

Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACION**

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

**“CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS, SENSORIALES Y  
BIOACTIVAS DEL PAN DE TRIGO SUSTITUIDO PARCIALMENTE  
CON HARINA DE CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca* L.)”**

**MODALIDAD PARA OPTAR EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS**

**AUTOR:**

**FORTUNATO CANDELARIO PONCE ROSAS**

**ASESOR:**

**Dr. ALDO JUAN SANDOVAL RICCI**

**JURADO:**

**DR. HIGINIO EXEQUIEL FLORES VIDAL**

**DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO**

**DR. ABEL WALTER ZAMBRANO CABANILLAS**

**LIMA – PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIA**

*A las personas más importantes de mi vida, mi padre Ruperto y mi madre Lorenza, quienes fueron mi guía, inspiración y motivo constante para mi superación; que con sus enseñanzas y ejemplo me inculcaron valores para realizar mis actividades profesionales con honestidad, perseverancia y responsabilidad.*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme vida, salud, prosperidad y permitir cumplir cada uno de mis propósitos.

A mis hermanos por su apoyo incondicional y estar siempre al tanto de mi crecimiento y desempeño profesional.

A mi asesor Dr. Aldo Juan Sandoval Ricci, por la motivación, orientación y apoyo en el desarrollo de la tesis. Al Dr. Higinio Exequiel Flores Vidal, Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo y Dr. Abel Walter Zambrano Cabanillas, jurados de la tesis, por sus valiosos aportes y consejos.

A los docentes del doctorado en Ciencia de los Alimentos, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias.

A mis colegas del doctorado en Ciencia de los Alimentos, con quienes compartimos experiencias invaluable durante el desarrollo del doctorado.

A la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por brindarme la oportunidad de desarrollarme en la docencia universitaria.

A la Ing. Erika Paucar Calzado, especialista e instructora en panificación por sus orientaciones y apoyo en el desarrollo de las pruebas experimentales.

A los ingenieros y especialistas de los laboratorios de la Facultad de Industrias Alimentarias y Centro de Investigación para el Desarrollo Biotecnológico de la Amazonía (CIDBAM) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; del laboratorio de instrumentación de la EAP de Ingeniería Agroindustrial la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, del laboratorio de análisis de alimentos de la Universidad Nacional del Centro del Perú; por su apoyo con los análisis realizados.

A todas las personas que contribuyeron en la realización de la presente tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. ANTECEDENTES.....	17
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.3. OBJETIVOS.....	27
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	27
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	29
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	30
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	32
2.1. EL PLÁTANO.....	32
2.1.1. El plátano y sus residuos.....	33
2.2. LA CÁSCARA DEL PLÁTANO.....	34
2.2.1. Características de la cáscara del plátano.....	34
2.2.2. Polifenoles en la cáscara del plátano.....	35
2.2.3. Fibra dietaria en la cáscara del plátano.....	35
2.2.4. Capacidad antioxidante de la cáscara del plátano.....	37
2.3. EL PAN.....	37
2.3.1. Fabricación del pan.....	37
2.3.2. Panes funcionales.....	38
2.3.3. Harinas no convencionales.....	39

2.4.	FIBRA DIETARIA.....	39
2.5.	MINERALES EN LOS ALIMENTOS.....	42
2.6.	COMPUESTOS FENÓLICOS.....	44
2.7.	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	46
2.8.	CAROTENOS.....	47
2.9.	ANTOCIANINAS.....	49
2.10.	COLOR EN LOS ALIMENTOS.....	51
2.11.	TEXTURA EN LOS ALIMENTOS.....	52
2.12.	HIPÓTESIS.....	54
	CAPÍTULO III. MÉTODO.....	56
3.1.	TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.3.	ESTRATEGIA DE PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	59
3.4.	VARIABLES.....	60
3.5.	POBLACIÓN.....	61
3.6.	MUESTRA.....	61
3.7.	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	61
3.8.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	69
3.9.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	71
	CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	72
4.1.	Características de la harina de cáscara de plátano.....	72
4.1.1.	Rendimiento en la obtención de la harina de cáscara de plátano.....	72
4.1.2.	Granulometría de la harina de cáscara de plátano.....	73
4.1.3.	Acidez y pH de las harinas de trigo y cáscara de plátano.....	74
4.1.4.	Color de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano.....	75

4.1.5.	Composición proximal de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.....	76
4.1.6.	Contenido de minerales en las harinas de pulpa y cáscara de plátano.....	78
4.1.7.	Características bioactivas y actividad antioxidante de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.....	80
4.2.	Características del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	87
4.2.1.	Características físicas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	88
4.2.2.	Acidez y pH del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	92
4.2.3.	Perfil de textura del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	93
4.2.4.	Color del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	97
4.2.5.	Características sensoriales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	101
4.2.6.	Composición proximal del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	105
4.2.7.	Contenido de minerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	108
4.2.8.	Características bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	111
	CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	119
5.1.	De las características de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.....	119
5.1.1.	Del rendimiento en la obtención de la harina de cáscara de plátano.....	119

5.1.2.	De la granulometría de la harina de cáscara de plátano.....	119
5.1.3.	De la acidez y pH de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.....	120
5.1.4	Del color de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.....	121
5.15.	De la composición proximal de las harinas de pulpa y cáscara de plátano	122
5.1.6.	Del contenido de minerales en las harinas de pulpa y cáscara de plátano	126
5.17.	De las características bioactivas y actividad antioxidante de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.....	128
5.2.	De las características del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	135
5.2.1.	De las características físicas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	135
5.2.2.	De la acidez y pH del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	138
5.2.3.	Del perfil de textura del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	140
5.2.4.	Del color del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	144
5.2.5.	De las características sensoriales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	148
5.2.6.	De la composición proximal del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	149
5.2.7.	Del contenido de minerales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	154
5.2.7.	De las características bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	155

CONCLUSIONES.....	162
RECOMENDACIONES.....	164
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	165
ANEXOS.....	185



## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	VARIABLES EN ESTUDIO.....	31
Tabla 2.	TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.....	57
Tabla 3.	ESCALA HEDÓNICA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL.....	58
Tabla 4.	RENDIMIENTO EN PULPA, CÁSCARA Y HARINA DE CÁSCARA DE PLÁTANO....	72
Tabla 5.	GRANULOMETRÍA DE LA HARINA DE CÁSCARA DE PLÁTANO.....	73
Tabla 6.	ACIDEZ Y pH DE LAS HARINAS DE TRIGO Y CÁSCARA DE PLÁTANO.....	74
Tabla 7.	COLOR DE LAS HARINAS DE TRIGO, PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO.....	75
Tabla 8.	COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS HARINAS DE PULPA (HP) Y CÁSCARA DE PLÁTANO (HCP) (g/100g).....	76
Tabla 9.	CONTENIDO DE MINERALES EN LAS HARINAS DE PULPA (HP) Y CÁSCARA DE PLÁTANO (HCP).....	78
Tabla 10.	CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA INSOLUBLE, SOLUBLE Y TOTAL EN LAS HARINAS DE PULPA (HP) Y CÁSCARA DE PLÁTANO (HCP) (g/100g).....	81
Tabla 11.	POLIFENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN LAS HARINAS DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO.....	82
Tabla 12.	CAROTENOS TOTALES Y ANTOCIANINAS EN LAS HARINAS DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO.....	85
Tabla 13.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PAN DE TRIGO SUSTITUIDO PARCIALMENTE CON HARINA DE CÁSCARA DE PLÁTANO.....	88
Tabla 14.	ACIDEZ Y pH DEL PAN DE TRIGO SUSTITUIDO PARCIALMENTE CON HARINA DE CÁSCARA DE PLÁTANO.....	92
Tabla 15.	CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE TEXTURA DEL PAN DE TRIGO SUSTITUIDO	

	parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	94
Tabla 16.	Color de la corteza del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	98
Tabla 17.	Color de la miga del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	100
Tabla 18.	Características sensoriales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	102
Tabla 19.	Composición proximal del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano (g/100g).....	105
Tabla 20.	Contenido de minerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	109
Tabla 21.	Contenido de fibra dietaria insoluble, soluble y total en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano (g/100g).....	111
Tabla 22.	Polifenoles totales y actividad antioxidante del pan de trigo sustituido con harina de cáscara de plátano.....	113
Tabla 23.	Carotenos totales y antocianinas en el pan de trigo sustituido con harina de cáscara de plátano.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Operaciones para la obtención de la harina de cáscara de plátano	62
Figura 2.	Operaciones para la elaboración de pan con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.....	64
Figura 3.	Composición proximal de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).....	77
Figura 4.	Contenido de macrominerales en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP) en g/100 g.....	79
Figura 5.	Contenido de microminerales en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP) en ppm.....	79
Figura 6.	Contenido de fibra dietaria en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).....	81
Figura 7.	Contenido de polifenoles totales en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).....	83
Figura 8.	Actividad antioxidante en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).....	83
Figura 9.	Carotenos totales y antocianinas en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).....	86
Figura 10.	Características sensoriales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	102
Figura 11.	Composición proximal del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	105
Figura 12.	Contenido de macrominerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	109

Figura 13. Contenido de microminerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	110
Figura 14. Contenido de fibra dietaria en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	112
Figura 15. Contenido de polifenoles totales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	114
Figura 16. Actividad antioxidante del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	115
Figura 17. Contenido de carotenos totales y antocianinas en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.....	117

## **Características fisicoquímicas, sensoriales y bioactivas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.)**

**Fortunato Candelario Ponce Rosas**

### **Resumen**

Se evaluó el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo (HT) con harina de cáscara de plátano (HCP) en las características fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo tradicional. Se elaboró harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) variedad Hartón en estado verde; se analizó sus características fisicoquímicas (finura, acidez, pH, humedad, proteínas, grasa, ceniza, fibra, carbohidratos y minerales), bioactivas (fibra dietaria, polifenoles, carotenos y antocianinas) y actividad antioxidante, y se comparó con la harina de la pulpa de plátano (HP). Luego, se elaboró pan de molde utilizando cuatro porcentajes de sustitución: 95/5, 90/10, 85/15 y 80/20 % HT/HCP, y un control con 100 % HT. En los panes se evaluaron sus características físicas (peso, volumen, volumen específico, densidad, pérdida de peso, altura, color CIE L\*a\* b\* y perfil de textura), fisicoquímicas (acidez, pH, humedad, proteína, grasa, ceniza, fibra, carbohidratos y minerales), sensoriales (color, aroma, suavidad, gomosidad, sabor y aceptabilidad), bioactivas (fibra dietaria, polifenoles, carotenos y antocianinas) y su actividad antioxidante. De acuerdo a los resultados, la HCP tuvo un mayor índice de finura, un color más oscuro, mayor acidez y menor pH, que las HT y HP; pero con valores apropiados para su uso en la panificación, también, presentó un mayor contenido de proteína, grasa, ceniza, fibra y minerales (nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, cobre hierro, zinc y manganeso) en comparación a la HP. En cuanto al contenido de compuestos bioactivos, la HCP presentó mayor contenido de fibra dietaria, polifenoles totales, carotenos totales, antocianinas y actividad antioxidante en comparación con la HP. La sustitución de la HT con 10 % de HCP ocasionó cambios no significativos en las características físicas, sensoriales, colorimétricas y texturales del pan de trigo tradicional; también, incrementó su acidez y redujo el pH, pero dentro del límite establecido por la norma técnica peruana, y mejoró el contenido de grasa, ceniza, fibra y minerales (fósforo, calcio, magnesio, potasio, sodio, cobre hierro, zinc y manganeso). En cuanto al contenido de compuestos bioactivos, incrementó significativamente los contenidos de fibra dietaria insoluble, soluble y total; polifenoles totales, carotenos totales, antocianinas y la actividad antioxidante. En conclusión, la sustitución de la HT por HCP incrementó el contenido de fibra, minerales y compuestos bioactivos del pan de trigo; por tanto la HCP puede ser aprovechada para su aplicación en pan y otros alimentos con propiedades funcionales de gran interés en la sociedad actual.

