. Formulación original de los productos de panadería seleccionados.	26
Cuadro 3-3. Métodos utilizados en cada uno de los componentes del análisis proximal.	34
Cuadro 3-4. Promedio de recomendaciones de ingesta de energía para hombres y mujeres mayores de 18 años, y cálculo de la recomendación de ingesta de fibra (AI).....	35
Cuadro 3-5. Métodos analíticos y especificaciones del INVIMA para los análisis microbiológicos realizados en los muffins de zanahoria.....	37
Cuadro 4-1. Formulación definitiva de los productos de panadería control (sin fibra).	48
Cuadro 4-2. Formulación definitiva de muffins de zanahoria con tres niveles de sustitución de grasa por un compuesto de fibra soluble tipo dextrano.....	49
Cuadro 4-3. Formulación definitiva de torta de vainilla con tres niveles de sustitución de grasa por un compuesto de fibra soluble tipo dextrano.	49
Cuadro 4-4. Peso por porción y porcentaje de cubrimiento de la recomendación de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	79
Cuadro 4-5. Peso por porción, porcentaje de cubrimiento del Valor de Referencia de fibra con fines de rotulado nutricional, y descriptores de propiedades relacionadas con el contenido de nutrientes y propiedades comparativas.....	80

Lista de diagramas

	Pág.
Diagrama 3-1. Diagrama de flujo para el desarrollo de los productos.	25
Diagrama 3-2. Flujograma de preparación de cada uno de los productos de panadería seleccionados.	27
Diagrama 4-1. Proceso de consolidación del grupo definitivo de participantes en el ensayo biológico.	83

Lista de gráficas

	Pág.
Gráfica 4-1. Características externas e internas de las diferentes formulaciones de torta de vainilla desarrolladas.	50
Gráfica 4-2. Características externas e internas de las diferentes formulaciones de muffins de zanahoria desarrolladas.	52
Gráfica 4-3. Análisis termogravimétrico de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, en función del tiempo.	57
Gráfica 4-4. Análisis termogravimétrico de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, en función de la temperatura.	58
Gráfica 4-5. Calorimetría diferencial de barrido de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	59
Gráfica 4-6. Porcentaje de aceptabilidad sensorial para el parámetro textura en los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	74
Gráfica 4-7. Intención de compra de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	75
Gráfica 4-8. Comparación entre porciones consumidas y porciones recomendadas de los participantes del Grupo 1, por grupos de alimentos.	87
Gráfica 4-9. Comparación entre porciones consumidas y porciones recomendadas de los participantes del Grupo 2, por grupos de alimentos.	89
Gráfica 4-10. Cambio en los valores séricos de triglicéridos con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento.	93
Gráfica 4-11. Cambio en los valores séricos de colesterol total con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento.	94
Gráfica 4-12. Cambio en los valores séricos de colesterol LDL con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento.	95
Gráfica 4-13. Cambio en los valores séricos de triglicéridos con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento y al género.	97
Gráfica 4-14. Cambio en los valores séricos de colesterol total con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento y al género.	98
Gráfica 4-15. Cambio en los valores séricos de colesterol LDL con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento y al género.	98

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 4-1. Valores de humedad, capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de retención de aceite (OHC) en las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	54
Tabla 4-2. Valores de viscosidad de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	56
Tabla 4-3. Temperaturas de inicio (T_o), pico (T_p) y conclusión (T_c) y entalpía de fusión (ΔH) de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	60
Tabla 4-4. Valores de peso, volumen, volumen específico y altura de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	61
Tabla 4-5. Pérdida de peso por horneado y rendimiento de la masa de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	63
Tabla 4-6. Valores de luminosidad (L^*), coordenada cromática rojo/verde (a^*), coordenada cromática amarillo/azul (b^*), croma (C^*_{ab}), matiz (h_{ab}) y diferencia total de color (ΔE^*), de la miga y la corteza de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	65
Tabla 4-7. Valores de los parámetros de textura evaluados en muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	68
Tabla 4-8. Puntajes de aceptabilidad los cuatro atributos sensoriales evaluados para los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	72
Tabla 4-9. Resultados del análisis proximal y determinación del contenido de fibra dietaria en los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	76
Tabla 4-10. Resultados de los análisis microbiológicos de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.	81
Tabla 4-11. Características antropométricas, bioquímicas y físicas, y nivel de actividad física, de los participantes en el ensayo biológico, diferenciadas por grupo de intervención.	84
Tabla 4-12. Ingesta de energía, macronutrientes y fibra dietaria de los participantes de ambos grupos, estimada por análisis químico indirecto del global recordatorio.	86
Tabla 4-13. Ingesta promedio de energía, macronutrientes y fibra, de los participantes del estudio, durante el consumo de los diferentes tratamientos.	90
Tabla 4-14. Valores de cada uno de los componentes del perfil lipídico después del consumo de cada uno de los alimentos estudio.	91
Tabla 4-15. Cambio en los valores de lípidos sanguíneos con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento y al género.	99

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
<	Menor que
±	Más o menos
ΔE^*	Diferencia total de color
ΔH	Entalpía de fusión
°C	Grados Celsius
a^*	Coordenada cromática rojo/verde
b^*	Coordenada cromática amarillo/azul
C^*_{ab}	Croma
Cm	Centímetros
COOH	Grupo carboxilo
cP	Centipoise
dL	Decilitros
G	Gramos
h_{ab}	Matiz
J	Joules
Kcal	Kilocalorías
kDa	Kilodalton
Kg	Kilogramos
L^*	Luminosidad
M	Metros
m^2	Metros cuadrados
Mg	Miligramos
mL	Mililitros
Mm	Milímetros
mm Hg	Milímetros de mercurio
N	Newtons
n	Número de datos en una prueba
P	Probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el que realmente se ha obtenido
pH	Potencial de hidrogeniones
S	Segundos
SO_4^{2-}	Ion sulfato
T_0	Temperatura de inicio de gelatinización
T_c	Temperatura de conclusión de gelatinización
T_p	Temperatura de pico de gelatinización
A	Error estadístico
β	Beta
μL	Microlitros

Abreviaturas

Abreviatura	Término
AGCC	Ácidos grasos de cadena corta
AI	Adequate intake (ingesta adecuada)
AOAC	Association of Analytical Communities (Asociación Oficial de Químicos Analíticos)
Apo	Apoproteína(s)
Apo B100	Apoproteína B100
Apo B48	Apoproteína B48
Apo CII	Apoproteína CII
Apo E	Apoproteína E
ARNm	Ácido ribonucleico mensajero
c-HDL	Colesterol de HDL
c-LDL	Colesterol de LDL
CCNFSDU	Comisión del Códex en Nutrición y Alimentos para Usos Dietarios Especiales
coA	Coenzima A
CODEX	Código
col	Colaboradores
CRA	Capacidad de retención de agua
c-total	Colesterol total
DM	Diabetes Mellitus
DSC	Calorimetría diferencial de barrido
EAR	Requerimiento promedio estimado
ECV	Enfermedad(s) cardiovascular(es)
EFG	Gel relleno de emulsión
FDA	Administración de alimentos y medicamentos de Estados Unidos
FIM	Mezcla funcional de ingredientes
GABA	Guías Alimentarias Basadas en Alimentos
GRAS	Generally recognized as safe (Generalmente reconocido como seguro)
HDL	Lipoproteína de alta densidad
HTA	Hipertensión arterial
IBUN	Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia
IDL	Lipoproteína de densidad intermedia
IMC	Índice de masa corporal
INVIMA	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
IOM	Instituto de Medicina de Estados Unidos
IPAQ	Cuestionario Internacional sobre Actividad Física
LDL	Lipoproteína de baja densidad
LSD	Least significant difference (Diferencia mínima significativa)
METs	Múltiplos de la tasa metabólica en reposo
NA	No aplica
OHC	Capacidad de retención de aceite
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PCA	Análisis de componentes principales
QM	Quilomicrones
rpm	Revoluciones por minuto
RSIN	Tipo de sistema colorimétrico de uso generalizado
TCAC	Tabla de Composición de Alimentos Colombianos
TGA	Análisis termogravimétrico
TPA	Análisis del perfil de textura
VFB	Mezcla de fibras de alta viscosidad
VLDL	Lipoproteína de muy baja densidad
VR	Valor de Referencia

Introducción

En las últimas décadas, las enfermedades crónicas se han convertido en un problema de salud pública mundial, cada vez más preocupante: en 2012 causaron cerca del 68% del total de muertes en el mundo (1). Aproximadamente el 50% de las muertes por enfermedades crónicas corresponden a enfermedades cardiovasculares, aunque la prevalencia de obesidad y diabetes también ha aumentado considerablemente, incluso desde tempranas etapas del ciclo vital (2). Contrario a la tendencia de hace algunos años, las enfermedades crónicas ya no solo son un problema de las naciones industrializadas, sino que se han extendido también a los países en desarrollo debido a la transición epidemiológica (disminución de las enfermedades infecciosas) y nutricional (globalización del modelo de dieta occidental y modificación de los hábitos alimentarios), contribuyendo en 2012 a que casi el 87% de todas las muertes por enfermedades crónicas sucedieran en países de ingresos bajos, medianos bajos y medianos altos (1).

Las enfermedades crónicas más prevalentes en América Latina y el Caribe, que se han convertido en la principal causa de muerte y discapacidad prematuras en la mayoría de los países de la región son las enfermedades isquémicas del corazón, las cerebrovasculares y la diabetes (3). En Colombia, este tipo de patologías también se encuentran entre las primeras causas de mortalidad en la población adulta, con tendencia al aumento, como lo muestran los datos del periodo 1990-2005, en el cual ésta pasó del 59,0% al 62,6% (4). Según los Indicadores Básicos en Salud 2014, las enfermedades isquémicas del corazón, las enfermedades cerebro-vasculares, las enfermedades hipertensivas, la diabetes y las neoplasias, ocasionaron la mayor parte de las muertes en la población mayor de 45 años (5).

Como todas las patologías, las enfermedades crónicas tienen factores de riesgo que se clasifican en no modificables (edad, género, raza, predisposición genética y adaptación metabólica a la restricción en el crecimiento intrauterino y/o al bajo peso al nacer) y modificables, que a su vez se subdividen en factores conductuales (dieta inadecuada, inactividad física, consumo de tabaco y consumo de alcohol), factores biológicos (dislipidemia, hipertensión arterial, exceso de peso, hiperglucemia e hiperinsulinemia) y factores sociales (pobreza, exclusión política, desnutrición en los primeros 3 años de vida, falta de acceso a servicios de salud y medicamentos, falta de acceso a la educación, adversidad ambiental, inadecuada infraestructura física, precarias condiciones laborales y de vida, globalización, urbanización y desplazamiento, entre otros) (2, 6, 7). El objetivo de las estrategias de promoción de la salud y prevención de la enfermedad debe ser la reducción de los riesgos en toda la población, ya que los factores de riesgo para enfermedades crónicas suelen coexistir e interactuar y si se aumenta el nivel general de los factores de riesgo, aumenta el número de personas expuestas a la enfermedad (8). La combinación de factores de riesgo (exceso de peso, inactividad física, consumo de alcohol y tabaco, alto consumo de grasas y azúcares y bajo consumo de fibra y) probablemente tiene un efecto acumulativo y multiplicador que ha precipitado la propagación de estas enfermedades, sobre todo en países pobres (2).

Los principales cambios cuali-cuantitativos en la dieta, que han favorecido la aparición de enfermedades crónicas son: aumento en la densidad energética (mayor adición de grasa y azúcar a los alimentos), mayor ingesta de grasas saturadas (principalmente las de origen animal), menor ingesta de carbohidratos complejos y fibra, y bajo consumo de frutas y verduras (2). La recomendación de ingesta de fibra dietaria se ha establecido con base en la evidencia de los efectos fisiológicos benéficos que ejerce sobre la salud humana, en especial, en la prevención de enfermedades crónicas como diabetes, dislipidemia, enfermedad cardiovascular y algunos tipos de cáncer. En Colombia se adoptó como valor de ingesta adecuada la cantidad recomendada por el Instituto de Medicina de Estados Unidos (IOM) porque ha brindado el mayor efecto protector contra la enfermedad cardiovascular, que corresponde a 14 g por cada 1000 Kcal, para todos los grupos de edad a partir del año de vida (9).

Las guías mundiales de alimentación recomiendan consumir cinco porciones de frutas y verduras al día; sin embargo, el 17,8% de los colombianos consumen únicamente una porción de fruta diaria y el 25,7% consume verduras crudas o cocidas solo una vez al día (10). La baja ingesta fibra dietaria se ha empezado a subsanar en parte en los últimos años, gracias al desarrollo de alimentos funcionales con adición de fibra. Los alimentos funcionales son alimentos que, por contener componentes fisiológicamente activos, proporcionan un beneficio para la salud, más allá de la nutrición básica (11). Como la grasa posee el mayor valor energético entre los macronutrientes, una alternativa prometedora en la industria de alimentos para ofrecer alimentos más saludables es reemplazar la grasa por fibra dietaria (12). En las últimas décadas se ha incrementado la disponibilidad de novedosos alimentos reducidos en grasa, tendencia que en parte responde a las guías alimentarias que recomiendan reducir la ingesta de grasa y al propio deseo del consumidor de perder peso (12, 13). El uso de ciertos carbohidratos no digeribles tiene potencial en la sustitución de grasa en alimentos, pero el reto de la industria de alimentos es mantener al mismo tiempo algunas o todas las características tecnológicas y sensoriales del producto original con todo el contenido de grasa (13).

Investigaciones previas han explorado algunas propiedades fisicoquímicas, funcionales y térmicas de un compuesto de fibra soluble tipo dextrano, desarrollado por el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN), demostrando su efecto prebiótico, su capacidad de fermentación colónica y producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), su potencial como agente viscosante, gelificante, formador de cápsulas y estabilizante, su efecto bioquímico favorable sobre la respuesta glucémica y lipídica en roedores, y su aplicación en la formación de películas protectoras de frutas, entre otros (14).

Escobar (2012) desarrolló diferentes formulaciones de productos de panadería con adición del compuesto de fibra soluble, observando que el biopolímero influyó sobre la interacción de los ingredientes, la calidad de las masas y la textura de los productos terminados; por lo tanto, sugirió un nivel máximo de adición del polímero de 7,5 g por porción para galletas, y 10,0 g por porción para otros productos de panadería, con el fin de conservar las características sensoriales y tecnológicas de los mismos (15). No obstante, el

comportamiento de la masa, así como las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas, organolépticas y biológicas, al emplear el compuesto de fibra soluble como sustituto de grasa en productos de panadería, aún no han sido exploradas, aprovechando que son alimentos de consumo masivo y pueden convertirse en vehículos potenciales para ofrecer compuestos bioactivos como la fibra, a la población.

En este contexto, el objetivo general de este trabajo fue evaluar las propiedades funcionales y biológicas un compuesto de fibra soluble utilizado como sustituto de grasa en productos de panadería. Los objetivos específicos consistieron en caracterizar las propiedades funcionales de un compuesto de fibra soluble tipo dextrano como sustituto parcial de grasa en productos de panadería, evaluar las características nutricionales y la calidad sensorial de un producto de panadería con distintos niveles de sustitución de grasa por fibra soluble, y por último, evaluar el efecto biológico del consumo de un producto con adición de dextrano como sustituto de grasa sobre el perfil lipídico en individuos sanos.

1.Marco conceptual

1.1 Fibra

1.1.1 Definición

En 2002, el Comité de Alimentos y Nutrición del IOM publicó el reporte sobre fibra, introduciendo nuevas definiciones y clasificaciones (16). En 2008, la Comisión del Códex en Nutrición y Alimentos para Usos Dietarios Especiales (CCNFSDU) definió la fibra como polímeros de carbohidratos con 10 o más unidades monoméricas, que no son hidrolizados por las enzimas endógenas del intestino delgado de los seres humanos y pertenecen a las siguientes categorías: polímeros de carbohidratos comestibles contenidos naturalmente en los alimentos; polímeros de carbohidratos que han sido obtenidos de alimentos por métodos físicos, enzimáticos o químicos que han demostrado tener efectos fisiológicos o beneficios para la salud generalmente aceptados por la evidencia científica; o polímeros de carbohidratos sintéticos que han demostrado tener efectos fisiológicos o beneficios para la salud generalmente aceptados por la evidencia científica (17).

1.1.2 Clasificación

Desde el 2002, la definición del IOM para fibra total es “la suma de la fibra dietaria y fibra funcional” (16). Se puede clasificar en: fibra dietaria, entendida como los compuestos constituidos por carbohidratos no digeribles y lignina, constituyentes de tejidos estructurales de la planta sin modificación (intactos), que generalmente están compuestos por una mezcla de polisacáridos que forman parte íntegra de la pared celular de las plantas o de su estructura intracelular; y fibra funcional, que corresponde a compuestos aislados, extraídos a través de métodos químicos, enzimáticos o extractos acuosos, constituidos por carbohidratos no digeribles que ejercen efectos fisiológicos benéficos en el ser humano.

También se puede clasificar según su solubilidad en agua, en fibra soluble y fibra insoluble, aunque sería fisiológicamente más relevante hacerlo de acuerdo a su viscosidad, su capacidad de formar gel, o su tasa de fermentación por la microflora intestinal (18): las fibras solubles, viscosas o fermentables (pectina, inulina, β -glucanos, goma guar) son fermentadas en el colon; las fibras insolubles (celulosa, hemicelulosa, lignina) tienen una acción de aumento del volumen de las heces, pero sólo son fermentadas en un grado limitado en el colon (18, 19, 20).

1.1.3 Fuentes dietéticas

La fibra se encuentra naturalmente en alimentos de origen vegetal: las leguminosas, cereales íntegros, frutas y verduras son, en su orden, la principal fuente de fibra dietaria (aportan contenidos importantes de sus diferentes componentes) (9). Un alto porcentaje de los componentes se encuentra localizado en la cáscara o cubierta protectora, por lo cual es muy importante aumentar el consumo de cereales poco refinados, verduras crudas y cocidas, frutas enteras y en lo posible con cáscara. Otras fuentes menos comunes son hongos, algas (β -glucanos, quitina y quitosano) y esqueletos de animales pequeños, especialmente crustáceos y artrópodos como cangrejo y langosta (quitina y quitosano) (19). Las gomas, dextrinas resistentes y povidexrosa no se encuentran de forma natural en los alimentos; los almidones resistentes se producen durante el procesamiento normal de alimentos, especialmente cuando son sometidos a procesos térmicos fuertes (9).

1.1.4 Propiedades funcionales y tecnológicas de la fibra

▪ Solubilidad

La solubilidad de la fibra se relaciona con la estructura de los polisacáridos; estos se pueden establecer regular (fibra insoluble) o irregularmente (fibra soluble) sobre la cadena

principal o como cadenas laterales (21). La presencia de un grupo sustituido como COOH o SO_4^{2-} , así como la temperatura y la fuerza iónica, aumenta la solubilidad de la fibra (22).

▪ **Propiedades de hidratación**

Estas propiedades se pueden describir mediante la medición de la absorción de agua, capacidad de retención de agua y capacidad de hinchazón: la absorción de agua es la cinética de captación de agua determinada por un aparato Baumann, y proporciona información detallada sobre la fibra, específicamente el volumen del poro de su sustrato (22). La capacidad de retención de agua (CRA) se define como la cantidad de agua que es retenida por 1 g de fibra seca bajo condiciones específicas de temperatura, tiempo de contacto con el agua, y duración y velocidad de centrifugación; sin embargo, una porción de fibra soluble se pierde durante la medición, afectando la CRA; la cantidad de agua medida por centrifugación generalmente es mayor que la cantidad de agua absorbida utilizando el aparato Baumann (23). Las fibras con alta CRA pueden utilizarse como ingredientes funcionales para evitar la sinéresis y modificar la viscosidad y la textura de algunas formulaciones de alimentos (24). La capacidad de hinchazón (CH) puede evaluarse mediante la técnica de volumen de lecho, determinada por la hinchazón de las fibras en el agua durante la noche en un cilindro volumétrico (17, 22). Las propiedades de hidratación de las fibras se relacionan con la estructura química de los polisacáridos componentes, y otros factores como porosidad, tamaño de partícula, forma iónica, pH, temperatura, fuerza iónica, tipo de iones en solución y estrés entre las fibras (22).

▪ **Capacidad de retención de aceite**

Es la cantidad de aceite retenida por las fibras después de la mezcla, incubación con aceite y centrifugación; la absorción de aceite de derivados de cereales, por ejemplo, salvado de trigo, se relaciona principalmente con las propiedades de la superficie de las partículas del salvado, pero también puede estar relacionada con la densidad de la carga general y la naturaleza hidrofílica de los constituyentes, como alginato y fucano en las algas (22). Las

fibras con alta capacidad de retención de aceite permiten la estabilización de alimentos ricos en grasa y emulsiones (23).

- **Viscosidad**

La viscosidad o resistencia al flujo se define como la relación entre el estrés al corte y la tasa de corte; la mayoría de las soluciones de polisacáridos muestran flujo no Newtoniano y una aumentada tasa de corte que puede incrementar o disminuir la viscosidad (25). Las fibras solubles son los principales componentes que pueden incrementar la viscosidad de una solución; la viscosidad aumenta al incrementar la concentración, pero disminuye con la temperatura de una solución de fibra (24).

- **Propiedades antioxidantes**

Los polisacáridos no amiláceos poseen propiedades antioxidantes y se deben explotar como posibles nuevos antioxidantes; muchas fracciones de polisacáridos del salvado de arroz ofrecen protección contra el radical superóxido, el radical hidroxilo libre y la peroxidación lipídica y muestran buen potencial para reducir la potencia y la quelación de los iones de hierro (24). Esto sugiere posibilidades de emplear fibras con alta actividad antioxidante como ingredientes que permitan la estabilización de productos alimenticios grasos, mejorando así su estabilidad a la oxidación y prolongando su vida útil (23, 26).

1.1.5 Efectos del procesamiento sobre las propiedades de la fibra

El procesamiento químico, mecánico, térmico y enzimático, puede modificar las propiedades de las fibras (22). Algunos ejemplos son:

- La deslignificación parcial de las lignocelulosas por tratamiento con peróxido de hidrógeno alcalino (agente bloqueador), proceso que puede mejorar sus propiedades funcionales y sensoriales, reduciendo el color oscuro y el contenido de lignina.
- El tratamiento enzimático puede modificar la relación entre fibra soluble e insoluble. Por ejemplo, el tratamiento de las paredes celulares con xilanasa aumenta el nivel de fibra soluble.
- La cocción por extrusión, proceso durante el cual un producto alimenticio, generalmente derivado de cereal, es calentado bajo presión y luego extruido a través de poros finos mientras que el agua sobrecalentada se evapora rápidamente, dejando un producto texturizado, puede aumentar el contenido de fibra total. El proceso de extrusión aumenta el nivel de fibra soluble con formación de componentes adicionales por transglucoxidación, por la cual los enlaces 1,4 carbono-oxígeno se escinden y se forman nuevos enlaces glucosa anhidra.
- Los tratamientos químicos con soluciones ácidas o básicas incrementan la capacidad de hinchazón de la fibra de remolacha azucarera, lo cual se explica por la destrucción de la cohesión de las paredes celulares.
- El tratamiento mecánico tipo agitación abre la estructura de las fibras por corte mecánico, liberando grupos hidroxilo de la celulosa que quedan disponibles para captar agua. La molienda puede dañar las regiones con potencial CRA, disminuyendo su CRA, pero a la vez puede mejorar estas propiedades como consecuencia del aumento en el área de la superficie; asimismo puede aumentar o disminuir del mismo material dependiendo de su tamaño de partícula.

Los tratamientos térmicos pueden cambiar la relación fibra insoluble/soluble, el contenido de fibra total y sus propiedades fisicoquímicas, dependiendo del tipo de material vegetal y la naturaleza del tratamiento.

1.1.6 Aplicación de la fibra en la industria de alimentos

La fibra fue uno de los primeros ingredientes asociados a la salud en la década de 1980s, y ha sido usada por la industria de alimentos desde esa época (27). Las propiedades funcionales y tecnológicas de la fibra mencionadas anteriormente, son aprovechadas por la industria de alimentos para mejorar la viscosidad, textura, características sensoriales y vida útil de los productos. La fibra puede ser incorporada en los alimentos como agentes no calóricos y poco costosos para la sustitución parcial de harina, grasa o azúcar, como potenciadores de la capacidad de retención de agua y aceite y para mejorar las emulsiones o la estabilidad a la oxidación. No obstante, se puede adicionar un porcentaje finito de fibra, ya que puede causar cambios indeseables en el color y la textura de los alimentos.

En productos de panadería, la incorporación de fibra se utiliza para prolongar la frescura, gracias a su CRA, reduciendo también pérdidas económicas. La fibra puede modificar el volumen del pan, su elasticidad, la suavidad de la miga y la firmeza del pan. La incorporación de fibra en panes reduce su volumen e incrementa su firmeza, pero la magnitud de la modificación depende de la fuente de fibra. Algunos estudios han mostrado que en panes preparados con fibra mejoraron características organolépticas como color, olor y sabor, y se redujo el tamaño de partícula (22). Los principales efectos de la adición de fibra sobre la masa de productos de panadería son el incremento en la absorción de agua durante la mezcla, el aumento en el tiempo de desarrollo y la disminución en la estabilidad de la mezcla y en algunos casos se incrementa la pegajosidad (28).

1.1.7 Recomendación de ingesta de fibra (AI) y valor de referencia de fibra con fines de rotulado nutricional

Para la población colombiana adulta no ha sido establecido un requerimiento promedio estimado (EAR) de fibra, debido a que los estudios prospectivos indican que el impacto de este componente sobre la ocurrencia de enfermedad coronaria puede presentarse en un rango amplio de ingesta; en consecuencia, para este grupo de edad se estimó un nivel de

ingesta adecuada (AI, por sus siglas en inglés) de 14 g por cada 1000 Kcal, por su fuerte relación con la reducción de enfermedad cardiovascular; adicionalmente, esta cantidad contribuye a mejorar la constipación y la enfermedad diverticular, aporta combustible a los colonocitos y reduce las concentraciones sanguíneas de glucosa y lípidos (9). Por otra parte, en la Resolución 333 de 2011 se definió el valor de referencia (VR) de fibra en 25 g/día, entendido como el nivel de ingesta diario de nutrientes recomendado para mantener la salud de la mayoría de las personas sanas de diferentes grupos de edad y estado fisiológico, utilizado con fines de rotulado nutricional (29).

1.1.8 Asociación entre fibra y salud

Muchas investigaciones han demostrado el efecto benéfico de la ingesta de fibra en desórdenes gastrointestinales como enfermedad por reflujo gastroesofágico, úlceras duodenales, enfermedades inflamatorias intestinales, síndrome de intestino irritable, enfermedad diverticular, diarrea, constipación y hemorroides (19). También se ha observado una tendencia a la disminución en los niveles postprandiales de insulina y/o glucosa a partir de la ingesta de fibra (especialmente de la fracción soluble), lo cual resulta favorable en enfermedades como la diabetes mellitus. Adicionalmente, la ingesta de fibra favorece la liberación de péptidos relacionados con la saciedad, disminuyendo la ingesta de alimentos y contribuyendo al control del peso corporal, lo cual es fundamental para la prevención y el tratamiento de la obesidad; no obstante, se obtienen mayores beneficios si la dieta es alta en fibra y de bajo índice glucémico (17, 18, 19). De particular relevancia es la relación existente entre la ingesta de fibra y las patologías de mayor prevalencia a nivel mundial: enfermedad cardio-cerebrovascular y cáncer.

Diversos estudios han coincidido en que una dieta rica en fibra (14 g/1000 Kcal) se asocia con una reducción significativa (16-33%) en el riesgo de enfermedad cardiovascular, lo cual se atribuye a la disminución de sus principales factores de riesgo: para comenzar, la fibra contribuye a la reducción de los niveles de lípidos sanguíneos; en segundo lugar, aumentar la ingesta de fibra puede tener un efecto modesto a moderado en la disminución de la presión arterial (sistólica y diastólica), especialmente en hipertensos; adicionalmente, la fibra dietaria también ejerce efectos favorables sobre el peso corporal, la adiposidad

visceral, la sensibilidad a la insulina y los marcadores inflamatorios (9, 19, 20). El elevado consumo de cereales integrales se relaciona con una reducción significativa del 26% en la prevalencia de accidente cerebrovascular isquémico; también se han observado efectos positivos sobre la progresión de la aterosclerosis de la arteria carótida (19).

Aunque no se ha podido demostrar de manera significativa la asociación entre la ingesta de fibra y el cáncer de colon, se postula como un factor protector porque: promueve la dilución y adsorción de carcinógenos, procarcinógenos y promotores de tumor a nivel intestinal, y su eliminación fecal; con dietas altas en fibra aumenta la velocidad de tránsito en el colon; se observa disminución en la relación de ácidos biliares secundarios a primarios, por acidificación en el colon; se produce butirato, principal fuente de energía del colonocito, por fermentación de la fibra dietaria por la microflora del colon; se reduce la producción de amoníaco, compuesto tóxico para la célula; y se ha sugerido que el peso diario de la materia fecal superior a 150 g ejerce un efecto protector contra el cáncer de colon (17). Por otra parte, existe asociación entre el consumo de cereales integrales y la reducción en la incidencia de cáncer de seno, la cual se puede explicar por disminución de las concentraciones séricas de estrógeno y aumento de la circulación enterohepática de estrógeno, al ligar los estrógenos no conjugados, lo que reduce su disponibilidad en el tracto gastrointestinal; esta misma disminución en las concentraciones séricas de estrógeno se ha planteado como una hipótesis para explicar el efecto protector de la fibra sobre el cáncer relacionado con mecanismos hormonales, como el cáncer endometrial, ovárico y de próstata, aunque para este último no existe evidencia significativa (9, 17).

1.2 Lípidos sanguíneos

1.2.1 Definición y estructura

Los triglicéridos son fracciones lipídicas utilizadas para el almacenamiento de energía, que se sintetizan intrínsecamente en el hígado, y también se derivan de fuentes externas a través de la captación en el intestino (30). Químicamente, son moléculas anfipáticas (un extremo hidrofóbico, y uno hidrofílico) de carácter neutro, que se transportan en el plasma como parte de las lipoproteínas: éstas últimas son moléculas mixtas de forma esférica,

compuestas de lípidos (colesterol, ésteres de colesterol, fosfolípidos y triglicéridos) y proteínas (apoproteínas), cuya estructura tridimensional alberga en su interior las regiones hidrofóbicas y en su superficie las regiones hidrofílicas (permitiendo su contacto e interacción con el plasma) (31, 32).

Las principales lipoproteínas, organizadas de mayor tamaño y menor densidad, a menor tamaño y mayor densidad, son:

- Quilomicrones (QM). Son formados a partir de la grasa de la dieta; se ensamblan en el intestino, se secretan hacia la circulación linfática, y luego se incorporan a la circulación sanguínea a través del ducto torácico. Están compuestos en un 85-90% por triglicéridos, y en menor medida por colesterol y por las apoproteínas Apo B48 (versión abreviada de la Apo B100 sintetizada en el intestino), Apo E y Apo CII. En condiciones normales, los QM constituyen la mayor proporción del pool de triglicéridos postprandiales (32, 33).
- Lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL, por sus siglas en inglés). Se sintetizan en el hígado por medio de la enzima proteína de transferencia microsomal, que ensambla TG, fosfolípidos y colesterol con apoproteínas Apo B y Apo E; luego de su síntesis, son secretadas del hígado al plasma. Están constituidas en un 50-60% por triglicéridos, y en menor medida por colesterol y por Apo B100, Apo E y Apo CII. Las VLDL son capaces de estimular a la lipoproteína lipasa y son proaterogénicas debido a que tienen el tamaño suficiente para penetrar al espacio subendotelial y porque pueden interactuar con el receptor de lipoproteínas de baja densidad en el hígado (32, 33).
- Lipoproteínas de densidad intermedia (IDL, por sus siglas en inglés). Una vez secretadas las VLDL, son blanco de la lipoproteína lipasa gracias a cuya acción se liberan a la sangre ácidos grasos libres y se van degradando las VLDL originando las IDL, que contienen entre un 20-25% de triglicéridos y las mismas apoproteínas que las VLDL (32, 33).
- Lipoproteínas de baja densidad (LDL, por sus siglas en inglés). Las IDL son catabolizadas por la lipasa hepática para generar una lipoproteína con solo un 10% de triglicéridos llamada LDL, compuesta principalmente por colesterol, fosfolípidos y Apo

B100 (32, 33). Si el plasma es rico en triglicéridos, las partículas de LDL reciben triglicéridos de otras lipoproteínas por la acción de la enzima transferidora de ésteres de colesterol, produciendo una partícula de LDL de características especiales, con mayor proporción de triglicéridos, llamada LDL pequeña y densa, también conocida como LDL tipo b. Las LDL tipo b se producen esencialmente en los estados en que hay mayores concentraciones de triglicéridos en la sangre, como, por ejemplo, cuando hay resistencia a la insulina. De los cuatro tipos de LDL que existen, las LDL tipo b son las más proaterogénicas, ya que tienen baja afinidad por el receptor de LDL y alta afinidad por los proteoglicanos, son de fácil penetración endotelial, su oxidación y glicación es acelerada, son de más fácil captación por macrófagos (formación más fácil de células espumosas), tienen mayor capacidad de inducir disfunción endotelial, y se elevan en estados de resistencia a la insulina (32, 33).

- Lipoproteínas de alta densidad (HDL, por sus siglas en inglés). Se sintetizan en el hígado y en el intestino y tienen menos del 10% de triglicéridos. Inicialmente tienen forma discoidal y bajas concentraciones de colesterol; mediante un complejo intercambio por la presencia de receptores específicos, a nivel periférico son capaces de extraer colesterol de las células, lo esterifican y lo almacenan en su interior, tomando paulatinamente una forma esférica. Posteriormente, transportan este exceso de colesterol al hígado para excretarlo en un proceso conocido como transporte reverso de colesterol. Las HDL tienen efectos antioxidantes de las LDL y estimulantes de la prostaciclina, una prostaglandina vasodilatadora. Por todo lo anterior, son consideradas lipoproteínas protectoras contra el proceso aterosclerótico (32, 33).

1.2.2 Síntesis y secreción de lipoproteínas ricas en triglicéridos

Los triglicéridos se sintetizan en las células hepáticas y en los adipocitos; el glicerol-3-fosfato que se produce durante la glucólisis por medio de la acción de la glicerilfosfato-deshidrogenasa o a través de la fosforilación del glicerol, tras sufrir dos esterificaciones sucesivas con el acetil CoA se convierte en diacilglicerol-3-fosfato (ácido fosfatídico), precursor de fosfolípidos; la eliminación hidrofílica de fosfato, seguida de una nueva transferencia de otro grupo acilo procedente de un acetil CoA, conduce a la síntesis de triglicéridos (34). El origen de las lipoproteínas ricas en triglicéridos (QM y VLDL) depende

de la presencia de dos formas distintas de apolipoproteínas: Apo B48 y Apo B100, ambas procedentes del gen APOB. La formación de estas lipoproteínas inicia con la síntesis de la Apo B a partir del ARN mensajero (ARNm) del retículo endoplasmático rugoso; desde los polisomas, la proteína en elongación va penetrando en la luz del retículo; la secuencia inicial de la Apo B100 adquiere una estructura globular, rica en puentes disulfuro, y a la cual no se asocian lípidos (34).

Conforme en el lumen del retículo endoplasmático van penetrando las regiones lipofílicas, a éstas se les van asociando los lípidos complejos, que le son transferidos por la proteína microsomal transferidora de triglicéridos; de esta manera, el complejo entre Apo B100 y lípidos va adoptando de manera progresiva la conformación de una partícula lipoproteica. Sin embargo, cuando se ha completado la síntesis de dicho péptido, la partícula que se obtiene es de pequeño tamaño y todavía relativamente pobre en triglicéridos; para formarse una VLDL propiamente dicha, la partícula precursora debe fusionarse con otra más grande y rica en triglicéridos, pero carente de Apo B100, que se ha formado en el retículo endoplasmático liso, también con la intervención de esta enzima (34). Desde el retículo endoplasmático, la partícula naciente es transportada al aparato de Golgi, donde sufre una glucosilación de apolipoproteínas e incorporación adicional de fosfolípidos por acción de la proteína transferidora de fosfolípidos. Finalmente, la lipoproteína es secretada por exocitosis al plasma (VLDL), o a la linfa mesentérica (QM), desde donde llega a la sangre a través del conducto torácico. La síntesis de QM predomina durante el periodo postprandial y alcanza su concentración plasmática máxima 2-3 horas después de la ingesta (33).

1.2.3 Metabolismo de las lipoproteínas ricas en triglicéridos

El metabolismo de los QM y las VLDL se basa en la hidrólisis intravascular de los triglicéridos que transportan, a cargo de la lipoproteín lipasa de la superficie endotelial, lo cual permite que los tejidos subyacentes capten los ácidos grasos libres resultantes. Cuando estas lipoproteínas pierden triglicéridos, se forman partículas remanentes ricas en

colesterol, que se extraen de forma definitiva del plasma por el hígado para su degradación. El tiempo medio de recambio de los triglicéridos en los QM es de 7 minutos, por lo que en condiciones fisiológicas los QM solo se detectan en el periodo absorptivo. Aunque las VLDL son más pequeñas que los QM, en ellas el tiempo medio de recambio es de unas decenas de minutos; la permanencia de las VLDL en el plasma se prolonga por horas, mientras se transforman en IDL, y finalmente, en LDL (34).

1.2.4 Relación entre fibra y respuesta lipídica

El principal efecto observado en los diferentes estudios se relaciona con la reducción del colesterol de baja densidad (c-LDL), y en algunos casos, de los de triglicéridos séricos: la goma guar y el psyllium ejercen, a dosis variables, efectos sobre la reducción del c-LDL y los triglicéridos; los β -glucanos tienen efecto hipocolesterolemiante, pero producen pocos cambios sobre los triglicéridos; el salvado de trigo, no proporciona ningún cambio sobre el perfil lipídico (9, 20). Los principales mecanismos que explican estos efectos benéficos de la fibra soluble sobre los lípidos sanguíneos son: la supresión de la síntesis hepática de colesterol a partir del incremento en la producción de AGCC (especialmente de propionato) por la fermentación bacteriana de la fibra; el aumento en la excreción de esteroles fecales y la estimulación de la síntesis hepática de ácido biliar; y la reducción en la absorción de colesterol y sales biliares (efecto típico de la dextrina de trigo) (20).

Existe en la literatura una gran disponibilidad de estudios que evalúan el impacto de la fibra soluble sobre los lípidos sanguíneos, que también son un factor de riesgo para diversas enfermedades como el síndrome metabólico en individuos enfermos (especialmente hipercolesterolémicos), aunque muy pocos se realizaron en personas sanas, y son los que se describen a continuación. Gruendel y col (2007) evaluaron los efectos tardíos del consumo de alimentos adicionados con fibra de algarroba y polifenoles sobre los niveles basales y las concentraciones postprandiales de glucosa, insulina, ácidos grasos no esterificados, triglicéridos, leptina y ghrelina total y acilada en 9 hombres y 10 mujeres sanos de $31,0 \pm 11,6$ años, con $22,7 \pm 2,0$ de IMC en promedio. Para esto, se administraron

dos tratamientos: uno con 50 g de fibra de algarroba y otro sin fibra, distribuidos en desayuno, almuerzo y cena; al día siguiente, consumieron 103 g de pan blanco y se tomaron muestras de sangre para determinar las concentraciones de las moléculas de interés. Encontró que el consumo de alimentos enriquecidos con fibra de algarroba no afectó las concentraciones basales de triglicéridos, pero que, al día siguiente de consumir el tratamiento con fibra, las respuestas de triglicéridos y ácidos grasos no esterificados disminuyeron, en comparación con el tratamiento sin fibra. Por otra parte, se observó un aumento en la ghrelina acilada basal el día siguiente al consumo de fibra de algarroba, en comparación con el control. La ghrelina elevada puede producir una disminución en los triglicéridos y ácidos grasos no esterificados circulantes al generar una mayor utilización lipídica y suprimir la lipólisis, aunque los resultados carecen de significancia estadística (35).

El estudio de Ulmius 2009 investigó las respuestas postprandiales de glucosa, insulina y triglicéridos en 6 hombres y 7 mujeres sanos de $22,6 \pm 2,3$ años, con $22,9 \pm 2,2$ de IMC en promedio, después de la ingesta de fibra soluble de avena, salvado de centeno, fibra de remolacha azucarera o una mezcla de las tres, disueltas en bebidas. De forma inesperada se encontró que los niveles postprandiales de triglicéridos tendieron a ser más altos después de todas las fibras, aunque solo fue significativo para la avena en polvo y la mezcla de fibras. La variación de efectos en las respuestas postprandiales se puede explicar en parte por el grado de procesamiento de la fibra: el salvado de centeno no es procesado, mientras que la avena en polvo y la fibra de remolacha azucarera sí lo son. Este estudio establece que la reducción en la digestión y absorción de macronutrientes provocada por la fibra viscosa, produce una menor secreción de insulina y un más lento aclaramiento de glucosa y triglicéridos en el plasma, aunque algunos resultados pudieron haber cambiado debido a que la cantidad de fibra total de los productos no era tan alta, y a que algunos tenían gran cantidad de carbohidratos adicionados. Los autores hacen hincapié en que la fibra soluble debe ser capaz de ser hidratada y formar un gel viscoso para ser fisiológicamente activa, propiedades que están influenciadas por la elección de la matriz alimentaria y el procesamiento (36).

Por su parte, Vuksan 2011 comparó el efecto reductor de lípidos de 3 tipos de fibra con diferentes grados de viscosidad en 12 hombres y 11 mujeres sanos, de 35 ± 12 años, con $23,8 \pm 4,6$ de IMC en promedio, en 3 fases de tratamiento; durante cada fase (21 días) los sujetos consumieron su dieta usual los primeros 9 días y en los 11 restantes, recibieron una dieta metabólica individualizada, en la que se incorporó o se espolvoreó fibra de distintos niveles de viscosidad en los cereales para el desayuno: salvado de trigo (de baja viscosidad), psyllium (*Plantago ovata*) (de media viscosidad) y una mezcla de fibras de alta viscosidad); en los días 0, 9 y 21 de cada periodo se tomaron muestras de sangre para determinar las concentraciones de c-total, triglicéridos y c-HDL. Aunque se observó una disminución en los triglicéridos a partir de la ingesta de fibra, las diferencias no fueron significativas entre tratamientos, por lo que se concluye que aumentar la cantidad de análogos de fibra dietaria formadora de gel en la dieta tiene un consistente pero modesto efecto sobre la disminución de lípidos sanguíneos. No obstante, el diseño del estudio impide la generalización de sus resultados, ya que, a diferencia de las otras fibras, la mezcla de fibras de alta viscosidad no fue incorporada sino espolvoreada sobre el cereal para el desayuno en la mitad de las dosis del salvado de trigo y el psyllium (37).

Recientemente, Kristensen 2013 probó la hipótesis de que la adición de fibra de linaza purificada o mucílago de alta o baja dosis a una comida mixta puede reducir la lipemia y glucemia postprandial, la sensación de apetito y la ingesta de energía ad libitum de forma dosis-dependiente en 18 hombres sanos de 18-40 años, con 22-30 de IMC. Se encontraron efectos deseables sobre los niveles de triglicéridos y la sensación de llenura después de consumir la comida de prueba con adición de mucílago de alta dosis. Los autores concluyeron que la fibra de linaza o mucílago puede suprimir la lipemia postprandial y la sensación de apetito, aunque la ingesta subsiguiente de energía ad libitum no se vea afectada (21).

2.Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades funcionales y biológicas de un compuesto de fibra soluble tipo dextrano utilizado como sustituto de grasa en productos de panadería.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades funcionales de un compuesto de fibra soluble tipo dextrano como sustituto parcial de grasa en productos de panadería.
- Evaluar las características nutricionales y la calidad sensorial de un producto de panadería con distintos niveles de sustitución de grasa por fibra soluble.
- Evaluar el efecto biológico del consumo de un producto con adición de dextrano como sustituto de grasa sobre el perfil lipídico en individuos sanos.

3. Materiales y Métodos

3.1 Materiales

3.1.1 Fibra de estudio

El compuesto de fibra soluble estudiado, corresponde a un polímero natural, desarrollado por el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Es obtenido por vía enzimática a partir de una cepa nativa modificada genéticamente, *Lactococcus lactis subsp. lactis*, una bifidobacteria catalogada como Gras (Generally recognized as safe). Químicamente, es un polímero conformado por unidades de glucosa unidas por enlaces α -1-6, tipo dextrano, cuyo peso molecular es de 850 KDa, y se caracteriza por su efecto prebiótico, solubilidad en agua y viscosidad a altas concentraciones (14), propiedades que han sido evaluadas previamente en trabajos de investigación. La composición química por 100 g de biopolímero, se presenta en el **Cuadro 3-1**.

Cuadro 3-1. Composición química por 100 g del biopolímero.

Componente	Contenido (g/100 g de producto)
Humedad	9,96
Proteína	1,42
Lípidos	0,00
Cenizas	1,51
Fibra total	86,16
Fibra insoluble	1,37
Fibra soluble	84,79
Carbohidratos por diferencia	0,95

Tomado de Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN). Desarrollo de alimentos funcionales empleando un Biopolímero como fuente de fibra soluble.

3.1.2 Ingredientes

Para el desarrollo de productos de panadería con sustitución de grasa por fibra se emplearon las siguientes materias primas adquiridas en el mercado local: harina de trigo fortificada todo propósito, harina de trigo fortificada y clorinada, azúcar refinado, azúcar pulverizado, margarina, aceite, huevo, leche de vaca, queso, zanahoria, naranja, esencia

de vainilla, cloruro de sodio, bicarbonato de sodio, emulsificante (mono y diglicérido), canela en polvo y sucralosa, entre otras.

3.2 Métodos

El desarrollo de este trabajo de investigación implicó la ejecución de tres etapas principales: la primera consistió en la realización de ensayos preliminares para el desarrollo de los productos y selección de la formulación con las mejores características; la segunda implicó la caracterización de las propiedades funcionales, térmicas, físicas, sensoriales, nutricionales y microbiológicas de la formulación que presentó las mejores características; y la tercera y última, fue la evaluación biológica del efecto del consumo del producto desarrollado con diferentes niveles de adición de fibra como sustituto de grasa, sobre el perfil lipídico en adultos sanos.

3.2.1 Ensayos preliminares para el desarrollo de los productos y selección de la formulación con las mejores características

El diagrama de flujo seguido para el desarrollo y selección de los productos con sustitución de grasa por fibra, se resume en el **Diagrama 3-1**.

Diagrama 3-1. Diagrama de flujo para el desarrollo de los productos.

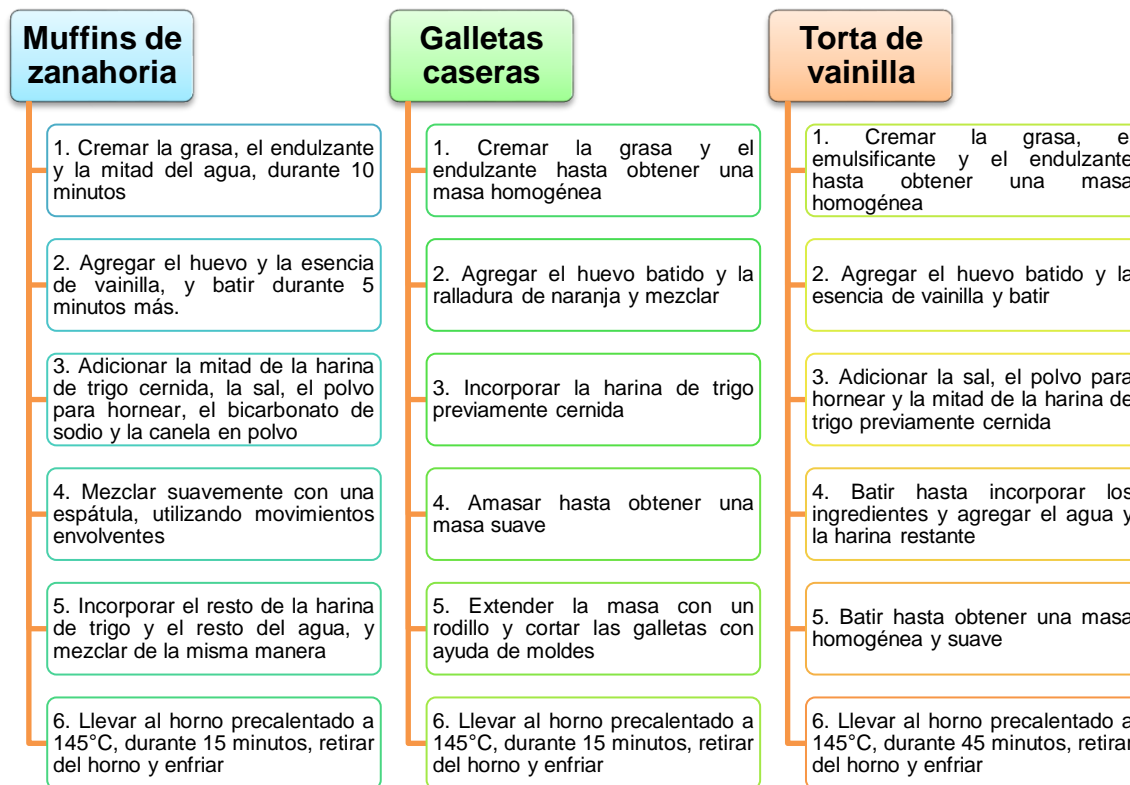


Se seleccionaron como matrices alimentarias formulaciones de diferentes productos de panadería de consumo común: galletas caseras, muffins de zanahoria y torta de vainilla, para evaluar sus características físicas externas e internas y establecer su potencial comportamiento con la incorporación de fibra como sustituto de grasa. En el **Cuadro 3-2** se observa la formulación original de los productos escogidos y el **Diagrama 3-2** incluye el flujograma de preparación de cada uno de ellos.

Cuadro 3-2. Formulación original de los productos de panadería seleccionados.

Ingrediente	Producto		
	Muffins de zanahoria	Galletas caseras	Torta de vainilla
	Cantidad (%)	Cantidad (%)	Cantidad (%)
Harina de trigo fortificada todo propósito	100,0	100,0	100,0
Azúcar	148,8	-	70,0
Zanahoria rallada	97,7	-	-
Esencia de vainilla	0,5	-	2,0
Canela en polvo	0,2	-	-
Sal	1,5	-	1,0
Bicarbonato de sodio	0,7	-	-
Aceite	102,3	-	-
Polvo para hornear	0,3	-	1,0
Huevo	54,9	22,8	50,0
Margarina	-	50,0	40,0
Azúcar pulverizado	-	50,0	-
Ralladura de naranja	-	1,2	-
Emulsificante	-	-	2,0
Agua	-	-	70,0

Diagrama 3-2. Flujograma de preparación de cada uno de los productos de panadería seleccionados.



En su aspecto externo, los muffins de zanahoria exhibieron un dorado uniforme en la superficie, con ligero exceso de dorado en los bordes, y apariencia visual ligeramente grasosa, mientras que en las galletas caseras se evidenció un dorado no homogéneo, es decir bordes más dorados y parte interna más clara; en la torta de vainilla, el dorado fue uniforme, aunque presentó algunas grietas. En relación al aspecto interno, los muffins de zanahoria presentaron una granulometría gruesa y un aspecto uniforme con pequeños túneles; por su parte, en las galletas se observó que, aunque la granulometría era uniforme, la masa era demasiado compacta, lo cual no es característico de este producto; finalmente, en la torta de vainilla, la granulometría fue uniforme y la textura muy suave. La torta y los muffins presentaron valores de merma (pérdida de peso por horneado) relativamente bajos, 12,4% y 18,0% respectivamente, que se acercan a los rangos reportados en la literatura (38, 39), mientras que las galletas exhibieron una merma de 26,0%, que coincide

exactamente con el resultado obtenido por Escobar (2012) al desarrollar galletas de pimienta (15).

Por presentar mejores características externas e internas y menor pérdida de peso por horneado, se seleccionaron los muffins de zanahoria y la torta de vainilla para ser ajustadas en su formulación y posteriormente realizar la sustitución de grasa por fibra. Esto fue descrito previamente por Cross (2006), quien postuló que se consideran necesarios numerosos ajustes a la formulación antes de desarrollar productos aceptables (40).

3.2.2 Caracterización de las propiedades funcionales, térmicas, físicas, sensoriales, nutricionales y microbiológicas de la formulación que presentó las mejores características

Propiedades funcionales de la masa

- **Humedad de la masa**

Las masas de los productos seleccionados control (sin fibra) y con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, fueron elaboradas siguiendo el procedimiento estándar. Después de una hora de reposo, se tomaron tres muestras de cada masa, se homogeneizaron y el contenido de humedad fue determinado con un Analizador de Humedad (OHAUS MB45), usando los siguientes parámetros: perfil estándar, temperatura de desecación 105°C y criterio de finalización A60 (menos de 1 mg de pérdida en 60 segundos).

- **Capacidad de retención de agua y aceite en la masa**

La capacidad de retención de agua (CRA) y de aceite (OHC) fue determinada con base en los métodos propuestos por Larrauri y col (1996) (41) y Escobar (2010) (42), con algunas modificaciones: 10 mL de agua destilada o aceite comercial fueron adicionados a 100 mg

de muestra (previamente secada a 60°C durante 15 horas), se mezcló y se dejó en reposo a temperatura ambiente durante una hora. Posteriormente, se centrifugó durante 15 minutos a 6000 rpm, utilizando una Centrífuga (Hettich Zentrifugen D-78532 Tuttlingen), el sobrenadante fue retirado, y el sedimento fue pesado en una balanza analítica. La CRA y OHC fueron calculadas como g de agua o aceite absorbidos por g de muestra seca, respectivamente. Los resultados fueron expresados como el promedio de tres réplicas.

- **Viscosidad de la masa**

La viscosidad (cP) de la masa fue determinada usando un viscosímetro (RION Viscotester VT-03F). Cada una de las masas fue preparada de acuerdo al procedimiento estándar, utilizando los rotores de viscosidad número 3, 4 y 5. Las mediciones fueron realizadas a 20°C, y los resultados fueron expresados como el promedio de tres réplicas.

Propiedades térmicas de la masa

- **Análisis termogravimétrico (TGA) de la masa**

Para determinar la temperatura de descomposición del biopolímero en el sistema de la masa, fue usado un equipo de análisis termogravimétrico (TGA 1 STAR® System, METTLER TOLEDO). Las mediciones fueron realizadas sobre las muestras de masa preparadas de acuerdo al procedimiento estándar, sin utilizar agua destilada adicional. Las muestras fueron colocadas en bandejas de aluminio especiales para TGA (70 µL), luego fueron selladas, calentadas de 25°C a 105°C a una velocidad de 10°C/minuto, mantenidas a 105°C durante 15 minutos, calentadas de 105°C a 525°C a una velocidad de 10°C/minuto, mantenidas a 525°C durante 30 minutos, y finalmente calentadas de 525°C a 1000°C, a una velocidad de 100°C/minuto. Una bandeja vacía fue usada como referencia y una mezcla de aire y nitrógeno seco fue utilizada como gas de purga. Los picos de caída de masa con respecto a la temperatura, fueron estimados a partir de los termogramas proporcionados por el software del equipo.

▪ **Calorimetría diferencial de barrido (DSC) en la masa**

Las mediciones de calorimetría diferencial de barrido (DSC) fueron realizadas con un calorímetro (DSC 1 STAR® System, METTLER TOLEDO) sobre las muestras de masa preparadas de acuerdo al procedimiento estándar, sin utilizar agua destilada adicional. Las muestras fueron colocadas en bandejas de aluminio especiales para DSC (40 µL), luego fueron selladas, mantenidas a 25°C durante 2 minutos, y finalmente calentadas de 25°C a 100°C, a una velocidad de 10°C/minuto. Una bandeja vacía fue usada como referencia y nitrógeno seco fue utilizado como gas de purga, a una velocidad de flujo de 50 mL/minuto. Las temperaturas de inicio (T_o), pico (T_p) y conclusión (T_c) y la entalpía de fusión (ΔH , expresada en J/g de muestra) de la gelatinización, fueron determinadas a partir de los termogramas, utilizando el software proporcionado por el equipo.

Propiedades físicas del producto horneado

▪ **Peso, volumen, volumen específico y altura del producto horneado**

Una hora después del horneado, el peso (g) de la masa y de los productos horneados seleccionados fue medido utilizando una balanza digital OHAUS Scout Pro SP202 (sensibilidad 0,01 g). El resultado fue expresado como el promedio de mínimo 4 réplicas. El volumen (mL) de los muffins (una hora después de horneados), fue determinado con el método de desplazamiento de semillas de colza, utilizando un recipiente cilíndrico graduado. El resultado fue expresado como el promedio de 10 réplicas. El volumen específico de los muffins fue calculado dividiendo el volumen entre el peso (ver Ecuación (3.1)).

$$\text{Volumen específico (mL/g)} = \frac{\text{Volumen del producto horneado}}{\text{Peso del producto horneado}} \quad (3.1)$$

La altura de los productos horneados fue medida usando un calibrador de longitud de alimentos. Los resultados fueron expresados como el promedio de 12 réplicas.

- **Modificación de peso por horneado y rendimiento de la masa**

El porcentaje de pérdida de peso por horneado de los productos horneados, fue calculado como la diferencia entre el peso de la masa y el peso del producto horneado, dividida entre el peso de la masa (ver Ecuación (3.2)).

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{\text{Peso de la masa} - \text{Peso del producto horneado}}{\text{Peso de la masa}} \times 100 \quad (3.2)$$

El rendimiento de la masa de los productos seleccionados, se calculó a partir de la relación porcentual entre el peso del producto horneado y el peso de la masa (ver Ecuación (3.3)).

$$\text{Rendimiento de la masa}(\%) = \frac{\text{Peso}_{\text{producto horneado}}}{\text{Peso}_{\text{masa}}} \times 100 \quad (3.3)$$

Análisis de color de la miga y la corteza del producto horneado

Un espectro-colorímetro (ColorQuest XE, HunterLab) fue usado para medir el color de los productos horneados. Los resultados fueron expresados de acuerdo al sistema RSIN (iluminante D65 y ángulo de visión 10°). Las mediciones fueron realizadas con un recuadro de diafragma de 8 mm de diámetro con vidrio óptico. Los parámetros medidos fueron L* (luminosidad, L*=0 [negro], L*=100 [blanco]), a* (coordenada cromática rojo/verde, +a*=rojo) y b* (coordenada cromática amarillo/azul, +b*=amarillo). El color de la corteza fue medido en diferentes puntos; luego el muffin fue cortado por la mitad en un plano paralelo a su base, y el color de la miga fue medido en diferentes puntos sobre la superficie

cortada. Se obtuvo un promedio de mínimo 10 réplicas, tanto para el color de la miga, como para el color de la corteza de cada nivel de sustitución.

El croma (C^*_{ab}) fue calculado como la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de las coordenadas cromáticas a^* y b^* (ver Ecuación (3.4)).

$$C^*_{ab} \left[C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \right] \quad (3.4)$$

El matiz (h_{ab}) fue calculado como la arcotangente de las coordenadas cromáticas b^* y a^* (ver Ecuación (3.5)).

$$\left[h_{ab} = \arctan(b^*/a^*) \right] \quad (3.5)$$

La diferencia total de color (ΔE^*) entre la muestra control y cada uno de los productos horneados con sustitución de grasa por fibra, fue calculada como la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de la luminosidad L^* y las coordenadas cromáticas a^* y b^* (ver Ecuación (3.6)).

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.6)$$

Los valores usados para determinar si la diferencia total de color era o no apreciable por el ojo humano, fueron los siguientes: $\Delta E^* < 1$, las diferencias de color no son obvias para el ojo humano; $1 < \Delta E^* < 3$, las diferencias de color no son apreciadas por el ojo humano, y $\Delta E^* > 3$, las diferencias de color son obvias para el ojo humano.

Análisis del perfil de textura del producto horneado

El análisis del perfil de textura (TPA) de los productos horneados, fue realizado el día después del horneado usando un Analizador de Textura (TA.XT plus Stable Micro Systems), equipado con una carga de celda de 5 Kg, atando un tubo cilíndrico de 36 mm de diámetro al dispositivo de compresión. Los parámetros de prueba del instrumento fueron: velocidad pre-prueba 2,0 mm/s; velocidad de compresión 1,0 mm/s; velocidad post-prueba 10,0 mm/s; y programación de compresión al 50%. Los parámetros de textura registrados fueron dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resistencia, realizando mínimo 10 réplicas para cada muestra, y fueron obtenidos al analizar las curvas proporcionadas por el software del equipo.

Análisis sensorial del producto horneado

Las muestras de los productos seleccionados (de aproximadamente 3 x 3 x 3 cm) fueron evaluadas por 82 panelistas no entrenados, por medio de una prueba de aceptabilidad sensorial en una escala hedónica de cinco puntos, siendo un extremo la calificación de “me desagrada mucho”, “no me agrada ni me desagrada” en el centro, y el otro extremo “me agrada mucho” (ver **Anexo A**), para evaluar los atributos olor, color, sabor y textura. También se indagó por la intención de compra de cada muestra. La sumatoria de frecuencias relativas de las calificaciones “me agrada mucho”, “me agrada poco” y “no me agrada ni me desagrada”, fue considerado el porcentaje de aceptabilidad sensorial para cada atributo.

Análisis proximal del producto horneado, determinación del contenido de fibra total y cálculo del cubrimiento de la recomendación de ingesta de fibra (AI) y del valor de referencia de fibra con fines de rotulado nutricional

▪ **Análisis químicos**

El análisis proximal de los productos horneados con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, se llevó a cabo utilizando los métodos oficiales descritos en el **Cuadro 3-3**. Los resultados fueron expresados como el promedio de tres réplicas.

Cuadro 3-3. Métodos utilizados en cada uno de los componentes del análisis proximal.

Análisis	Método	Referencia
Humedad (g/100 g)	AOAC 925.10. Ed. 19:2012	43
Proteína (g/100 g)	AOAC 920.87. Ed. 19: 2012.	44
Lípidos (g/100 g)	AOAC 922.06 (Hidrólisis Ácida)	45
Cenizas (g/100 g)	AOAC 923.03. Ed. 19:2012	46
Fibra cruda (g/100 g)	AOAC 978.10 (Digestión Acido/Alcalina y Calcinación)	47
Carbohidratos (g/100 g)	Cálculo por diferencia	55
Energía (Kcal/100g)	Cálculo utilizando los Factores de Atwater	No Aplica

Para la determinación de fibra total se emplearon los métodos AOAC 991.42 (49) y AOAC 993.19 (50) modificados. Los resultados fueron expresados como el promedio de dos réplicas.

▪ **Definición del peso por porción y cálculo del cubrimiento de la recomendación de ingesta de fibra (AI) y del valor de referencia de fibra con fines de rotulado nutricional**

La actual recomendación de ingesta de fibra para la población colombiana fue establecida con base en la revisión de estudios sobre la efectividad de este componente en la

prevención de diversas enfermedades, acogiendo la recomendación para enfermedades cardiovasculares de 14 g por cada 1000 Kcal (9). La recomendación de ingesta de fibra se calculó con base en el promedio de recomendaciones de energía para hombres y mujeres mayores de 18 años, con nivel de actividad física moderado (**Cuadro 3-4**).

Cuadro 3-4. Promedio de recomendaciones de ingesta de energía para hombres y mujeres mayores de 18 años, y cálculo de la recomendación de ingesta de fibra (AI).

HOMBRES			MUJERES		
Edad (años)	Peso (Kg)	Recomendación de Ingesta de Energía (Kcal/día)	Edad (años)	Peso (Kg)	Recomendación de Ingesta de Energía (Kcal/día)
18 a 30	50	2550	18 a 30	45	2000
18 a 30	55	2650	18 a 30	50	2150
18 a 30	60	2800	18 a 30	55	2300
18 a 30	65	2900	18 a 30	60	2400
18 a 30	70	3050	18 a 30	65	2550
18 a 30	75	3200	18 a 30	70	2650
18 a 30	80	3300	18 a 30	75	2800
18 a 30	85	3450	18 a 30	80	2950
18 a 30	90	3600	18 a 30	85	3050
30 a 60	50	2550	30 a 60	45	2100
30 a 60	55	2650	30 a 60	50	2200
30 a 60	60	2750	30 a 60	55	2250
30 a 60	65	2850	30 a 60	60	2350
30 a 60	70	2950	30 a 60	65	2400
30 a 60	75	3050	30 a 60	70	2500
30 a 60	80	3150	30 a 60	75	2550
30 a 60	85	3250	30 a 60	80	2600
30 a 60	90	3350	30 a 60	85	2700
>60	50	2050	>60	45	1850
>60	55	2150	>60	50	1950
>60	60	2250	>60	55	2050
>60	65	2350	>60	60	2100
>60	70	2450	>60	65	2200
>60	75	2550	>60	70	2250
>60	80	2650	>60	75	2350
>60	85	2750	>60	80	2400
>60	90	2850	>60	85	2500
PROMEDIO HOMBRES (Kcal/día)		2819	PROMEDIO MUJERES (Kcal/día)		2376
PROMEDIO GENERAL (Kcal/día)					2597
RECOMENDACIÓN DE INGESTA DE FIBRA DIETARIA (AI) (g/día)					36,4

El peso por porción fue definido con base en las actuales Guías Alimentarias Basadas en Alimentos (GABA) para la población colombiana (51), de acuerdo a la naturaleza de los productos y a la oferta en el mercado de alimentos con características similares.

El cubrimiento de la recomendación de ingesta de fibra (AI) fue calculado dividiendo el aporte de fibra por porción de cada uno de los productos desarrollados, entre la recomendación de ingesta de fibra (AI) (ver Ecuación (3.7)).

$$\text{Cubrimiento Recomendación Fibra(\%)} = \frac{\text{Aporte de Fibra por Porción Producto horneado}}{\text{Recomendación de Ingesta de Fibra (AI)}} \times 100 \quad (3.7)$$

El valor de referencia (VR) para fibra, establecido en la Resolución 333 de 2011 con fines de rotulado nutricional, corresponde a 25 g/día (29). El cubrimiento del valor de referencia de fibra fue calculado dividiendo el aporte de fibra por porción de cada uno de los productos desarrollados, entre dicho valor de referencia (ver Ecuación (3.8)).

$$\text{Cubrimiento VR Fibra(\%)} = \frac{\text{Aporte de Fibra por Porción Producto horneado}}{25} \times 100 \quad (3.8)$$

Para evaluar si los productos desarrollados respondían a algún descriptor de propiedades nutricionales comparativas según la Resolución 333 de 2011, se calculó la reducción de grasa con respecto al alimento de referencia (control sin fibra), a partir de la diferencia entre el contenido de grasa del alimento de referencia y el contenido de grasa del producto con fibra, dividida entre el contenido de grasa del alimento de referencia (ver Ecuación (3.9)).

$$\text{Reducción de Grasa con respecto al alimento de referencia(\%)} = \frac{\text{Contenido de grasa Alimento de referencia} - \text{Contenido de grasa Producto}}{\text{Contenido de grasa Alimento de referencia}} \times 100 \quad (3.9)$$

Análisis microbiológico del producto horneado

Los productos horneados fueron elaborados, enfriados y empacados en bolsas de cierre hermético, después de lo cual se tomaron muestras de los productos para realizar los recuentos microbiológicos de aerobios mesófilos, coliformes totales y mohos y levaduras, de acuerdo a los métodos referenciados en el **Cuadro 3-5**. Los resultados fueron comparados con las especificaciones de la normatividad vigente para galletas y bizcochos estipulada por el Instituto de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA).

Cuadro 3-5. Métodos analíticos y especificaciones del INVIMA para los análisis microbiológicos realizados en los muffins de zanahoria.

Parámetro	Método analítico	Especificación INVIMA
Recuento de Aerobios Mesófilos	P-LM-049, Revisión 2013	10000-30000 UFC/g
Número Más Probable de Coliformes Totales	ISO 4831, 2006	7-11 g
Recuento de Mohos y Levaduras	ISO 21527-1, 2008	100-200 UFC/g

Análisis estadístico

Los datos atípicos fueron eliminados con base en un análisis de componentes principales (PCA), después de lo cual, el promedio aritmético y la desviación estándar de cada variable fueron calculados. Luego fue realizada la prueba de Shapiro-Wilks para establecer la normalidad de los datos, y en caso de serlo, fue aplicada la prueba de Levene para determinar su homogeneidad. En las variables en que los datos fueron normales y homocedásticos, fue efectuado análisis de varianza empleando ANOVA de una vía, y la comparación múltiple de grupos fue realizada utilizando la prueba de Tukey; los datos que no fueron normales y/o homocedásticos, fueron analizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, complementada con la metodología de diferencia mínima significativa (LSD). El análisis estadístico de los datos fue llevado a cabo en el software MATLAB® R2012a versión 7.14.0.739.

3.2.3 Evaluación biológica del efecto del consumo de un producto horneado con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra sobre el perfil lipídico en individuos sanos

- **Selección y caracterización de los participantes del ensayo biológico, y análisis estadístico**

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, en el Acta 02 del 7 de marzo de 2016 (ver **Anexo B**), a partir de la aceptación de las consideraciones éticas (ver **Anexo C**). Inicialmente se efectuó una convocatoria en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, para reclutar voluntarios. Los criterios de inclusión fueron: edad ≥ 18 años; ausencia de patologías como Diabetes Mellitus (DM), enfermedad renal, hepática, gastrointestinal o cardíaca; no consumo de medicamentos, suplementos ni complementos dietéticos de forma regular; glucemia basal < 100 mg/dL, colesterol total < 200 mg/dL, colesterol LDL < 100 mg/dL, colesterol HDL > 40 mg/dL y triglicéridos < 150 mg/dL; índice de masa corporal (IMC) entre 18,5 y 27,0 Kg/m²; no consumo habitual de alcohol ni cigarrillo, ni práctica de actividad física vigorosa; y seguimiento de una dieta normal, adecuada a las necesidades nutricionales. Los criterios de exclusión fueron: presencia de DM, intolerancia a la glucosa, exceso de peso, hipertensión arterial (HTA), enfermedad renal, hepática, cardíaca, gastrointestinal o dislipidemias; estado de gestación o lactancia; uso permanente de medicamentos o complemento/suplementos nutricionales; y práctica de deportes de alto rendimiento o actividad física vigorosa. Entre los posibles participantes (estudiantes, egresados y trabajadores de la Universidad), que aparentemente cumplían con los criterios de inclusión y exclusión, se realizó una socialización de la información general del ensayo biológico. Posteriormente, los voluntarios que accedieron participar, firmaron el consentimiento informado (ver **Anexo D**), y con ellos se inició la fase de caracterización, constituida en su orden, por la valoración antropométrica, la realización de la anamnesis alimentaria, la aplicación de pruebas bioquímicas, y la evaluación médica.