**Palabras clave:** Plátano, cáscara de plátano, polifenoles, fibra dietaria, carotenos, actividad antioxidante.

**Physicochemical, sensory and bioactive characteristics of wheat bread partially substituted with banana peel meal (*Musa paradisiaca* L.)**

**Fortunato Candelario Ponce Rosas**

**Abstract**

The effect of partial substitution of wheat flour (HT) with plantain peel flour (HCP) on the physicochemical, sensory, bioactive and antioxidant activity characteristics of traditional wheat bread was evaluated. Plantain peel flour (*Musa paradisiaca*) variety Hartón in green state was elaborated; its physicochemical characteristics (fineness, acidity, pH, humidity, proteins, fat, ash, fiber, carbohydrates and minerals), bioactive (dietary fiber, polyphenols, carotenoids and anthocyanins) and antioxidant activity were analyzed and compared with the flour of the plantain pulp (HP). Then, mold bread was made using four substitution percentages: 95/5, 90/10, 85/15 and 80/20 % HT / HCP, and a control with 100 % HT. In the loaves were evaluated their physical characteristics (weight, volume, specific volume, density, weight loss, height, color CIE L\*a\*b\* and texture profile), physicochemical (acidity, pH, humidity, protein, fat, ash, fiber, carbohydrates and minerals), sensory (color, aroma, softness, gumminess, taste and acceptability), bioactive (dietary fiber, polyphenols, carotenoids and anthocyanins) and their antioxidant activity. According to the results, the HCP had a higher fineness index, a darker color, higher acidity and lower pH than HT and HP; but with the appropriate values to use in breadmaking, also, presented a higher content of protein, fat, ash, fiber and minerals (nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, copper iron, zinc and manganese) compared to HP. Regarding the content of bioactive compounds, HCP had higher dietary fiber content, total polyphenols, total carotenoids, anthocyanins and antioxidant activity compared to HP. The substitution of HT with 10 % HCP caused non-significant changes in the physical, sensory, colorimetric and textural characteristics of traditional wheat bread; also, it increased its acidity and reduced the pH, but within the limit established by the Peruvian technical standard, and improved the content of fat, ash, fiber and minerals (phosphorus, calcium, magnesium, potassium, sodium, copper iron, zinc and manganese). Regarding the content of bioactive compounds, significantly increased the contents of insoluble, soluble and total dietary fiber; total polyphenols, total carotenoids, anthocyanins and antioxidant activity. In conclusion, the substitution of HT by HCP increased the content of fiber, minerals and bioactive compounds of wheat bread; Therefore, HCP can be used for its application in bread and other foods with functional properties of great interest in current society.

**Keywords:** Plantain, plantain peel, polyphenols, dietary fiber, carotenes, antioxidant activity.

## INTRODUCCIÓN

En numerosos países en desarrollo, el plátano y banana es considerado un producto básico y de exportación; también es parte fundamental de la dieta en países tropicales y subtropicales. Es un alimento básico que contribuye a la seguridad alimentaria de millones de personas y proporciona ingresos y empleo a las poblaciones rurales (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2014). En el Perú, el plátano y banano (*Musa* sp.) son cultivos que se caracterizan por ser una valiosa fuente alimenticia para el consumidor y un importante factor de seguridad alimentaria para el productor y su familia, especialmente en la selva, además, genera ingresos permanentes para los agricultores, constituyendo una “caja chica” para financiar otras actividades agrícolas (Herrera y Colonia, 2011). En nuestro país, la producción de banano y plátano se ha incrementado, debido a la promoción de la siembra como cultivo alternativo por parte de la Comisión Nacional para el Desarrollo de la Vida sin Drogas (Devida) y por el incremento de la demanda del plátano bellaco (principal variedad cultivada en la selva) para la elaboración de chifles y harina de plátano (diario Gestión, 2015).

El consumo nacional representa en promedio el 97 % de la producción total de banano y plátano en el país, puede ser consumida cruda o utilizarse en infinidad de platos cocinados o postres (MINAGRI, 2014). Como refiere, Soto (2010), el plátano es un alimento muy nutritivo, cuenta con gran cantidad de hidratos de carbono, potasio, además contiene magnesio, ácido fólico, la vitamina C, fósforo, así como una elevada cantidad de fibra. Sin embargo, del plátano solo se consume la pulpa verde o madura, mientras que la cáscara se desecha como desperdicio; según Moreira (2013), el plátano contiene alrededor de 40 % de cáscara que se desecha, estos desperdicios contienen importantes concentraciones de

nutrientes y compuestos bioactivos que pueden ser aprovechados en la alimentación humana; asimismo, Gil, *et al.*, (2011), menciona que, los residuos generados por la industria alimentaria, tienen altos contenidos de vitaminas, minerales, proteínas y fibras, componentes de los alimentos que están siendo valorados por su aporte funcional a los mismos. De igual modo, Pereira y Maraschin (2015), menciona que, el banano es una fruta con propiedades nutricionales y también con usos terapéuticos. Por tanto, la pulpa y la cáscara de banana pueden ser utilizadas como fuentes naturales de antioxidantes, carotenoides, compuestos fenólicos y compuestos de amina, y pueden ser de interés como materias primas ricas en compuestos bioactivos beneficiosos. Sin embargo, la cáscara es un gran desperdicio de la industria de procesamiento del plátano, representa el 40 % de la fruta fresca que normalmente no se aprovecha; según Gil (2011), es necesario contar con diversas opciones para hacer uso de los residuos o desechos generados desde la recolección o los generados en los diferentes procesos industriales.

A esto se suma que, nuestro país padece importantes carencias de harina de trigo, necesaria para la producción de pan y para satisfacer la demanda de la población se necesita importar grandes cantidades de trigo muchas veces a elevados precios; como alternativa de sustitución y suplir en parte la dependencia del trigo importado, se han realizado diversas investigaciones utilizando harinas de productos comestibles como raíces y tubérculos, cuyos costos también son elevados, haciendo no rentable y sobre todo sostenible su aplicación en la elaboración de pan, por lo que es necesario acudir a otros recursos como los residuos y aprovechar sus potencialidades.

En este contexto, resulta importante la caracterización de la harina obtenida a partir de la cáscara de plátano producido en Selva Central y su aplicación en un alimento de consumo habitual como es el pan; con la finalidad de demostrar su factibilidad tecnológica y su



efecto en las características físicas, fisicoquímicas, sensoriales, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.

La presente investigación, está organizado en cinco capítulos. El primero está dedicado a los antecedentes, planteamiento del problema, su formulación, los objetivos, la justificación, alcances y limitaciones, y la definición de las variables. El segundo capítulo, contiene el marco teórico y las hipótesis de investigación. El tercer capítulo está dedicado íntegramente al tratamiento de los aspectos metodológicos. En el cuarto capítulo se presentan y describen los resultados, y en el quinto capítulo se discuten los hallazgos con diversos autores. Finalmente se exponen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. ANTECEDENTES

- Someya, Yoshiki & Okubo (2002), en la investigación “Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*)”, mencionan que, se estudiaron los compuestos antioxidantes de los plátanos comerciales, *Musa Cavendish*. En el banano se ha identificado uno de los antioxidantes “galocatequina”. El galocatequina fue aislado (mediante HPLC) del extracto de cáscara de plátano, que mostró una fuerte actividad antioxidante. La Galocatequina fue más abundante en la cáscara (158 mg / 100 g de peso seco.) que en la pulpa (29,6 mg / 100 g de peso seco). La actividad antioxidante del extracto de cáscara de plátano, en contra de la autooxidación de los lípidos, fue más fuerte que la del extracto de pulpa de plátano. Este resultado fue consistente con el análisis de galocatequina. El mayor contenido de galocatequina explica los mejores efectos antioxidantes. Por tanto, la capacidad antioxidante de los plátanos se puede atribuir a su contenido de galocatequina. Los plátanos deben ser considerados como una buena fuente de antioxidantes naturales para alimentos.
- Englberger, Darnton-Hill, Coyne, Fitzgerald, & Marks (2003), en el artículo “Carotenoid-rich bananas: A potential food source for alleviating vitamin A deficiency”, señalan que los plátanos son un alimento importante para muchas personas en el mundo. Por tanto, los cultivares de banano ricos en carotenoides provitamina A pueden ofrecer una fuente potencial de alimentos para aliviar la deficiencia de vitamina A, particularmente en los países en desarrollo. En Micronesia se han identificado cultivares aceptables de banano rico en carotenoides. Se ha demostrado que los alimentos que contienen altos niveles de carotenoides protegen

contra las enfermedades crónicas, incluidos ciertos cánceres, enfermedades cardiovasculares y diabetes. Se necesita investigación sobre la identificación de cultivares ricos en carotenoides, dirigidos a aquellas áreas del mundo donde el banano es un alimento básico importante; investigar los factores que afectan la producción, el consumo y la aceptabilidad; y determinar el impacto que las bananas ricas en carotenoides pueden tener para mejorar el estado de la vitamina A. Con base en estos resultados, se deben realizar intervenciones para iniciar o aumentar la producción familiar y comercial.