La valoración antropométrica contempló: la toma de peso (Kg) mediante báscula digital (capacidad máxima 100 Kg); la toma de talla (m), utilizando tallímetro fijo (sensibilidad 0,5 cm); la medición del perímetro de la cintura (cm), mediante cinta métrica, utilizando la técnica aprobada por los expertos de la OMS (52); la determinación del porcentaje de grasa corporal, usando báscula digital con bioimpedancia; y el cálculo del IMC, dividiendo el peso en Kg entre la talla en m² (53). El perímetro de la cintura y el IMC fueron categorizados de acuerdo a los valores de referencia (ver **Anexo E**).

La anamnesis alimentaria (ver **Anexo F**) incluyó la aplicación de una encuesta alimentaria, validada en un ensayo biológico previo (15), conformada por seis componentes: datos personales, consumo de sustancias potencialmente nocivas (alcohol, cigarrillo, sustancias psicoactivas y café), nivel de actividad física, antecedentes personales y familiares relacionados con la salud, global recordatorio de 24 horas en una ocasión y frecuencia de consumo de alimentos. El nivel de actividad física fue determinado a partir de la aplicación de la versión corta del Cuestionario Internacional sobre Actividad Física (IPAQ, por sus siglas en inglés), expresado en METs por minuto por semana (54, 55) (calculando el promedio y la desviación estándar del grupo). Con base en el global recordatorio de 24 horas, se estimó la ingesta de energía, macronutrientes y fibra dietaria de un día, para cada uno de los participantes en el ensayo, calculando el promedio y la desviación estándar grupal, a través de análisis químico indirecto utilizando la Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (TCAC) (56). A partir de la frecuencia de consumo de alimentos, se identificó el número de porciones consumido por cada participante en cada uno de los seis grupos de alimentos definidos para Colombia (51), y se calculó el promedio y la desviación estándar de la diferencia entre el número de porciones consumidas y el número de porciones recomendadas en las GABA para la población colombiana (51). El nivel de actividad física y la frecuencia de consumo de alimentos fueron categorizados de acuerdo a los valores de referencia (ver **Anexo E**).

Las pruebas bioquímicas fueron realizadas por un Laboratorio Clínico certificado, y estuvieron constituidas por cuadro hemático y perfil lipídico (triglicéridos, colesterol total, colesterol LDL, colesterol VLDL y colesterol HDL). El cuadro hemático fue determinado

usando la técnica de impedancia eléctrica y los componentes del perfil lipídico fueron evaluados mediante química seca. También se determinó la concentración de glucosa en ayunas empleando la técnica de glucometría por punción capilar. La valoración médica fue efectuada por una profesional en Medicina General y Cirugía, quien evaluó los antecedentes (patológicos, quirúrgicos y alérgicos), realizó el examen físico (medición de frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y tensión arterial, e inspección de órganos y sistemas) y emitió una impresión diagnóstica para cada uno de los voluntarios, certificando que eran aptos para participar en el ensayo biológico.

Para el análisis estadístico de la línea de base y la comparación entre los dos grupos de intervención, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos, y si eran normales, se les realizó la prueba de Levene para establecer su homocedasticidad. Si los datos de cada variable fueron normales y homocedásticos, se aplicó la Prueba F para evaluar la igualdad de la varianza de los dos grupos y luego se llevó a cabo comparación pareada por medio de la Prueba t de varianzas iguales o desiguales, según correspondiera; los datos que no fueron normales y/o homocedásticos, fueron comparados mediante la prueba de Wilcoxon. En todos los casos fue registrado el valor p, y se consideró que existía una diferencia significativa entre grupos para $p < 0,05$. El análisis estadístico de los datos fue llevado a cabo en el software MATLAB® R2012a versión 7.14.0.739.

▪ **Diseño del estudio**

Se realizó un ensayo clínico aleatorizado simple ciego. Todos los participantes seleccionados recibieron durante 21 días consecutivos el alimento control sin fibra y luego fueron aleatorizados (utilizando aleatorización simple) en dos grupos: uno de los grupos recibió el alimento de estudio con 25% de sustitución de grasa por fibra durante 21 días consecutivos, mientras que el otro grupo recibió el alimento de estudio con 35% de sustitución, durante el mismo periodo de tiempo, aplicando en ambos casos enmascaramiento parcial (simple ciego), para que el participante ignorara cuál de los

tratamientos estaba recibiendo. Los muffins debidamente empacados y rotulados, fueron entregados a los participantes dos o tres veces a la semana durante las tres semanas de duración de cada intervención, para conservar sus características sensoriales. Al final de cada tratamiento (alimento control y alimento de estudio asignado), los voluntarios asistieron después de un ayuno nocturno (10-14 horas) al Laboratorio de Alimentos y Nutrición de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, donde se realizó la toma de muestras de sangre por flebotomía para determinar las concentraciones séricas de triglicéridos, colesterol total, colesterol LDL, colesterol VLDL y colesterol HDL. El periodo de lavado, definido como el tiempo de descanso durante la intervención para evitar efectos acumulativos entre los tratamientos, fue de una semana. En cada periodo de intervención, se les solicitó a los voluntarios que registraran a diario la frecuencia y el tamaño de porción consumido de cada uno de los subgrupos de alimentos definidos (**ver Anexo G**). Al final de cada toma de muestras de sangre, se ofreció un refrigerio a los participantes.

- **Procesamiento de la información sobre frecuencia de consumo de alimentos durante los periodos de intervención, y análisis estadístico**

En el formato de seguimiento a la alimentación durante los periodos de intervención fueron definidos 20 subgrupos de alimentos. Para cada subgrupo fueron definidos tres tamaños de porción, pequeño, mediano y grande, y para cada uno de ellos, se estableció el aporte promedio de nutrientes (energía, proteína, grasa, carbohidratos, fibra total, fibra insoluble y fibra soluble) de los alimentos que lo conformaban, con base en análisis químico indirecto por TCAC. El tamaño de porción fue multiplicado por la frecuencia de consumo individual de un día del subgrupo de alimentos (número entero correspondiente a una frecuencia entre una y seis veces al día), para determinar la cantidad individual diaria de nutrientes por cada subgrupo; posteriormente se realizó la sumatoria de aportes de todos los subgrupos y así se obtuvo el aporte nutricional individual de un día de intervención. Esta misma metodología fue seguida para establecer el aporte nutricional individual de cada uno de los 21 días de intervención, para cada uno de los tres tratamientos (alimento control y alimento de estudio con sustitución de grasa por fibra al 25% o 35%), y se hizo de la misma manera para cada uno de los 27 participantes del estudio. Finalmente, se calculó

el promedio grupal de ingesta de nutrientes para cada uno de los tres tratamientos. Con estos resultados inicialmente se realizó un análisis de componentes principales (PCA), fueron eliminados los datos atípicos y fue calculado el promedio aritmético y la desviación estándar. Luego se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos, y si eran normales, se les realizó la prueba de Levene para establecer su homocedasticidad. Si los datos de cada tratamiento fueron normales y homocedásticos, se efectuó análisis de varianza empleando ANOVA de una vía, y la comparación múltiple de grupos fue realizada usando la prueba de Tukey; los datos que no fueron normales y/o homocedásticos, fueron analizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, complementada con el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD). El análisis estadístico de los datos fue llevado a cabo en el software MATLAB® R2012a versión 7.14.0.739.

- **Procesamiento de los datos de los componentes del perfil lipídico después de la intervención, y análisis estadístico**

Inicialmente se realizó un análisis de componentes principales (PCA); con base en estos resultados y en la identificación de los voluntarios que registraron una ingesta elevada de grasa y/o carbohidratos durante el periodo de intervención, fueron eliminados los datos atípicos y fue calculado el promedio aritmético y la desviación estándar. Luego se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos, y si eran normales, se les realizó la prueba de Levene para establecer su homocedasticidad. Para comparar el efecto de cada tratamiento sobre el perfil lipídico, en las variables en que se reportaron datos normales y homocedásticos, se efectuó análisis de varianza empleando ANOVA de una vía, y la comparación múltiple de grupos fue realizada usando la prueba de Tukey; los datos que no fueron normales y/o homocedásticos, fueron analizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, complementada con el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD). Para cada comparación fue registrado el valor p, y se consideró que existía una diferencia significativa entre tratamientos para $p < 0,05$. El análisis estadístico de los datos fue llevado a cabo en el software MATLAB® R2012a versión 7.14.0.739.

- **Cálculo del cambio en los valores de cada uno de los componentes del perfil lipídico con respecto a la línea de base, y análisis estadístico**

Teniendo en cuenta la alta variabilidad individual propia de los datos provenientes de muestras biológicas, para evaluar el impacto real de la intervención sobre el perfil lipídico se calculó el cambio en los valores de cada uno de los componentes del perfil lipídico con respecto a la línea de base. Por ejemplo, el cambio en el valor de c-LDL con el tratamiento control, se calculó a partir de la diferencia entre el valor de c-LDL del tratamiento control y el valor de c-LDL en la línea de base (ver Ecuación (3.10)).

$$\Delta LDL_{Control} = LDL_{Control} - LDL_{Línea\ de\ base} \quad (3.10)$$

Sobre estos resultados, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad de los datos, y si eran normales, se les realizó la prueba de Levene para establecer su homocedasticidad. Si los datos de cada tratamiento fueron normales y homocedásticos, se efectuó análisis de varianza empleando ANOVA de una vía, y la comparación múltiple de grupos fue realizada usando la prueba de Tukey; los datos que no fueron normales y/o homocedásticos, fueron analizados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, complementada con el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD). Este mismo procedimiento fue repetido después para comparar el efecto de la intervención sobre el perfil lipídico, estableciendo diferencias por género, pues se han reportado variaciones en los valores de lípidos sanguíneos entre hombres y mujeres, a causa de la respuesta hormonal propia de cada género. El análisis estadístico de los datos fue llevado a cabo en el software MATLAB® R2012a versión 7.14.0.739.

4.Resultados y Discusión

4.1 Ensayos preliminares para el desarrollo de los productos y selección de la formulación con las mejores características

La harina de trigo es el ingrediente estructural de los productos de panadería, ya que constituye cerca del 30% al 40% del peso total de la masa en la mayoría de los muffins tipo torta (40) y constituye cerca del 55% a 60% del peso total de las formulaciones de torta (57). Para obtener productos de consistencia suave como tortas, ponqués, tartas, pasteles, muffins y bizcochos, entre otros, es recomendable utilizar una harina con bajo contenido de proteína (8-10%), proveniente de trigo suave, y preferiblemente blanqueada con cloro (57). El clorinado de la harina aumenta la capacidad de hinchazón del almidón y la capacidad de absorción de agua de la harina, favorece la retención de azúcar y grasa en el producto y disminuye el pH de la harina (aproximadamente hasta 5,2), prolongando la vida útil del producto (57). Por lo anterior, se reemplazó la harina de trigo fortificada todo propósito por harina de trigo fortificada y clorinada, para aumentar la suavidad de los muffins y la torta que se estaban desarrollando.

Con el fin de resaltar el sabor a zanahoria y conferir un sabor característico a los muffins, se incrementó en un 11,7% la cantidad de este ingrediente en la formulación original. También fue ajustada la cantidad de aceite, al encontrar una apariencia visual grasosa, disminuyendo en un 65% su contenido en la formulación, obteniendo un porcentaje de participación de aproximadamente 38%, lo cual coincide con lo descrito por Cross (2006), quien reporta que los muffins contienen de 18% a 40% de grasa, un ingrediente importante en esta matriz alimentaria porque mantiene la corteza y la miga suaves y ayuda a retener humedad, contribuyendo así a la conservación de la calidad y a la vida útil (40), además de mejorar el flavour de los productos horneados, pues los componentes del flavour generalmente se disuelven en la grasa (40).

Por otra parte, al percibirse un excesivo sabor dulce en los muffins de zanahoria originales y de acuerdo a las guías alimentarias que recomiendan limitar la ingesta de azúcares (51), se disminuyó el contenido de azúcar en la formulación y se substituyó parcialmente por un edulcorante no calórico, logrando una reducción del 55%, para un porcentaje de participación final del 40%, cantidad inferior a lo descrito por autores que reportan que las cantidades de azúcar en los muffins varían de 50% a 70% (40). El sustituto de azúcar empleado fue sucralosa, guardando una relación edulcorante:azúcar de 63:37, teniendo en cuenta que el poder edulcorante de la sucralosa es de aproximadamente 600%, con respecto a la sacarosa (40). El azúcar no fue eliminado totalmente de la formulación porque promueve la terneza del muffin, inhibiendo la hidratación de las proteínas de la harina y la gelatinización del almidón; además, por ser higroscópico mantiene la frescura del producto, y, al mismo tiempo, los cambios químicos en los azúcares durante el horneado contribuyen al flavour y pardeamiento característicos, pues la caramelización del azúcar es responsable del color café de la corteza de los muffins (40). Por el contrario, los sustitutos del azúcar no contribuyen a la terneza, pardeamiento o retención de humedad en esta matriz alimentaria (40).

Con relación a la torta de vainilla, se substituyó la margarina que está compuesta en un 80% por materia grasa (56), por aceite, presentando una participación en la formulación del 32% y reduciendo de este modo el aporte de grasa saturada de los productos (40), teniendo en cuenta que el trabajo busca caracterizar productos bajos en grasa. Adicionalmente, se acentuó el sabor característico, incrementando en un 1% la esencia de vainilla en la formulación. De esta forma se obtuvieron las formulaciones definitivas de los productos control, las cuales se pueden detallar en el **Cuadro 4-1**.

Cuadro 4-1. Formulación definitiva de los productos de panadería control (sin fibra).

Ingrediente	Producto	
	Muffins de zanahoria	Torta de vainilla
	Cantidad (%)	Cantidad (%)
Harina de trigo fortificada y clorinada	100,0%	100,0%
Azúcar	40,0%	70,0%
Zanahoria rallada	109,4%	-
Esencia de vainilla	3,1%	3,0%
Canela en polvo	0,3%	-
Sal	1,6%	1,0%
Bicarbonato de sodio	0,6%	-
Aceite	37,5%	32,0%
Polvo para hornear	0,3%	1,0%
Huevo	59,4%	50,0%
Agua	30,6%	70,0%
Sucralosa	9,1%	-
Emulsificante	-	2,0%

Posterior al desarrollo de la formulación definitiva de los productos control, se procedió a sustituir el contenido de grasa por un compuesto de fibra soluble tipo dextrano, siguiendo los porcentajes sugeridos por la literatura (12, 58, 59) y teniendo en cuenta los niveles de adición del mismo compuesto en productos de panadería, reportados en ensayos anteriores (15), obteniendo muffins de zanahoria y torta de vainilla con 15%, 25% y 35% de sustitución de grasa por fibra. Con base en los ensayos experimentales, se observó que el momento más apropiado para realizar la incorporación del biopolímero fue durante el cremado del aceite y el azúcar, lo cual confirió mayor estabilidad a la masa, probablemente por la capacidad de retención de aceite de las fibras solubles (22). Para compensar la adición del biopolímero, dada la alta capacidad de retención de agua de la fibra reportada en la literatura (22), se incrementó el contenido de agua en la formulación. Es importante mantener una cantidad apropiada de líquidos en los productos de panadería, pues si son insuficientes pueden generar gelatinización incompleta del almidón y productos con estructura insuficiente para soportar la expansión del volumen del aire durante el horneado (40). Para conservar la esponjosidad característica de estos productos, se aumentó la proporción de uno de los agentes leudantes químicos (polvo para hornear) 0,1% y 0,5%

por cada 10% de sustitución de grasa por fibra en los muffins y la torta, respectivamente. Las formulaciones con inclusión de fibra como sustituto de grasa en muffins y torta se pueden apreciar en el **Cuadro 4-2** y en el **Cuadro 4-3**, respectivamente.

Cuadro 4-2. Formulación definitiva de muffins de zanahoria con tres niveles de sustitución de grasa por un compuesto de fibra soluble tipo dextrano.

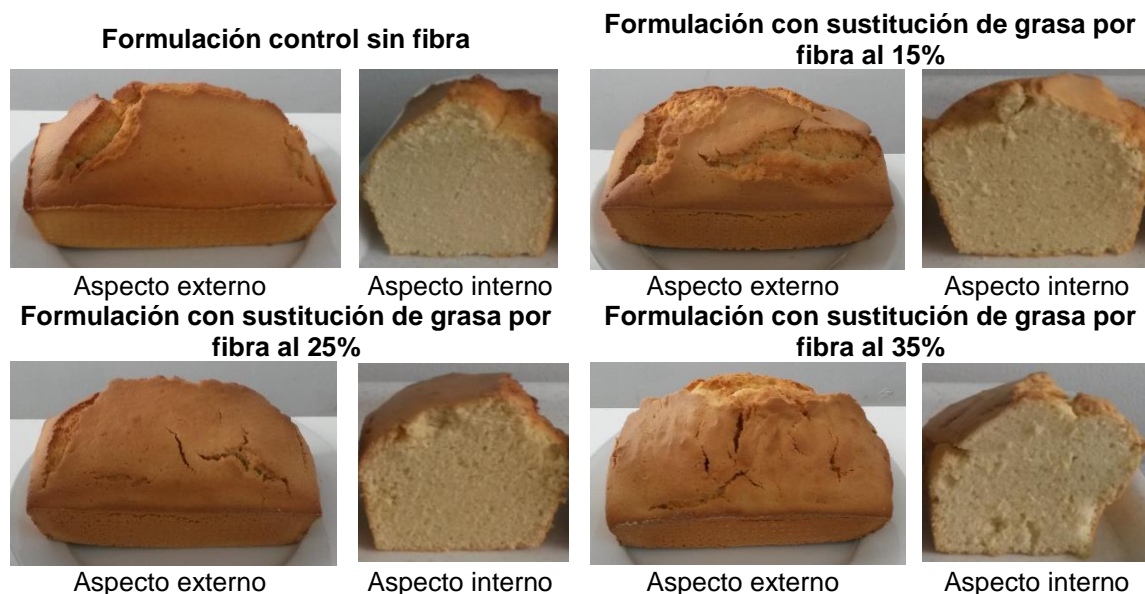
Ingrediente	Sustitución 15%	Sustitución 25%	Sustitución 35%
	%	%	%
Harina de trigo clorinada	100,0%	100,0%	100,0%
Azúcar	40,0%	40,0%	40,0%
Zanahoria rallada	109,4%	109,4%	109,4%
Esencia de vainilla	3,1%	3,1%	3,1%
Canela en polvo	0,3%	0,3%	0,3%
Sal	1,6%	1,6%	1,6%
Bicarbonato de sodio	0,6%	0,6%	0,6%
Aceite	31,9%	28,1%	24,4%
Polvo para hornear	0,4%	0,5%	0,6%
Huevo	59,4%	59,4%	59,4%
Agua	34,4%	38,1%	41,9%
Sucralosa	9,1%	9,1%	9,1%
Compuesto de fibra soluble	5,6%	9,4%	13,1%

Cuadro 4-3. Formulación definitiva de torta de vainilla con tres niveles de sustitución de grasa por un compuesto de fibra soluble tipo dextrano.

Ingrediente	Sustitución 15%	Sustitución 25%	Sustitución 35%
	%	%	%
Harina de trigo	100,0	100,0	100,0
Azúcar	70,0	70,0	70,0
Esencia de vainilla	3,5	4,0	3,5
Sal	1,0	1,0	1,0
Aceite	27,2	24,0	20,8
Polvo para hornear	1,5	2,0	2,5
Huevo	50,0	50,0	50,0
Emulsificante	2,5	3,0	3,5
Agua	74,8	78,0	81,2
Compuesto de fibra soluble	4,8	8,0	11,2

Al evaluar las características físicas de la torta de vainilla, en su aspecto interno se identificó un dorado uniforme propio del producto, pero presencia de grietas no características en la superficie que fueron incrementando a medida que aumentó el nivel de sustitución. Respecto al aspecto interno, se encontró que la granulometría era uniforme, mientras que la miga se fue modificando a medida que incrementó el porcentaje de sustitución, pasando de ser fina (15% de sustitución) a ligeramente desmoronable (25% de sustitución) y altamente desmoronable (35% de sustitución) (**Gráfica 4-1**). Todas las tortas presentaron una merma (pérdida de peso por horneado) de aproximadamente 10%, independientemente del nivel de sustitución, lo cual se considera aceptable en este tipo de productos (39). De este modo, se observó que la inclusión de altas cantidades de fibra ejerció un efecto no deseable sobre la textura de la torta, modificando los atributos propios de este producto, encontrando que la máxima sustitución tolerada sin afectar sus características fue del 15%, nivel de sustitución que se considera bajo al no ejercer un efecto importante sobre el contenido final de grasa del producto.

Gráfica 4-1. Características externas e internas de las diferentes formulaciones de torta de vainilla desarrolladas.



Por su parte, los muffins de zanahoria presentaron las mejores características tanto en su aspecto externo, en el cual se destacó un dorado homogéneo y color característico, como en el interno, resaltándose distribución homogénea de la miga sin formación de túneles, textura ligeramente húmeda y sensación de gomosidad al corte (**Gráfica 4-2**), la cual fue conferida por la viscosidad propia de las fibras solubles (22). La merma (pérdida de peso por horneado) de los muffins osciló entre 9 y 12%, valores deseables para esta matriz alimentaria (12, 40). De lo anterior se concluye que los muffins de zanahoria permitieron una sustitución hasta del 35% de grasa por el compuesto de fibra soluble, además de presentar otras ventajas como la presencia de zanahoria rallada que confiere la sensación de ser un producto natural, y a que son altamente apreciados por los consumidores debido a su sabor agradable y textura esponjosa (12), por tanto, se constituyeron en el producto de panadería que reunió las condiciones para continuar con la realización de pruebas funcionales, fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas que permitieran la caracterización de este biopolímero como potencial sustituto de grasa.

Gráfica 4-2. Características externas e internas de las diferentes formulaciones de muffins de zanahoria desarrolladas.



4.2 Caracterización de las propiedades funcionales, térmicas, físicas, sensoriales, nutricionales y microbiológicas de la formulación que presentó las mejores características

Luego de seleccionar los muffins de zanahoria como la matriz alimentaria que presentó las mejores características con la inclusión de fibra soluble como sustituto de grasa, se realizó la caracterización del producto mediante las pruebas funcionales, térmicas, físicas, sensoriales, nutricionales y microbiológicas que se describen a continuación.

4.2.1 Propiedades funcionales de la masa

- **Humedad de la masa**

La humedad de la masa incrementó de forma proporcional al nivel de sustitución de grasa por fibra (**Tabla 4-1**), encontrando diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los mayores niveles de sustitución (10% y 15%) y los menores (0% y 5%). Esto se debe al aumento en el contenido de agua en la formulación, para compensar la inclusión de fibra, pues este componente bioactivo compite con la harina de trigo por la humedad; por consiguiente, tanto la fibra como el agua, son adicionados a la masa al final del proceso de elaboración.

Tabla 4-1. Valores de humedad, capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de retención de aceite (OHC) en las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Producto	Humedad (%)	CRA (g agua absorbidos/g muestra seca)	OHC (g aceite absorbidos/g muestra seca)
Control sin fibra	44,26±0,19 ^a	3,7131±0,11 ^a	3,8774±0,07 ^a
Sustitución 15%	45,34±1,76 ^{ab}	4,1163±0,20 ^{ab}	3,8563±0,35 ^a
Sustitución 25%	46,37±0,50 ^b	4,3699±0,27 ^b	3,9592±0,09 ^a
Sustitución 35%	47,14±0,39 ^b	4,5007±0,20 ^b	4,2117±0,07 ^a

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el nivel de sustitución.

▪ **Capacidad de retención de agua y aceite en la masa**

Los valores de CRA y OHC, expresados como g de agua o aceite por g de muestra seca, se pueden observar en la **Tabla 4-1**. La CRA aumentó de forma proporcional al nivel de sustitución de grasa por fibra, con diferencias significativas ($p<0,05$) entre todas las masas, lo cual confirma el carácter hidrófilo de este compuesto de fibra soluble y ratifica su capacidad funcional para retener agua, que tiene diversas aplicaciones en la industria de alimentos. Los resultados coinciden con Escobar (2010), quien evaluó la CRA en el tiempo, del mismo biopolímero empleado en esta investigación, encontrando un valor de 3 g de agua absorbidos/g de muestra seca al inicio (tiempo 0), el cual fue aumentando hasta alcanzar un pico de 8 g de agua absorbidos/g de muestra seca (a los 722 minutos) (42). El compuesto incrementó su CRA al mezclarse con el resto de componentes de la masa, hecho que explica la necesidad de adicionar mayor cantidad de agua en la formulación al aumentar el nivel de sustitución.

La OHC también incrementó a medida que aumentaba el nivel de sustitución de grasa por fibra, aunque no se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre las masas evaluadas. La alta OHC de una sustancia la convierte en un potencial sustituto de grasa; en el caso de los muffins, esta propiedad presentó una tendencia a incrementar de tipo lineal, por lo cual se infiere que el valor puede seguir aumentando con un mayor nivel de sustitución de grasa por fibra. La capacidad de una fibra para retener aceite depende más

de su porosidad y de su estructura, que de la afinidad de la molécula de fibra por el aceite; por lo tanto, el pre-procesamiento de la fibra con agua y la reducción de su tamaño de partícula, pueden reducir su OHC; el mecanismo que explica las posibles diferencias en los valores de OHC entre diversos tipos de fibra es complejo, e involucra el número de sitios lipofílicos, la hidrofobia general y la atracción capilar de la fibra (60). De lo anterior se puede pensar, que el compuesto de fibra soluble tipo dextrano utilizado en esta investigación presenta la porosidad y el tamaño de partícula adecuados para retener aceite y actuar como potencial sustituto de grasa. El resultado obtenido en este trabajo supera los hallazgos de Escobar (2010), quien al determinar la OHC en el tiempo, del mismo compuesto de fibra soluble utilizado en este trabajo, reportó un valor de 2 g de aceite absorbidos/g de muestra seca al inicio (tiempo 0), el cual fue aumentando hasta alcanzar un pico de 3,6 g de aceite absorbidos/g de muestra seca (a los 1262 minutos) (42). Esto quiere decir, que el biopolímero tiene un mejor comportamiento como sustituto de grasa, que al ser simplemente adicionado en una matriz alimentaria de tipo oleoso.

▪ **Viscosidad de la masa**

Las masas con incorporación de fibra como sustituto de grasa fueron sustancialmente más viscosas que el control sin fibra, sin diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los niveles de sustitución de 15% y 25%, como se puede apreciar en la **Tabla 4-2**. La viscosidad de la masa es una de las propiedades físicas más importantes en el horneado de productos como tortas y muffins, ya que durante el horneado, el gradiente de velocidad en la masa, induce en determinado momento una corriente de convección, que depende de su viscosidad, así que, a menor viscosidad de la masa, mayor flujo de convección (38).

Tabla 4-2. Valores de viscosidad de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Producto	Viscosidad (cP)
Control sin fibra	148±2 ^a
Sustitución al 15%	633±11 ^b
Sustitución al 25%	650±8 ^b
Sustitución al 35%	675±9 ^c

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el nivel de sustitución.

El aumento en la viscosidad de las masas varió entre 427% y 456% con respecto al control sin fibra, lo cual está relacionado con la alta capacidad que tienen las fibras solubles para formar geles, en función del tiempo y la temperatura. Esto puede llegar a convertirse en un factor desfavorable para el desarrollo tecnológico de los productos al incrementarse de manera importante el porcentaje de sustitución, ya que podría conducir a problemas en la manipulación de la masa, en el llenado de los moldes y en la limpieza de la maquinaria (38); sin embargo, los resultados coinciden con otros investigadores, que han observado un incremento en la viscosidad de las masas de productos de panadería al aumentar la concentración de fibra soluble (38, 61, 62), aunque la comparación se debe establecer con precaución, por la variación en la metodología empleada por los diferentes autores.

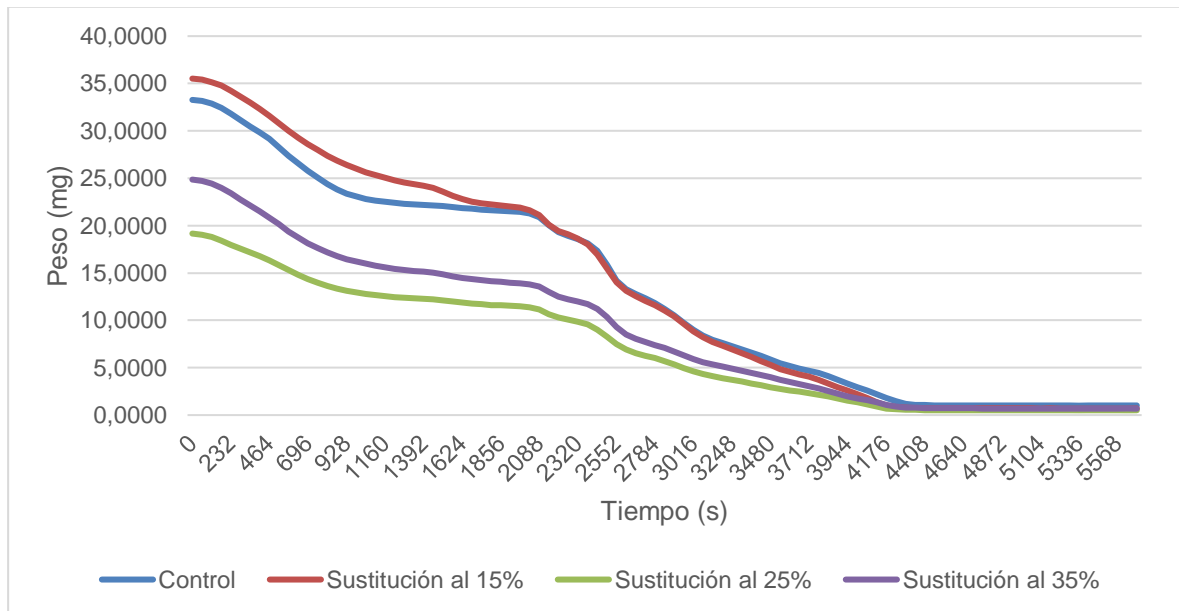
4.2.2 Propiedades térmicas de la masa

- **Análisis termogravimétrico (TGA) de la masa**

El análisis termogravimétrico (TGA) de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, en función del tiempo, se puede apreciar en la **Gráfica 4-3**. En el termograma obtenido a partir de los resultados numéricos (**Anexo H**), se observa un comportamiento similar entre los menores (0% y 15%) y los mayores niveles de sustitución (25% y 35%), y se encuentran tres picos que indican la pérdida y/o modificación de alguno de los componentes de la masa: el primero se presenta entre 812

y 928 s, el segundo entre 2208 y 2204 s, y el tercero entre 2436 y 2552 s, momento a partir del cual inicia la descomposición de la masa.

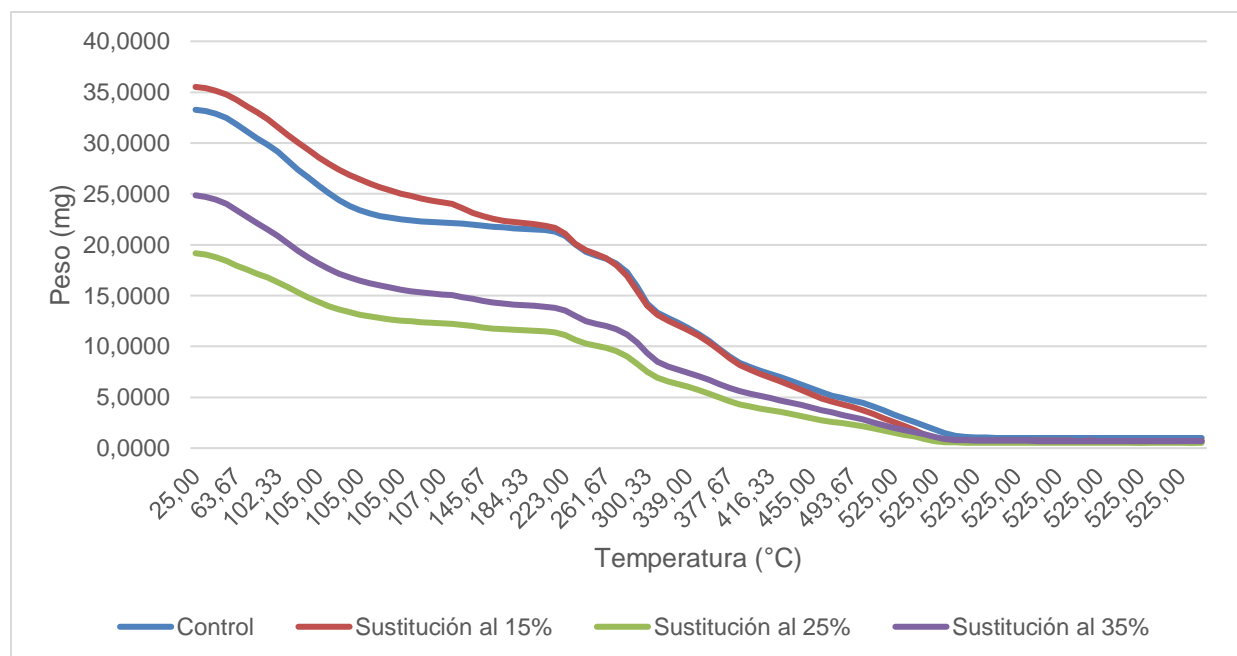
Gráfica 4-3. Análisis termogravimétrico de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, en función del tiempo.



La **Gráfica 4-4** muestra el TGA de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, en función de la temperatura, encontrando el mismo comportamiento mencionado (**Anexo H**). Se observan principalmente tres picos en los que la masa sufre una caída importante: el primero, hacia los 105°C, que puede estar asociado a la evaporación del agua contenida en la masa, y que porcentualmente, se aproxima a los valores de humedad determinados en las masas; el segundo, alrededor de 223°C, que puede corresponder al punto de humo del aceite empleado en las formulaciones; y el tercero, aproximadamente a los 300°C, que probablemente se trata de la temperatura de descomposición del compuesto de fibra soluble, y a partir de él, de la masa restante. Cabe resaltar que la temperatura de horneado de los muffins es de 145°C, por tanto, se puede pensar que el biopolímero se mantiene intacto en los productos horneados. Estos resultados son conformes a los reportados por Escobar (2010), quien observó un descenso en la curva de TGA consecuente a la pérdida de masa que se generó

durante la descomposición de la muestra del mismo polímero usado en esta investigación, a una temperatura de 293°C (42).