- González, Lobo & González (2010), en la investigación “Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds”, mencionan que, los extractos de cáscara de plátano (*Musa acuminata* Colla AAA) tienen una gran capacidad para secuestrar los radicales libres 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH<sup>•</sup>) y ácido 2,20-azino-bis (3-etilbenzotiazolina) – 6 - sulfónico (ABTS<sup>+</sup>), y también fueron buenos inhibidores de la peroxidación de lípidos. La cáscara de plátano contenía grandes cantidades de dopamina y L-dopa, catecolaminas con una actividad antioxidante significativa. Sin embargo, no se detectaron ácido ascórbico, tocoferoles o fitoesteroles en los diferentes extractos. La actividad antioxidante de los extractos de la cáscara del plátano de diferentes cultivares fueron similares. Sin embargo, el impacto del tiempo de extracción o de la temperatura debe ser estudiado con mayor profundidad.
- Nasution, Lim & Wan (2012), en la investigación “Banana peel flour: an alternative ingredient for wholemeal bread”, reportan que, el objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la sustitución de la harina integral de trigo (WMF) por la harina de cáscara de banano (BPF) en varias propiedades del pan integral (WMB). Después de una serie de experimentos que determinaron el nivel máximo de

sustitución de WMF con BPF en WMB, se llevó a cabo un estudio comparativo sobre la muestra WMB de control y otra muestra con sustitución del 7 % de su WMF con BPF. Ambos se analizaron por su microestructura, fibra dietética total, actividad antioxidante y vida útil microbiológica. La muestra con un 7 % de BPF resultó significativo ( $p < 0,05$ ) para tamaño de poro menor ( $388,44 \pm 37,21 \mu\text{m}$ ) en comparación con la muestra de control ( $717,76 \pm 65,68 \mu\text{m}$ ), lo que dió como resultado una estructura más densa. El contenido total de fibra dietética de la muestra con un 7 % de BPF fue mayor (14,4 %) que la muestra de control (11,3 %). También se encontró que contenía un mayor contenido fenólico total ( $36,06 \pm 1,90 \text{ mg GAE/g}$ ), casi el doble del valor encontrado en la muestra de control ( $19,16 \pm 1,59 \text{ mg GAE/g}$ ). El aumento del contenido de fenoles totales en la muestra con 7 % de WMB le había causado mayor porcentaje de inhibición de la peroxidación lipídica ( $16,55 \pm 5,40 \%$ ) que la de la muestra testigo ( $6,99 \pm 2,80 \%$ ) después de siete días de almacenamiento. Este estudio muestra que las cáscaras de plátano tienen potencial para ser añadido a los productos alimenticios saludables como WMB. Un mayor estudio en la mejora de la vida útil del producto, así como sus características físicas sería de altos beneficios.

- Lee, Noor Aziah & Baharin (2013), en la investigación “Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata* x *balbisiana* cv. Awak) pseudo-stem flour”, reporta que, se examinaron las propiedades físico-químicas y sensoriales del control (BCtr), con harina de trigo comercial (CWF) y pan sustituidos con 10 % BPF (harina de seudotallo de banana) (B10BPF) con adición de 0,8 % w/w (en base al peso de la harina) de goma de xantano (XG) o carboximetilcelulosa de sodio (CMC) (B10BPFXG y B10BPF CMC, respectivamente). Los análisis revelaron que el pan compuesto tuvo

significativamente mayor humedad, cenizas, fibra cruda, el contenido de fibra dietética soluble, insoluble y total, pero menor contenido de proteínas, grasas y carbohidratos que la BCtr. El Pan incorporado con BPF resultó en un menor volumen, miga más oscura y más ligero que el color de la corteza del BCtr. La adición de CMC mejoró el volumen del pan. Todos los panes que contienen BPF tenían mayor contenido de fenoles totales y propiedades antioxidantes que el pan control. La evaluación sensorial indicó que el pan B10BPFCMC tuvo mayor aceptabilidad.

- Gomes, Mota, Becker, Teixeira, Castillo & Hermosín (2014), en la investigación “Flour of banana (*Musa AAA*) peel as a source of antioxidant phenolic compounds”, mencionan que, la cáscara de plátano es un subproducto subutilizado que puede ser procesado para obtener harina que es más fácil de almacenar para otros usos. Los extractos de harina de cáscara de plátano exhibieron un alto contenido fenólico total (alrededor de 29 mg/g, como GAE) debido a la presencia de cantidades importantes de fenoles de flavonoides: prodelphinidinas altamente polimerizadas (alrededor de 3952 mg/kg), seguido por la disminución de contenidos bajos de Flavonol glucósidos (principalmente 3-rutinosides y estructuras predominantemente a base de quercetina, que representan alrededor de 129 mg/kg), dímeros de procianidina de tipo B y flavan-3-ol monoméricos (conjuntamente alrededor de 126 mg/kg). El alto contenido fenólico total de extractos de harina de cáscara de plátano es probablemente responsable de la muy alta actividad antioxidante ( $\mu\text{M} / \text{g}$ , como equivalentes de Trolox) medida por tres métodos diferentes: FRAP, alrededor de 14  $\mu\text{M} / \text{g}$ ; ABTS, alrededor de 242  $\mu\text{M} / \text{g}$ ; y ORAC, alrededor de 436  $\mu\text{M} / \text{g}$ . Todos estos resultados sugieren el interés de profundizar en el buen uso de la cáscara del banano como fuente rentable de compuestos fenólicos bioactivos.

- Blasco y Gómez (2014), en el artículo “Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp*)”; refiere que, algunas frutas como los plátanos ofrecen grandes beneficios médicos, debido a que ayudan al cuerpo a retener algunos componentes como el calcio, nitrógeno y fósforo; sirven como alimento para los diabéticos, poseen propiedades astringentes, antifúngicas y antibióticas. El plátano asimismo es una excelente fuente de potasio, vitaminas y almidón, es uno de los cultivos más comunes en todos los países con clima tropical; sin embargo de toda la platanera, el fruto del plátano es el único consumido por el ser humano y específicamente la pulpa, lo cual genera grandes cantidades de desperdicios orgánicos provenientes de las partes de la platanera que no son utilizadas, lo que contribuye a generar problemas ambientales y microbiológicos debidos a la cantidad de humedad y nutrientes presentes en las mismas, siendo la cáscara de plátano la cual posee constituyentes importantes utilizados en el enriquecimiento de otros productos alimenticios. Estudios recientes han comprobado que la cáscara de plátano posee compuestos antioxidantes que actúan en contra de enfermedades del corazón así como algunos tipos de cáncer.
- Fernandes, Chamhum, Lopes de Siqueira, Roberto, e Rocha (2014), en la investigación “Teores de minerais em polpas e cascas de frutos de cultivares de bananeira”, cuyo objetivo fue determinar el porcentaje de materia seca, el contenido de minerales y la capacidad de suministro de minerales, con base en la ingestión dietética de referencia en la pulpa y en la corteza de frutos verdes y maduros de 15 cultivares de plátano. Se utilizaron cuatro racimos por cultivar y seis frutos por unidad de muestreo. Se recogieron muestras frescas de la pulpa y de la cáscara, para digestión sulfúrica (0,2 g) y nitroperclóricas (0,5 g). Se determinaron: en el extracto sulfúrico, el N total por el método Kjeldahl; y en el extracto nitroperclórico, P, K,

Ca, Mg, Cu, Mn, Fe, Zn y Se. El P fue determinado por colorimetría, y los demás nutrientes, por espectrofotometría de absorción atómica. El contenido de minerales en la pulpa y la cáscara se expresó sobre la base de la media de los dos estadios. Hay diferencias entre cultivares de bananero en cuanto a la concentración de macro y micronutrientes en la pulpa y en la cáscara, pero no entre frutos verdes y maduros. Para N, P, Fe, Zn y Cu, la cáscara presentó dos veces el contenido de la pulpa. El contenido de K y Mn en la cáscara fue de aproximadamente cuatro veces el de la pulpa. La pulpa de la cultivar Caipira (AAA) y la cáscara de los cultivares Plata y Pacovan (AAB) presentan los mayores contenidos de minerales.

- Valérie *et al.*, (2015), en la investigación “Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa sp.*)”, investigaron los perfiles fenólicos de la pulpa y la cáscara de nueve cultivares de plátano y también comparó dos bananos de postre de interés comercial (Gran Enano y Gros Michel), junto con un híbrido de nueva creación, resistentes a la Sigatoka negro (F568). Los glucósidos flavonoles fueron predominantes en las cáscaras de plátano (242,2 a 618,7 g/g de peso seco) siendo el más abundante. Un análisis de componentes principales sobre el conjunto de datos reveló que los perfiles fenólicos del híbrido, de los bananos de postre y los plátanos puros diferían el uno del otro. Las pulpas de plátano y cáscaras aparecieron como una buena fuente de compuestos fenólicos, que podrían estar involucrados en los beneficios para la salud asociados con sus aplicaciones actuales.
- Pereira y Maraschin (2015), en el artículo “Banana (*Musa spp*) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health”, mencionan que, el banano es una fruta con propiedades nutricionales y también con usos terapéuticos aclamados, cultivadas ampliamente en los trópicos como fuente de alimentos e ingresos para las personas. La cáscara del plátano es

conocido por su uso local y tradicional para promover la cicatrización de heridas principalmente de quemaduras y para ayudar a superar o prevenir un número sustancial de enfermedades, como la depresión. Por tanto, la pulpa y la cáscara de Banana se pueden utilizar como fuentes naturales de antioxidantes y pro-vitamina A debido a su contenido en carotenoides, compuestos fenólicos y compuestos de amina. Para el desarrollo de una fitomedicina o incluso una medicina alopática, por ejemplo, la pulpa del plátano y la cáscara pueden ser de interés como materias primas ricas en compuestos bioactivos beneficiosos.

- Agama *et al.*, (2016), en la investigación “Potencial de la harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) como fuente de fibra dietética y compuestos antioxidantes”, mencionan que; la cáscara de plátano verde se obtiene cuando la pulpa se utiliza en un proceso posterior tal como el aislamiento del almidón o la producción de harina. Se determinó la composición química, las fracciones y composición de la fibra dietética, la cantidad de polifenoles y su capacidad antioxidante, así como las propiedades funcionales de la harina de cáscara de plátano (HCP). El principal componente de la fibra dietética fue la fracción insoluble con mayor contenido de celulosa que hemicelulosa y lignina. Se encontró una cantidad baja de polifenoles extraíbles, pero mostraron alta capacidad antioxidante. La capacidad de retención de agua y aceite incrementaron cuando la temperatura del experimento incrementó. La HCP con mayor contenido de fibra dietética, alta capacidad antioxidante y características funcionales, podría ser utilizada como ingrediente funcional para la elaboración de alimentos.
- García, Castaño, y Osorio (2016), en la investigación “Caracterización fisicoquímica de cáscaras de mango (*Mangifera indica* L.), piña (*Ananas comosus*) y banano (*Musa paradisiaca*) como material de partida para alimentos biofuncionales”; afirman que,



la deshidratación de frutas tropicales produce una cantidad significativa de desechos orgánicos con potencial impacto ambiental. Con el objeto de aprovechar los desechos producidos a partir de la deshidratación de mango, pina y banano (cáscaras deshidratadas) para el desarrollo de productos con valor agregado para la industria alimenticia, se realizó la caracterización fisicoquímica determinando su pH, °Brix, contenido de materia seca, contenido de fibra dietaria total, contenido de cenizas y minerales (K, Na, Mg, Ca, P, Zn, Cu, Co, Fe y Mn). También se determinó su digestibilidad *in vitro* y el contenido de carotenoides totales. La cáscara de mango fue la materia prima más promisoría para el desarrollo de productos biofuncionales por su contenido de fibra dietaria, hierro, calcio y carotenoides totales. La cáscara de banano presentó mayor contenido de fibra dietaria total, zinc y potasio, y la cáscara de pina, exhibió un mayor porcentaje de digestibilidad y contenido de manganeso.

- Catalán (2016), en la tesis “Extracción y caracterización de  $\beta$ -caroteno obtenido de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca* L.) evaluando el rendimiento de tres diferentes solventes de distinta polaridad para su utilización como colorante natural, a escala de laboratorio”; evaluó el rendimiento de tres diferentes solventes de distinta polaridad, realizado por medio de una extracción sólido líquido mediante la técnica Soxhlet. Se ha determinado el porcentaje de rendimiento del extracto para cada solvente y su posterior caracterización por espectrofotometría UV, se obtuvieron los datos de cantidad en concentración de ppm de  $\beta$ -caroteno en cada muestra, obteniendo como resultado que el mayor rendimiento del extracto de la cáscara de banano se obtuvo con el solvente agua con un resultado de 7,39 %, determinándose que el rendimiento es directamente proporcional a la polaridad del solvente y la mayor concentración de  $\beta$ -caroteno obtenido fue con etanol, con un resultado de 0,9124 ppm, estableciendo

que la concentración de  $\beta$ -caroteno de la cáscara de banano es inversamente proporcional a la polaridad del solvente.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El plátano pertenece a la familia de las *Musáceas*, son nativas del sudeste asiático, y comprende dos especies: *Musa Cavendish* (Bananos) y *Musa paradisiaca* (plátanos) (Mazzeo, León, Mejía y Botero, 2010). Cuando se cosecha los racimos, solo se utiliza del 20 al 30 % de su biomasa, quedando de un 70 a 80 % por utilizar, lo que ha generado una de las principales problemáticas ambientales, puesto que en la mayoría de los casos son incinerados o vertidos a los causes receptores sin tratamiento previo, contribuyendo a la degradación del ecosistema; aunque, algunos productores aprovechan los residuos en las plantaciones en forma de abono y alimentación animal (Vidal *et al.*, 2001).

En Selva Central en los últimos años, debido al incremento del turismo y al apoyo financiero se ha incrementado la producción y el consumo del plátano procesado en diferentes presentaciones principalmente frito (snacks) y en harinas, generando como subproductos abundante cantidad de cáscara que no está siendo utilizado adecuadamente y menos en la alimentación humana.

La cáscara es considerado como un producto de desecho agroindustrial y es utilizado generalmente para la alimentación animal y en la preparación de abonos. Sin embargo, este subproducto posee mayores contenidos de fibra y minerales que la pulpa misma; además, presenta alto contenido de almidón en estado verde y de azúcares en estado amarillo, estas condiciones determinan la posibilidad de que pueda ser procesado como harina para la elaboración de productos comestibles para

el hombre, además poseen alto contenido de compuestos fenólicos con capacidad antioxidante, beneficiosos para la salud de las personas.

A la fecha existen investigaciones que muestran la composición y propiedades de la cáscara del plátano y proponen su uso en alimentos de consumo humano (Colmenares, 2009; González *et al.*, 2010; Blasco y Gómez, 2014; Agama *et al.*, 2016; Valérie *et al.*, 2015 y Pereira y Maraschin, 2015), sin embargo, no existe investigaciones que demuestren la aplicación de la harina de cáscara de plátano en la elaboración de pan de molde como sustituto de la harina de trigo, así como su efecto sus características físicas, fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas y actividad antioxidante, que demuestren sus propiedades benéficas frente al pan tradicional de harina de trigo, motivo por el cual, se plantea el siguiente problema.

### **Problema general**

¿Cuál será el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano en las características fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo tradicional?

### **Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles serán las características fisicoquímicas, el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en la harina de cáscara y pulpa de plátano?
- b) ¿Cuál será el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de trigo tradicional?

- c) ¿Cuál será el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano en las características bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo tradicional?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo general**

Determinar el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano en las características fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo tradicional.

#### **Objetivos específicos**

- a) Evaluar y comparar las características fisicoquímicas, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de la harina de cáscara de plátano con la harina de pulpa de plátano.
- b) Establecer el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de trigo tradicional.
- c) Determinar el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano en las características bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo tradicional.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En la producción mundial de plátano, el Perú se encuentra dentro de los 10 primeros países con mayor producción, destacándose como el segundo entre los países

latinoamericanos; asimismo, en el Perú, el cultivo de plátano y banano se caracteriza por ser un producto agrícola de gran expansión en la región Selva (Cárdenas, 2009).

El fruto del plátano contiene 60 % de pulpa y 40 % de cáscara; es decir, de 18,14 kg de plátano se desperdician 7,25 kg (Moreira, 2013). Estos residuos poseen compuestos nutricionales y bioactivos que deben ser aprovechados en la alimentación humana, mediante alternativas viables de procesamiento y aplicables en la elaboración de alimentos de consumo humano habitual, que garantice la sostenibilidad de la misma, sustentada mediante resultados de experimentos prácticos, que demuestren los componentes benéficos que tendrá al aplicarlos en alimentos de consumo tradicional como es el pan.

Los resultados de la investigación estarán al alcance de la población dedicada a la industria de la panificación y a los consumidores, ya que para su aplicación no requerirá de equipos o materiales diferentes a los utilizados en cualquier industria panificadora y los panes elaborados con harina de cáscara de plátano tendrán características físicas y sensoriales muy similares a los panes tradicionales. Además, el uso del plátano en forma integral en la panificación abrirá un nuevo mercado para los productores de plátano el cual se traducirá en una mayor competitividad y por ende en una mejora de los precios que incentivará a incrementar la producción los que a su vez les permitirá obtener mayores ingresos y generar nuevos puestos de trabajo.

También, la elaboración de pan mediante sustitución parcial de la harina de trigo por la harina de cáscara de plátano, demandará la misma metodología utilizada en la elaboración de pan tradicional, el cual facilitará su aplicación en cualquier industria panificadora pequeña, mediana o grande; artesanal o tecnificada. Además, el uso de un subproducto agroindustrial sin valor comercial, como la cáscara de plátano, en la

elaboración de harinas y panes, alimentos de consumo habitual, tendrán un impacto en los ingresos económicos de la población dedicada a la producción de plátanos y al procesamiento de sus derivados como la harina y snacks.

Por otro lado, el Perú es un país cuya demanda de harinas para panificación y otros usos, es altamente dependiente de la importación del trigo. Según la Sociedad Nacional de Industrias el cultivo del cereal no logra cubrir la demanda interna, razón por la cual el 90 % del cereal es importado de Canadá, EE.UU., Rusia, Argentina y Paraguay (Gestión, 2014). La importación de trigo en junio del 2015 alcanzó los U\$ 179 millones a un precio promedio de U\$ 0.296 el kilo; de Canadá se importó U\$ 127 millones (71 % del total) y de USA U\$ 45.6 millones (25 %) (Agrodata, 2015). Este hecho pone de manifiesto la necesidad de buscar alternativas viables y sostenibles que ayuden a sustituir en parte esta dependencia, con productos alternativos, especialmente con productos que antes no fueron tomados en cuenta para la alimentación humana como son los residuos o subproductos de la agroindustria, como la cáscara de los plátanos.

## **1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES**

En Selva Central el plátano es uno de los productos agrícolas de gran importancia económica después del café, los cítricos y la piña, cuya cadena productiva genera ingresos económicos en forma directa e indirecta a un importante sector de la población de esta zona.

Asimismo, en Selva Central el volumen de producción de plátanos se ha incrementado en los últimos años, del mismo modo se ha incrementado la producción de snacks y harinas; cuyas actividades generan importantes cantidades de cáscara, la misma que es desechada como desperdicio. Estos residuos (cáscara de

plátano) pueden ser utilizados como materia prima para la producción de harinas, para su posterior aplicación en la panificación, esta nueva actividad creará ingresos económicos adicionales para los productores y procesadores de plátanos de la región. El uso de la cáscara de plátano en la elaboración de harinas y su aplicación en la panificación permite demostrar la factibilidad de incluir este subproducto en la alimentación humana, con un mínimo efecto en las características físicas, sensoriales y nutritivo del pan; más aún, la inclusión de este nuevo producto contribuirá a mejorar el contenido de minerales, fibra dietaria, compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, condiciones que contribuirá a mantener una mejor salud de los consumidores.

En la investigación se utilizó plátano variedad harthon, más conocido en la zona como “bellaco”, en estado de madurez fisiológica y de color verde. La investigación se realizó en tres etapas, primero se obtuvo la harina, luego se elaboró los panes con los respectivos tratamientos en estudio, y finalmente se realizaron los análisis físicos, fisicoquímicos, compuestos bioactivos y la actividad antioxidante. Los resultados que se presentan en la investigación se limitan a los métodos y técnicas utilizadas y a las condiciones de estudio descritos para cada etapa de la investigación.

## **1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

En la investigación, se caracterizó la harina de cáscara de plátano y se evaluó el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo (HT) por harina de cáscara de plátano (HCP) (causa) en las características físicas, fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas y la actividad antioxidante del pan (efecto); esta relación causa - efecto que fueron medidas en la investigación, se describen en la tabla 1.