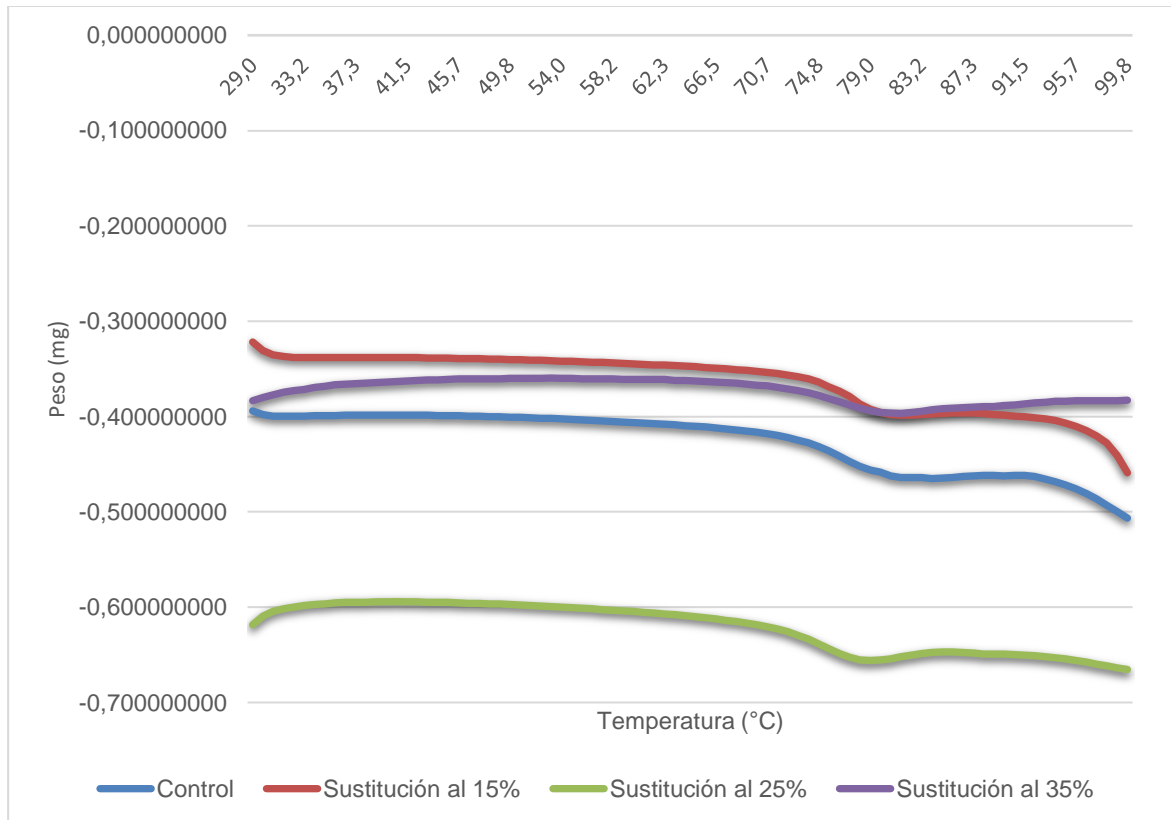
Gráfica 4-4. Análisis termogravimétrico de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, en función de la temperatura.



▪ Calorimetría diferencial de barrido (DSC) en la masa

Los resultados del análisis de DSC mostraron un pico de transición endotérmica alrededor de 77°C para todas las masas (**Gráfica 4-5**), derivado del proceso de gelatinización del almidón. La sustitución de grasa por fibra no tuvo un impacto considerable sobre la temperatura de transición vítrea, pero cabe resaltar que el 15% de sustitución incrementó ligeramente este valor, mientras que los mayores niveles de sustitución (25% y 35%), disminuyeron levemente esta temperatura.

Gráfica 4-5. Calorimetría diferencial de barrido de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.



Con base en el termograma obtenidos a partir de los resultados numéricos (**Anexo H**), fueron calculadas las temperaturas de inicio (T_o), pico (T_p) y conclusión (T_c) y la entalpía de fusión (ΔH), del proceso de gelatinización del almidón (**Tabla 4-3**). Las masas con mayores niveles de sustitución de grasa por fibra (25% y 35%), iniciaron el proceso de gelatinización antes que la masa con nivel de sustitución más bajo (15%) y la masa control sin fibra. No obstante, las masas con sustitución al 25% y 35%, presentaron valores más bajos de T_p , lo cual puede estar relacionado con el mayor contenido de agua en estas formulaciones, ya que es ampliamente reconocido que uno de los factores críticos en el proceso de gelatinización del almidón es la proporción agua/almidón (59), esto es, a menor cantidad de agua, mayor temperatura de gelatinización, como efectivamente se observó en la masa con menor nivel de sustitución (15%) y en el control sin fibra. De forma

inesperada, la mayor temperatura de conclusión fue registrada por la masa con sustitución al 15%, seguida del 35% de sustitución, el control sin fibra, y en último lugar, el 25% de sustitución.

Tabla 4-3. Temperaturas de inicio (T_o), pico (T_p) y conclusión (T_c) y entalpía de fusión (ΔH) de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Producto	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)
Control sin fibra	74,21	77,00	78,13	0,16
Sustitución al 15%	75,27	77,67	79,45	0,24
Sustitución al 25%	72,22	75,17	77,81	0,21
Sustitución al 35%	72,34	76,67	79,05	0,17

Por lo que se refiere a la entalpía de fusión, fueron las masas con sustitución de grasa por fibra al 25% y 35% quienes requirieron mayor energía para convertir la estructura cristalina de los gránulos de almidón nativo a una estructura amorfa (63), lo cual coincide con investigaciones previas: Martínez-Cervera y col (2013) observaron un aumento en la entalpía de fusión de 1,23 J/g para la formulación control, a 1,42 y 1,49 J/g para las masas con sustitución de grasa por Nutriosa (dextrina parcialmente hidrolizada) al 50% y 100%, respectivamente, aunque este incremento no fue estadísticamente significativo (12); Min y col (2010) también reportaron que la entalpía de fusión incrementó de manera proporcional al porcentaje de sustitución de grasa por materiales enriquecidos con pectina, en referencia a la masa control sin fibra (59). De manera inesperada, la masa con mayor nivel de sustitución (35%), presentó una disminución en el valor de ΔH , lo cual pudo deberse a una alteración en la molécula de almidón, sumada a una disminución en el contenido de almidón (63, 64) por dilución de los ingredientes en la masa al incorporar la fibra y el agua, resultando en reducción de la energía requerida para completar el proceso de gelatinización del almidón, que fue comparable con una matriz similar sin incorporación de fibra soluble (control).

4.2.3 Propiedades físicas del producto horneado

▪ Peso, volumen, volumen específico y altura del producto horneado

El peso de los muffins con fibra no fue estadísticamente diferente del control en ningún nivel de sustitución, mientras que el volumen disminuyó de forma significativa, a medida que incrementaba el nivel de sustitución de grasa por fibra, como se puede detallar en la **Tabla 4-4**. En cuanto al volumen específico, se observó una relación inversa con el contenido de fibra, es decir, a medida que incrementaban los niveles de sustitución de grasa en los muffins, el volumen específico disminuyó de forma significativa ($p < 0,05$) respecto al patrón y entre los niveles de sustitución, y este mismo comportamiento fue presentado por el parámetro altura.

Tabla 4-4. Valores de peso, volumen, volumen específico y altura de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Producto	Peso (g)	Volumen (mL)	Volumen específico (mL/g)	Altura (cm)
Control sin fibra	45,0±0,4 ^a	59,8±3,5 ^{bc}	1,312±0,080 ^{bc}	4,2±0,1 ^c
Sustitución al 15%	45,6±0,7 ^a	55,3±2,7 ^b	1,212±0,050 ^b	3,6±0,2 ^b
Sustitución al 25%	45,1±0,5 ^a	51,3±0,8 ^{ab}	1,138±0,024 ^{ab}	3,4±0,1 ^{ab}
Sustitución al 35%	45,3±0,4 ^a	48,1±1,4 ^a	1,063±0,033 ^a	3,3±0,1 ^a

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha = 0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el nivel de sustitución.

El mantenimiento del peso, tanto en los muffins control como en los que tenían algún nivel de sustitución, refleja que se logró un balance, a pesar de las modificaciones realizadas a las formulaciones (38). El enunciado anterior, indica que el proceso de estandarización experimental de las formulaciones, permitió obtener productos con el mismo peso por porción, independientemente del nivel de sustitución de grasa por fibra, de tal manera que se pudiera establecer una comparación entre los diferentes productos desarrollados, en

cada una de las variables analizadas, y que las diferencias resultantes de esta comparación, pudieran ser atribuidas al efecto de la sustitución de grasa por fibra en una misma matriz alimentaria, y no a las modificaciones derivadas de una mayor o menor concentración del resto de los ingredientes del producto. Los resultados difieren de los reportados por Martínez-Cervera y col (2011), quienes concluyeron que a partir del 75% de sustitución de grasa por fibra soluble de cacao (34,5 g de fibra/100 g de harina) los muffins fueron significativamente menos pesados que las muestras control (38).

La reducción en el volumen se puede relacionar con un producto menos aireado y menos denso, a causa de la disminución en la incorporación de burbujas de aire (12, 58, 61), resultados similares a los hallazgos de Borneo y col (2010), quienes reportaron que a medida que aumentó la sustitución de grasa por semillas de chía (alimento con contenido importante de fibra soluble e insoluble) por encima del 50%, las tortas produjeron menor volumen durante el horneo (58). Por su parte, Chung y col (2010), observaron una reducción en el volumen específico de sus productos al remplazar la grasa con almidón octenil succinilado calentado en seco (DH-OS) (61). Martínez-Cervera y col (2013), reportaron que la sustitución de grasa por fibra hasta del 50%, produjo una disminución significativa en el volumen de los muffins evaluados (12). Ciertos factores contribuyen al volumen final de los productos horneados: las propiedades reológicas (como la viscosidad de la masa, la cual se ve afectada por los ingredientes), el nivel de incorporación de aire y el tiempo y velocidad de mezclado y homogeneización (38); con base en esto, se puede inferir que la viscosidad de la masa es inversamente proporcional al volumen del producto terminado, pues en este trabajo, los muffins con mayor nivel de incorporación de fibra como sustituto de grasa, presentaron el menor volumen, aunque provenían de la masa más viscosa, debido a que la naturaleza hidrófila característica de las fibras solubles, compactó la masa y limitó el crecimiento durante el horneo (64). El volumen específico es una relación establecida entre el volumen del producto horneado por unidad de peso; los muffins presentaron una reducción del volumen al incrementar el nivel de sustitución de grasa por fibra, pero se logró mantener el mismo peso por porción, lo cual se reflejó en una reducción en los valores de volumen específico de los productos, directamente proporcional a la disminución en su volumen.

La disminución significativa en la altura coincide con lo reportado por Martínez-Cervera y col (2013), quienes encontraron que los muffins control exhibieron mayor altura en comparación con los muffins con diferentes niveles de sustitución (25%, 50%, 75% y 100%) de grasa por Nutriosa (12). De la misma forma, Rodríguez-García y col (2012) al evaluar la altura en tortas, encontraron que los productos control tuvieron mayor altura que las tortas con sustitución de grasa por fibra (39). La presencia de fibra pudo interferir con la expansión (59) de los productos horneados, porque la mayor retención de agua propia de los hidrocoloides, produce masas muy compactas que crecen poco durante el proceso de leudado o esponjado (64), lo cual se refleja en una reducción de su altura.

▪ **Modificación de peso por horneado y rendimiento de la masa**

La pérdida de peso por horneado y el rendimiento de la masa no tuvieron cambios estadísticamente significativos, como puede observarse en la **Tabla 4-5**.

Tabla 4-5. Pérdida de peso por horneado y rendimiento de la masa de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Producto	Pérdida de peso por horneado (%)	Rendimiento de la masa (%)
Control sin fibra	10,6±2,0 ^a	89,4±2,0 ^a
Sustitución al 15%	10,4±1,3 ^a	89,6±1,3 ^a
Sustitución al 25%	9,8±1,0 ^a	90,2±1,0 ^a
Sustitución al 35%	10,4±0,7 ^a	89,6±0,7 ^a

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el nivel de sustitución.

La fibra empleada consiste en cadenas de polisacáridos simples que pueden interactuar entre sí para formar zonas de unión capaces de atrapar grandes cantidades de agua fuertemente ligada y completamente estática (65), por lo cual, su incorporación en la formulación del producto horneado, compensó la pérdida de peso que normalmente sufren las masas de panadería, por la deshidratación de los ingredientes húmedos, dada por las

altas temperaturas de horneado. En los muffins con sustitución de grasa por fibra, el contenido de agua en la masa se aumentó de forma proporcional al nivel de sustitución, para finalmente obtener productos horneados con una pérdida de peso por horneado similar a la exhibida por la formulación control sin fibra. Los resultados obtenidos para pérdida de peso por horneado, coinciden con lo reportado por Martínez-Cervera y col (2011), quienes no observaron diferencias significativas en los valores de merma o pérdida de peso por horneado (después de una hora de enfriamiento), encontrando una pérdida de peso cercana al 12% para todas las formulaciones (38). También son conformes, pero superan las expectativas de la investigación de Escobar (2012), quien, al desarrollar productos de panadería y bizcochería con adición del mismo biopolímero empleado en este trabajo, encontró que el porcentaje de merma de los productos de bizcochería estuvo entre el 14% y 16% (15).

El rendimiento de la masa no se vio afectado por el uso de fibra en la formulación de muffins de zanahoria, lo cual se manifestó en el mantenimiento de peso de los mismos, independientemente del nivel de sustitución. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Borneo y col (2010) quienes, al evaluar las propiedades funcionales de tortas sustituidas con gel de chíá, observaron que el rendimiento de la torta no fue afectado por el uso de este sustituto de grasa (58).

4.2.4 Análisis de color de la miga y la corteza del producto horneado

Los valores de luminosidad (L^*) y de la coordenada cromática amarillo/azul (b^*) de la miga de los muffins, incrementaron al aumentar el nivel de sustitución de grasa por fibra (**Tabla 4-6**), mientras que el valor de la coordenada cromática rojo/verde (a^*) de los productos con fibra, fue inferior al de los muffins control, sin diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes niveles de sustitución. No se presentaron diferencias significativas en los valores de croma (C^*_{ab}) y matiz (h_{ab}) de la miga entre los diferentes niveles de sustitución, y el cálculo de la diferencia total de color (ΔE^*), reveló que las diferencias de color de la miga entre los muffins con fibra y el control sin fibra, fueron obvias para el ojo humano.

Tabla 4-6. Valores de luminosidad (L^*), coordenada cromática rojo/verde (a^*), coordenada cromática amarillo/azul (b^*), croma (C^*_{ab}), matiz (h_{ab}) y diferencia total de color (ΔE^*), de la miga y la corteza de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Parámetro	Miga				Corteza			
	Control sin fibra	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%	Control sin fibra	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
L^*	53,27±0,86 ^a	56,60±0,90 ^b	58,07±1,20 ^c	58,15±0,81 ^c	46,03±1,16 ^a	51,48±0,81 ^b	51,98±0,90 ^b	52,99±0,76 ^c
a^*	14,59±1,94 ^b	11,24±0,92 ^a	11,16±1,39 ^a	11,63±0,87 ^a	18,04±1,57 ^c	15,25±1,41 ^a	17,11±1,52 ^{bc}	16,45±1,77 ^{ab}
b^*	45,15±2,75 ^c	40,59±1,61 ^a	42,64±2,04 ^b	42,14±1,32 ^{ab}	66,95±4,92 ^c	54,77±4,08 ^a	60,51±4,63 ^b	53,78±3,11 ^a
C^*_{ab}	47,48±2,83 ^a	42,13±1,62 ^a	44,10±1,89 ^a	43,72±1,38 ^a	69,36±4,86 ^a	56,87±4,11 ^a	62,91±4,43 ^a	56,26±3,11 ^a
h_{ab}	1,31±0,02 ^b	1,30±0,02 ^b	1,31±0,04 ^b	1,30±0,02 ^b	1,31±0,02 ^b	1,30±0,02 ^b	1,29±0,03 ^b	1,27±0,03 ^b
ΔE^*	0	6,57	6,41	6,45	0	13,63	8,82	14,98

Los valores están expresados como promedio \pm desviación estándar, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el nivel de sustitución.

Se puede pensar que el cambio en los parámetros de color de la miga de los muffins con sustitución de grasa por fibra, pudo ser causado por una reacción química durante el horneado, entre los pigmentos de la harina (flavonoides) y de la zanahoria (carotenoides), con el compuesto de fibra soluble tipo dextrano, a partir de la cual se aumentó el brillo y se redujo la intensidad del color amarillo característico de los carotenoides en los productos sustituidos, en comparación con los muffins control. Estos resultados coinciden con Min y col (2010), quienes observaron un descenso en el valor de b^* al utilizar mayor cantidad de materiales enriquecidos con pectina como sustituto de grasa (59). También se parecen al trabajo de Rodríguez-García y col (2012), en el cual se encontró que los valores de L^* de la miga de tortas esponjosas, incrementaron significativamente ($p<0,05$) con la adición de inulina a la formulación (39). Estos mismos investigadores, reportaron que los parámetros de color de la miga C^*_{ab} y h_{ab} fueron similares, con ligeras diferencias significativas (39). Por el contrario, Martínez-Cervera y col (2011) observaron que el menor nivel de sustitución de grasa en muffins de chocolate, fue el más luminoso ($p=0,000$) y los valores b^* indicaron que esta muestra tuvo un color más brillante ($p=0,000$) (38).

En relación con la corteza del producto horneado, el valor de L^* aumentó al incrementar la adición de fibra, mientras que los valores de a^* y b^* disminuyeron inversamente proporcional al nivel de sustitución de grasa por fibra. El croma y el matiz de la corteza, siguieron la misma tendencia de la miga, sin diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de sustitución, y las diferencias de color de la corteza entre los muffins con fibra y el control sin fibra, fueron obvias para el ojo humano, de forma aún más pronunciada que las diferencias de color observadas en la miga.

La modificación en los parámetros de color de la corteza de los muffins con sustitución de grasa por fibra, obedece a que, el pardeamiento no enzimático es influenciado por el tipo y el color de otra sustancia adicionada a la harina (66); en consecuencia, la fibra pudo haber limitado el proceso de caramelización y dextrinización del almidón, responsables del color final de los productos horneados. En cuanto al color de la corteza de los muffins de zanahoria, los hallazgos son conformes a los reportados por Martínez-Cervera y col (2011), quienes observaron que las muestras con la menor sustitución de grasa tuvieron los mayores valores de b^* ($p = 0,000$), indicando un color significativamente más brillante que en los muffins donde se reemplazaron mayores proporciones de grasa por fibra soluble de cacao (38). Por su parte, Rodríguez-García y col (2012), reportaron que, en la corteza de las tortas con sustitución de grasa, la presencia de inulina disminuyó significativamente ($p < 0,05$) los valores de b^* (39).

En contraste, difieren de la investigación de Martínez-Cervera y col (2011), en la cual se reportó que los valores de luminosidad de la corteza cayeron significativamente ($p = 0,032$) al incrementar la concentración de fibra de cacao como sustituto de grasa (38). Asimismo, las muestras con la menor sustitución de grasa también tuvieron los mayores valores de a^* ($p = 0,001$), indicando un color significativamente más café-naranja saturado que en los muffins donde se reemplazaron mayores proporciones de grasa por fibra soluble de cacao (38). Rodríguez-García y col (2012), al evaluar el color en la corteza de tortas esponjosas con sustitución de grasa, notaron que la presencia de inulina disminuyó significativamente ($p < 0,05$) los valores de L^* e incrementó significativamente ($p < 0,05$) los valores de a^* (39).

En esta misma investigación se concluyó que la sustitución de aceite por inulina condujo a disminuir el matiz y el croma de la corteza de las tortas (39).

En este trabajo, no se encontraron diferencias significativas en los valores de croma y matiz de la miga y la corteza de los muffins, independientemente del nivel de sustitución de grasa por fibra. Por último, los hallazgos de diferencia de color son conformes a los de Rodríguez-García y col (2012), quienes reportaron que para la corteza de las tortas los parámetros ΔE^* fueron mayores a 3, implicando que su color en comparación con el control fue obvio para el ojo humano (39). Por su parte, Martínez-Cervera y col (2011) encontraron que solo la formulación con la mayor sustitución de grasa en muffins de chocolate, mostró una diferencia de color que no fue apreciable por el ojo humano ($\Delta E^* < 3$) (38).

4.2.5 Análisis del perfil de textura del producto horneado

La sustitución de grasa por fibra produjo una disminución en las características mecánicas primarias (dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad) y secundarias (gomosidad, masticabilidad y resistencia) de textura (**Tabla 4-7**), directamente proporcional al nivel de fibra, en comparación con los muffins control sin fibra. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los mayores niveles de sustitución (25% y 35%), para ninguno de los atributos. Se observó un comportamiento similar entre los parámetros dureza, adhesividad y elasticidad, y entre los parámetros gomosidad, masticabilidad y resistencia. Todos los muffins con sustitución presentaron valores de cohesividad menores al control sin fibra, sin diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

Tabla 4-7. Valores de los parámetros de textura evaluados en muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Nivel de sustitución de grasa por fibra	Dureza (N)	Adhesividad (J)	Elasticidad*	Cohesividad*	Gomosidad (N)	Masticabilidad (N)	Resistencia*
0%	955,230±52,506 ^b	(-)4,749±2,584 ^b	0,944±0,005 ^b	0,785±0,024 ^b	749,647±44,359 ^c	707,842±40,985 ^c	0,494±0,021 ^c
15%	733,503±110,021 ^{ab}	(-)14,238±4,330 ^{ab}	0,930±0,008 ^{ab}	0,741±0,022 ^a	542,273±68,643 ^b	504,150±64,316 ^b	0,424±0,018 ^b
25%	641,411±87,094 ^a	(-)20,204±6,827 ^a	0,917±0,020 ^a	0,723±0,023 ^a	462,836±55,250 ^a	425,006±117,649 ^a	0,401±0,016 ^a
35%	600,998±83,216 ^a	(-)37,522±12,198 ^a	0,923±0,018 ^a	0,722±0,017 ^a	433,800±61,118 ^a	400,252±55,605 ^a	0,381±0,015 ^a

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el nivel de sustitución.
* Variables adimensionales.

La presencia de fibra soluble en la formulación de muffins de zanahoria, por su carácter hidrofílico y alta capacidad de retención de agua, limitó el agua disponible para el proceso de desarrollo del gluten, lo cual produjo una estructura menos rígida en el producto horneado, que se reflejó en una textura más suave. Además, es posible que la fibra haya envuelto y aislado el gluten y el almidón, inhibiendo la formación de la red de gluten, y rompiendo la continuidad proteína-almidón (67), lo cual tuvo un efecto suavizante sobre la miga del producto horneado. Estos resultados coinciden con Martínez-Cervera y col (2011), quienes observaron que los muffins con sustitución de grasa por fibra soluble de cacao, tuvieron valores de dureza significativamente menores que el control sin fibra (38); estos mismos investigadores desarrollaron muffins con sustitución de grasa por Nutriosa, en los que encontraron valores de dureza significativamente menores, que causaron una textura más suave que la de los muffins control (12). Metwal y col (2011) reportaron una disminución significativa en la dureza de la masa de galletas al incrementar el nivel de sustitución de grasa por una mezcla funcional de ingredientes (FIM), compuesta en un 70% por polvo descremado y des-amargado de semillas de fenogreco (fuente de fibra soluble) y en un 30% por linaza en polvo (alimento con contenido importante de fibra soluble e insoluble) (62). Giarnetti y col (2015) notaron que la sustitución total de mantequilla por gel relleno de emulsión (EFG), un sustituto de grasa a base de inulina (fibra fermentable) en galletas, produjo un descenso significativo ($p<0,05$) en el valor de estrés, lo cual se correlaciona con la dureza del producto; estos resultados pueden explicarse por la interferencia del EFG en la formación de la red de gluten (67). Min y col (2010), obtuvieron

que los valores de dureza en galletas, disminuyeron al reducir los niveles de grasa (59). Por el contrario, Chung y col (2010), encontraron que la dureza del muffin con la totalidad de la grasa (control) fue menor que la de los muffins con sustitución de grasa por maltodextrina o almidón DH-OS (61). Por su parte, Laguna y col (2013) obtuvieron que los bizcochos con un bajo contenido de grasa fueron significativamente ($p < 0,05$) más duros que las muestras con toda la grasa, concluyendo de este modo, que la dureza fue incrementada por la adición de fibra (65).

La adhesividad, entendida como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto, depende de la rigidez de la estructura del producto. Los muffins de zanahoria con sustitución de grasa por fibra presentaron una estructura menos rígida causada por la limitación en el contenido de agua disponible para el desarrollo del gluten, lo cual resultó en productos menos adhesivos. No muchos investigadores han indagado por el efecto de la incorporación de fibra como sustituto de grasa sobre la adhesividad de los productos desarrollados. En este trabajo, la adhesividad disminuyó a medida que aumentó el nivel de sustitución de aceite por fibra, con cambios significativos ($p < 0,05$), excepto entre los mayores niveles de sustitución (25% y 35%). Estos resultados son contrarios a los reportados por Rodríguez-García y col (2012), quienes encontraron que la adhesividad aumentó significativamente ($p < 0,05$) en tortas con adición de inulina (39).

La elasticidad de un producto horneado suele relacionarse con el número de burbujas de aire atrapadas en la masa durante el horneado. La sustitución de grasa por fibra modificó la interacción entre los componentes de la masa, limitando la retención de gas durante el horneado, lo cual se evidenció en una disminución significativa en los valores de elasticidad de los muffins, aunque no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las sustituciones al 25% y 35%. Para este parámetro, se encuentra similitud con lo reportado por Martínez-Cervera y col (2013), quienes encontraron que todas las muestras con Nutriosa tuvieron valores de elasticidad significativamente menores al control (12), y con el estudio de Rodríguez-García y col (2012), en el que se encontró que la sustitución de grasa por inulina en torta esponjosa, disminuyó significativamente la elasticidad con el

máximo nivel de sustitución (100%) (39). Chung y col (2010) observaron menor elasticidad en los muffins bajos en grasa preparados con maltodextrina, comparados con el control sin fibra (61). Metwal y col (2011) también reportaron una tendencia decreciente en la elasticidad al incrementar el nivel de sustitución de grasa por fibra (62). De forma diferente, Chung y col (2010) reportan que los muffins preparados con almidón DH-OS tuvieron mayores valores de elasticidad en comparación con el control, lo cual podría deberse a la formación de túneles con burbujas de aire no uniformes (61).

La cohesividad indica la capacidad de deformación que tiene un material antes de romperse, lo cual depende del grado de organización de su estructura. La sustitución de grasa por fibra modificó la estructura de los muffins, haciéndola menos rígida y más susceptible a la ruptura por deformación, lo cual se evidenció en la reducción de los valores de cohesividad de forma significativa ($p < 0,05$) en comparación con el muffin control; sin embargo, no hubo variación significativa entre los diferentes niveles de sustitución. Estos resultados son similares a los de Martínez-Cervera y col (2011), quienes encontraron que los valores de cohesividad fueron significativamente menores que el control, un factor que puede asociarse a la dureza disminuida y resultaría en un mayor desmoronamiento de las muestras con menores niveles de grasa (38). Estos mismos investigadores, reportaron que este parámetro no fue afectado por la sustitución de grasa por Nutriosa, así que, aunque las muestras con 25% y 50% de Nutriosa mostraron valores significativamente más bajos que el control, las formulaciones con sustitución al 75% y 100% no exhibieron diferencias significativas (12). Por el contrario, en el estudio de Rodríguez-García y col (2012), los valores de cohesividad aumentaron con el nivel de sustitución de grasa, lo cual puede atribuirse a una estructura celular de la miga más densa en las tortas sustituidas, a altos niveles de sustitución de grasa, a una disminución en el número de células y a un aumento en las células tipo esfera (39).

La gomosidad expresa la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para ser deglutido; es un atributo secundario de textura mecánica que depende de la dureza y de la cohesividad. Los muffins con sustitución de grasa por fibra fueron menos duros y menos cohesivos, lo cual se reflejó en menores valores de gomosidad, a

pesar de que las masas y las migas de los productos sustituidos exhibieron una apariencia más pegajosa. En la **Tabla 4-7** también se observa que existió diferencia significativa ($p < 0,05$) en el valor de gomosidad de los muffins con fibra con respecto al patrón y entre porcentajes de sustitución, excepto entre los mayores niveles (25% y 35%) de grasa por fibra, valores que disminuyeron a medida que incrementó el nivel de sustitución. Estos hallazgos fueron similares a los reportados por Metwal y col (2011), quienes también obtuvieron una tendencia decreciente en la gomosidad al incrementar el nivel de sustitución de grasa por fibra (62). Por el contrario, Chung y col (2010) encontraron que la gomosidad fue mucho menor en el muffin control que en los muffins bajos en grasa preparados con maltodextrina y almidón DH-OS (61).

La masticabilidad es el atributo secundario de textura mecánica que corresponde a la energía requerida para masticar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido, así que resulta de una combinación entre la dureza, elasticidad y cohesividad. En términos instrumentales, la masticabilidad registró un comportamiento similar al de gomosidad, con disminución al aumentar los niveles de fibra, pero sin cambios significativos entre el 25% y 35% de sustitución. No obstante, en términos sensoriales, los muffins sustituidos requirieron un mayor tiempo para ser masticados, a una tasa constante de aplicación, por lo cual se esperaba que sus valores de masticabilidad fueran mayores. Los resultados, coinciden con los reportados por Martínez-Cervera y col (2011), quienes observaron que todas las muestras con sustitución de grasa por fibra soluble de cacao presentaron valores de masticabilidad significativamente menores que el control, aunque no observaron diferencias significativas según el nivel de fibra (38).

La resistencia refleja la mayor o menor simetría de la curva de la primera compresión en el TPA, y está relacionada con el grado al cual la muestra se recupera cuando la compresión cesa. Un valor de resistencia de 1 significa que la muestra se comporta como un resorte, retornando inmediatamente a su altura inicial, mientras que una estructura densa que contenga poco aire se demora más en recuperarse (12). La sustitución de grasa por fibra redujo la resistencia de los muffins de forma significativa ($p < 0,05$) a medida que incrementan los porcentajes de sustitución, excepto entre los niveles de sustitución de 25%

y 35%, lo cual corresponde a la resistencia típica de formulaciones con contenido de azúcar y grasa, y una estructura densa atribuida a la presencia del biopolímero. Los resultados concuerdan con lo reportado por Martínez-Cervera y col en sus estudios de 2011 y 2013, quienes encontraron que las muestras con sustitución de grasa por fibra presentaron valores de resistencia significativamente menores a los del control sin fibra (12, 38).

4.2.6 Análisis sensorial del producto horneado

Al realizar la prueba de aceptabilidad sensorial, no se encontraron cambios significativos en los puntajes de los parámetros olor, color y sabor, mientras que en el parámetro textura se observó una disminución significativa ($p < 0,05$) en los puntajes, al incrementar el nivel de sustitución de grasa por fibra, aunque esta diferencia no fue significativa entre los niveles de sustitución de 25% y 35%, como se puede detallar en la **Tabla 4-8**.

Tabla 4-8. Puntajes de aceptabilidad los cuatro atributos sensoriales evaluados para los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Producto	Puntaje Olor	Puntaje Color	Puntaje Sabor	Puntaje Textura
Control sin fibra	4,0±0,8 ^a	4,2±0,6 ^a	4,1±0,8 ^a	4.0±0.9 ^b
Sustitución al 15%	3,7±0,8 ^a	4,2±0,8 ^a	4,1±0,9 ^a	3.7±1.1 ^{ab}
Sustitución al 25%	3,9±0,9 ^a	4,2±0,8 ^a	4,1±0,8 ^a	3.5±1.0 ^a
Sustitución al 35%	3,9±0,8 ^a	4,1±0,7 ^a	4,1±1,0 ^a	3.4±1.2 ^a

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha = 0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el nivel de sustitución.

Estos hallazgos pueden explicarse por el elevado contenido de humedad de las muestras, que causó que la miga se pegara y no lograra recuperar su forma inicial, dando una impresión de ser más densa, y de tener una miga menos aireada con un tipo de estructura más cerrada, lo cual a su vez, causó percepción de cohesividad y dificultad para masticar y deglutir (38).

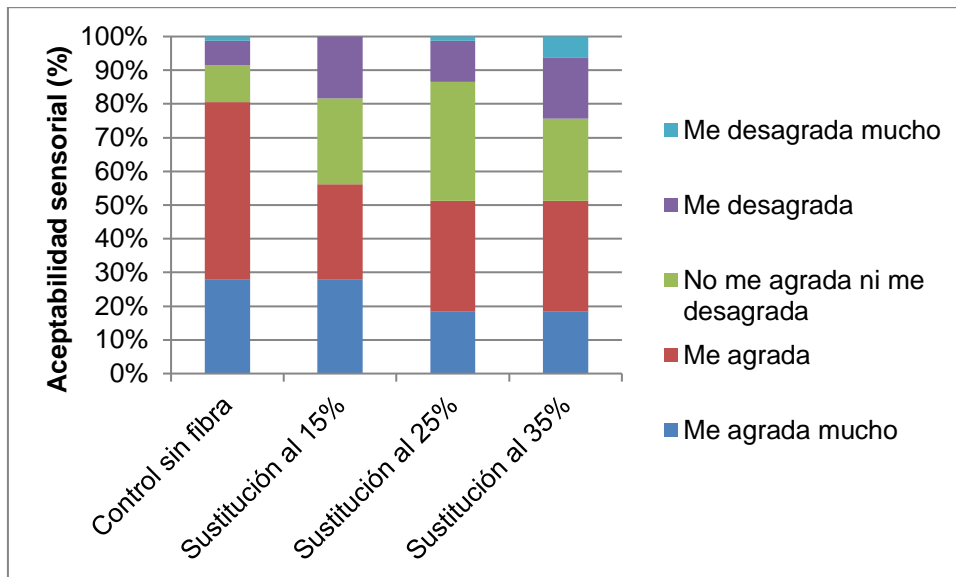
Los resultados anteriores coinciden parcialmente con los obtenidos por Aggarwal y col (2016), quienes observaron que no hubo diferencia significativa ($p < 0,05$) en los puntajes sensoriales para todos los atributos sensoriales, aunque, los bizcochos control mostraron mayores puntajes que los bizcochos con sustitución de grasa por polidextrosa (fuente de fibra soluble) (68). Rodríguez-García y col (2012) concluyeron que la torta control y las tortas con niveles de 35%, 50% y 70% de sustitución de grasa, no tuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los atributos puntuados (39). Borneo y col (2010), observaron que hubo un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) al reemplazar aceite o con gel de chíá, sobre color, textura y sabor a partir de porcentajes de sustitución de 50% y 75%, mientras que no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre la formulación control y la torta elaborada con 25% de sustitución de aceite (58).

Por el contrario, Metwal y col (2011) encontraron que los puntajes de textura, sensación en la boca y flavour fueron afectados más allá del 20% de sustitución de grasa por una FIM (mezcla de polvo descremado y des-amargado de semillas de fenogreco y linaza en polvo) en galletas, considerando, por lo tanto, que las galletas con 20% de FIM fueron las óptimas (62). En esta investigación, los muffins con sustitución de 15% y 25% presentaron puntajes de textura sensorial similares a los del control sin fibra, por lo cual se puede pensar que el nivel óptimo de sustitución para esta matriz alimentaria se encuentra en este rango. Por su parte, Giarnetti y col (2015) observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras de galletas de mantequilla para todos los parámetros, al incrementar el nivel de sustitución de grasa (67). Martínez-Cervera y col (2011) reportaron que todos los atributos sensoriales variaron significativamente con la adición de fibra soluble de cacao, con excepción de la percepción de dulzura (38).