Tabla 1

*Variables en estudio*

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Variable independiente</b> Sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano	Porcentajes de harina de trigo (HT)/ harina de cáscara de plátano (HCP): 100/0, 95/5, 90/10, 85/15 y 80/20.
<b>Variable dependiente</b> Características fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas y capacidad antioxidante.	<p><b>Características físicas del pan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen (cm<sup>3</sup>)</li> <li>- Volumen específico (cm<sup>3</sup>/g)</li> <li>- Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</li> <li>- Pérdida de peso (g)</li> <li>- Altura del pan (cm)</li> <li>- Colorimetría</li> <li>- Perfil de textura</li> </ul> <p><b>Características fisicoquímicas del pan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Humedad (g/100g)</li> <li>- Proteína (g/100g)</li> <li>- Grasa (g/100g)</li> <li>- Fibra (g/100g)</li> <li>- Ceniza (g/100g)</li> <li>- Carbohidratos (g/100g)</li> <li>- pH</li> <li>- Acidez titulable (% ác. Sulfúrico)</li> <li>- Minerales: N, P, Ca, Mg, K, Na (g/100g) y Cu, Fe, Zn y Mn (ppm)</li> </ul> <p><b>Características sensoriales del pan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Color, aroma, sabor, suavidad, gomosidad y aceptabilidad (Escala hedónica de 7 puntos)</li> </ul> <p><b>Compuestos bioactivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fibra dietaria insoluble (g/100g)</li> <li>- Fibra dietaria soluble (g/100g)</li> <li>- Fibra dietaria total (g/100g)</li> <li>- Polifenoles totales (mg GAE/g)</li> <li>- Capacidad antioxidante IC<sub>50</sub> (µg/ml)</li> <li>- Carotenos totales (mg/100g)</li> <li>- Antocianinas (mg/100g)</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. EL PLATANO

Las musáceas (plátanos y bananos), *Musa spp.*, son frutas tropicales que suelen cultivarse con fines comerciales o de autoconsumo humano en muchas partes del mundo (Hernández, et al., 2009).

El plátano es una planta herbácea, perteneciente a las familias de las Musáceas, que constan de un tallo subterráneo (Cormo o Rizoma) del cual brota un Pseudotallo aéreo; el Cormo emite raíces y yemas laterales que formaran los hijos o retoños. Morfológicamente, el desarrollo de una planta de plátano comprende tres fases: Vegetativa, tiene una duración de seis meses y es donde en su inicio ocurre la formación de las raíces principales y secundarias, desarrollo de pseudotallo e hijos. Fase floral, tiene una duración aproximada de tres meses a partir de los seis meses de la fase vegetativa, el tallo floral se eleva del corno a través del pseudotallo y es visible hasta el momento de la aparición de la inflorescencia. Fase de fructificación, tiene una duración aproximada de tres meses y ocurre después de la fase floral, en esta fase se diferencia las flores masculinas y las flores femeninas (dedos) y hay una disminución gradual del área foliar y finaliza con la cosecha, el tiempo desde el inicio de la floración a la cosecha del racimo es de 81 a 90 días (Dirección Regional de Agricultura de San Martín [DRASAM], 2016).

### **2.1.1. El plátano y sus residuos**

Después de la cosecha y poscosecha quedan subproductos como la cáscara, el raquis, las hojas y el pseudotallo que contienen elementos nutritivos importantes, tales como proteínas, carbohidratos, fibra y vitaminas, que podrían ser utilizados en la alimentación humana y que generalmente son desechados ya sea en la misma plantación o en las plazas de mercado donde se comercializa. El impacto ambiental generado es alto, ya que dichos residuos contaminan las fuentes de agua, sirven como hospedero de plagas que causan enfermedad a la misma planta, generan reducción de espacios y un problema de higiene por la acumulación de basuras en las plazas de mercado (Botero y Mazzeo, 2009).

La pulpa del plátano es utilizada principalmente en la industria de alimentos, para la elaboración de harinas, patacón pre-frito congelado y frituras. El residuo principal de estos procesos industriales es la cáscara de plátano hartón, la cual, termina como alimento de bovinos y el resto sólo se desecha y descompone al aire libre (Cabarcas, Guerra y Henao, 2012).

La harina del raquis de plátano ‘Dominico-Hartón’, proporciona el doble de energía, casi cuatro veces más proteína, nueve veces más fibra y el doble en cenizas en una dieta humana, en comparación con la harina de pulpa de plátano, constituyéndose en una alternativa alimenticia (Carvajal, Sánchez, Giraldo y Arcilla, 2002).

Las empresas procesadoras de plátano, generan grandes cantidades de residuos (cáscaras), que se convierten en un problema sanitario que propicia la proliferación de insectos, hongos, bacterias y olores por descomposición,

pero que a su vez, son usados como alimento para bovinos por su alto contenido en fibras y energía (Cabarcas *et al.*, 2012).

## **2.2. LA CASCARA DEL PLÁTANO**

La cáscara es el principal subproducto de la industria de procesamiento del plátano que representa aproximadamente el 30 % de la fruta. Este subproducto constituye un problema ambiental porque contiene grandes cantidades de nitrógeno y fósforo y su alto contenido de agua lo hace susceptible a modificaciones por microorganismos. Las frutas de plátano se consumen en diferentes etapas de madurez y se espera que la cantidad de cáscaras aumente con el desarrollo de las industrias de procesamiento que utilizan el plátano verde y maduro (Arun *et al.*, 2015).

### **2.2.1. Características de la cáscara del plátano**

Las aplicaciones potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química (González *et al.*, 2010). La cáscara de plátano es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y potasio; entre los esfuerzos para utilizar la cáscara se han obtenido proteínas, metanol, etanol, pectinas y enzimas. Estudios recientes han comprobado que la cáscara de plátano posee compuestos antioxidantes que actúan en contra de enfermedades del corazón así como algunos tipos de cáncer (Blasco y Gómez, 2014).

La harina de cáscara presenta mayor contenido de proteína cruda y de fibra en comparación con la harina de pulpa de plátano (Colmenares, 2009).

### 2.2.2. Polifenoles en la cáscara del plátano

La cáscara de plátano es reportada en la literatura como un subproducto que posee un alto contenido de moléculas con capacidad antioxidante las cuales corresponden principalmente a polifenoles según los estudios de Someya *et al.*, (2002) y González *et al.*, (2010) quienes reportan que la cáscara de los frutos del genero *Musa* posee 907 mg equivalentes a ácido gálico/100 g de cáscara fresca y entre 110 y 2800 mg equivalentes a ácido gálico/100 g de cáscara seca respectivamente (dependiendo del solvente usado para la extracción de los polifenoles al que se someta la cáscara del fruto).

En otro estudio Veliz (2016), reporta los siguientes contenidos de compuestos fenólicos en el liofilizado de extracto de la cáscara de: *Musa acuminata* Colla “plátano morado” de 19,9 mg EAG/g y el de *Musa paradisiaca* L “plátano Gros Michel” 41,69 mg EAG/g.

### 2.2.3. Fibra dietaria en la cáscara del plátano

Uno de los componentes de importancia encontrados en las cáscaras de plátanos y bananos, es la fibra dietaria, que según los datos reportados por Emaga, Andrianaivo, Wathelet, Tchango & Paquot, (2007), puede oscilar entre 32,9 % y 49,7 % en base seca dependiendo del estado de maduración (el cual se toma en cuenta dependiendo de la coloración de la cáscara que va de verde en su estado inmaduro a amarillo en su estado óptimo de maduración para consumo) y de la variedad de plátano.

La cáscara de plátano tiene un alto contenido de fibra dietética (50 g/100g) por lo que es una buena fuente de este compuesto, se ha determinado que la maduración del plátano muestra un impacto positivo en la composición de

fibra de la cáscara, compuesta principalmente de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina (Emaga, Andrianaivo, Wathelet, Tchango & Paquot, (2007), Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que las dietas con una ingesta disminuida de fibra están relacionadas con la aparición de ciertas patologías como el cáncer de colon y la aterosclerosis; la fibra dietética ha cobrado interés en los últimos años debido a los efectos benéficos que presenta para la salud ya que ayuda a la reducción del colesterol en la sangre y desarrollo de la flora intestinal, mejora el control de la glucemia y la sensibilidad a la insulina en los individuos diabéticos, facilitando la pérdida de peso (García, Bretón, De la Cuerda & Cambor, 2002). Por lo que actualmente, es uno de los principales ingredientes en alimentos funcionales y se está incorporando progresivamente a todo tipo de alimentos y bebidas (Juárez, Agama, Sáyago, Rodríguez & Bello, 2006 y Fingolo, Braga & Vieirwa, 2012).

La fuente de fibra obtenida a partir de cáscara de plátano es un recurso que tiene un alto potencial para su utilización en matrices alimenticias procesadas tipo cárnicas ya que los datos obtenidos de la caracterización mostraron que posee altos valores de capacidad antioxidante y fenoles totales los cuales generan protección de la fracción proteica del producto. La adición de la fuente de fibra dietaria obtenida a partir de cáscara de plátano mejora los niveles de fibra dietaria del producto cárnico cocido tipo hamburguesa permitiendo que el producto pueda ser rotulado con el descriptor “buena fuente de fibra” según la normatividad Colombiana (Alarcón, López y Restrepo, 2014).

#### **2.2.4. Capacidad antioxidante de la cáscara del plátano**

A la cáscara del plátano, también se le atribuyen valores de capacidad antioxidante para extractos etanólicos entre 4,5 y 5,9 mg equivalentes trolox/g de cáscara seca para la técnica que usa el radical DPPH y una capacidad antioxidante para extractos etanólicos de 3,5 a 4,9 mg equivalentes trolox/g de muestra seca para la técnica que usa el radical ABTS. Otras moléculas reportadas, pertenecientes al grupo de los fenoles y encontradas en este tipo de subproductos son la dopamina y la L-dopa, ambas influyen aumentando los valores de capacidad antioxidante ante la presencia de radicales libres (González *et al.*, 2010).

Los plátanos tienen una gran capacidad para protegerse del estrés oxidativo causado por el intenso sol y altas temperaturas, aumentando sus niveles de antioxidantes, contienen vitaminas A, B, C y E,  $\beta$ -caroteno y compuestos fenólicos, tales como catequina, epicatequina, lignina, taninos y antocianinas (Guiné *et al.*, 2015).

### **2.3. EL PAN**

#### **2.3.1. Fabricación del pan**

La fabricación del pan es uno de los descubrimientos más importantes de la humanidad; ha representado un papel esencial en el desarrollo del género humano, es una de las principales fuentes de la alimentación de conveniencia variada y constituye un componente dietético saludable (Zumarán e Yglesis, 2013).

El pan se suele preparar mediante el horneado de una masa elaborada fundamentalmente con harina de cereales, sal y agua. La mezcla en algunas ocasiones suele contener levaduras para que fermente la masa y sea más esponjosa y tierna. El cereal más utilizado para la elaboración del pan es la harina de trigo (Henaó y Aristizábal, 2009).

### **2.3.2. Panes funcionales**

Los alimentos funcionales son aquéllos que proporcionan un efecto beneficioso para la salud más allá de su función básica nutricional. Resultan de la adición, sustitución o eliminación de ciertos componentes de los alimentos con la finalidad de reducir el riesgo de padecer enfermedades (Zuleta *et al.*, 2012). De allí el interés en la búsqueda de nuevas fuentes como ingredientes en el desarrollo de alimentos que aporten estas características.

Los panes funcionales representan una alternativa interesante, por encontrarse el pan entre los alimentos más consumidos en muchos países. Varios estudios muestran el uso de fuentes de fibra dietética en panes (Almazán, 1990; Granito y Guerra, 1995). Estos trabajos reflejan el interés por formular productos de consumo masivo enriquecidos con fibra dietética, ya que estos carbohidratos están asociados a la disminución del riesgo de enfermedades crónicas no transmisibles tales como diabetes, enfermedades coronarias y del tracto intestinal; estos efectos metabólicos dependerían de las propiedades de hidratación, intercambio catiónico y tamaño de la partícula (Anderson, Smith & Gustafson, 1994 y Jenkins, Kendall & Vuksan, 2000).

Entre los potenciales nuevos ingredientes disponibles, la harina de plátano inmaduro ha sido considerada como un producto ideal para los países

industrializados. Ha sido estudiada como ingrediente funcional y su consumo regular produciría beneficios para la salud (Zuleta *et al.*, 2012).

### **2.3.3. Harinas no convencionales**

Las harinas de fuentes no convencionales, como las leguminosas, no han sido explotadas y contienen proteínas en cantidad y calidad regular. Por otro lado, las harinas de frutas inmaduras como mango y plátano, son fuentes importantes de almidón resistente (Agama, et al., 2009); el cual forma parte de la fibra dietética total (Ovando, 2008); siendo esto una ventaja para ser utilizado en diversas formulaciones, entre las que destacan el pan, el uso de las harinas no convencionales, se ha manejado en porcentajes de sustitución de la harina de trigo (Torres, Jiménez y Bárcenas, 2014).

La capa externa y el germen de granos de trigo, cebada, centeno y avena son una rica fuente de muchos componentes bioactivos, como fibras dietéticas, antioxidantes, compuestos fenólicos, lignanos, vitaminas y minerales. Estos compuestos bioactivos se han relacionado con la reducción del riesgo de enfermedad cardiovascular, cáncer, diabetes, obesidad y otras enfermedades crónicas y enfermedad coronaria. Por lo tanto, la industria alimentaria se está centrando en la producción de alimentos funcionales basados en varias harinas integrales de cereales (Ragae, Guzar, Dhull & Seetharaman, 2011) y otras fuentes no convencionales.

## **2.4. FIBRA DIETARIA**

La fibra dietética se clasifica en dos categorías según su solubilidad en agua, fibra dietética soluble en agua (SDF) y fibra dietética insoluble en agua (IDF). SDF como



$\beta$ -glucano y arabinosilano pueden formar soluciones viscosas, lo que resulta en un aumento de la viscosidad en el intestino ralentizando el tránsito intestinal, retrasa el vaciamiento gástrico y ralentiza la absorción de glucosa y esteroides por el intestino (Andersson y Chen, 1986; Wood, Braaten, Scott, Riedel, Wolynetz, & Collins, 1994). En consecuencia, la fibra soluble viscosa puede reducir el colesterol sérico, la glucemia postprandial y los niveles de insulina (Wood, 1991; Wood, Braaten, Fraser, Riedel y Poste, 1990). Las IDF tales como la lignina, la celulosa y las hemicelulosas generalmente tienen una gran capacidad de retención de agua, lo que contribuye a aumentar el volumen fecal. La lignina es un polímero fenólico lipófilo que puede absorber los ácidos biliares (Ragaee et al., 2011).

La *fibra soluble* incluye el almidón resistente, pectinas, gomas, mucílagos, algunas hemicelulosas y polisacáridos no amiláceos de reserva de la planta. Son compuestos muy hidratables que forman geles en el tracto digestivo. A esta característica se deben muchos de sus efectos fisiológicos como son el retraso en el vaciamiento gástrico o el enlentecimiento y disminución de la absorción de ciertos nutrientes en el intestino delgado. Al llegar al colon, sufren un proceso de fermentación por las bacterias allí presentes, produciéndose ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato, butirato). El butirato es utilizado por las células del epitelio intestinal colónico como principal fuente de energía, mientras que el propionato y el acetato son metabolizados en el hígado, pudiendo ser transportados hasta los tejidos periféricos siendo allí utilizados como fuente de energía. La *fibra insoluble* incluye la celulosa, algunas hemicelulosas, lignina y otros polifenoles. A diferencia de la fibra soluble, apenas es fermentada por las bacterias colónicas. Presenta un importante papel en la formación y el tránsito intestinal del bolo fecal, aumentando el volumen del mismo y disminuyendo su tiempo de tránsito (Sánchez, et al., 2015).

La fibra es fundamental para el adecuado funcionamiento del intestino, pero también ha mostrado ser esencial en la prevención de enfermedades no transmisibles como la diabetes, la enfermedad cardíaca y algunos tipos de cáncer. Las recomendaciones de ingestión de fibra dietética se basan en datos de ingesta que han mostrado disminuir el riesgo de enfermedad coronaria. De acuerdo con el Instituto de Medicina de los Estados Unidos de América, la ingesta recomendada de fibra dietética es de 14 g/1000 kcal (Slavin, 2008). Dado que se consideran los requerimientos de energía por género y grupo de edad, la recomendación de fibra para niños es de 19 a 38 g/día, en función de la edad, y de 25 a 38 g en adultos saludables. La fibra ha mostrado ser un componente de la dieta esencial para un estado óptimo de salud. El consumo de ésta se encuentra muy por debajo de las recomendaciones por lo que es de suma importancia promover su consumo (Almeida, Aguilar y Hervert, 2014).

Los desechos de procesamiento de frutas y verduras son altamente perecederos y estacionales, y son un problema para las industrias de procesamiento y las agencias de control de la contaminación. Este problema se puede recuperar utilizando sus compuestos de alto valor, incluida la fracción de fibra dietética que tiene un gran potencial en la preparación de alimentos funcionales. El creciente interés en encontrar nuevas fuentes de fibras dietéticas con constituyentes bioactivos específicos puede agregar nuevas propiedades beneficiosas para los productos tradicionalmente comercializados. En este aspecto, el concepto de fibra dietética antioxidante está ganando importancia. Actualmente las cáscaras de una variedad de frutas se enfocan como fuente natural de antioxidantes y fibra dietética. Con estos motivos, la cáscara de plátano ha llamado la atención ya que informes recientes sugieren que es una muy buena fuente de fibra dietética y antioxidantes (Arun et al., 2015).

Los vegetales y los granos de cereales especialmente el trigo y el maíz son ricos en fibra insoluble; esta fibra tiene la capacidad de retener agua e incrementar el volumen fecal, regulando el movimiento intestinal. Del total de fibra ingerida en la dieta, aproximadamente el 20 % es soluble y el 80 % insoluble. Ambas son importantes para la salud, pero es la soluble la que más se ha asociado a la disminución de los factores de riesgo cardiovascular, y a un menor riesgo de enfermedad aterosclerótica (Bazzano, Orden, Loria & Whelton, 2003).

Generalmente, en la industria de alimentos se emplea la fibra dietaria proveniente de cereales, sin embargo el uso de fibra proveniente de frutas y verduras se ha ido incrementando, ya que los estudios realizados la consideran de mayor calidad debido a la proporción de fibra dietaria soluble e insoluble que contiene, además presenta mejores propiedades técnicas como la capacidad de retención de agua y de lípidos. Se ha identificado que algunos subproductos de la transformación de frutas como las cáscaras de naranja, mango y manzana, que actualmente son considerados residuos, aún contienen nutrientes, antioxidantes y fibra dietaria que pueden ser aprovechados en la industria de alimentos. Estos subproductos pueden ser procesados con el fin de obtener nuevos ingredientes que puedan ser incorporados a las matrices alimentarias (Hincapie, Vásquez, Galicia e Hincapie, 2014).

## **2.5. MINERALES EN LOS ALIMENTOS**

Los minerales son nutrientes que el organismo humano precisa en cantidades relativamente pequeñas respecto a los macronutrientes (hidratos de carbono, proteínas y lípidos). Por ello, al igual que las vitaminas, se consideran micronutrientes. Son sustancias con una importante función reguladora, que no

pueden ser sintetizados por el organismo y deben ser aportados por la dieta. No aportan energía. Dentro de los minerales se distinguen:

- **Macroelementos esenciales:** el organismo los precisa en cantidades superiores a 100 mg por día, como por ejemplo el calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), potasio (K), cloro (Cl), magnesio (Mg) y azufre (S).
- **Microelementos esenciales:** el organismo los precisa en cantidades inferiores a 100 mg por día, como por ejemplo el hierro (Fe), flúor (F), cinc (Zn), y cobre (Cu).
- **Elementos traza esenciales:** el organismo los precisa en cantidades inferiores a 1 mg por día, como por ejemplo el yodo (I), cromo (Cr), molibdeno (Mo) y selenio (Se) (Fundación Española de Nutrición, 2015).

Los minerales están ampliamente distribuidos en alimentos y son relativamente resistentes a los tratamientos tecnológicos y culinarios. No les afecta la luz y el calor, pero se pueden perder en los lixiviados, en las aguas de cocción, retenidos en la fibra que no se absorbe, etc. El contenido en minerales es variable según la procedencia del alimento (Fundación Española de Nutrición, 2015).

Los minerales son elementos inorgánicos que cumplen funciones estructurales y reguladoras dentro del organismo. Algunos de ellos (como el calcio y el fósforo) forman parte de la estructura de los huesos y dientes. Otros están implicados en el control del equilibrio de los líquidos corporales en los tejidos, la contracción muscular, la función nerviosa, la secreción enzimática y la formación de eritrocitos (glóbulos rojos sanguíneos). Al igual que las vitaminas, no pueden ser producidos por el organismo y tienen que obtenerse por medio de la dieta.