Como el parámetro textura recibió puntajes por debajo del resto de los atributos sensoriales, se analizó también su grado de aceptabilidad (**Gráfica 4-6**). Cabe resaltar que el porcentaje de aceptabilidad sensorial para la textura de muffins con sustitución al 25% aumentó aproximadamente un 5% en referencia al menor nivel de sustitución, mientras que en el máximo porcentaje de sustitución (35%) hubo una disminución de aproximadamente un 11% con respecto al 25% de sustitución, lo cual obedece a la mayor

presencia de fibra viscosa en la matriz, que confiere sensación de gomosidad. No obstante, los muffins con todos los niveles de sustitución de grasa por fibra tuvieron buena aceptabilidad en el parámetro de textura, pues incluso con el mayor nivel de sustitución, el 75,6% de los panelistas emitieron un puntaje positivo.

Gráfica 4-6. Porcentaje de aceptabilidad sensorial para el parámetro textura en los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.



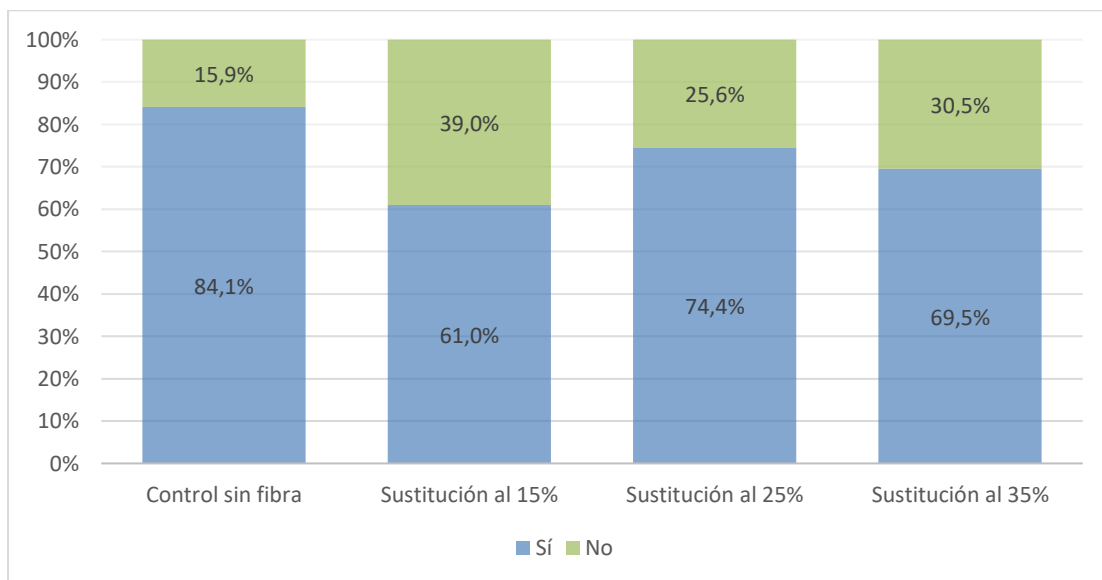
Estos resultados coinciden con los descritos por Borneo y col (2010), quienes al evaluar gel de chía como sustituto de grasa en tortas concluyeron que, a pesar de las diferencias estadísticas observadas, los resultados sensoriales indicaron que los puntajes promedio de preferencia para la sustitución de grasa por aceite al 50% y 75% varió de neutral (“no me gusta ni me disgusta”) a “me gusta ligeramente”, lo cual indica que a los panelistas no les disgustaron los productos que contenían gel de chía (58).

Por el contrario, los hallazgos difieren de los reportados por Martínez-Cervera y col (2013), cuyo estudio mostró que los muffins con 75% de sustitución de grasa por Nutriosa,

obtuvieron menores puntajes para aceptabilidad general, apariencia, color y textura, sin encontrar diferencias para flavour y dulzura (12). En este trabajo, los muffins con mayores niveles de sustitución de grasa por fibra, mostraron menores puntajes de textura sensorial, pero aun así tuvieron buena aceptabilidad. Por su parte, Grigelmo-Miguel y col (2001) obtuvieron diferencias en aceptabilidad en muffins cuando más del 34% de la grasa fue reemplazada por fibra dietaria de melocotón (alimento con contenido importante de fibra soluble y fibra insoluble) (12).

En la **Gráfica 4-7** se detalla la intención de compra de los muffins, observando que fue alta en todos los niveles de sustitución. Aunque la mayor intención de compra la tuvo el muffin patrón sin fibra (84%), aproximadamente el 70% de los panelistas mostraron intención de comprar los muffins con el máximo nivel de sustitución de grasa por fibra (35%), lo cual es relevante para su posicionamiento en el mercado de alimentos funcionales.

Gráfica 4-7. Intención de compra de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.



Con base en los resultados de la prueba sensorial, y teniendo en cuenta el aporte de grasa total y fibra total por porción, los muffins de zanahoria con mayores niveles de sustitución

de grasa por fibra (25% y 35%), fueron seleccionados para evaluar el efecto de su consumo sobre el perfil lipídico en individuos sanos, lo cual se describe con detalle en el apartado 4.3 de este trabajo de investigación.

4.2.7 Análisis proximal del producto horneado, determinación del contenido de fibra total y cálculo del cubrimiento de la recomendación y del valor de referencia

▪ Resultados de los análisis químicos

Los resultados del análisis proximal directo y de la determinación del contenido de fibra dietaria de los muffins de zanahoria se presentan en la **Tabla 4-9**.

Tabla 4-9. Resultados del análisis proximal y determinación del contenido de fibra dietaria en los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Producto	Humedad	Proteína	Lípidos	Cenizas	Fibra Total	Carbohidratos Disponibles	Energía
Control sin fibra	41,6±0,7 ^a	7,6±0,1 ^a	12,3±1,3 ^b	1,2±0,0 ^a	2,8±0,0 ^a	34,6	279
Sustitución al 15%	40,6±0,0 ^a	7,7±0,1 ^a	9,3±0,1 ^{ab}	1,2±0,1 ^a	4,2±0,4 ^b	37,0	262
Sustitución al 25%	41,5±0,6 ^a	7,4±0,3 ^a	8,9±0,1 ^{ab}	1,3±0,0 ^a	5,0±0,1 ^{bc}	36,0	254
Sustitución al 35%	42,1±2,7 ^a	7,5±0,1 ^a	8,3±0,1 ^a	1,3±0,0 ^a	5,9±0,2 ^c	35,0	245

Los valores están expresados en base húmeda, como promedio ± desviación estándar, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el nivel de sustitución.

No se observan diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) en el porcentaje de humedad, entre los muffins control y los diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra; esto puede atribuirse al incremento en la cantidad de agua adicionada a la formulación, proporcional al nivel de fibra incorporada, para contrarrestar la alta CRA de la fibra soluble. La ausencia de variación en el contenido de humedad difiere del trabajo de Martínez-Cervera y col (2011), quienes reportaron contenidos de humedad de la muestra control

significativamente más bajos que los de las formulaciones con fibra soluble de cacao (38), pues a diferencia de este trabajo, la proporción de agua de las formulaciones no fue ajustada de acuerdo a la cantidad de fibra que fue adicionada.

El contenido de cenizas, que puede asociarse a la cantidad de minerales presentes en un alimento, en el caso de los productos de panadería depende del tipo de trigo y está íntimamente relacionado con la tasa de extracción, ya que, en su mayor parte, los minerales provienen de componentes de la corteza del grano de trigo y sus zonas más próximas. En los muffins de zanahoria se observó un aumento en los valores de cenizas de los mayores niveles (25% y 35%) de sustitución de grasa por fibra, sin ninguna diferencia significativa ($p < 0,05$) entre ellos, pero sí variaron en comparación con el control sin fibra. Esto puede deberse a que el compuesto de fibra soluble incorporado en los muffins como sustituto de grasa, corresponde en un 1,51% a cenizas (14), y al aumentar su porcentaje de participación en la formulación, pudo contribuir a obtener una mayor concentración de este componente en los productos horneados. Por su parte, el contenido de proteína no se afectó por el incremento en el porcentaje de sustitución, pues la cantidad de huevo y harina de trigo, que son las principales fuentes de proteína entre los ingredientes utilizados en los muffins, permanecieron constantes en las diferentes formulaciones.

Respecto al contenido de lípidos, se observó una disminución estadísticamente significativa ($< 0,05$) para los muffins de zanahoria con sustitución de grasa por fibra en referencia al control y entre niveles de sustitución; sin embargo, no hubo diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los muffins de 15% y 25%, aunque sí se presentó una reducción numérica en el contenido de este macronutriente. La reducción de lípidos a medida que incrementó el nivel de sustitución (15%, 25% y 35%) fue de 25%, 28% y 33%, respectivamente, lo cual resulta favorable para la salud de los consumidores, pues diversos estudios han reportado que la disminución en la ingesta de grasa total, favorece la prevención y el tratamiento de enfermedades crónicas. Estos resultados son conformes a los reportado por Giarnetti y col (2015), quienes encontraron que en galletas con sustitución al 50%, el contenido de grasa total disminuyó en un 19% con respecto al control, y en las galletas con 100% de sustitución, este descenso fue del 46%, lo cual es un valor

agregado de este estudio, pues proporcionalmente se logró una mayor reducción lipídica de los muffins, a partir de un menor rango de sustitución de grasa por fibra (67).

En cuanto al contenido de carbohidratos disponibles, a partir del 15% de sustitución se observó una tendencia a la disminución; no obstante, estos valores fueron inferiores a los de los muffins control, ya que al poseer mayor cantidad de grasa y un contenido estable de proteína, tuvieron un descenso en los carbohidratos por 100 g, puesto que este macronutriente se calcula por diferencia y su valor depende de las variaciones en el resto de componentes del análisis proximal. El contenido de energía disminuyó notablemente al incrementar los niveles de sustitución de grasa por fibra (15%, 25% y 35%) un 6%, 9% y 12%, respectivamente, lo cual es favorable para un producto desarrollado en el contexto de la alimentación saludable. Los muffins sin fibra presentaron un menor contenido de carbohidratos, pero su aporte de grasa fue mayor, y como los lípidos proporcionan el mayor valor energético entre los macronutrientes (9 g/Kcal), su valor calórico superó a todos los productos con incorporación de fibra como sustituto de grasa.

Como se esperaba, el contenido de fibra total incrementó significativamente ($p < 0,05$) a mayor nivel de sustitución de grasa por fibra, aumentando en un 50%, 79% y 111% en referencia al control sin fibra, respectivamente. Estos hallazgos coinciden con lo descrito por Martínez-Cervera y col (2011), quienes encontraron que el contenido de fibra aumentó a medida que la grasa fue crecientemente reemplazada por fibra soluble de cacao (38).

- **Definición del peso por porción y cálculo del cubrimiento de la recomendación de ingesta (AI) de fibra y del valor de referencia de fibra con fines de rotulado nutricional**

De acuerdo a las GABA para la población colombiana y al peso neto reportado en el rótulo de productos con características similares ofrecidos en el mercado, se definió un peso por porción de 90 g para los muffins de zanahoria sin fibra y con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, que puede corresponder a una unidad grande de 90 g o dos medianas de 45 g. En el **Cuadro 4-4** se muestra el peso por porción de los productos desarrollados, y su cubrimiento de la recomendación de ingesta (AI) de fibra calculada para

la población colombiana. Una porción de muffins sin fibra contribuye al 8% de la recomendación de ingesta diaria (AI) de fibra, mientras que sus homólogos con fibra participan en el cubrimiento de la recomendación entre un 12% y un 16%, valor deseable para un producto funcional con este compuesto bioactivo.

Cuadro 4-4. Peso por porción y porcentaje de cubrimiento de la recomendación de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Producto	Control sin fibra	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Peso por Porción (g)	90,0	90,0	90,0	90,0
Aporte de Fibra Total (g)	2,8	4,2	4,9	5,8
Recomendación de Ingesta de Fibra (AI) (g)	36,4	36,4	36,4	36,4
Cubrimiento	8%	12%	14%	16%

Según la Resolución 333 de 2011, un alimento envasado para consumo humano en Colombia es considerado “buena fuente” si por porción declarada en la etiqueta, el alimento contiene del 10 al 19% del valor de referencia de uno o más nutrientes, o “alto” o “excelente fuente” si por porción declarada en la etiqueta, el alimento contiene 20% o más del valor de referencia de uno o más nutrientes; por otra parte, el alimento es considerado “reducido en grasa”, cuando ha sido modificado y se ha reducido por porción declarada en la etiqueta mínimo 25% de la grasa total del alimento de referencia (29). Al calcular el cubrimiento del Valor de Referencia, se observó que, por su contenido de fibra total, los muffins de zanahoria control y con sustitución de grasa por fibra al 15% pueden ser considerados “buena fuente de fibra”, mientras que los mayores niveles de sustitución, responden al descriptor “excelente fuente de fibra”. La información se detalla en el **Cuadro 4-5**.

Cuadro 4-5. Peso por porción, porcentaje de cubrimiento del Valor de Referencia de fibra con fines de rotulado nutricional, y descriptores de propiedades relacionadas con el contenido de nutrientes y propiedades comparativas.

Producto	Control sin fibra	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Peso por Porción (g)	90,0	90,0	90,0	90,0
Aporte de Fibra Total (g)	2,8	4,2	4,9	5,8
Valor de Referencia de Fibra (g)	25,0	25,0	25,0	25,0
Cubrimiento	11%	17%	20%	23%
Descriptor de propiedades relacionadas con el contenido de nutrientes	Buena fuente de fibra	Buena fuente de fibra	Excelente fuente de fibra	Excelente fuente de fibra
Aporte de Grasa Total (g)	11,1	8,3	8,0	7,5
Reducción de Grasa con respecto al Alimento de Referencia	NA	25%	28%	32%
Descriptor de propiedades comparativas	NA	Reducido en grasa	Reducido en grasa	Reducido en grasa

A su vez, todos los productos desarrollados con sustitución de grasa por fibra responden al descriptor de propiedades comparativas “reducido en grasa”, lo cual permite enmarcar a los muffins de zanahoria dentro del término “alimentos funcionales”, con doble beneficio sobre la salud humana. También pueden ser denominados con los mismos términos, de acuerdo a los descriptores de propiedades nutricionales estipulados en la normatividad internacional (CODEX/FDA), lo cual favorecería la inclusión satisfactoria de los muffins, en el mercado de alimentos funcionales.

4.2.8 Análisis microbiológico del producto horneado

En la **Tabla 4-10** se presenta el consolidado de resultados de los análisis microbiológicos realizados a los muffins de zanahoria (ver **Anexo I**).

Tabla 4-10. Resultados de los análisis microbiológicos de los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra.

Parámetro	Control sin fibra		Sustitución al 15%		Sustitución al 25%		Sustitución al 35%	
	Resultados	Cumplimiento	Resultados	Cumplimiento	Resultados	Cumplimiento	Resultados	Cumplimiento
Recuento de Aerobios Mesófilos (UFC/g)	<10	Sí	<10	Sí	<10	Sí	<10	Sí
Número más Probable de Coliformes Totales	<3	Sí	<3	Sí	<3	Sí	<3	Sí
Recuento de Mohos y Levaduras (UFC/g)	<10	Sí	<10	Sí	<10	Sí	<10	Sí

Los muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, cumplieron con las especificaciones del INVIMA en los parámetros recuento de aerobios mesófilos, número más probable de coliformes totales y recuento de mohos y levaduras, el día en que fueron elaborados, sin diferencias entre niveles de sustitución. Estos resultados confirman que los productos son aptos para el consumo humano y que en esta condición no hubo efecto del nivel de sustitución de grasa por fibra sobre el crecimiento microbiano.

4.3 Evaluación biológica del efecto del consumo de un producto horneado con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra sobre el perfil lipídico en individuos sanos

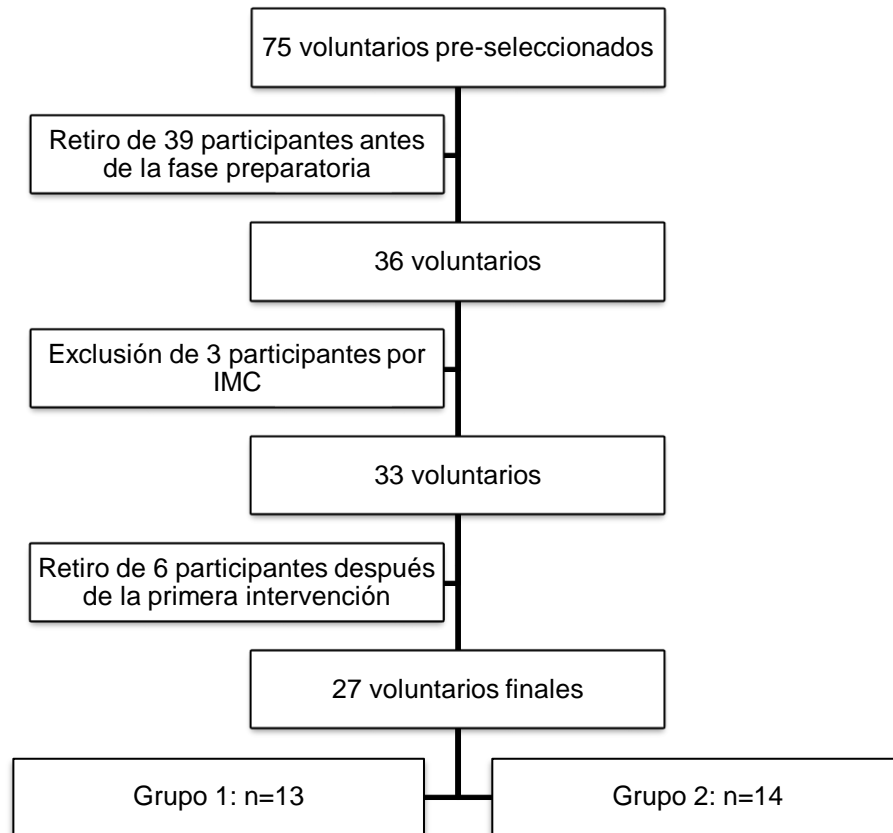
4.3.1 Caracterización de los participantes del ensayo biológico

Con base en la revisión bibliográfica realizada (21, 26, 35, 36, 37, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75), se observó que el tamaño de muestra promedio en estudios similares, se encontraba entre 13 y 33 individuos, de modo que se proyectó un mínimo de 25 sujetos para participar en el ensayo biológico. 75 voluntarios (42 mujeres y 33 hombres) que cumplían con los criterios de inclusión, respondieron a la convocatoria inicial y fueron valorados por profesionales en Nutrición y Dietética capacitados. Sin embargo, antes del inicio de la fase preparatoria, 17 mujeres y 22 hombres se retiraron del estudio por baja disponibilidad de tiempo para las pruebas; adicionalmente, tres voluntarios (dos mujeres y un hombre) presentaron un peso por fuera del rango de normalidad, por lo cual fueron excluidos, resultando un grupo preliminar de 33 participantes (23 mujeres y 10 hombres). A ellos se les realizaron los exámenes bioquímicos iniciales y fueron evaluados por un profesional en Medicina para confirmar el cumplimiento de los criterios de inclusión establecidos y garantizar que se encontraban sanos y eran aptos para participar en el ensayo.

Al finalizar el primer periodo de intervención (21 días de consumo del alimento control), 6 voluntarios más (5 mujeres y 1 hombre) se retiraron del estudio por motivos personales y no asistieron a la toma de muestra de sangre intermedia, así que el grupo final que participó en el ensayo estuvo conformado por 27 voluntarios (18 mujeres y 9 hombres), los cuales fueron aleatorizados en dos grupos: el Grupo 1 estuvo conformado por 8 participantes del género femenino y 5 del género masculino, y el Grupo 2 estaba compuesto por 10 mujeres y 4 hombres. En el **Diagrama 4-1** se resume el proceso de selección de voluntarios, hasta

la consolidación de los participantes definitivos y la aleatorización en grupos de intervención.

Diagrama 4-1. Proceso de consolidación del grupo definitivo de participantes en el ensayo biológico.



Los participantes del estudio tenían entre 18 y 34 años, con peso entre 46,0 y 85,0 Kg e índice de masa corporal (IMC) entre 18,6 y 26,5 Kg/m². El IMC promedio se encontró en el rango de normalidad, pues solo tres voluntarios presentaron un IMC entre 25,0 y 27,0 Kg/m² y ninguno presentó exceso de peso. No se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los grupos en 18 de las 19 variables estudiadas, a excepción de la tensión arterial sistólica, que fue ligeramente más alta en el Grupo 1 que en el Grupo 2. Por lo

anterior, se puede afirmar que los grupos son comparables entre sí. El nivel de actividad física se determinó con base en la cuantificación de los METs; la mayoría de los participantes (74%) tenía un nivel de actividad física moderada y el 26% restante, un nivel leve. Las características antropométricas, físicas y bioquímicas iniciales, así como el nivel de actividad física de los voluntarios del ensayo, diferenciadas por grupo de intervención, se pueden observar en la **Tabla 4-11**.

Tabla 4-11. Características antropométricas, bioquímicas y físicas, y nivel de actividad física, de los participantes en el ensayo biológico, diferenciadas por grupo de intervención.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Valor p
Género (Hombres/Mujeres)	(5/8)	(4/10)	NA
Edad (años)	24±6	24±6	0,917
Peso (Kg)	61,0±10,6	60,5±10,1	0,902
Talla (m)	1,62±0,09	1,63±0,09	0,924
IMC (Kg/m ²)	22,9±1,9	22,7±2,5	0,807
Perímetro de la cintura (cm)	81,7±8,6	80,2±7,7	0,610
Grasa corporal (%)	22,9±5,0	24,1±6,4	0,601
Glucemia basal (mg/dL)	84,5±5,4	83,0±8,3	0,576
Triglicéridos (mg/dL)	91,7±39,8	87,4±52,4	0,482
c-total (mg/dL)	176,4±24,1	174,6±31,2	0,868
c-LDL (mg/dL)	105,7±25,0	104,4±26,1	0,898
c-VLDL (mg/dL)	18,3±8,0	17,5±10,5	0,482
c-HDL (mg/dL)	52,4±13,8	52,7±16,0	0,954
Recuento total de linfocitos (células/mm ³)	2273±513	2559±498	0,154
Hemoglobina (g/dL)	15,4±1,3	15,4±1,0	1,000
Hematocrito (%)	45,3±3,3	44,7±2,5	0,604
Frecuencia cardiaca (pulsaciones/minuto)	81±6	83±15	0,719
Tensión arterial sistólica (mm Hg)	111±12	103±13	<0,05
Tensión arterial diastólica (mm Hg)	66±17	64±17	0,274
Nivel de actividad física (METs/minuto/semana)	1061±716	1312±832	0,666

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con α=0,05. p<0,05 indica diferencias significativas entre grupos para la variable indicada.

Analizando la anamnesis alimentaria, se encontró que el 82% de los entrevistados del Grupo 1 reportó un consumo moderado (según frecuencia y cantidad) de bebidas alcohólicas y solo un 18% aseguró ser abstemio; el 91% de los voluntarios se caracterizó por no fumar y no consumir sustancias psicoactivas; en cuanto al café, 64% de los voluntarios se clasificó como “consumidor ocasional” y el 36% restante se ubicó en la categoría de consumo crónico (consumo habitual de café, de 1 a 4 tazas al día). En el Grupo 1 ningún participante reportó enfermedades diagnosticadas, solo manifestaron antecedentes de trastornos gastrointestinales (27%) e hipoglucemia (9%); no obstante, en los últimos exámenes bioquímicos realizados a estas personas, ya habían controlado sus niveles de glucosa en sangre, de manera que no fueron excluidas del ensayo.

La totalidad de los participantes del Grupo 1 recibía una dieta normal y no reportó consumo de complementos ni suplementos nutricionales de forma regular. Los síntomas gastrointestinales asociados a la alimentación más frecuentes fueron distensión abdominal (36%), estreñimiento (18%) y flatulencia (18%), seguidos de dolor abdominal (9%) y náuseas (9%). Las intolerancias no fueron prevalentes en este grupo, aunque algunos voluntarios reportaron intolerancia aislada a alimentos como leche entera, curuba, sustancias picantes, frijol seco, arveja verde seca, gaseosas, café en leche, pepino de guiso y jugo de tomate de árbol; ningún participante manifestó alergias alimentarias.

El global recordatorio no representa la ingesta usual de los seleccionados, ya que solo fue de un día; sin embargo, permitió una aproximación a algunos de sus hábitos, como el número de tiempos de comida que realizan, las preparaciones preferidas, y los tamaños de porción, entre otros. El análisis mostró que los participantes del Grupo 1 consumían en promedio $4,1 \pm 0,9$ tiempos de comida; generalmente tomaban el desayuno y la comida en la casa, y los otros tiempos de comida, fuera de ella. El análisis indirecto de la alimentación de un día evidenció una ingesta energética de 1647 ± 632 Kcal al día; del total de kilocalorías ingeridas en un día, 16% fueron en forma de proteínas ($64,8 \pm 21,3$ g/día), 32% como grasa ($58,4 \pm 27,7$ g/día) y el 52% restante en forma de carbohidratos ($214,1 \pm 87,3$ g/día). La ingesta promedio de fibra dietaria se encuentra en el límite de la recomendación para la población colombiana (14 g por cada 1000 Kcal), pero aun así se considera adecuada. No se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre grupos de intervención, en los

valores de ingesta de energía, macronutrientes y fibra, lo cual confirma la homogeneidad de los grupos. Los valores de ingesta dietética de los voluntarios del estudio, diferenciando por grupos de intervención, se presentan en la **Tabla 4-12**.

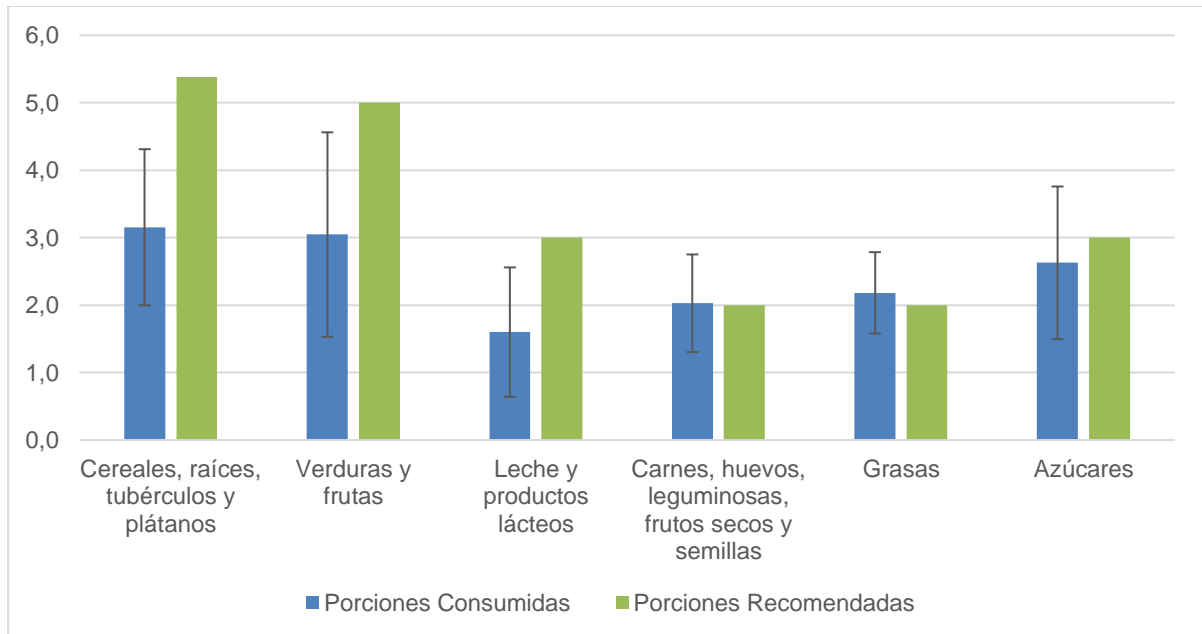
Tabla 4-12. Ingesta de energía, macronutrientes y fibra dietaria de los participantes de ambos grupos, estimada por análisis químico indirecto del global recordatorio.

Nutriente	Grupo 1	Grupo 2	Valor p
Energía (Kcal)	1647±632	1680±443	0,6297
Proteína (g)	64,8±21,3	68,3±23,2	0,7818
Grasa (g)	58,4±27,7	54,6±21,9	0,6891
Carbohidratos (g)	214,1±87,3	225,9±43,7	0,2815
Fibra Dietaria (g)	14,3±9,0	16,4±5,3	0,3097

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha=0,05$. $p<0,05$ indica diferencias significativas entre grupos para la variable indicada.

El análisis de la frecuencia de consumo de alimentos del Grupo 1 se puede observar en la **Gráfica 4-8**. Los voluntarios de este grupo presentaron en promedio una alimentación normal porque reportaron un adecuado consumo de carnes, huevos, leguminosas, frutos secos y semillas, grasas, y azúcares, aunque mostraron un bajo consumo de cereales, raíces, tubérculos y plátanos, y leche y productos lácteos. También se observó que el número de porciones consumidas del grupo de verduras y frutas, estuvo por debajo del número recomendado, lo cual coincide con la tendencia actual de consumo de estos alimentos (1). Adicionalmente, manifestaron un consumo ocasional de alimentos de paquete y un consumo esporádico de embutidos, y solo uno de los voluntarios reportó haber ingerido compuestos de fibra aislada purificada (fibra funcional).

Gráfica 4-8. Comparación entre porciones consumidas y porciones recomendadas de los participantes del Grupo 1, por grupos de alimentos.



Con respecto al Grupo 2, 92% de los participantes reportó consumir bebidas alcohólicas de forma moderada (de acuerdo a la frecuencia y a la cantidad), y solo un 8% aseguró ser abstemio; el 92% de los voluntarios se caracterizó por no fumar y el 83% por no consumir sustancias psicoactivas; en relación con el café, uno de cada dos voluntarios se clasificó como “consumidor ocasional” y la otra mitad fueron clasificados como consumidores crónicos. Igual que en el Grupo 1, ningún participante en el Grupo 2 reportó enfermedades diagnosticadas, solo manifestaron antecedentes de trastornos gastrointestinales (8%), sobrepeso (8%) e hipoglucemia (8%); sin embargo, en los últimos exámenes físicos y bioquímicos realizados a estas personas, ya habían disminuido su peso corporal y controlado sus niveles de glucosa en sangre, por lo cual no fueron excluidas del ensayo.

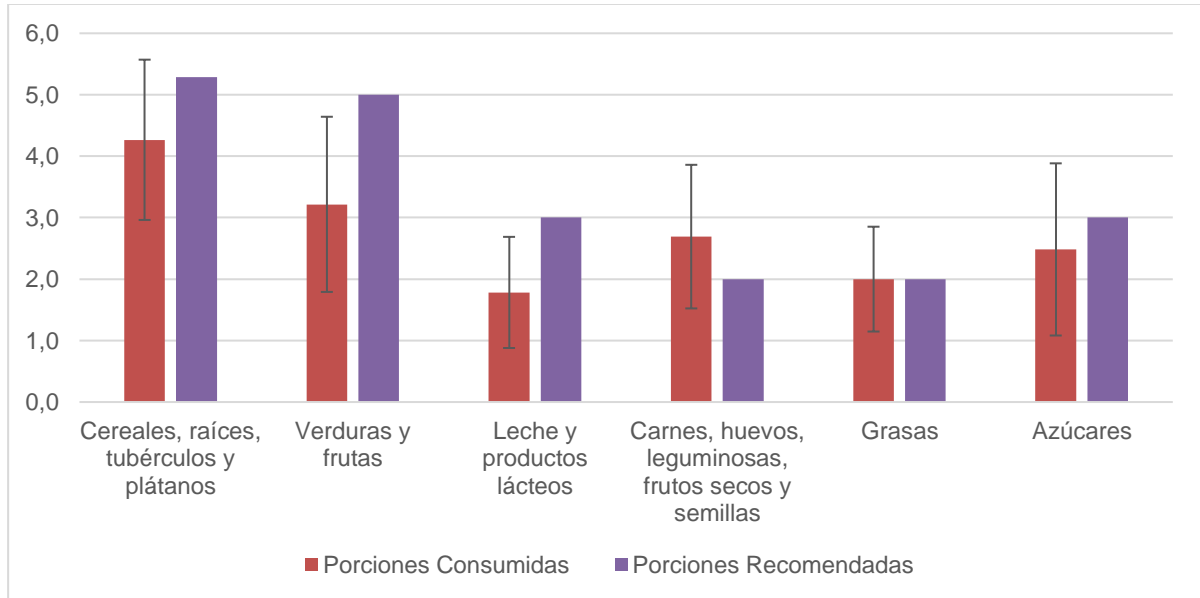
Todos los participantes del Grupo 2 recibían una dieta normal y no reportaron consumir complementos ni suplementos nutricionales de forma regular. Los síntomas gastrointestinales asociados a la alimentación más frecuentes fueron distensión abdominal

(25%), flatulencia (25%), estreñimiento (17%) y dolor abdominal (17%), seguidos de náuseas (8%). Las intolerancias tampoco fueron prevalentes en este grupo, pero algunos voluntarios reportaron intolerancia aislada a alimentos como leche deslactosada, lácteos, banano y pimentón; ningún participante manifestó alergias alimentarias.

El análisis del recordatorio de 24 horas mostró que los participantes del Grupo 2 consumían en promedio $4,4 \pm 0,7$ tiempos de comida; generalmente tomaban el desayuno y la comida en la casa, y los otros tiempos de comida, fuera de ella. El análisis indirecto de la alimentación de un día evidenció una ingesta calórica de 1680 ± 443 Kcal al día (**Tabla 4-12**); del total de kilocalorías ingeridas en un día, 16% fueron en forma de proteínas ($68,3 \pm 23,2$ g/día), 29% como grasa ($54,6 \pm 21,6$ g/día) y el 54% restante en forma de carbohidratos ($225,9 \pm 43,7$ g/día). La ingesta promedio de fibra dietaria ($16,4 \pm 5,3$ g/día) supera ligeramente la recomendación para la población colombiana, por tanto, se considera adecuada, igual que la del Grupo 1.

De manera equiparable al Grupo 1, los participantes del Grupo 2 reportaron un adecuado consumo de carnes, huevos, leguminosas, frutos secos y semillas, grasas, y azúcares, y, un bajo consumo de cereales, raíces, tubérculos y plátanos, verduras y frutas, y leche y productos lácteos (**Gráfica 4-9**); esto indica que, aunque la alimentación promedio de los participantes del Grupo 2 también fue normal, presentaron una leve disminución en el número de porciones consumidas de los tres primeros grupos de alimentos, en especial de verduras y frutas, en concordancia con el patrón alimentario reportado a nivel mundial (1). También, manifestaron un consumo ocasional de alimentos de paquete y un consumo esporádico de embutidos, y coincidentalmente al igual que en el Grupo 1, uno de los voluntarios manifestó haber ingerido algún compuesto de fibra funcional.

Gráfica 4-9. Comparación entre porciones consumidas y porciones recomendadas de los participantes del Grupo 2, por grupos de alimentos.