Al igual que las vitaminas, algunos minerales son nutrientes indispensables para el buen funcionamiento del organismo humano y su carencia puede provocar serios

problemas de salud. Actúan de diversas maneras en la formación de tejidos rígidos del cuerpo (Ca, P, F, Mg, etcétera), como cofactor de enzimas (Mn, Zn, Cu, Mo, Na, etcétera), como integrante de vitaminas, hormonas, mioglobina y hemoglobina (Co, I, Fe, etcétera), para controlar la presión osmótica de fluidos celulares y del pH (Na, K, Cl, etcétera) y como parte constitutiva de algunas macromoléculas (S, P, Fe, etcétera). El hecho de consumirlos en la dieta no representa que se absorban y se provechen en el organismo humano, ya que su biodisponibilidad es muy distinta entre ellos; el sodio, potasio y cloro forman compuestos sencillos que existen en disolución, por lo que forman iones libres fácilmente absorbibles, mientras que el calcio, hierro, fósforo y magnesio, que integran compuestos insolubles, son más difíciles de asimilar (Badui, 2006).

Es conocida la importancia de los minerales, tanto formando parte de estructuras moleculares vitales, como activando la mayoría de los sistemas enzimáticos; los problemas metabólicos que derivan de la existencia de determinadas deficiencias de minerales son consecuencia de bajas ingestas de estos minerales a largo plazo, generalmente debido a malos hábitos alimentarios como es el empleo de dietas monótonas y desequilibradas (Planells, Baró, Mataix y Ochoa, 2003).

## **2.6. COMPUESTOS FENÓLICOS**

Los polifenoles son el grupo más grande de fitoquímicos, y muchos de ellos se han encontrado en alimentos a base de plantas. Las dietas ricas en polifenoles se han relacionado con muchos beneficios para la salud. Los polifenoles dietéticos han recibido una gran atención entre los nutricionistas, los científicos de alimentos y los consumidores debido a su papel en la salud humana. La investigación en los últimos años apoya firmemente el papel de los polifenoles en la prevención de enfermedades

degenerativas, en particular cánceres, enfermedades cardiovasculares y enfermedades neurodegenerativas (Rong, 2010).

Los compuestos fenólicos constituyen una de las principales clases de metabolitos secundarios de las plantas, donde desempeñan diversas funciones fisiológicas. Entre otras, intervienen en el crecimiento y reproducción de las plantas y en procesos defensivos frente a patógenos, predadores o incluso radiación ultravioleta. Los compuestos fenólicos presentan un anillo benceno hidroxilado como elemento común en sus estructuras moleculares, las cuales pueden incluir grupos funcionales como ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc. (Martínez, Periago y Ros, 2000).

Los polifenoles son sustancias ampliamente distribuidas en el reino vegetal que se sintetizan como metabolitos secundarios, más específicamente a través de la vía metabólica de shikimato, teniendo todos en su estructura uno o varios anillos aromáticos con al menos un grupo hidroxilo el cual es fundamental para el mecanismo antioxidante que generan, y por el cual actúan los polifenoles ya que este grupo hidroxilo tiene la capacidad de donar un electrón a un radical libre para estabilizarlo, lo cual da lugar a una quinona que es capaz de permanecer estable con un electrón desapareado (Alarcón, et al., 2014).

Aunque existe una gran variedad de compuestos fenólicos en las plantas (se conocen más de 8000), la mayor parte de ellos tienen como origen metabólico común la ruta del ácido siquímico (Ácido (3R,4S,5R)-3,4,5-trihidroxi-1-ciclohexen-1-carboxílico) y el metabolismo de los fenilpropanoides (Robards, Prentzler, Tucker, Swatsitang & Glover, 1999).

Este grupo abarca un gran número de metabolitos secundarios de las plantas, entre ellos ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y lignanos. Los compuestos

fenólicos contribuyen al sabor y color de los alimentos, y tienen propiedades como capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana (Lupano, 2013).

## **2.7. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE**

Los antioxidantes son compuestos o sistemas que retrasan la autooxidación inhibiendo la formación de radicales libres o interrumpiendo la propagación del radical libre por uno (o más) de varios mecanismos. Los antioxidantes más efectivos son aquellos que interrumpen la reacción en cadena de los radicales libres. Generalmente contienen anillos aromáticos o fenólicos, estos antioxidantes donan H• a los radicales libres formados durante la oxidación (Brewer, 2011).

Los antioxidantes naturales pueden ser obtenidos de diversas fuentes, siendo ampliamente encontrados en el reino vegetal (Ángelo y Jorge, 2007).

Los polifenoles son metabolitos secundarios que las plantas producen para protegerse de otros organismos. Los polifenoles dietéticos han demostrado tener un papel importante en la salud humana. La ingesta elevada de frutas, verduras y cereales integrales, que son ricos en polifenoles, se ha relacionado con la disminución del riesgo de muchas enfermedades crónicas, como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, la inflamación crónica y muchas enfermedades degenerativas (Rong, 2010). Estudios recientes han revelado que muchas de estas enfermedades están relacionadas con el estrés oxidativo de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno. Los fitoquímicos, especialmente los polifenoles, son el contribuyente predominante a las actividades antioxidantes totales de las frutas, en lugar de la vitamina C (Wang, Cao & Prior, 1996).

Se ha descubierto que los polifenoles son fuertes antioxidantes que pueden neutralizar los radicales libres donando un electrón o un átomo de hidrógeno. El

sistema altamente conjugado y ciertos patrones de hidroxilación, como el grupo 3-hidroxi en flavonoles, se consideran importantes en las actividades antioxidantes. Los polifenoles suprimen la generación de radicales libres, reduciendo así la tasa de oxidación al inhibir la formación o desactivación de las especies activas y los precursores de radicales libres. Con mayor frecuencia, actúan como captadores de radicales directos de las reacciones en cadena de la peroxidación lipídica (interruptores de cadena). Los rompedores de cadena donan un electrón al radical libre, neutralizando los radicales y convirtiéndose en radicales estables (menos reactivos), deteniendo así las reacciones en cadena (Rice-Evans, Miller, Paganga, 1996 y Pietta, 2000).

Los tejidos alimentarios, están (o viven), sometidos a estrés oxidativo constante por radicales libres, especies reactivas de oxígeno y prooxidantes generados tanto exógenamente (calor y luz) como endógenamente ( $H_2O_2$  y metales de transición). Por esta razón, muchos de estos tejidos han desarrollado sistemas antioxidantes para controlar los radicales libres, catalizadores de oxidación de lípidos, productos intermedios de oxidación y productos de degradación secundaria (Nakatani 2003 y Chen, 2008). Estos compuestos antioxidantes incluyen flavonoides, ácidos fenólicos, carotenoides y tocoferoles que pueden inhibir la oxidación inducida por  $Fe^{3+} / AA$ , neutralizar radicales libres y actuar como reductores (Khanduja 2003; Ozsoy, Candoken, & Akey, 2009).

## **2.8. CAROTENOS**

Los carotenos son colorantes muy difundidos en los reinos animal y vegetal que abarcan una escala de color que va desde amarillo hasta el rojo violeta. Se trata de compuestos no saturados con muchos enlaces dobles conjugados que se caracterizan



como polienos. Los carotenos pueden presentarse como compuestos alifáticos puros, pero también como anillos hexagonales en la molécula. Aparecen en parte como derivados oxigenados, tales como alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos o hepoxidos. Algunos de ellos como provitamina A (por ejemplo, el B-caroteno) pueden transformarse en el organismo humano y animal en vitamina A (Rodríguez, 1999; Che Man y Tan, 2003).

Aunque los carotenos son colorantes liposolubles, se presentan con frecuencia en la naturaleza finamente divididos como pigmentos y bajo esta forma pueden colorear también sustancias acuosas (p.e. zumos de naranjas y de tomate).

Dentro de los carotenos se hace una diferenciación con base en la presencia de átomos de oxígeno dentro de la estructura molecular, estableciéndose dos grupos: Los carotenos que son aquellas sustancias que sólo contienen carbono e hidrógeno, como por ejemplo el  $\beta$ -caroteno y el licopeno, mientras que el segundo grupo está conformado por las xantofilas, y son aquellas sustancias como la luteína, que contienen además de carbono e hidrógeno, átomos de oxígeno dentro de su estructura.

En su mayoría los carotenos son compuestos lipofílicos solubles en solventes apolares y virtualmente insolubles en agua; por lo cual fácilmente “se asocian con componentes lipídicos, organelos específicos y transportadores de proteínas en los alimentos y en las células vivas” (Fennema, 1993). De esta manera, estos compuestos se disuelven en solventes lipídicos como la acetona, alcohol, etil éter, tetrahidrofurán, éter de petróleo, hexano y cloroformo.

Las frutas son una excelente fuente de antioxidantes naturales; estas contienen diversos componentes antioxidantes que proporcionan protección contra los dañinos radicales libres, y se han asociado con una menor incidencia e índice de mortalidad

por cáncer y enfermedades del corazón, además de otros beneficios para la salud. Entre estos compuestos, los carotenoides constituyen un grupo importante en la dieta humana pues, además de su actividad vitamínica, cumplen otras actividades biológicas, incluyendo la capacidad antioxidante, el filtrado de la luz ultravioleta, la modulación de la función inmune, y la regulación de la diferenciación y proliferación celular (Ordoñez & Ledezma, 2013).

La importancia de los carotenoides en los alimentos va más allá de su rol como pigmentos naturales. En forma creciente se han atribuido a estos compuestos funciones y acciones biológicas. De hecho, por mucho tiempo se ha sabido de la actividad de provitamina A de los carotenoides. Los carotenoides también se han relacionado con un aumento del sistema inmune y una disminución del riesgo de enfermedades degenerativas tales como cáncer, enfermedad cardiovascular, degeneración macular relacionada a la edad y formación de cataratas. Estos efectos biológicos son independientes de la actividad de provitamina A y se han atribuido a una propiedad antioxidante de los carotenoides a través de la desactivación de los radicales libres (átomos o grupos de átomos que poseen un electrón no compartido) y la captura del oxígeno singlete (Rodríguez, 1999).

## **2.9. ANTOCIANINAS**

Las antocianinas son un grupo de pigmentos de color rojo, hidrosolubles, ampliamente distribuidos en el reino vegetal (Fennema, 1993). Químicamente las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace  $\beta$ -glucosídico. La estructura química básica de estas agliconas es el ión flavilio (Badui, 2006), también llamado 2-fenil-benzopirilio (Wong, 1995), que

consta de dos grupos aromáticos: un benzopirilio (A) y un anillo fenólico (B); el flavilio normalmente funciona como un catión (Badui, 2006).

De todas las antocianidinas que actualmente se conocen (aproximadamente 20), las más importantes son la pelargonidina, delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina. Las antocianinas son interesantes por dos razones. La primera por su impacto sobre las características sensoriales de los alimentos, las cuales pueden influenciar su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos, y la segunda, por su implicación en la salud humana (De Pascual y Sánchez, 2008).