4.3.2 Frecuencia de consumo de alimentos durante los periodos de intervención

Al comparar la ingesta promedio de energía, proteína, lípidos, carbohidratos, fibra total, fibra insoluble y fibra soluble, que presentaron los participantes del estudio durante el suministro de los tres tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de energía, proteína, carbohidratos, fibra total, fibra insoluble y fibra soluble, pero se observó un incremento significativo en referencia al control sin fibra, en la grasa ingerida durante el periodo de consumo de muffins con sustitución de grasa por fibra al 25% y 35%, sin diferencias estadísticas entre ellos (**Tabla 4-13**). Este seguimiento a la alimentación se realizó con el fin de controlar la ingesta de componentes que eventualmente podrían influir sobre la respuesta lipídica, como la grasa, los carbohidratos y la fibra soluble, y cuando se identificaron participantes que durante varios días mantuvieron una ingesta elevada de alguno de estos nutrientes, sus datos fueron excluidos

del posterior análisis de componentes del perfil lipídico después de la intervención, para prevenir un posible sesgo en la interpretación de los resultados.

Tabla 4-13. Ingesta promedio de energía, macronutrientes y fibra, de los participantes del estudio, durante el consumo de los diferentes tratamientos.

Nutriente	Control sin fibra	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Energía (Kcal)	1506±402 ^a	1559±502 ^a	1569±450 ^a
Proteína (g)	59,9±19,5 ^a	62,5±14,7 ^a	60,8±17,2 ^a
Lípidos (g)	33,4±11,2 ^a	35,9±12,6 ^b	35,9±14,2 ^b
Carbohidratos (g)	241,2±65,2 ^a	246,7±92,1 ^a	251,4±66,0 ^a
Fibra Total (g)	17,7±5,7 ^a	18,1±7,9 ^a	17,1±4,1 ^a
Fibra Insoluble (g)	14,8±4,6 ^a	15,0±6,4 ^a	14,3±3,4 ^a
Fibra Soluble (g)	2,9±1,1 ^a	3,1±1,7 ^a	2,8±0,9 ^a

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas en cada variable según el tratamiento.

4.3.3 Análisis de los componentes del perfil lipídico después de la intervención

Los valores de triglicéridos séricos disminuyeron ligeramente a partir del consumo de productos con sustitución de grasa por fibra, con respecto al control sin fibra, aunque estas diferencias no fueron significativas. Los niveles de c-total y c-LDL se redujeron proporcionalmente al nivel de sustitución, pero en ambos casos tampoco se apreciaron diferencias estadísticamente significativas. Las concentraciones de c-VLDL y c-HDL fueron significativamente ($p<0,05$) inferiores después de consumir los muffins con fibra, en comparación con el control sin fibra, lo cual constituye un hallazgo inesperado en este trabajo. Los resultados de cada uno de los componentes del perfil lipídico después de cada uno de los tratamientos suministrados, se pueden observar en la **Tabla 4-14**. La ausencia de diferencias significativas al comparar los niveles de triglicéridos, c-total y c-LDL entre tratamientos, puede deberse a que los participantes tuvieron concentraciones de colesterol relativamente bajas en la línea de base, a que los voluntarios tuvieron una ingesta de grasa

ligeramente superior durante la intervención con muffins con fibra en comparación con el alimento control, y a que el periodo de intervención (21 días para cada tratamiento) fue relativamente corto en términos de obtención de la homeostasis de colesterol, y se hubieran podido observar mayores reducciones con un tratamiento más prolongado (37).

Tabla 4-14. Valores de cada uno de los componentes del perfil lipídico después del consumo de cada uno de los alimentos estudio.

Parámetro	Control sin fibra	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%	Valor p
TG (mg/dL)	89,6±18,7 ^a	81,8±16,8 ^a	87,3±19,4 ^a	0,1677
c-total (mg/dL)	174,3±27,6 ^a	166,0±19,4 ^a	164,1±16,9 ^a	0,1958
c-LDL (mg/dL)	103,8±24,7 ^a	97,1±15,6 ^a	94,9±18,9 ^a	0,1816
c-VLDL (mg/dL)	17,8±4,9 ^b	16,4±3,4 ^a	16,5±2,8 ^a	<0,05
c-HDL (mg/dL)	54,1±14,7 ^b	50,6±14,5 ^a	52,8±16,1 ^a	<0,05

Los valores están expresados como promedio ± desviación estándar, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas con $p<0,05$ entre tratamientos, para cada variable.

Los efectos obtenidos con la fibra soluble tipo dextrano utilizada, coinciden con reportes similares en la literatura. Carabin y col (2009), al evaluar los efectos de la ingesta de la fibra funcional altamente viscosa PolyGlycopleX (PGX®), encontraron que no hubo diferencias significativas entre los grupos de prueba y control para cada parámetro bioquímico evaluado en la línea de base y después del consumo de los tratamientos, excepto para c-total y c-LDL; la disminución en c-total y c-LDL fue estadísticamente mayor en el grupo de prueba que en el control y al finalizar los dos periodos de intervención (16). Por su parte, Mietus-Snyder y col (2012) encontraron cambios favorables estadísticamente significativos después de dos semanas de consumo de barras de fruta altas en fibra sobre el c-HDL (incremento de 6,2%, $p=0,001$), mientras que los valores de c-total plasmático, TG totales y c-LDL, no cambiaron significativamente durante dicho periodo de intervención (71). Ravn-Haren y col (2013) reportaron que las concentraciones de c-total y c-LDL fueron afectadas significativamente ($p=0,0096$ y $p=0,024$, respectivamente) a partir del consumo de manzanas enteras o en jugo, teniendo el mayor impacto con el alimento que se consume en la matriz alimentaria que más fibra aporta (-5,6% y -6,7%, respectivamente) (76). Stewart y col (2010) indicaron que las concentraciones en ayunas de triglicéridos

totales después de la ingesta de cuatro tipos de fibra (pululano, almidón resistente, fibra soluble tipo dextrina y fibra soluble de maíz) o el placebo (maltodextrina), variaron de 90 a 103 mg/dL, pero las diferencias entre las medias no fueron estadísticamente significativas (75).

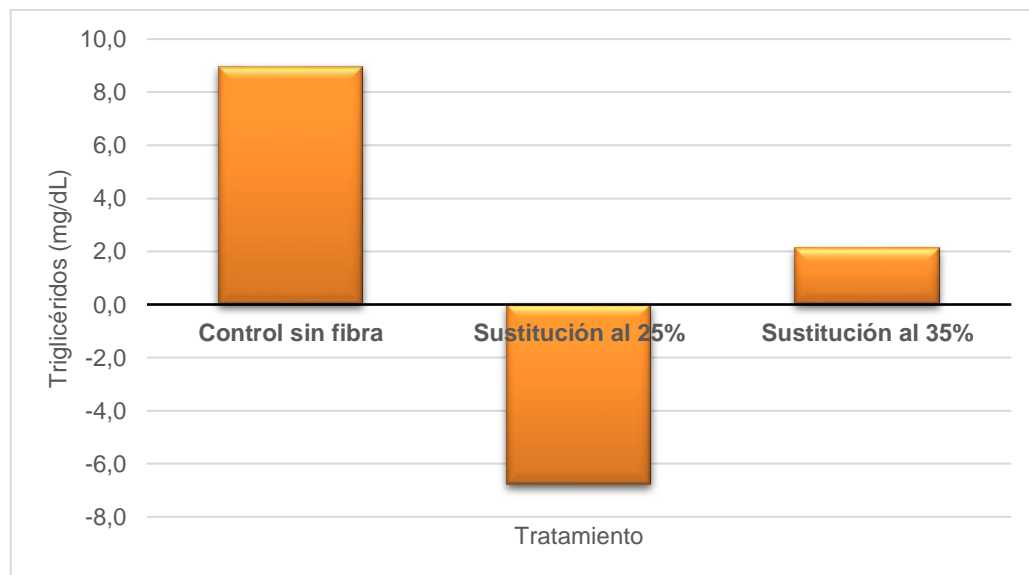
Por el contrario, Soni y col (2011) reportaron que después del consumo de 20 g de fibra guar asada durante 30 días, las medidas de c-total y c-LDL mostraron resultados altamente significativos, mientras que c-HDL, c-VLDL y TG mostraron resultados menos relevantes (77). Una reducción significativa en la concentración de colesterol sérico fue registrada en sujetos normales y diabéticos después de 15 y 30 días de consumo de 10,0 y 20,0 g/día de fibra guar asada o cocida; también se encontró que el nivel de triglicéridos séricos se redujo significativamente en sujetos normales y diabéticos después de 15 y 30 días de consumo de 10,0 y 20,0 g/día de fibra guar asada o cocida (77). Por su parte, Vuksan y col (2011) observaron que las concentraciones séricas de c-total y c-LDL disminuyeron desde la línea de base (día 0) hasta el final del tratamiento (día 21) a partir del consumo de una mezcla de fibras de alta viscosidad (VFB) compuesta por salvado de trigo y de maíz, en $8,9 \pm 1,5\%$ y $10,6 \pm 3,5\%$, respectivamente (37). Wolever y col (2011) reportaron que la concentración de c-LDL en la semana 4 de consumo de cereales con adición de β -glucano mostró efectos significativos sobre el c-LDL de la línea de base ($p < 0,001$), estrato ($p < 0,001$) y tratamiento ($p = 0,003$), sin efecto significativo sobre etnia ($p = 0,74$) ni interacción tratamiento x etnia ($p = 0,34$) (78).

4.3.4 Cambio en los valores de cada uno de los componentes del perfil lipídico con respecto a la línea de base

Al calcular la diferencia con los valores de la línea de base de cada uno de los componentes del perfil lipídico en respuesta a los tres tratamientos suministrados, se observó una reducción significativa ($p < 0,05$) en los niveles de triglicéridos séricos a partir del consumo de muffins con sustitución de grasa por fibra al 25%, mientras que hubo una ligera

tendencia a incrementar este valor a partir del control sin fibra y el máximo nivel de sustitución (35%) (**Gráfica 4-10**). Estos hallazgos coinciden parcialmente con Ulmius y col (2009), quienes reportaron que las concentraciones incrementales postprandiales de triglicéridos tendieron a ser más altas después del consumo de comidas con diferentes tipos de fibras solubles, en comparación con la comida control (36). La disminución en los triglicéridos puede atribuirse a que las fibras viscosas tienden a incrementar la excreción fecal de grasa, incluyendo ácidos grasos, resultando en síntesis disminuida de triglicéridos (77).

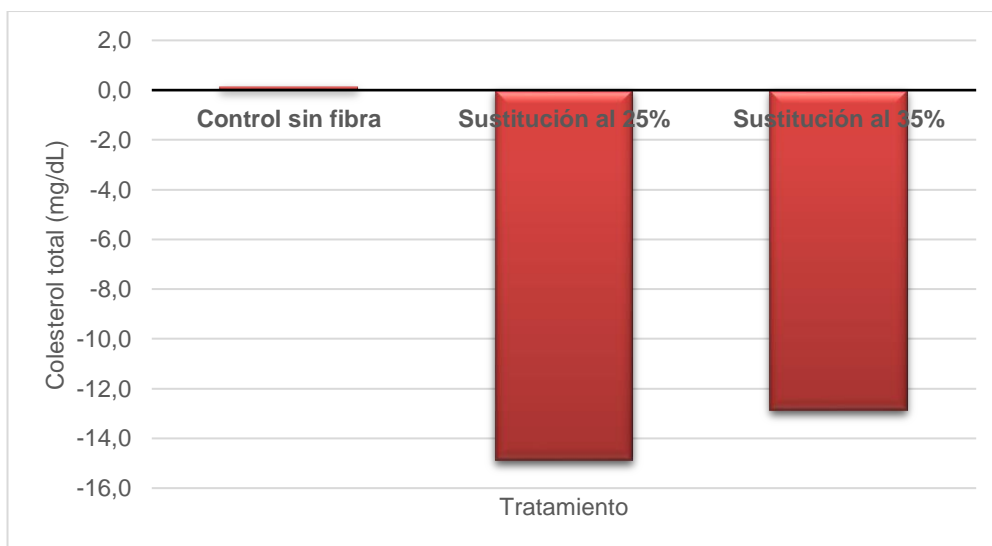
Gráfica 4-10. Cambio en los valores séricos de triglicéridos con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento.



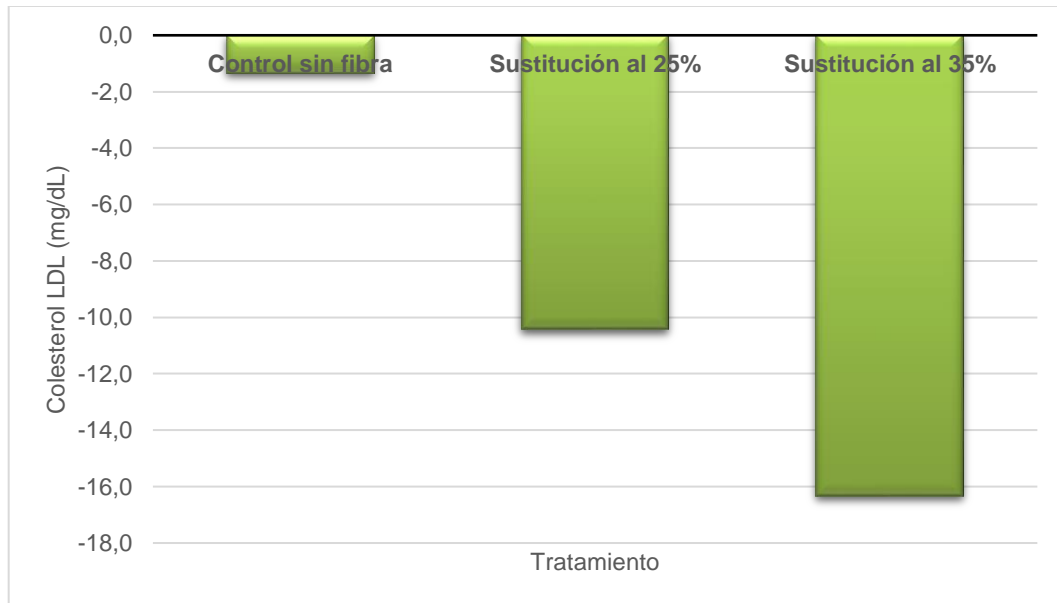
El c-total y el c-LDL experimentaron la misma tendencia: el muffin control hizo que sus niveles se mantuvieran similares con respecto a la línea de base, mientras que los productos con sustitución de grasa por fibra disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) sus concentraciones séricas en comparación con el control sin fibra, observando un mayor impacto sobre el c-total a partir del consumo del muffin con 25% de sustitución (**Gráfica 4-11**), mientras que la reducción más significativa sobre el c-LDL la logró el máximo nivel de

reemplazo de grasa por fibra (35%) (**Gráfica 4-12**). Cabe resaltar la relevancia clínica de este hallazgo: es benéfico para la salud lograr disminuir el valor de c-LDL alrededor de 16 mg/dL en 21 días, pues niveles altos de c-LDL han sido considerados potenciales factores de riesgo para ECV (112), y, un producto con estas características podría convertirse en una adecuada opción para el tratamiento no farmacológico de dislipidemias y otras enfermedades crónicas.

Gráfica 4-11. Cambio en los valores séricos de colesterol total con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento.



Gráfica 4-12. Cambio en los valores séricos de colesterol LDL con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento.

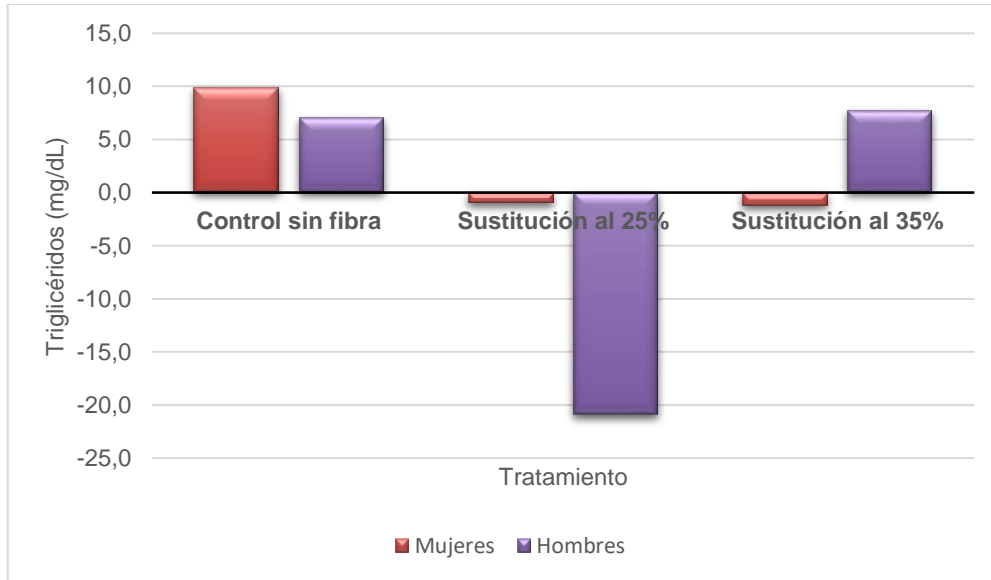


Generalmente, las fibras solubles viscosas tienen más probabilidad de disminuir el colesterol total sérico y el c-LDL (75). El mecanismo puede relacionarse con que este tipo de fibras se caracterizan por su capacidad de adsorción de moléculas orgánicas como colesterol y ácidos biliares, incrementando así su excreción y disminuyendo la cantidad que retorna al hígado por vía entero-hepática (76, 77). Esta excreción aumentada resulta en la desviación del colesterol en el pool de ácidos biliares, y en que menos colesterol esté disponible para la incorporación en la síntesis de c-LDL (76, 77), a la vez que esta unión puede también disminuir la síntesis de LDL en el hígado (76). También se ha reportado que los ácidos grasos de cadena corta producidos por la fermentación de la fibra, principalmente el propionato, pueden inhibir la enzima HMG-CoA reductasa, la cual participa en la biosíntesis de colesterol, reduciendo también sus niveles. En la matriz que se forma entre el compuesto de fibra soluble y el alimento, ocurren interacciones micelares, que terminan interfiriendo con la absorción de grasa dietaria y colesterol, con un resultado global de concentraciones disminuidas de colesterol sanguíneo, y tiempo de tránsito a través del intestino delgado más lento (16, 77, 78).

A diferencia de los resultados de la comparación sobre los niveles de lípidos sanguíneos entre tratamientos, el cambio en los valores de c-VLDL y c-HDL no mostraron diferencias significativas entre ellas, y aunque los muffins con sustitución de grasa por fibra presentaron una tendencia reductora en las concentraciones de triglicéridos séricos, también generaron reducción en el valor de c-HDL, lo cual es contraproducente, pues niveles elevados de c-HDL han sido considerados como factor protector contra la aparición de ECV. Los hallazgos son conformes a los de Stewart y col (2010), quienes notaron que el promedio de los tratamientos para c-HDL no difirió entre tratamientos y varió de 50 a 52 mg/dL (75), de forma muy similar a lo encontrado en este trabajo.

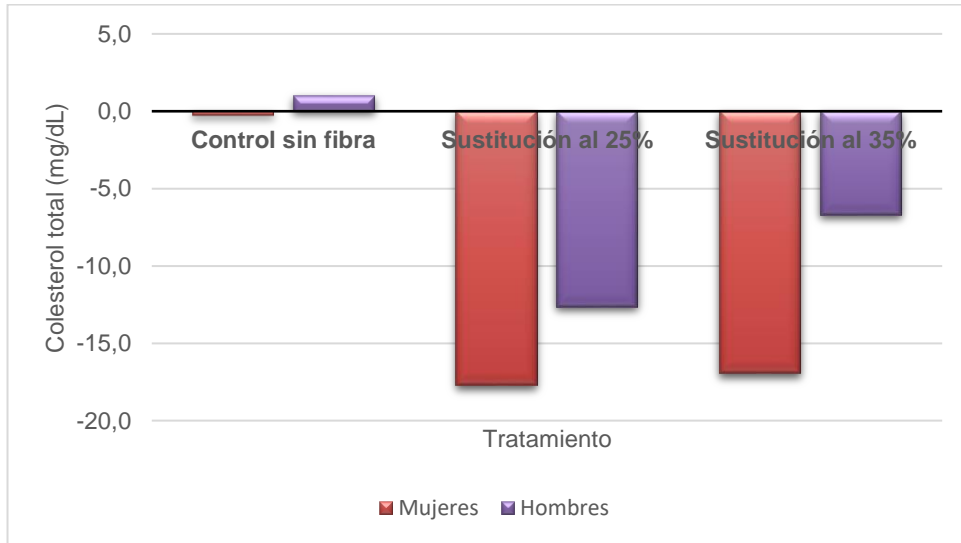
Al realizar el análisis comparativo por género, se encontró que el efecto reductor de triglicéridos a partir del consumo de muffins con 25% de sustitución de grasa por fibra, fue mucho más pronunciado en hombres que en mujeres, mientras que el control sin fibra generó incrementos en las concentraciones de triglicéridos en referencia a los valores de la línea de base, para ambos géneros (**Gráfica 4-13**).

Gráfica 4-13. Cambio en los valores séricos de triglicéridos con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento y al género.

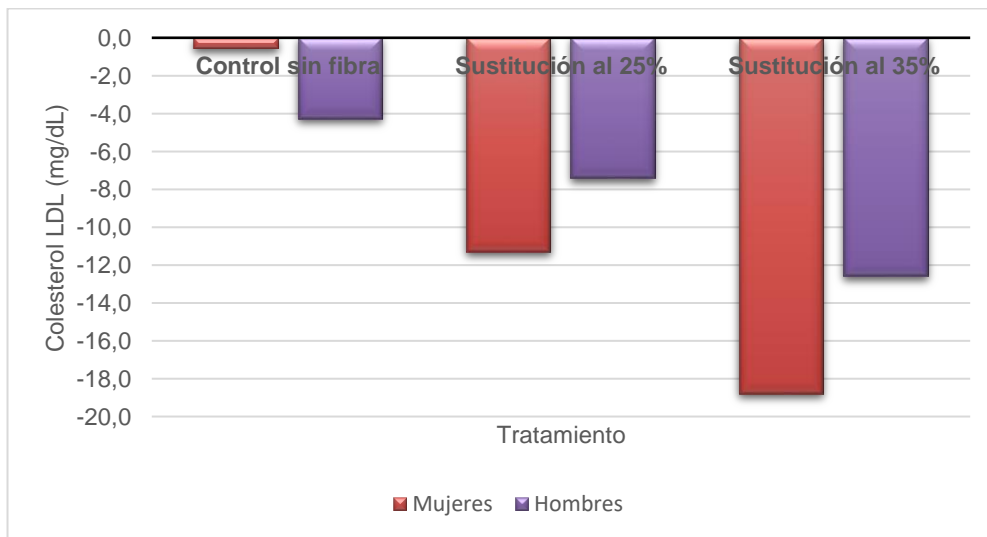


En cuanto al c-total y c-LDL, aunque conservando la tendencia general, las reducciones en los niveles séricos fueron más acentuadas en mujeres (**Gráfica 4-14** y **Gráfica 4-15**), posiblemente a causa de su respuesta hormonal específica, aunque ambos géneros de vieron beneficiados de las modificaciones sobre estos parámetros de riesgo cardiovascular a partir del consumo de productos horneados con incorporación de fibra como sustituto de grasa. Es importante resaltar que, al analizar los cambios individuales en los valores de lípidos sanguíneos, se observó que las mayores reducciones se lograron en los participantes que tenían niveles más elevados de c-total y c-LDL en la línea de base.

Gráfica 4-14. Cambio en los valores séricos de colesterol total con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento y al género.



Gráfica 4-15. Cambio en los valores séricos de colesterol LDL con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento y al género.



El comportamiento del c-VLDL en las mujeres fue similar al general, mientras que en los hombres se destacó una reducción significativa en los valores séricos, a partir del consumo de muffins de zanahoria con sustitución de grasa por fibra al 25% (**Tabla 4-15**). Por lo que se refiere al c-HDL, sus valores aumentaron después del consumo de todos los tratamientos en hombres, pero en mujeres se evidenció una tendencia reductora no deseable, después de consumir los productos con nivel de sustitución intermedio (25%).

Tabla 4-15. Cambio en los valores de lípidos sanguíneos con respecto a la línea de base, de acuerdo al tratamiento y al género.

Parámetro	Género	Control sin fibra	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Δ TG (mg/dL)	Hombres	7,0 ^b	(-20,9) ^a	7,7 ^b
	Mujeres	9,9 ^b	(-1,0) ^a	(-1,2) ^a
	Total	9,0 ^b	(-6,8) ^a	2,1 ^{ab}
Δ c-total (mg/dL)	Hombres	1,0 ^b	(-12,7) ^a	(-6,8) ^a
	Mujeres	(-0,3) ^b	(-17,8) ^a	(-17,0) ^a
	Total	0,1 ^b	(-14,9) ^a	(-12,9) ^a
Δ c-LDL (mg/dL)	Hombres	(-4,3) ^a	(-7,5) ^a	(-12,6) ^a
	Mujeres	(-0,6) ^b	(-11,4) ^a	(-18,8) ^a
	Total	(-1,3) ^b	(-10,5) ^a	(-16,4) ^a
Δ c-VLDL (mg/dL)	Hombres	2,5 ^b	(-4,2) ^a	1,5 ^{ab}
	Mujeres	1,3 ^a	3,0 ^a	0,5 ^a
	Total	1,7 ^a	1,2 ^a	0,8 ^a
Δ c-HDL (mg/dL)	Hombres	2,4 ^a	3,3 ^a	2,1 ^a
	Mujeres	0,5 ^b	(-5,1) ^a	1,5 ^{ab}
	Total	1,1 ^a	(-3,6) ^a	1,7 ^a

Los valores están expresados como promedio, con $\alpha=0,05$. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos, para cada variable.

Los hallazgos de este trabajo difieren de lo reportado por Ravn-Haren y col (2013), quienes al estratificar por género observaron mayores efectos no deseables en mujeres ($p=0,0019$), cuyas concentraciones de c-LDL aumentaron significativamente después de la intervención con jugo de manzana claro con respecto al placebo ($p=0,023$), manzana ($p=0,0032$) y pulpa de manzana ($p=0,0003$) (76), lo cual se puede relacionar con la pérdida de pectina dada por el procesamiento de la manzana para obtener el jugo, en comparación con la fruta entera o la pulpa, donde se conserva la integridad de esta fibra soluble.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Como resultado del proceso de desarrollo de productos, se observó que la alta capacidad de captación de agua característica de la fibra soluble, hace necesario un incremento del contenido de agua en las formulaciones de productos de panadería, que idealmente debería ser proporcionar al nivel de inclusión de fibra, para conservar los atributos organolépticos del producto terminado. En esta investigación, la matriz de muffins de zanahoria favoreció reducir el contenido de grasa y azúcar, y aumentar el aporte de fibra de los productos desarrollados, modificaciones que pueden ser consideradas benéficas para la salud de los consumidores. La sustitución de grasa por fibra hasta del 35% en productos de panadería de alta humedad como muffins y torta, permitió el desarrollo de alimentos sensorialmente aceptables y tecnológicamente viables, que constituyen vehículos potenciales para aumentar la ingesta de fibra en la población.

En las masas de muffins de zanahoria se presentó un incremento en los parámetros humedad, capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite y viscosidad, al aumentar el nivel de sustitución de grasa por fibra, lo cual se relaciona con el mayor contenido de agua de las formulaciones y con las propiedades funcionales del compuesto de fibra soluble evaluado, que lo convierten en un apropiado sustituto de grasa en esta matriz alimentaria. También se observó que todas las masas de muffins de zanahoria presentaron una temperatura de transición vítrea de aproximadamente 77°C, y su temperatura de descomposición estuvo cercana a los 300°C, independientemente del nivel de incorporación de fibra como sustituto de grasa, lo cual permite inferir que las propiedades funcionales del biopolímero se mantienen aún después del proceso de horneado de los muffins a 145°C.

Al analizar las propiedades físicas se encontró que, partiendo de un peso similar en el producto terminado, resultado de una pérdida de peso por horneado y un rendimiento de la masa constantes, el volumen, volumen específico y altura de los muffins de zanahoria disminuyeron inversamente proporcional al porcentaje de sustitución de grasa por fibra. Asimismo, la sustitución de grasa por fibra redujo los valores de todos los parámetros primarios y secundarios de textura mecánica, de manera proporcional al nivel de

sustitución, obteniendo muffins cada vez más suaves, lo cual es deseable para conservar la aceptabilidad del tipo de productos desarrollados. Los resultados de los recuentos microbianos realizados, confirman la calidad microbiológica de los muffins de zanahoria sin fibra y con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, pues cumplen con los criterios establecidos por la autoridad sanitaria competente en Colombia.

En cuanto a las propiedades nutricionales de los productos horneados, la sustitución de grasa por fibra redujo el contenido de lípidos y el valor calórico de los muffins de zanahoria, de forma directamente proporcional al nivel de sustitución, cambios que se consideran benéficos para los consumidores en el marco de la promoción de la salud y prevención de enfermedades crónicas. Esta modificación en productos de panadería de humedad elevada, no generó un impacto sobre los atributos sensoriales olor, color y sabor, pero disminuyó los puntajes de textura al aumentar el nivel de sustitución. No obstante, los muffins sustituidos presentaron una adecuada aceptabilidad sensorial y una intención de compra superior al 60%, lo cual garantiza el posicionamiento de los productos en el mercado de alimentos funcionales.

La evaluación del efecto biológico demostró que la sustitución de grasa por fibra produjo una disminución significativa en los niveles séricos de colesterol total y colesterol LDL con respecto a la línea de base, independientemente del nivel de sustitución, y este efecto fue ligeramente más acentuado en mujeres que en hombres. También se encontró que los valores de triglicéridos séricos disminuyeron a partir del consumo de productos con sustitución de grasa por fibra, aunque estas diferencias no fueron significativas. Como hallazgo inesperado, las concentraciones de c-VLDL y c-HDL disminuyeron (en promedio 2 mg/dL) después de consumir los muffins con fibra, lo cual puede relacionarse con una mayor ingesta promedio de grasa durante el consumo de los tratamientos con fibra, y a la influencia de otros factores que no fueron controlados durante la intervención, como el nivel de actividad física.

En síntesis, los productos desarrollados corresponden a alimentos funcionales, que de acuerdo a los descriptores estipulados en la norma de rotulado nutricional a nivel nacional e internacional, pueden ser considerados “reducidos en grasa” y “buena fuente de fibra”, o “excelente fuente de fibra” en el caso del máximo nivel de sustitución (35%), con base en su aporte de grasa total y fibra total por porción, y conservan en gran medida sus atributos

de calidad fisicoquímica y sensorial. Adicionalmente, se demostró un efecto benéfico para la salud, pues el consumo de productos horneados con incorporación de fibra soluble como sustituto de grasa, redujo el valor de colesterol LDL alrededor de 16 mg/dL después de 21 días, lo cual se considera un cambio positivo para la prevención o el tratamiento de enfermedades cardiovasculares.

5.2 Recomendaciones

Por ser un tema de actualidad y de interés tanto para la industria de alimentos, como para el campo de la nutrición y la salud, se sugiere continuar con la investigación sobre el efecto de la sustitución de grasa por fibra en productos de panadería, para lo cual se recomienda:

- Evaluar el tamaño de partícula de los ingredientes empleados en diferentes formulaciones, para facilitar la manipulación de la masa en el desarrollo de productos a gran escala.
- Evaluar el efecto de la utilización de agentes emulsificantes en las formulaciones de productos de panadería con sustitución de grasa por fibra, para aumentar la estabilidad de las masas y minimizar el impacto de la presencia de fibra sobre atributos como volumen, volumen específico y altura del producto terminado.
- Confirmar los resultados de la prueba de aceptabilidad organoléptica de los productos con sustitución de grasa por fibra, con el análisis sensorial de un panel entrenado en la evaluación de este tipo de alimentos.
- Realizar una prueba de vida útil en los muffins de zanahoria con sustitución de grasa por fibra, que permita establecer el efecto del almacenamiento sobre las características organolépticas y microbiológicas de los productos horneados.
- Continuar con el desarrollo de nuevas formulaciones de productos de panadería, en las cuales se puedan evaluar mayores niveles de sustitución de grasa por fibra, así como el uso de otras fuentes de fibra, considerando el alto consumo de este tipo de alimentos y el impacto que podrían tener sobre la salud de los consumidores.

A. Anexo: Formato empleado para la prueba de aceptabilidad sensorial

Fecha: _____

Género: Masculino Femenino

Edad: 15-30 años

30-45 años

45-60 años

Usted se encuentra participando en la evaluación sensorial de productos homeados desarrollados en el marco de un proyecto de tesis de maestría. Para el éxito del trabajo serán de gran utilidad su objetividad e imparcialidad durante la prueba. Inicialmente observe y proceda a probar cada muestra. Indique el grado en el cual le agrada o le desagrada cada una, marcando una "X" en la casilla correspondiente a las palabras apropiadas para cada uno de los parámetros enunciados (color, olor, sabor y consistencia o textura). Por favor seleccione una sola categoría en cada fila. Finalmente, indique si estaría dispuesto o no a adquirir en el mercado cada una de las muestras. Muchas gracias por su disposición y colaboración.

Muestra	Parámetro	Escala de evaluación				
		Me agrada mucho	Me agrada	No me agrada ni me desagrada	Me desagrada	Me desagrada mucho
Código _____	Olor					
	Color					
	Sabor					
	Consistencia o textura					
Código _____	Olor					
	Color					
	Sabor					
	Consistencia o textura					
Código _____	Olor					
	Color					
	Sabor					
	Consistencia o textura					
Código _____	Olor					
	Color					
	Sabor					
	Consistencia o textura					

B. Anexo: Carta de aprobación del ensayo biológico por parte del Comité de Ética



COMITÉ DE ÉTICA FACULTAD DE
CIENCIAS

Bogotá, marzo 07 de 2016

Estudiante
Luis Carlos Garay Quintero
Facultad de Ciencias Agrarias

Respetado Estudiante:

Atentamente le comunico que el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias, en reunión realizada el día 07 de marzo de 2016 (Acta 02), evaluó aspectos éticos del proyecto presentado por usted. Como resultado de esta revisión, el Comité considera que el proyecto **cumple** con los aspectos éticos básicos. Para los fines pertinentes, se transcriben las observaciones y el concepto final.

Proyecto: Evaluación funcional y biológica de un compuesto de fibra soluble como sustituto de grasa en productos de panadería.

Responsables: **Luis Carlos Garay Quintero** (Tesis Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos), **Jenifer Garay Moreno** y **Olga Patricia Cobos de Rangel** (Directora de Tesis. Grupo: Biopolímeros y Biofuncionales, COL0087374).

Observaciones:

En este estudio se empleará el biopolímero Bilac® (IBUN), el cual será administrado a voluntarios que previamente acepten un consentimiento informado, en el cual se dan a conocer los riesgos y beneficios del estudio; entre otros. Se trata de una investigación con "Riesgo Mínimo" (Resolución 008430 de 1993, Ministerio de Salud Pública). Se practicarán valoraciones médicas, nutricionales y pruebas bioquímicas por personal especializado. Se asume el compromiso de mantener la confidencialidad de la información, el respeto a la dignidad y la intimidad de los participantes como sujetos de experimentación.

Concepto: Aprobado.

LUIS FERNANDO OSPINA G.
Coordinador Comité de Ética

C. Anexo: Consideraciones éticas del ensayo biológico

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El biopolímero Bilac® es un dextrano conformado por unidades monoméricas de glucosa con un peso molecular promedio de 850000 Da, obtenido mediante la polimerización realizada por una enzima del grupo de las glucosiltransferasas, utilizando como sustrato la sacarosa. El microorganismo encargado de la producción de esta enzima es un *Lactococcus lactis*, especie catalogada por la Food and Drug Administration (FDA) como generalmente reconocida como segura (GRAS). El Instituto de Biotecnología y el Departamento de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia, realizaron ensayos de toxicidad aguda y subaguda del biopolímero en ratas, con base en las normas técnicas de la OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, encontrando que el biopolímero se puede clasificar en la categoría 5 (Peligro agudo relativamente bajo) debido a la no mortalidad de animales en el ensayo, quienes además no presentaron cambios en su comportamiento, ni sintomatología de enfermedades con respecto a los controles.

Como parte del proyecto de caracterización de propiedades biológicas y fisicoquímicas del biopolímero, que pretende establecer la concentración a la cual puede considerarse un componente bioactivo, el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia ha venido desarrollando diferentes pruebas biológicas en animales y seres humanos. Los ensayos preliminares fueron realizados en ratas, en las cuales se determinó respuesta glucémica, tiempo de tránsito intestinal y perfil lipídico, confirmando en todos los casos la seguridad del compuesto. Posteriormente, se efectuaron ensayos biológicos en seres humanos para la determinación de variables como efecto prebiótico, fermentación colónica, y efecto sobre el índice glucémico y la respuesta postprandial de insulina, ghrelina y triglicéridos; los participantes de estos estudios, no manifestaron ningún efecto secundario o síntoma adverso asociado al consumo del biopolímero.

La tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos denominada “Evaluación funcional y biológica de un compuesto de fibra soluble como sustituto de grasa en productos de panadería” pretende continuar con el proyecto mencionado. Esta investigación consta de un examen médico, el cual será realizado por un médico general, una valoración nutricional, que será efectuada por profesionales en Nutrición y Dietética entrenados para dicha actividad, y unas pruebas bioquímicas, que serán realizadas siguiendo protocolos estandarizados de laboratorios clínicos certificados. Estas últimas comprenden perfil lipídico en la fase de caracterización de los participantes, y posterior al consumo de los alimentos del estudio, en dos momentos durante la fase experimental.

Los procedimientos que se llevarán a cabo, como examen médico general, valoración nutricional y pruebas de laboratorio, así como las intervenciones que hacen parte de esta investigación, serán explicadas a los sujetos que participarán en el ensayo; también se les informará mediante reuniones grupales los posibles riesgos y beneficios derivados del estudio, y el carácter confidencial y privado de la información recolectada. En constancia de lo anterior, se solicitará a los participantes que lean y firmen el correspondiente consentimiento (Ver Anexo) de su participación voluntaria en el ensayo.

Teniendo en cuenta los aspectos enumerados en el Artículo 6 de la Resolución 8430 de 1993 y con base en los ensayos toxicológicos y las pruebas biológicas preliminares, se puede considerar que este estudio representa un mínimo riesgo de efectos adversos para la vida y para la integridad física, mental y/o psicosocial de los individuos participantes.

**D. Anexo: Consentimiento informado
para la participación en el ensayo
biológico**

CONSENTIMIENTO INFORMADO**PRIMERA PARTE. EXPLICACIÓN****Título**

Evaluación funcional y biológica de un compuesto de fibra soluble como sustituto de grasa en productos de panadería.

Investigadores responsables y contactos

Investigador	Vinculación	Contacto
Olga Cobos de Rangel	Profesora Asociada Departamento de Nutrición Humana Directora de Tesis	3106881084 opcobosd@unal.edu.co
Luis Carlos Garay Quintero	Estudiante de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos Investigador Principal	3178863235 lcgarayq@unal.edu.co
Jenifer Garay Moreno	Estudiante de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos	3178863218 jmgaraym@unal.edu.co

Objetivo

Evaluar las propiedades funcionales y biológicas de un compuesto de fibra soluble utilizado como sustituto de grasa en productos de panadería.

Procedimientos

La persona que acepte participar en los procedimientos requeridos para este estudio debe:

1. Asistir a las reuniones programadas por el grupo de investigación para la socialización de las características, beneficios y posibles efectos secundarios del estudio.
2. Asistir al examen médico general y responder las preguntas sobre la historia clínica, durante aproximadamente 15 minutos.
3. Asistir a la valoración nutricional, permitiendo la toma y registro de medidas antropométricas como peso, talla y perímetro de la cintura, y respondiendo preguntas sobre la historia alimentaria, durante aproximadamente 45 minutos.
4. Para la toma de exámenes de sangre en la fase de caracterización: asistir en ayunas para la toma de las muestras, a partir de las cuales se determinarán las concentraciones sanguíneas de colesterol total, colesterol HDL, triglicéridos y otras moléculas biológicas de interés. La inserción de la aguja produce una molestia que dura aproximadamente un minuto, y en rara ocasión puede producir un hematoma o infección leve.
5. Consumir los alimentos del estudio durante dos meses, asistiendo a las reuniones programadas para la entrega de los productos. El consumo de estos alimentos puede relacionarse en algunas personas con síntomas como distensión abdominal y sensación de llenura
6. En dos momentos durante la fase de intervención: asistir en ayunas con disponibilidad de 2 horas, durante las cuales se tomará una muestra de sangre para la determinación

de colesterol total, colesterol HDL y triglicéridos, lo cual puede producir las molestias anteriormente mencionadas.

Beneficios

Es posible que la participación en este estudio no produzca un beneficio directo sobre la salud, pero puede contribuir a incrementar el aporte dietético de fibra soluble lo cual mejora la calidad de la dieta y ayuda a mantener un buen control de los niveles sanguíneos de lípidos, efecto benéfico para la salud de los adultos. A partir de los procedimientos realizados en la fase de caracterización, la persona puede conocer el estado de su metabolismo lipídico, peso corporal y calidad de la dieta seguida.

Efectos secundarios

Este trabajo se clasifica en el grupo de “Investigación con riesgo mínimo”. La única molestia que se podría derivar de la toma de muestras de sangre es un dolor leve, y en algunas personas se podría presentar hinchazón, enrojecimiento y hematoma en el sitio de la punción venosa. En ocasiones el aumento en la ingesta habitual de fibra soluble puede provocar distensión abdominal, flatulencia y/o sensación de llenura, aunque estos síntomas no se manifiestan en todos los individuos.

Costos

El individuo no recibirá ningún reconocimiento monetario por su participación voluntaria, ni compensación por los efectos secundarios ocasionados por los tratamientos del estudio. Tampoco se hará ningún cobro por los exámenes de laboratorio realizados.

Confidencialidad

La información obtenida de este estudio se considerará confidencial y se utilizará solamente para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación, reservando la identidad y datos personales de los participantes.

Respuesta a preguntas

Luego de la explicación de la información anterior, el participante del estudio tiene derecho a realizar las preguntas o manifestar las inquietudes que le surjan, en el mismo momento o posteriormente a través de los canales de contacto.

Derecho a rehusar de la participación en el estudio o abandonarlo

La participación en este estudio es completamente voluntaria, y la persona es libre de rehusar formar parte del mismo, o abandonarlo en el momento que lo desee.

Concepto del Comité de Ética

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, en el Acta 02 del 07 de marzo de 2016, al considerar que cumple con los aspectos éticos básicos y es una investigación que representa un “Riesgo Mínimo” para sus participantes.

PARTE B. FIRMA

Yo _____ identificado(a) con cédula de ciudadanía número _____ de _____, acepto participar como voluntario(a) en el estudio "Evaluación funcional y biológica de un compuesto de fibra soluble como sustituto de grasa en productos de panadería".

Se me explicaron los procedimientos de:

- a. Examen médico general y valoración nutricional, que incluye toma de medidas antropométricas.
- b. Toma de muestras de sangre para exámenes de laboratorio, en la fase de caracterización.
- c. Consumo de cada uno de los tratamientos definidos como alimentos de estudio (producto de panadería sin fibra o con diferentes concentraciones de la misma), durante dos meses.
- d. Toma de muestras de sangre para determinación del perfil lipídico, en dos momentos durante la fase de intervención.

Se me ha informado que los anteriores procedimientos y el consumo de alimentos de estudio no constituye ningún peligro para mi integridad física y mental, no me genera costos adicionales, y la información obtenida se divulgará solo con fines científicos y académicos, preservando mi identidad.

He recibido una copia de este documento y he tenido la oportunidad de leerlo, después de lo cual procedo a firmar mi consentimiento.

Fecha _____

Celular _____

Cedula de ciudadanía _____

Firma _____

Firma del responsable de la investigación _____

E. Valores de referencia y categorización de algunas variables provenientes de la caracterización de los participantes en el ensayo biológico

Variable	Valores de referencia	Categorización	Número de referencia bibliográfica
Perímetro de la cintura	<90 cm en hombres <80 cm en mujeres	Normal	79, 80
	≥90 cm en hombres ≥80 cm en mujeres	Obesidad abdominal	
Índice de masa corporal	<16,00 Kg/m ²	Delgadez severa	81
	≥16,00 y <16,99 Kg/m ²	Delgadez moderada	
	≥17,00 y <18,49 Kg/m ²	Delgadez leve	
	≥18,50 y <24,99 Kg/m ²	Normalidad	
	≥25,00 y <29,99 Kg/m ²	Pre-obesidad	
	≥30,00 y <34,99 Kg/m ²	Obesidad grado I	
	≥35,00 y <39,99 Kg/m ²	Obesidad grado II	
≥40,00 Kg/m ²	Obesidad grado III		
Nivel de actividad física	<600 METs/minuto/semana	Actividad Física Leve	54, 55
	≥600 y <3000 METs/minuto/semana	Actividad Física Moderada	
	≥3000 METs/minuto/semana	Actividad Física Vigorosa	
Frecuencia de consumo de alimentos	Diferencia entre las porciones consumidas y las porciones recomendadas menor o igual a -2 para los grupos II (frutas y verduras), III (leche y productos lácteos) y IV (carnes, huevos, leguminosas, frutos secos y semillas), y menor a -2 para el grupo I (cereales, raíces, tubérculos y plátanos)	Muy bajo consumo	51
	Diferencia entre las porciones consumidas y las porciones recomendadas entre -0,5 y -2 para los grupos I, II y IV, entre -1 y -2 para el grupo III, y menor o igual a -0,5 para los grupos V (grasas) y VI (azúcares)	Bajo consumo	
	Diferencia entre las porciones consumidas y las porciones recomendadas entre -0,5 y 0,5 para los grupos I, II, IV, V y VI, y entre -1 y 1 para el grupo III	Consumo adecuado	
	Diferencia entre las porciones consumidas y las porciones recomendadas entre 0,5 y 2 para los grupos I, II, IV y VI, entre 1 y 2 para el grupo III, y mayor a 0,5 para el grupo IV	Alto consumo	
	Diferencia entre las porciones consumidas y las porciones recomendadas mayor a 2 para los grupos I y V, y mayor o igual a 2 para los grupos III y VI	Muy alto consumo	

F. Anexo: Formato empleado para la anamnesis alimentaria



EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA SUSTITUCIÓN DE GRASA POR FIBRA
 FORMATO ANAMNESIS
 Versión 1
 Página 1 de 4
 Marzo de 2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
 FACULTAD DE MEDICINA
 DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN HUMANA

Fecha				Sujeto #							
Nombre del Investigador Principal		Luis Carlos Garay Quintero									
Nombre del Profesor Director		Olga Cobos de Rangel									
DATOS SOCIOECONÓMICOS											
Nombre						Género					
Documento de Identificación		CC				de					
Fecha de Nacimiento				Edad				años			
Estado Civil		Ocupación		e-mail							
Procedencia		Departamento				Municipio					
Dirección actual											
Teléfono Fijo				Celular							
HÁBITOS DE RIESGO											
Hábito		Alcohol		Cigarrillo		Sustancias Psicoactivas		Café			
Frecuencia											
ACTIVIDAD FÍSICA											
Actividad		Ejemplos		Días/sem		Horas/día		Minutos/día		MET	
Intensa		Pesas pesadas, nadar, aeróbicos, cicla rápido									
Moderada		Pesas livianas, cicla regular, dobles de tenis									
Caminar		Por recreación, deporte, ejercicio u ocio									
MET Totales				Categoría							
ANTROPOMETRÍA											
Indicador		Valor Observado		Unidades		Interpretación					
Peso				Kg							
Talla				m							
IMC				Kg/m ²							
Perímetro de la cintura				cm							



EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA SUSTITUCIÓN DE GRASA POR FIBRA

FORMATO ANAMNESIS

Versión 1

Página 2 de 4

Marzo de 2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN HUMANA

INFORMACIÓN GENERAL RELACIONADA CON LA ALIMENTACIÓN	
1. ¿Le han diagnosticado alguna de las siguientes enfermedades?	
	Diabetes
	Hipoglucemia
	Intolerancia a la glucosa
	Sobrepeso/Obesidad
	Enfermedad Renal
	Enfermedad Hepática
	Enfermedad Cardíaca
	Trastorno Gastrointestinal
2. ¿Recibe una dieta especial?	
¿Cuáles son los principales cambios?	
	Justificación
Para tratamiento médico de	
Por propia iniciativa para	
3. ¿Recibe dieta vegetariana?	
	¿De qué tipo?
4. ¿Ha hecho modificación a su dieta habitual en los últimos seis meses?	
	¿Cuáles?
5. En el último mes ha recibido suplementos (vitaminas y minerales, herbales, otros)?	
	¿Cuál?
	Nombre comercial
	Durante cuánto tiempo
	¿Aún lo toma?
6. ¿En los últimos seis meses a recibido algún complemento nutricional o de fibra?	
	¿Cuál?
7. ¿Presenta problemas o dificultades con su alimentación habitualmente?	
	Náuseas
	Vómito
	Diarrea
	Estreñimiento
	Dolor
	Distensión
	Flatulencia
8. ¿No tolera algún alimento por que le causa malestar?	
	¿Cuál?
9. ¿Logra organizar los tiempos de comida según lo acostumbrado en la familia?	
	Entre Semana
	Fines de Semana
10. Número de comidas que toma en un día habitual	
11. ¿Los fines de semana y días festivos modifica su alimentación?	
	¿Qué cambios realiza?
12. ¿Es alérgico a algún alimento?	
	¿Cuál?
13. Observaciones	



GLOBAL RECORDATORIO DE 24 HORAS						
¿Qué alimentos consumió ayer desde que se levantó hasta que se acostó?						
TIEMPO DE COMIDA	LUGAR DONDE LO	PREPARACIÓN		INGREDIENTES		
		NOMBRE	MEDIDA CASERA	NOMBRE	MEDIDA CASERA	PESO (g)
Desayuno						
Nueves						
Almuerzo						
Onces						
Comida						
Refrigerio Nocturno						



FRECUENCIA DE CONSUMO DE ALIMENTOS				
¿Cada cuánto consume los siguientes alimentos y en qué porción? ¿Ha consumido fuentes de fibra?				
Grupo de Alimentos	Ejemplos	Tamaño de Porción	Frecuencia	¿Ha consumido?
Cereales, raíces, tubérculos y plátanos	Arroz, pasta, pan, galletas, papa, yuca, plátano			-
	Fuentes de fibra	Avena en hojuelas		
		Arroz integral		
		Cereal All-Bran		
		Granola		
		Linaza		
		Salvado de trigo		
Hortalizas, verduras y legumbres	Fuentes de fibra	Galletas integrales		
		Verduras en sopa		-
		Ensaladas frías o crudas		-
		Verdura caliente o cocida		-
		Tortas, purés, potecas		-
Frutas	Fuentes de fibra	Enteras		-
		Frutas en ensaladas		-
		Frutas en jugo		-
		Jugos con adición de fibra		-
Carnes, huevos y leguminosas	Carnes y huevos	Res, pollo, huevos		-
		Pescados, mariscos		-
	Fuentes de fibra	Frijol		-
		Lenteja		-
		Garbanzo		-
		Arveja seca		-
Bebidas de soya		-		
Lácteos	Fuentes de fibra	Leche, yogurt, kumis, queso, cuajada		-
		Leche con adición de fibra		-
		Yogurt con adición de fibra		-
Grasas	Margarina, aceite, mantequilla, manteca			-
Azúcares	Edulcorantes	Azúcar, miel, panela		-
	Dulces	Chocolate, arequipe, bocadillo		-
	Gaseosas	Gaseosas		-
Otros	Otros	Comidas rápidas		-
		Embutidos		-
		Fibra aislada purificada		-

G. Anexo: Formato de frecuencia de consumo de alimentos empleado durante el ensayo biológico para realizar seguimiento a la alimentación de los participantes



NOMBRE _____ FECHA _____

Por favor marque con una "X" la cantidad de veces que consumió ayer durante TODO el día CADA UNO de los alimentos referidos a continuación. Si no consumió alguno de los alimentos, deje la casilla en blanco. Teniendo en cuenta el tamaño de porción de referencia (mediana), indique con una "X" si la porción que consumió de cada alimento fue igual a la de referencia (M), más grande (G) o más pequeña (P).

Grupo de Alimentos	Subgrupo	Ejemplos	Frecuencia						Tamaño de porción			
			1/Día	2/Día	3/Día	4/Día	5/Día	6/Día	Referencia	G	M	P
Cereales, raíces, tubérculos y plátanos	Cereales	Arroz, pasta, cebada, maíz pira							1 pocillo			
	Raíces y tubérculos	Yuca, arracacha, papa, papa criolla							1 mediana			
	Plátanos	Plátano verde, plátano maduro, colí							2 tajadas			
	Derivados de cereales	Galletas, pan blanco, tostadas, tortas, productos de panadería, arepa							1 unidad			
Hortalizas y verduras	Crudas	Ensaladas							6 cucharadas			
	Cocidas	Verduras calientes, tortas, purés, sopas							6 cucharadas			
Frutas	Enteras	Manzana, papaya, mango, pera, banano, uvas							1 unidad			
	Jugo	Mora, lulo, maracuya, tomate de árbol							1 vaso			
Carnes, huevos y leguminosas	Carnes	Res, pollo, cerdo, pescado							1 palma			
	Huevos	Huevos							1 unidad			
	Leguminosas	Frijol, lenteja, garbanzo, arveja seca							6 cucharadas			
Lácteos		Leche, yogurt, kumis, bebida láctea							1 vaso			
		Queso, cuajada							1 rebanada			
Grasas	Untaduras	Margarina, mantequilla, queso crema, crema de leche, mayonesa							1 cucharada			
	Alimentos dorados	Alimento cocinado en agua y después frito							1 unidad			
	Alimentos fritos	Tajadas, patacón, papas a la francesa, huevo frito o revuelto							1 unidad			
Azúcares	Endulzantes	Azúcar en jugos-café-aromáticas, panela, agua de panela, miel							1 cucharada			
	Otros	Dulces, chocolate, chocolatina, arequipe							1 unidad			
Bebidas	Bebidas azucaradas	Gaseosa, té, malta, Hit, Tuti Frutti, etc.							1 vaso			
	Bebidas alcohólicas	Cerveza, vino, aguardiente, ron, whiskey, etc.							1 copa o 1 vaso			
Fuentes de fibra		Avena en hojuelas							3 cucharadas			
		Cereal integral (All-Bran, Fitness, Special K)							½ taza			
		Arroz integral							1 pocillo			
		Granola							½ taza			
		Linaza							3 cucharadas			
		Salvado de trigo							3 cucharadas			
		Galletas integrales							1 paquete			
		Pan o tostadas integrales							1 unidad			
		Jugos con adición de fibra (Hit Vital)							1 vaso			
		Bebidas de soya							1 vaso			
	Leche con fibra							1 vaso				
	Yogurt con fibra (Digesty)							1 vaso				
Otros		¿Cuál?										

H. Anexo: Resultados de las pruebas de análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) en las masas de muffins de zanahoria

Análisis termogravimétrico (TGA) de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, en función del tiempo

Muestra	Control	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Tiempo (s)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)
0	33,2698	35,5198	19,1597	24,8598
58	33,1484	35,4014	19,0444	24,7254
116	32,8847	35,1562	18,7974	24,4461
174	32,4499	34,7665	18,4074	24,0026
232	31,8261	34,2391	17,9548	23,4080
290	31,1358	33,6340	17,5498	22,7491
348	30,4844	33,0197	17,1588	22,1205
406	29,8424	32,3394	16,7581	21,5116
464	29,1382	31,5779	16,3262	20,8580
522	28,2521	30,8036	15,8346	20,1351
580	27,3870	30,0286	15,2977	19,3916
638	26,5979	29,2929	14,7990	18,7245
696	25,8071	28,5924	14,3615	18,1317
754	25,0543	27,9580	13,9757	17,6126
812	24,3904	27,3905	13,6473	17,1702
870	23,8331	26,8731	13,3687	16,7876
928	23,3924	26,4048	13,1288	16,4680
986	23,0683	25,9965	12,9342	16,1994
1044	22,8293	25,6349	12,7758	15,9693
1102	22,6515	25,3143	12,6480	15,7658
1160	22,5140	25,0337	12,5434	15,5902
1218	22,4029	24,7833	12,4564	15,4394
1276	22,3138	24,5580	12,3822	15,3141
1334	22,2400	24,3563	12,3193	15,2060
1392	22,1878	24,1836	12,2713	15,1231
1450	22,1430	23,9926	12,2234	15,0381
1508	22,0605	23,6010	12,1252	14,8670
1566	21,9652	23,1463	11,9960	14,6621
1624	21,8687	22,7995	11,8693	14,4837
1682	21,7807	22,5485	11,7668	14,3382
1740	21,7016	22,3613	11,6854	14,2215
1798	21,6324	22,2219	11,6247	14,1289
1856	21,5713	22,1121	11,5766	14,0543
1914	21,5129	22,0120	11,5326	13,9891
1972	21,4285	21,8792	11,4733	13,9132
2030	21,2673	21,6464	11,3691	13,7913
2088	20,8811	21,0933	11,1224	13,5426
2146	20,0250	20,1006	10,6398	12,9997
2204	19,2942	19,4465	10,2888	12,4982
2262	18,9349	19,0633	10,0758	12,2345
2320	18,6065	18,6459	9,8760	12,0134
2378	18,1304	18,0029	9,5563	11,7059
2436	17,3221	16,9566	9,0324	11,1908

Muestra	Control	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Tiempo (s)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)
2494	15,8954	15,4635	8,2799	10,3638
2552	14,1866	14,0095	7,4738	9,3137
2610	13,3000	13,1310	6,9092	8,5078
2668	12,7858	12,5501	6,5575	8,0425
2726	12,3145	12,0602	6,2784	7,7002
2784	11,8063	11,5787	6,0135	7,3936
2842	11,2158	11,0447	5,7156	7,0770
2900	10,5294	10,4036	5,3665	6,7084
2958	9,7566	9,6469	4,9763	6,2998
3016	9,0079	8,8640	4,6143	5,9214
3074	8,4056	8,2030	4,3189	5,6003
3132	7,9636	7,7029	4,0946	5,3411
3190	7,6102	7,2971	3,9039	5,1176
3248	7,2838	6,9178	3,7271	4,9087
3306	6,9518	6,5303	3,5423	4,6906
3364	6,6111	6,1305	3,3523	4,4664
3422	6,2463	5,7086	3,1476	4,2245
3480	5,8680	5,2793	2,9450	3,9770
3538	5,4863	4,8696	2,7504	3,7240
3596	5,1576	4,5410	2,5920	3,4880
3654	4,9037	4,2861	2,4582	3,2750
3712	4,6883	4,0295	2,3262	3,0671
3770	4,4384	3,7129	2,1620	2,8215
3828	4,1158	3,3411	1,9563	2,5283
3886	3,7084	2,9394	1,7269	2,2348
3944	3,2982	2,5748	1,5146	1,9753
4002	2,9146	2,2212	1,3304	1,7584
4060	2,5652	1,8075	1,1450	1,5687
4118	2,2190	1,3272	0,9048	1,3637
4176	1,8304	0,9957	0,6946	1,0902
4234	1,4493	0,8445	0,5963	0,8898
4292	1,2027	0,7768	0,5570	0,8044
4350	1,0940	0,7404	0,5395	0,7681
4408	1,0454	0,7285	0,5275	0,7453
4466	1,0269	0,7180	0,5215	0,7343
4524	1,0164	0,7165	0,5165	0,7232
4582	1,0149	0,7138	0,5165	0,7188
4640	1,0089	0,7125	0,5135	0,7123
4698	1,0089	0,7119	0,5135	0,7113
4756	1,0059	0,7095	0,5105	0,7043
4814	1,0079	0,7105	0,5125	0,7043
4872	1,0022	0,7085	0,5095	0,7013
4930	1,0049	0,7095	0,5105	0,7023
4988	1,0019	0,7075	0,5075	0,6983
5046	1,0039	0,7085	0,5095	0,6993

Muestra	Control	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Tiempo (s)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)
5104	1,0019	0,7065	0,5075	0,6963
5162	1,0019	0,7077	0,5085	0,6973
5220	0,9999	0,7045	0,5065	0,6943
5278	1,0019	0,7065	0,5075	0,6953
5336	0,9979	0,7045	0,5055	0,6953
5394	1,0009	0,7065	0,5075	0,6943
5452	0,9989	0,7035	0,5070	0,6949
5510	1,0009	0,7055	0,5065	0,6933
5568	0,9993	0,7025	0,5075	0,6943
5626	1,0008	0,7045	0,5055	0,6923
5684	1,0019	0,7015	0,5065	0,6943

Análisis termogravimétrico (TGA) de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra, en función de la temperatura

Muestra	Control	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Temperatura (°C)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)
25,00	33,2698	35,5198	19,1597	24,8598
34,67	33,1484	35,4014	19,0444	24,7254
44,33	32,8847	35,1562	18,7974	24,4461
54,00	32,4499	34,7665	18,4074	24,0026
63,67	31,8261	34,2391	17,9548	23,4080
73,33	31,1358	33,6340	17,5498	22,7491
83,00	30,4844	33,0197	17,1588	22,1205
92,67	29,8424	32,3394	16,7581	21,5116
102,33	29,1382	31,5779	16,3262	20,8580
105,00	28,2521	30,8036	15,8346	20,1351
105,00	27,3870	30,0286	15,2977	19,3916
105,00	26,5979	29,2929	14,7990	18,7245
105,00	25,8071	28,5924	14,3615	18,1317
105,00	25,0543	27,9580	13,9757	17,6126
105,00	24,3904	27,3905	13,6473	17,1702
105,00	23,8331	26,8731	13,3687	16,7876
105,00	23,3924	26,4048	13,1288	16,4680
105,00	23,0683	25,9965	12,9342	16,1994
105,00	22,8293	25,6349	12,7758	15,9693
105,00	22,6515	25,3143	12,6480	15,7658
105,00	22,5140	25,0337	12,5434	15,5902
105,00	22,4029	24,7833	12,4564	15,4394
105,00	22,3138	24,5580	12,3822	15,3141
105,00	22,2400	24,3563	12,3193	15,2060
107,00	22,1878	24,1836	12,2713	15,1231
116,67	22,1430	23,9926	12,2234	15,0381
126,33	22,0605	23,6010	12,1252	14,8670
136,00	21,9652	23,1463	11,9960	14,6621
145,67	21,8687	22,7995	11,8693	14,4837
155,33	21,7807	22,5485	11,7668	14,3382
165,00	21,7016	22,3613	11,6854	14,2215
174,67	21,6324	22,2219	11,6247	14,1289
184,33	21,5713	22,1121	11,5766	14,0543
194,00	21,5129	22,0120	11,5326	13,9891
203,67	21,4285	21,8792	11,4733	13,9132
213,33	21,2673	21,6464	11,3691	13,7913
223,00	20,8811	21,0933	11,1224	13,5426
232,67	20,0250	20,1006	10,6398	12,9997
242,33	19,2942	19,4465	10,2888	12,4982
252,00	18,9349	19,0633	10,0758	12,2345
261,67	18,6065	18,6459	9,8760	12,0134
271,33	18,1304	18,0029	9,5563	11,7059

Muestra	Control	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Temperatura (°C)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)
281,00	17,3221	16,9566	9,0324	11,1908
290,67	15,8954	15,4635	8,2799	10,3638
300,33	14,1866	14,0095	7,4738	9,3137
310,00	13,3000	13,1310	6,9092	8,5078
319,67	12,7858	12,5501	6,5575	8,0425
329,33	12,3145	12,0602	6,2784	7,7002
339,00	11,8063	11,5787	6,0135	7,3936
348,67	11,2158	11,0447	5,7156	7,0770
358,33	10,5294	10,4036	5,3665	6,7084
368,00	9,7566	9,6469	4,9763	6,2998
377,67	9,0079	8,8640	4,6143	5,9214
387,33	8,4056	8,2030	4,3189	5,6003
397,00	7,9636	7,7029	4,0946	5,3411
406,67	7,6102	7,2971	3,9039	5,1176
416,33	7,2838	6,9178	3,7271	4,9087
426,00	6,9518	6,5303	3,5423	4,6906
435,67	6,6111	6,1305	3,3523	4,4664
445,33	6,2463	5,7086	3,1476	4,2245
455,00	5,8680	5,2793	2,9450	3,9770
464,67	5,4863	4,8696	2,7504	3,7240
474,33	5,1576	4,5410	2,5920	3,4880
484,00	4,9037	4,2861	2,4582	3,2750
493,67	4,6883	4,0295	2,3262	3,0671
503,33	4,4384	3,7129	2,1620	2,8215
513,00	4,1158	3,3411	1,9563	2,5283
522,67	3,7084	2,9394	1,7269	2,2348
525,00	3,2982	2,5748	1,5146	1,9753
525,00	2,9146	2,2212	1,3304	1,7584
525,00	2,5652	1,8075	1,1450	1,5687
525,00	2,2190	1,3272	0,9048	1,3637
525,00	1,8304	0,9957	0,6946	1,0902
525,00	1,4493	0,8445	0,5963	0,8898
525,00	1,2027	0,7768	0,5570	0,8044
525,00	1,0940	0,7404	0,5395	0,7681
525,00	1,0454	0,7285	0,5275	0,7453
525,00	1,0269	0,7180	0,5215	0,7343
525,00	1,0164	0,7165	0,5165	0,7232
525,00	1,0149	0,7138	0,5165	0,7188
525,00	1,0089	0,7125	0,5135	0,7123
525,00	1,0089	0,7119	0,5135	0,7113
525,00	1,0059	0,7095	0,5105	0,7043
525,00	1,0079	0,7105	0,5125	0,7043
525,00	1,0022	0,7085	0,5095	0,7013
525,00	1,0049	0,7095	0,5105	0,7023
525,00	1,0019	0,7075	0,5075	0,6983



Muestra	Control	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Temperatura (°C)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)
525,00	1,0039	0,7085	0,5095	0,6993
525,00	1,0019	0,7065	0,5075	0,6963
525,00	1,0019	0,7077	0,5085	0,6973
525,00	0,9999	0,7045	0,5065	0,6943
525,00	1,0019	0,7065	0,5075	0,6953
525,00	0,9979	0,7045	0,5055	0,6953
525,00	1,0009	0,7065	0,5075	0,6943
525,00	0,9989	0,7035	0,5070	0,6949
525,00	1,0009	0,7055	0,5065	0,6933
525,00	0,9993	0,7025	0,5075	0,6943
525,00	1,0008	0,7045	0,5055	0,6923
525,00	1,0019	0,7015	0,5065	0,6943



Calorimetría diferencial de barrido (DSC) de las masas de muffins de zanahoria con diferentes niveles de sustitución de grasa por fibra

Muestra	Control	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Temperatura (°C)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)
29,0	-0,394105000	-0,321816000	-0,618497000	-0,383202316
29,8	-0,398200000	-0,331086000	-0,609549000	-0,380133842
30,7	-0,399508000	-0,335294000	-0,604618000	-0,377065000
31,5	-0,399773000	-0,337122000	-0,601660000	-0,374513597
32,3	-0,399704000	-0,337910000	-0,599962000	-0,372671009
33,2	-0,399528000	-0,338142000	-0,598407000	-0,371933000
34,0	-0,399338000	-0,338187000	-0,597285000	-0,369629000
34,8	-0,399131000	-0,338157000	-0,596383000	-0,368349740
35,7	-0,398908000	-0,338109000	-0,595613000	-0,366771714
36,5	-0,398709000	-0,338050000	-0,595153000	-0,365934879
37,3	-0,398518000	-0,338021000	-0,595046000	-0,365542000
38,2	-0,398380000	-0,337988000	-0,594699000	-0,364878749
39,0	-0,398320000	-0,337987000	-0,594483000	-0,364199195
39,8	-0,398342000	-0,338061000	-0,594416000	-0,363641175
40,7	-0,398375000	-0,338096000	-0,594192000	-0,363070000
41,5	-0,398462000	-0,338167000	-0,594257000	-0,362610155
42,3	-0,398562000	-0,338296000	-0,594540000	-0,362216579
43,2	-0,398732000	-0,338445000	-0,594732000	-0,361697694
44,0	-0,398893000	-0,338608000	-0,594934000	-0,361433000
44,8	-0,399099000	-0,338788000	-0,595065000	-0,361116820
45,7	-0,399316000	-0,338984000	-0,595328000	-0,360717088
46,5	-0,399549000	-0,339243000	-0,595754000	-0,360454352
47,3	-0,399794000	-0,339481000	-0,596198000	-0,360639000
48,2	-0,400103000	-0,339704000	-0,596517000	-0,360481991
49,0	-0,400353000	-0,339981000	-0,596782000	-0,360280347
49,8	-0,400651000	-0,340262000	-0,597112000	-0,360116969
50,7	-0,401029000	-0,340530000	-0,597753000	-0,360155000
51,5	-0,401341000	-0,340818000	-0,598372000	-0,360090375
52,3	-0,401711000	-0,341158000	-0,598883000	-0,359821427
53,2	-0,402118000	-0,341494000	-0,599523000	-0,359587887
54,0	-0,402466000	-0,341868000	-0,599911000	-0,359740000
54,8	-0,402930000	-0,342242000	-0,600378000	-0,359965483
55,7	-0,403484000	-0,342577000	-0,600867000	-0,360228032
56,5	-0,403985000	-0,342951000	-0,601604000	-0,360380461
57,3	-0,404482000	-0,343391000	-0,602481000	-0,360529000
58,2	-0,404987000	-0,343834000	-0,603382000	-0,360598296
59,0	-0,405509000	-0,344281000	-0,603978000	-0,360771129
59,8	-0,406125000	-0,344763000	-0,604589000	-0,360993320
60,7	-0,406733000	-0,345197000	-0,605470000	-0,361029000
61,5	-0,407355000	-0,345660000	-0,606311000	-0,360934666
62,3	-0,407989000	-0,346145000	-0,607035000	-0,361240210
63,2	-0,408725000	-0,346678000	-0,607941000	-0,361907105
64,0	-0,409481000	-0,347250000	-0,608781000	-0,362265000

Muestra	Control	Sustitución al 15%	Sustitución al 25%	Sustitución al 35%
Temperatura (°C)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)	Peso (mg)
64,8	-0,410213000	-0,347842000	-0,609933000	-0,362684377
65,7	-0,411046000	-0,348486000	-0,611123000	-0,363262128
66,5	-0,411894000	-0,349203000	-0,612402000	-0,363744337
67,3	-0,412873000	-0,349993000	-0,613851000	-0,364314000
68,2	-0,413929000	-0,350852000	-0,615255000	-0,364961458
69,0	-0,415132000	-0,351747000	-0,616898000	-0,365838993
69,8	-0,416498000	-0,352671000	-0,618460000	-0,367129088
70,7	-0,418040000	-0,353733000	-0,620526000	-0,367973000
71,5	-0,419869000	-0,354996000	-0,622905000	-0,369209818
72,3	-0,422033000	-0,356481000	-0,625913000	-0,370891721
73,2	-0,424656000	-0,358228000	-0,629397000	-0,372654707
74,0	-0,427681000	-0,360284000	-0,633600000	-0,375089000
74,8	-0,431465000	-0,363880000	-0,638670000	-0,377720229
75,7	-0,435920000	-0,369011000	-0,643835000	-0,381021778
76,5	-0,441363000	-0,373610000	-0,648671000	-0,384517543
77,3	-0,447175000	-0,378735000	-0,652449000	-0,388134000
78,2	-0,452499000	-0,387004000	-0,655270000	-0,391493720
79,0	-0,456267000	-0,392271000	-0,656008000	-0,394017419
79,8	-0,458596000	-0,395645000	-0,655599000	-0,395803978
80,7	-0,462404000	-0,397741000	-0,654111000	-0,396423000
81,5	-0,463816000	-0,398751000	-0,652207000	-0,396700311
82,3	-0,464237000	-0,398618000	-0,650264000	-0,395629836
83,2	-0,463839000	-0,398102000	-0,648558000	-0,394557875
84,0	-0,465016000	-0,397348000	-0,647636000	-0,393181000
84,8	-0,464483000	-0,396622000	-0,646860000	-0,392008525
85,7	-0,463753000	-0,396088000	-0,647172000	-0,391075909
86,5	-0,463005000	-0,396031000	-0,647479000	-0,390403596
87,3	-0,462322000	-0,396419000	-0,648198000	-0,390043000
88,2	-0,461988000	-0,397020000	-0,648980000	-0,389793067
89,0	-0,461883000	-0,397810000	-0,649385000	-0,389469635
89,8	-0,462238000	-0,398657000	-0,649436000	-0,388655499
90,7	-0,461760000	-0,399527000	-0,649720000	-0,387719000
91,5	-0,461745000	-0,400277000	-0,650102000	-0,386531015
92,3	-0,462860000	-0,401087000	-0,650840000	-0,385366037
93,2	-0,465383000	-0,402316000	-0,651858000	-0,384823510
94,0	-0,468619000	-0,404268000	-0,653159000	-0,384177000
94,8	-0,471719000	-0,407006000	-0,654461000	-0,383790081
95,7	-0,475753000	-0,410175000	-0,655996000	-0,383664936
96,5	-0,480658000	-0,414504000	-0,657837000	-0,383539805
97,3	-0,486571000	-0,420327000	-0,659595000	-0,383414675
98,2	-0,492999000	-0,427794000	-0,661407000	-0,383289529
99,0	-0,499614000	-0,441015000	-0,663638000	-0,383164399
99,8	-0,506549000	-0,458976000	-0,665371000	-0,383039268

I. Anexo: Resultados de los análisis microbiológicos de los muffins de zanahoria

F-EC-001		CERTIFICADO DE ANALISIS		 			
REVISION 02							
FECHA DE ACTUALIZACION 01-ENE-2014							
CERTIFICADO DE ANALISIS No. M-16-38368							
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: GARAY LUIS CARLOS NIT/CC: 1016025231-2 DIRECCION: Carrera 88 No 18 - 33 TELEFONO: 7525717 MAIL: lcgarayq@unal.edu.co CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: LUIS CARLOS GARAY CARGO: ADMINISTRATIVO			INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: PLANTA DE PRODUCCION RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: GARAY LUIS CARLOS FECHA DE TOMA DE ITEM: 2016-12-22 HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2016-12-22 HORA: 17:10:00 FECHA DE ANALISIS: 2016-12-23 FECHA DE INFORME: 2016-12-28 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO				
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO							
ITEM DE ENSAYO NO.		IDENTIFICACION		FABRICANTE Y/O PROVEEDOR			
16-38368		MUFFINS 0% DIA 1		GARAY LUIS CARLOS			
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION		CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION
BOLSA ZIPLOC X 206g		1	2016-12-22	N.E	N.E	N.E	22.2°C
OBSERVACIONES							
TABLA DE RESULTADOS							
PARAMETRO		METODO UTILIZADO		RESULTADOS	ESPECIFICACION	CUMPLIMIENTO	
Recuento de Aerobios Mesófilos(UFC/g)		P-LM-049. Revisión 1:2013. Acreditado.		<10	10000 - 30000	Invima	
Número Más Probable de Coliformes Totales/(g)		ISO 4831:2006. Validado		<3	7-11	SI	
Recuento de Mohos (M) y Levaduras (L)(UFC/g)		ISO 21527-1:2008		<10	100 - 200	SI	
Analizado por: C 22 Revisado por: C 26							
INTERPRETACION DE RESULTADO							
"EL ITEM DE ENSAYO CUMPLE CON LOS PARAMETROS EVALUADOS DE LA NORMA: Invima -Galletas y bizcochos-"							
Observaciones -Los resultados son validos unicamente para el item analizado. -Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

F-EC-001		CERTIFICADO DE ANALISIS				 	
REVISION 02							
FECHA DE ACTUALIZACION 01-ENE-2014							
CERTIFICADO DE ANALISIS No. M-16-38369							
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: GARAY LUIS CARLOS NIT/CC: 1016025231-2 DIRECCION: Carrera 88 No 18 - 33 TELEFONO: 7525717 MAIL: logarayq@unal.edu.co CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: LUIS CARLOS GARAY CARGO: ADMINISTRATIVO				INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: PLANTA DE PRODUCCION RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: GARAY LUIS CARLOS FECHA DE TOMA DE ITEM: 2016-12-22 HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2016-12-22 HORA: 17:10:00 FECHA DE ANALISIS: 2016-12-23 FECHA DE INFORME: 2016-12-28 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO			
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO							
ITEM DE ENSAYO NO.		IDENTIFICACION			FABRICANTE Y/O PROVEEDOR		
16-38369		MUFFINS 15% DIA 1			GARAY LUIS CARLOS		
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION		CANT.ENTREG.(UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION
BOLSA ZIPLOC X 206g		1	2016-12-22	N.E	N.E	N.E	22.2°C
OBSERVACIONES							
TABLA DE RESULTADOS							
PARAMETRO	METODO UTILIZADO			RESULTADOS	ESPECIFICACION	CUMPLIMIENTO	
Recuento de Aerobios Mesófilos(UFC/g)	P-LM-049. Revisión 1:2013. Acreditado.			<10	10000 - 30000	SI	
Número Más Probable de Coliformes Totales/(g)	ISO 4831:2006. Validado			<3	7-11	SI	
Recuento de Mohos (M) y Levaduras (L)(UFC/g)	ISO 21527-1:2008			<10	100 - 200	SI	
Analizado por: C 22							
Revisado por: C 26							
INTERPRETACION DE RESULTADO							
"EL ITEM DE ENSAYO CUMPLE CON LOS PARAMETROS EVALUADOS DE LA NORMA: Invima -Galletas y bizcochos-"							
Observaciones							
-Los resultados son validos unicamente para el item analizado.							
-Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

F-EC-001 REVISION 02		CERTIFICADO DE ANALISIS				 	
FECHA DE ACTUALIZACION 01-ENE-2014							
CERTIFICADO DE ANALISIS No. M-16-38370							
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: GARAY LUIS CARLOS NIT/CC: 1016025231-2 DIRECCION: Carrera 88 No 18 - 33 TELEFONO: 7525717 MAIL: lcgarayq@unal.edu.co CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: LUIS CARLOS GARAY CARGO: ADMINISTRATIVO				INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: PLANTA DE PRODUCCION RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: GARAY LUIS CARLOS FECHA DE TOMA DE ITEM: 2016-12-22 HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2016-12-22 HORA: 17:10:00 FECHA DE ANALISIS: 2016-12-23 FECHA DE INFORME: 2016-12-28 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO			
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO							
ITEM DE ENSAYO NO.		IDENTIFICACION			FABRICANTE Y/O PROVEEDOR		
16-38370		MUFFINS 25% DIA 1			GARAY LUIS CARLOS		
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION		CANT.ENTREG.(UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENG	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION
BOLSA ZIPLOC X 206g		1	2016-12-22	N.E	N.E	N.E	22.2°C
OBSERVACIONES							
TABLA DE RESULTADOS							
PARAMETRO		METODO UTILIZADO		RESULTADOS	ESPECIFICACION	CUMPLIMIENTO	
Recuento de Aerobios Mesófilos(UFC/g)		P-LM-049. Revisión 1:2013. Acreditado.		<10	10000 - 30000	SI	
Número Más Probable de Coliformes Totales/(g)		ISO 4831:2006. Validado		<3	7-11	SI	
Recuento de Mohos (M) y Levaduras (L)(UFC/g)		ISO 21527-1:2008		<10	100 - 200	SI	
Analizado por: C 22							
Revisado por: C 26							
INTERPRETACION DE RESULTADO							
"EL ITEM DE ENSAYO CUMPLE CON LOS PARAMETROS EVALUADOS DE LA NORMA: Invima -Galletas y bizcochos-"							
Observaciones							
-Los resultados son validos unicamente para el item analizado.							
-Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

F-EC-001 REVISION 02		CERTIFICADO DE ANALISIS				 	
FECHA DE ACTUALIZACION 01-ENE-2014							
CERTIFICADO DE ANALISIS No. M-16-38371							
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: GARAY LUIS CARLOS NIT/C.C: 1016025231-2 DIRECCION: Carrera 88 No 18 - 33 TELEFONO: 7525717 MAIL: lcgaray@unal.edu.co CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: LUIS CARLOS GARAY CARGO: ADMINISTRATIVO				INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: PLANTA DE PRODUCCION RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: GARAY LUIS CARLOS FECHA DE TOMA DE ITEM: 2016-12-22 HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2016-12-22 HORA: 17:10:00 FECHA DE ANALISIS: 2016-12-23 FECHA DE INFORME: 2016-12-28 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO			
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO							
ITEM DE ENSAYO NO.		IDENTIFICACION			FABRICANTE Y/O PROVEEDOR		
16-38371		MUFFINS 35% DIA 1			GARAY LUIS CARLOS		
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION		CANT.ENTREG.(UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION
BOLSA ZIPLOC X 206g		1	2016-12-22	N.E	N.E	N.E	22.2°C
OBSERVACIONES							
TABLA DE RESULTADOS							
PARAMETRO	METODO UTILIZADO		RESULTADOS	ESPECIFICACION Invima	CUMPLIMIENTO		
Recuento de Aerobios Mesófilos(UFC/g)	P-LM-049. Revisión 1:2013. Acreditado.		<10	10000 - 30000	SI		
Número Más Probable de Coliformes Totales/(g)	ISO 4831:2006. Validado		<3	7-11	SI		
Recuento de Mohos (M) y Levaduras (L)(UFC/g)	ISO 21527-1:2008		<10	100 - 200	SI		
Analizado por: C 22 Revisado por: C 26							
INTERPRETACION DE RESULTADO							
"EL ITEM DE ENSAYO CUMPLE CON LOS PARAMETROS EVALUADOS DE LA NORMA: Invima -Galletas y bizcochos-"							
Observaciones -Los resultados son validos unicamente para el item analizado. -Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

J. Anexo: Divulgación de resultados del trabajo de investigación en eventos internacionales



? mincyt.alimentos@cba.gov.ar

9/9/16 ☆



para mí ▾

Estimado/a colega:

Nos dirigimos a usted para informarle que el trabajo enviado al VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos ha sido evaluado. Por favor, ingrese a su AutoGestión y en el caso que figure como 'REQ.MODIFICACIONES', deberá descargar el Documento y activar Control de Cambios. Guarde al archivo con un nuevo nombre y vuelva a adjuntarlo

Título: Comparación del efecto de la sustitución de grasa por un compuesto de fibra soluble sobre los parámetros de textura instrumental y sensorial en productos de panadería

Calificación: APROBADO

Observación: Estimado Autor, el comité ha aprobado su resumen.

Si su trabajo fue solicitado para presentación ORAL recuerde que la aceptación del mismo NO IMPLICA la selección para la presentación ORAL. Oportunamente recibirá un mail informándole si fue seleccionado.

Además le comunicamos, que si es de su interés, Ud. se encuentra en condiciones de enviar la versión ¿trabajo completo¿ sobre este resumen de para su evaluación a vicicytac.fcogco@gmail.com hasta el 28/10/2016.

Saludos Cordiales.

Cordialmente

Comité organizador

Dear colleague:

We want to inform you that the paper you have submitted to V International Congress of Food Science and Technology had been evaluated. Please log in Self-management to learn about the evaluation result. Whether it says 'Approved with Amendments', you must reform the observations highlighted in red, which must be deleted after the correction.

Title: Comparación del efecto de la sustitución de grasa por un compuesto de fibra soluble sobre los parámetros de textura instrumental y sensorial en productos de panadería

Score: APROBADO

Comments: Estimado Autor, el comité ha aprobado su resumen.

Si su trabajo fue solicitado para presentación ORAL recuerde que la aceptación del mismo NO IMPLICA la selección para la presentación ORAL. Oportunamente recibirá un mail informándole si fue seleccionado.

Además le comunicamos, que si es de su interés, Ud. se encuentra en condiciones de enviar la versión ¿trabajo completo¿ sobre este resumen de para su evaluación a vicicytac.fcogco@gmail.com hasta el 28/10/2016.

Saludos Cordiales.

Sincerely

Organizing Committee



Literatura Citada

1. Organización Mundial de la Salud (OMS). Estadísticas Sanitarias Mundiales 2014. Ginebra: OMS; 2014.
2. Organización Mundial de la Salud (OMS). Dieta, Nutrición y Prevención de Enfermedades Crónicas. Informe de una Consulta Mixta de Expertos OMS/FAO. Ginebra: OMS; 2003. Serie de Informes Técnicos: 916.
3. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Condiciones de salud y sus tendencias. En: Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Salud en las Américas 2012: Volumen regional. No. 636. Washington: OPS; 2012. p. 118-216.
4. Plan Nacional de Salud Pública, Decreto Número 3039 de 2007. (Ministerio de la Protección Social, 10-08-2007).
5. Ministerio de Salud y Protección Social. Indicadores Básicos 2014: Situación de Salud en Colombia. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social; 2015.
6. Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Estrategia Mundial sobre Alimentación Saludable, Actividad Física y Salud (DPAS): Plan de Implementación en América Latina y el Caribe 2006-2007. Washington: OPS; 2006.
7. Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Estrategia Regional y Plan de Acción para Un Enfoque Integrado sobre la Prevención y el Control de las Enfermedades Crónicas. Washington: OPS; 2007.
8. Organización Mundial de la Salud (OMS). Estrategia Mundial sobre Régimen Alimentario, Actividad Física y Salud. Washington: OMS; 2004.
9. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). Recomendaciones de ingesta de macronutrientes y fibra. En: Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). Recomendaciones de ingesta de energía y nutrientes para la población colombiana. Bogotá: ICBF; 2009 (en prensa). p. 100-110.
10. Ministerio de la Protección Social, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Instituto Nacional de Salud, Profamilia, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Instituto Colombiano del Deporte, Organización Internacional para las Migraciones, Programa Mundial de Alimentos, Organización Panamericana de la Salud, Asociación Colombiana de Facultades de Nutrición y Dietética. Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2010. Bogotá: ICBF; 2011.
11. Hasler, C. Functional Foods: Benefits, Concerns and Challenges - A Position Paper from the American Council on Science and Health. *Am J Clin Nutr.* 2002; 132(12): 3772-3781.
12. Martínez-Cervera S, De la Hera E, Sanz T, Gómez M, Salvador A. Effect of Nutriose on Rheological, Textural and Sensorial Characteristics of Spanish Muffins. *Food Bioprocess Technol.* 2013;6(8):1990-1999.

13. Archer B, Johnson S, Devereux H, Baxter A. Effect of fat replacement by inulin or lupin-kernel fibre on sausage patty acceptability, post-meal perceptions of satiety and food intake in men. *Br J Nutr.* 2004;91(4):591-9.
14. Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional (IBUN). Desarrollo de alimentos funcionales empleando un Biopolímero como fuente de fibra soluble. Informe de investigación. Bogotá: IBUN; 2009.
15. Escobar N. Evaluación Del Comportamiento De La Fibra Soluble Como Compuesto Bioactivo, Adicionada En Productos Horneados De Panadería Y Bizcochería. [Tesis de Maestría]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2012.
16. Carabin IG, Lyon MR, Wood S, Pelletier X, Donazzolo Y, Burdock GA. Supplementation of the diet with the functional fiber PolyGlycoplex® is well tolerated by healthy subjects in a clinical trial. *Nutr J.* 2009;8:9-19.
17. Koh L, Jiang B, Kasapis S, Foo CW. Structure, sensory and nutritional aspects of soluble-fibre inclusion in processed food products. *Food Hydrocolloids.* 2011;25(2):159-64.
18. Weickert M, Pfeiffer A. Metabolic Effect of Dietary Fiber Consumption and Prevention of Diabetes. *J Nutr.* 2008;138(3):439-442.
19. Anderson J, Baird P, Davis R, Ferreri S, Knudtson M, Koraym A et al. Health benefits of dietary fiber. *Nutr Rev.* 2009;67(4):188-205.
20. Slavin J, Savarino V, Paredes-Diaz A, Fotopoulos G. A Review of the Role of Soluble Fiber in Health with Specific Reference to Wheat Dextrin. *J IntMed Res.* 2009;37(1):1-17.
21. Kristensen M, Savorani F, Christensen S, Engelsen SB, Bügel S, Toubro S, et al. Flaxseed dietary fibers suppress postprandial lipemia and appetite sensation in young men. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases.* 2013;23(2):136-43.
22. Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry.* 2011;124(2):411-421.
23. Pickering KL, Efendy MGA, Le TM. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.* 2016;83:98-112.
24. Fellows PJ. *Food Processing Technology: Principles and Practice.* Fourth Edition. Cornwall: Woodhead Publishing; 2017. p. 3-200.
25. Jenkins A, Kacinik V, Lyon M, Wolever T. Effect of adding the novel fiber, PGX®, to commonly consumed food on glycemic response, glycemic index and GRIP: a simple and effective strategy for reducing postprandial blood glucose levels – a randomized, controlled trial. *Nutr J.* 2010;9:58-63.
26. Kristensen M, Bügel S. A diet rich in oat bran improves blood lipids and hemostatic factors, and reduces apparent energy digestibility in young healthy volunteers. *Eur J Clin Nutr.* 2011 Sep;65(9):1053-8.
27. De Moraes Crizel T, Jablonski A, de Oliveira Rios A, Rech R, Flôres SH. Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT - Food Science and Technology.* 2013;53(1):9-14.
28. Ktenioudaki A, Gallagher E. Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends in Food Science & Technology.* 2012;28(1):4-14.
29. Resolución Número 333 de 2011 “Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano”. (Ministerio de la Protección Social, 10-02-2011).

30. Sarwar N, Danesh J, Eiriksdottir G, Sigurdsson G, Wareham N, Bingham S, et al. Triglycerides and the Risk of Coronary Heart Disease: 10158 Incident Cases Among 262525 Participants in 29 Western Prospective Studies. *Circulation*. 2007;115(4):450-8.
31. Lasunción M, Gómez-Coronado D. Metabolismo de los triglicéridos plasmáticos y su relación con la arteriosclerosis. En: Sociedad Española de Medicina Interna (SEMI). *Protocolos Hipertrigliceridemias Sociedad Española de Medicina SEMI*. Madrid: Editorial Interna SEMI; 2008. p. 15-44.
32. Ponte C. Redescubriendo los triglicéridos como factor de riesgo cardiovascular. *Avances Cardiol*. 2009;29(4):367-376.
33. Arocha I, Ponte C, Ablan F. Triglicéridos en ayunas y postprandiales, y su contribución al estudio del riesgo cardiometabólico. *Clin Invest Arterioscl*. 2009;21(6):290-7.
34. Sociedad Española de Médicos de Atención Primaria (SEMERGEN). *Atención conjunta al paciente con hipertrigliceridemia*. Madrid: Edicomplet; 2011.
35. Gruendel S, Garcia A, Otto B, Wagner K, Bidlingmaier M, Burget L, et al. Increased acylated plasma ghrelin, but improved lipid profiles 24-h after consumption of carob pulp preparation rich in dietary fibre and polyphenols. *B J Nutr*. 2007;98(6):1170-7.
36. Ulmius M, Johansson A, Önning G. The influence of dietary fibre source and gender on the postprandial glucose and lipid response in healthy subjects. *Eur J Nutr*. 2009;48(7):395-402.
37. Vuksan V, Jenkins A, Rogovik A, Fairgrieve C, Jovanovski E, Leiter L. Viscosity rather than quantity of dietary fiber predicts cholesterol-lowering effect in health individuals. *Brit J Nutr*. 2011;106(9):1349-52.
38. Martínez-Cervera S, Salvador A, Muguerza B, Moulay L, Fiszman SM. Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT - Food Science and Technology*. 2011;44(3):729-36.
39. Rodríguez-García J, Puig A, Salvador A, Hernando I. Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical, and sensory properties. *J Food Sci*. 2012;77(2):C189-97.
40. Cross N. Muffins. In: Hui Y. *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering*. Volume 1. New York: Taylor & Francis; 2006. p. 16-1:16-12.
41. Larrauri J, Rupérez P, Borroto B, Saura-Calixto F. Mango Peels as a New Tropical Fibre: Preparation and Characterization. *LWT - Food Science and Technology*. 1996;29(8):729-733.
42. Escobar N. Desarrollo de la formulación base para productos horneados con adición de un biopolímero. [Tesis de Especialización]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2010.
43. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. *AOAC Method 925.10, Ed 19: Solids (Total) and Moisture in Flour*. AOAC; 2012.
44. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. *AOAC Method 920.87, Ed 19: Protein (Total) in Flour*. AOAC; 2012.
45. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. *AOAC Method 922.06: Fat in Flour*. AOAC; 1998.
46. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. *AOAC Method 923.03, Ed 19: Ash of Flour*. AOAC; 2012.
47. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. *AOAC Method 978.10: Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food*. AOAC; 1996.

48. Tanner JP, Barnett SA. Methods of analysis for infant formula: Food & Drug Administration and Infant Formula Council Collaborative Study, Phase III. *JAOAC*. 1986;69:777.
49. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. AOAC Method 991.42: Insoluble Dietary Fiber in Food and Food Products. AOAC; 1996.
50. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. AOAC Method 993.19: Soluble Dietary Fiber in Food and Food Products. AOAC; 1996.
51. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). Guías Alimentarias Basadas en Alimentos para la población colombiana mayor de 2 años, Documento técnico. Bogotá: ICBF; 2015.
52. World Health Organization (WHO). Waist Circumference and Waist-Hip Ratio: Report of a WHO Expert Consultation. Geneva: WHO; 2008.
53. WHO expert consultation. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lancet*. 2004; 363(9403):157-163.
54. Cuestionario Internacional sobre Actividad Física (IPAQ). Formato Telefónico Corto – Últimos 7 Días Para uso con jóvenes y adultos de mediana edad (15-69 años) Versión Español de Colombia. Washington: IPAQ; 2003.
55. International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). Guidelines for Data Processing and Analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) – Short and Long Forms. Geneva; IPAQ; 2005.
56. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), Universidad Nacional de Colombia. Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (TCAC). Bogotá: ICBF; 2015.
57. Pyler E, Gorton L. *Baking Science & Technology*. Fourth edition. Kansas City: Sosland Publishing Company; 2008. p. 113-555.
58. Borneo R, Aguirre A, León A. Chia (*Salvia hispanica* L) gel can be used as egg or oil replacer in cake formulations. *J Am Diet Assoc*. 2010;110(6):946-9.
59. Min B, Bae IY, Lee HG, Yoo S-H, Lee S. Utilization of pectin-enriched materials from apple pomace as a fat replacer in a model food system. *Bioresource Technology*. 2010;101(14):5414-8.
60. Hemati H, Shariatmadari F, Karimi M. Various Physico-chemical Properties of Dietary Fiber Sources of Poultry Diets. *Intl J Agri Crop Sci*. 2013;6(18):1239-1245.
61. Chung H-J, Lee S-E, Han J-A, Lim S-T. Physical properties of dry-heated octenyl succinylated waxy corn starches and its application in fat-reduced muffin. *Journal of Cereal Science*. 2010;52(3):496-501.
62. Metwal N, Jyotsna R, Jeyarani T, Venkateswara RG. Influence of debittered, defatted fenugreek seed powder and flaxseed powder on the rheological characteristics of dough and quality of cookies. *Int J Food Sci Nutr*. 2011;62(4):336-44.
63. Hasjim J, Li E, Dhital S. Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties. *Carbohydrate Polymers*. 2013;92(1):682– 690.
64. Martínez-Jiménez F, Rodríguez-Sandoval E, Hernández-Gómez MS. Impacto de la adición de carboximetilcelulosa y agua en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*. 2015;18(2):445-454.
65. Laguna L, Varela P, Salvador A, Fiszman S. A new sensory tool to analyse the oral trajectory of biscuits with different fat and fibre contents. *Food Research International*. 2013;51(2):544-53.
66. Al-Sayed HMA, Ahmed AR. Utilization of watermelon rinds and sharlyn melon peels as a natural source of dietary fiber and antioxidants in cake. *Annals of Agricultural Sciences*. 2013;58(1):83-95.

67. Giarnetti M, Paradiso VM, Caponio F, Summo C, Pasqualone A. Fat replacement in shortbread cookies using an emulsion filled gel based on inulin and extra virgin olive oil. *LWT - Food Science and Technology*. 2015;63(1):339-45.
68. Aggarwal D, Sabikhi L, Sathish Kumar MH. Formulation of reduced-calorie biscuits using artificial sweeteners and fat replacer with dairy–multigrain approach. *NFS Journal*. 2016;2:1-7.
69. Ampatzoglou A, Atwal K, Maidens C, Williams C, Ross A, Thielecke F, et al. Increased Whole Grain Consumption Does Not Affect Blood Biochemistry, Body Composition, or Gut Microbiology in Healthy, Low-Habitual Whole Grain Consumers. *J Nutr*. 2015;145(2):215–21.
70. Briganti S, Ermetici F, Malavazos AE, Dozio E, Giubbilini P, Rigolini R, et al. Effect of an isocaloric diet containing fiber-enriched flour on anthropometric and biochemical parameters in healthy non-obese non-diabetic subjects. *J Clin Biochem Nutr*. 2015 Nov;57(3):217-22.
71. Mietus-Snyder M, Shigenaga M, Suh J, Shenvi S, Lal A, McHugh T, et al. A nutrient-dense, high-fiber, fruit-based supplement bar increases HDL cholesterol, particularly large HDL, lowers homocysteine, and raises glutathione in a 2-wk trial. *FASEB J*. 2012;26(8):3515-27.
72. Rezende NV, Benassi MT, Vissotto FZ, Augusto PPC, Grossmann MVE. Mixture design applied for the partial replacement of fat with fibre in sucrose-free chocolates. *LWT - Food Science and Technology*. 2015;62(1, Part 2):598-604.
73. Ross AB, Bruce SJ, Blondel-Lubrano A, Oguey-Araymon S, Beaumont M, Bourgeois A, et al. A whole-grain cereal-rich diet increases plasma betaine, and tends to decrease total and LDL-cholesterol compared with a refined-grain diet in healthy subjects. *Br J Nutr*. 2011 May;105(10):1492-502.
74. Russo F, Riezzo G, Chiloiro M, De Michele G, Chimienti G, Marconi E, et al. Metabolic effects of a diet with inulin-enriched pasta in healthy young volunteers. *Curr Pharm Des*. 2010;16(7):825-31.
75. Stewart M, Nikhanj S, Timm D, Thomas W, Slavin J. Evaluation of the effect of four fibers on laxation, gastrointestinal tolerance and serum markers in healthy humans. *Ann Nutr Metab*. 2010;56(2):91-8.
76. Ravn-Haren G, Dragsted L, Buch-Andersen T, Jensen E, Jensen R, Németh-Balogh M, et al. Intake of whole apples or clear apple juice has contrasting effects on plasma lipids in healthy volunteers. *Eur J Nutr*. 2013;52(8):1875-89.
77. Soni YR. Effect of cyamopsis tetragonoloba (guar) on lipid profile in diabetic and non-diabetic subjects. *Journal of Postgraduate Medical Institute*. 2011;25(3):199-205.
78. Wolever T, Gibbs A, Brand-Miller J, Duncan A, Hart V, Lamarche B, et al. Bioactive oat β -glucan reduces LDL cholesterol in Caucasians and non-Caucasians. *Nutr J*. 2011;10:130-3.
79. Asociación Colombiana de Endocrinología. Consenso Colombiano de Síndrome Metabólico. Bogotá: Prisma Asociados; 2006.
80. International Diabetes Federation (IDF). The IDF consensus worldwide definition of metabolic syndrome. Brussels: IDF; 2005:1-7.
81. World Health Organization (WHO). Global Database on Body Mass Index. Geneva: WHO; 2016.

Bibliografía

- Adebawale A. Food Rheology. Abeokuta: University of Agriculture, Department of Food Science and Technology; 2009.
- Almeida EL, Chang YK, Steel CJ. Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. *LWT - Food Science and Technology*. 2013;50(2):545-53.
- Barrera M. Interpretación de Parámetros e Indicadores de Evaluación Nutricional – Guía para la Determinación de Requerimientos Nutricionales. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2010.
- Bayarri S, Chuliá I, Costell E. Comparing λ -carrageenan and an inulin blend as fat replacers in carboxymethyl cellulose dairy desserts. Rheological and sensory aspects. *Food Hydrocolloids*. 2010;24(6–7):578-87.
- Campagnol PCB, dos Santos BA, Wagner R, Terra NN, Rodrigues Pollonio MA. Amorphous cellulose gel as a fat substitute in fermented sausages. *Meat Science*. 2012;90(1):36-42.
- Choe J-H, Kim H-Y, Lee J-M, Kim Y-J, Kim C-J. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. *Meat Science*. 2013;93(4):849-54.
- Choi Y-S, Choi J-H, Han D-J, Kim H-Y, Lee M-A, Jeong J-Y, et al. Effects of replacing pork back fat with vegetable oils and rice bran fiber on the quality of reduced-fat frankfurters. *Meat Science*. 2010;84(3):557-63.
- Comino P, Collins H, Lahnstein J, Gidley MJ. Effects of diverse food processing conditions on the structure and solubility of wheat, barley and rye endosperm dietary fibre. *Journal of Food Engineering*. 2016;169:228-37.
- Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (HHS), Institutos Nacionales de Salud, Instituto Nacional sobre el Abuso del Alcohol y el Alcoholismo. Ayudando a Pacientes que Beben en Exceso: Guía para Profesionales de la Salud. Washington: HHS; 2005.
- Felisberto MHF, Galvão MTEL, Picone CSF, Cunha RL, Pollonio MAR. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions. *LWT - Food Science and Technology*. 2015;60(1):148-55.
- Foschia M, Peressini D, Sensidoni A, Brennan CS. The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. *Journal of Cereal Science*. 2013;58(2):216-27.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Manual de Instrumentos de Evaluación Dietética (Edición en Español). Guatemala: INCAP MDE; 2006.
- Kendall C, Esfahani A, Jenkins D. The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloid*. 2010;24(1):42-48.
- Ktari N, Smaoui S, Trabelsi I, Nasri M, Ben Salah R. Chemical composition, techno-functional and sensory properties and effects of three dietary fibers on the quality characteristics of Tunisian beef sausage. *Meat Science*. 2014;96(1):521-5.
- Li C, Uppal M. Canadian Diabetes Association National Nutrition Committee Clinical Update on Dietary Fibre in Diabetes: Food Sources to Physiological Effects. *Canadian Journal of Diabetes*. 2010;34(4):355-61.

- Martínez-Cervera S, Salvador A, Sanz T. Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: Rheological, thermal and textural properties. *LWT - Food Science and Technology*. 2015;63(2):1083-90.
- Ministerio de Salud Pública. Guía Nacional para el Abordaje del Tabaquismo Uruguay 2009. Montevideo: Ministerio de Salud Pública; 2009.
- Onakpoya IJ, Heneghan CJ. Effect of the novel functional fibre, polyglycoplex (PGX), on body weight and metabolic parameters: A systematic review of randomized clinical trials. *Clinical Nutrition*. 2015;34(6):1109-14.
- Onyango C, Mutungi C, Unbehend G, Lindhauer M. Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT - Food Science and Technology*. 2001;44(3):681-686.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Alcohol y atención primaria de la salud: informaciones clínicas básicas para la identificación y el manejo de riesgos y problemas. Washington: OPS; 2008.
- Rather SA, Masoodi FA, Akhter R, Gani A, Wani SM, Malik AH. Effects of guar gum as fat replacer on some quality parameters of mutton goshtaba, a traditional Indian meat product. *Small Ruminant Research*. 2016;137:169-176.
- Salvatore E, Pes M, Mazzarello V, Pirisi A. Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. *International Dairy Journal*. 2014;34:1-5.
- Schmiele M, Nucci Mascarenhas MCC, da Silva Barretto AC, Rodrigues Pollonio MA. Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system. *LWT - Food Science and Technology*. 2015;61(1):105-11.
- Selani MM, Shirado GAN, Margiotta GB, Saldaña E, Spada FP, Piedade SMS, et al. Effects of pineapple byproduct and canola oil as fat replacers on physicochemical and sensory qualities of low-fat beef burger. *Meat Science*. 2016;112:69-76.
- Struck S, Gundel L, Zahn S, Rohm H. Fiber enriched reduced sugar muffins made from iso-viscous batters. *LWT - Food Science and Technology*. 2016;65:32-8.
- Van Dam R. Coffee Consumption and Coronary Heart Disease: Paradoxical Effects on Biological Risk Factors versus Disease Incidence. *Clin Chem*. 2008;54(9):1418-1420.
- Van Dam R. Coffee consumption and risk of type 2 diabetes, cardiovascular diseases and cancer. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33(6):1269-1283.
- Van Hekken DL, Park YW, Tunick MH. Effects of reducing fat content on the proteolytic and rheological properties of Cheddar-like caprine milk cheese. *Small Ruminant Research*. 2013;110(1):46-51.
- Weipert D. Rheology: Fundamentals of Rheology and Spectrometry. In: Popper L. *Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement*. Christchurch: AgriMedia; 2006.
- World Health Organization (WHO). 2008-2013 Action Plan for the Global Strategy for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases. Geneva: WHO; 2008.
- World Health Organization (WHO). Global Health Observatory (GHO): Global Information System on Alcohol and Health (GISAH): Patterns of consumption. Geneva: WHO; 2016.
- World Health Organization (WHO). Global status report on noncommunicable diseases 2010. Geneva: WHO; 2011.
- World Health Organization (WHO). Global Status Report on Alcohol 2004. Geneva: WHO; 2004.