Las antocianinas están presentes en diferentes órganos de las plantas, tales como frutas, flores, tallos, hojas y raíces (Brouillard, 1982). El interés en los pigmentos antociánicos se ha intensificado recientemente debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas (Garzón, 2008). Durante el paso del tracto digestivo al torrente sanguíneo de los mamíferos, las antocianinas permanecen intactas (Miyazawa, Nakagawa, Kudo, Muraishi & Someya, 1999) y ejercen efectos terapéuticos conocidos que incluyen la reducción de la enfermedad coronaria, efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos; además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo. Los efectos terapéuticos de las antocianinas están relacionados con su actividad antioxidante. Estudios con fracciones de antocianinas provenientes del vino han demostrado que estas son efectivas en atrapar especies reactivas del oxígeno, además de inhibir la oxidación de lipoproteínas y la agregación de plaquetas (Ghiselli, Nardini, Baldi & Scaccini, 1998).

Hoy en día se ha acumulado gran cantidad de información concerniente a la actividad biológica de las antocianinas, sin embargo, debemos profundizar sobre esta funcionalidad. De Pascual y Sánchez (2008), concluyen que la literatura existente

sobre actividades biológicas provee suficiente evidencia para pensar que los productos ricos en antocianinas, tales como bayas o vino tinto, pueden tener un efecto protector sobre la salud humana, especialmente para la prevención de enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer.

## **2.10. COLOR EN LOS ALIMENTOS**

La apariencia de los productos alimentarios o no alimentarios, permite detectar tanto calidad, como anomalías y defectos, industrias como la textil, de papel, automóviles, medicamentos y alimentos tienen al color como indicador de calidad (Delmoro, Muñoz, Nadal, Clementz y Pranzetti, 2010).

La medición de estas propiedades de frutas y alimentos adquiere más importancia en la industria alimentaria (Abdullah, Guan, Lim, & Karim, 2004), el color es un parámetro para realizar clasificaciones de productos, evaluación de materias primas, control de procesos y características específicas de ciertos alimentos (Delmoro *et al.*, 2010), además los resultados de estas mediciones lograrán indicar el manejo adecuado de los alimentos o materias primas para obtener la máxima calidad del producto final (Abdullah *et al.*, 2004).

Existen dos métodos básicos de medición del color, el sensorial y el instrumental. El método sensorial utiliza un panel de consumidores o panel sensorial entrenado para evaluar visualmente el color (Delmoro *et al.*, 2010; Novoa & Ramírez Navas, 2012). El segundo método es el instrumental, que consiste en el uso de técnicas que miden la reflectancia o transmitancia de las muestras y se apoyan en equipos especializados como espectrofotómetros o colorímetros triestímulos (Delmoro *et al.*, 2010).

La colorimetría es la ciencia que estudia la medición del color desarrollando los métodos para su cuantificación (Santos, 2009), estos métodos se basan

específicamente en la geometría y distribuciones espectrales de tres elementos: la fuente de luz, la reflectividad de la muestra y la sensibilidad visual del observador (Otles, 2008). Esta ciencia transforma la percepción sensorial en números, logrando medir, comparar y reproducir los diferentes colores (Santos, 2009).

Los elementos importantes de la colorimetría se definieron desde 1931 por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) y ha sido mejorado a través del tiempo. Inicialmente dichas condiciones fueron: la simulación de la percepción humana del color en un campo de 2° y colores primarios de ajuste (rojo, verde y azul). La CIE como entidad principal de la determinación del color, definió varios sistemas de descripción de colores y ha desarrollado varios conceptos que determinan los procedimientos utilizados actualmente (Otles, 2008).

## **2.11. TEXTURA EN LOS ALIMENTOS**

Un punto importante a la hora de aceptar o rechazar un alimento es su textura, ya que ésta es una mezcla de los elementos relativos a la estructura del mismo y la manera como se relacionan con los sentidos fisiológicos (Torres, Gonzales y Acevedo, 2015).

El estudio de la textura empezó a mediados del siglo XIX y principios del XX donde varios científicos fueron capaces de desarrollar instrumentos simples para sus ensayos con alimentos. Pero no fue hasta 1950, cuando se empieza a considerar la textura como un tema científico propiamente dicho (Szczesniak, 2002).

La textura es un factor muy importante en la selección y preferencia de los alimentos, y además, es reconocida como el mayor atributo de su calidad, por encima de la apariencia, el sabor, el olor y la composición nutricional. La importancia económica de la producción de alimentos, junto con la complejidad de la tecnología para su

producción, procesamiento y aceptación, requieren un mayor conocimiento de sus propiedades texturales y reológicas con el fin de ofrecer alimentos con aceptables niveles de calidad (Zuñiga, Velazquez y Osorio, 2007).

En los alimentos la dureza, es la fuerza requerida para comprimir una sustancia con los dientes molares o con la lengua y el paladar. Actualmente la forma de medir la dureza del queso y otros alimentos similares es por medio de la mordida humana que es bastante diciente para la persona que lo realiza. Existen algunos problemas con este tipo de medición como son la falta de precisión, la inexactitud en la medida y la dificultad de registrar de una manera formal dicha medida. El método es muy subjetivo, ya que puede variar en las personas dependiendo de sus gustos particulares, estado de ánimo y su fortaleza en la mordida la cual es altamente dependiente de los hábitos alimenticios. Otro método de uso común en la industria alimentaria es con el penetrómetro con lo que se mide la dureza de algunos alimentos que se consideran “duros” y el cual se acomoda para la medición de la dureza de la mayoría de los quesos. Este método se considera más útil, formal y preciso para la medición de la dureza. Otro método de medición de índole empírico, con el cual se puede determinar el grado de dureza del producto, es por medio del Análisis de Perfil de Textura (TPA) en el cual el producto es sometido a una doble compresión con el objetivo de simular el proceso de masticación humana. Esta técnica ha sido usada con la ayuda de paneles sensoriales para establecer escalas de aceptación del producto (Zuñiga, Velazquez y Osorio, 2007).

Una de las pioneras en el desarrollo de la definición de las propiedades de textura basado en propiedades físicas fue Szczesniak (2002), quien clasificó las propiedades mecánicas de la textura de la siguiente manera: Dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad, adhesividad, fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad.

En la actualidad se han realizado diversos estudios encaminados todos a detallar las principales características texturales de los distintos alimentos sólidos y semisólidos. El análisis del perfil de textura, es un excelente procedimiento instrumental, que simula la masticación de la mandíbula; ayuda a medir y a cuantificar parámetros tales como: dureza, gomosidad, masticabilidad, elasticidad, cohesividad entre otros, que se relacionan a su vez con variables como la tasa de deformación aplicada y la composición del producto (Torres, Gonzales y Acevedo, 2015).

La textura se relaciona con la respuesta del sentido del tacto a los estímulos que resultan de la entrada en contacto del alimento con alguna parte del cuerpo humano; también se relacionan con la textura ciertos sonidos (principalmente en alimentos crujientes) y algunos movimientos (flujos y movimientos del alimento) que fluyen directamente en la percepción por parte del consumidor. Desde un punto de vista teórico es más adecuado referirse a la textura como un conjunto de propiedades texturales en vez de referirse a ella como un concepto individual; ya que para definirla se necesita un grupo de propiedades que la caracteriza, entre las que destacan: la dureza, la adhesividad, la elasticidad y la cohesión (Fernández, 2013).

## **2.12. HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general**

La sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano influye en las características fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo tradicional.

**Específicos**

- a) La harina de cáscara de plátano presenta diferencias en las características físicas, fisicoquímicas y un mayor contenido de compuestos bioactivos, en comparación con la harina de pulpa de plátano.
- b) La sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano influye en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de trigo tradicional.
- c) La sustitución parcial de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano influye en las características bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo tradicional.



## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

La investigación se llevó a cabo en el departamento de Junín, provincia y distrito de Chanchamayo, en las instalaciones de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Filial La Merced, en los talleres de: harinas, panificación, frutas y hortalizas, y laboratorio de análisis de alimentos. Asimismo, se contó con el apoyo de La Facultad de Industrias Alimentarias y Centro de Investigación para el Desarrollo Biotecnológico de la Amazonía (CIDBAM) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; del laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan y del Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú – Huancayo.

#### **3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación es aplicada, porque fundamentalmente los resultados se obtuvieron como consecuencia de la aplicación de tecnologías ya existentes (Sánchez y Reyes, 2002). El nivel de la investigación es explicativo porque está dirigido a responder a las causas de los eventos o fenómenos fisicoquímicos. El interés se centró en explicar por qué ocurrieron los fenómenos y en qué condiciones se dieron éstos, o porque dos o más variables estuvieron relacionadas (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

#### **3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño de investigación corresponde a “experimentos puros”, porque se manipulan variables independientes para ver sus efectos sobre variables dependientes en una

situación de control. Es una investigación en el que se manipulan deliberadamente una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos), dentro de una situación de control (Hernández *et al.*, 2014).

En el experimento se puso a prueba cuatro tratamientos (más un control) que consistió en diferentes niveles de sustitución de harina de trigo (HT) por harina de cáscara de plátano (HCP) (causa - variable independiente), en la elaboración pan de molde, en dicho producto se evaluó (como efectos – variable dependiente) las características fisicoquímicas, sensoriales y bioactivas. En la tabla 2, se muestran los tratamientos estudiados.

Tabla 2

*Tratamientos en estudio*

Ingredientes	Tratamientos (% HT/% HCP)				
	T0	T1	T2	T3	T4
	100/0	95/5	90/10	85/15	80/20
Harina de trigo	250	237.5	225	212.5	200
Harina de cáscara de plátano	0	12.5	25	37.5	50
Azúcar blanca	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9
Levadura instantánea	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Leche en polvo	10	10	10	10	10
Mejorador	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
Sal	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Margarina	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Antimoho	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Agua	134	142	148	155	160

T0: Testigo, pan de molde tradicional con 100 % de harina de trigo.

Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación de las características físicas, fisicoquímicas, compuestos bioactivos y la actividad antioxidante, se utilizó el diseño completamente al azar

(DCA), y para el ordenamiento de los promedios de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey a un nivel de significación de ( $\alpha=0,05$ ).

El modelo matemático correspondiente a un DCA tiene la ecuación siguiente:

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

**Y<sub>ij</sub>** = Variable dependiente (característica evaluada en el pan a diferentes niveles de sustitución de la harina de trigo (HT) por harina de cáscara de plátano (HCP)).

**U** = Media general

**T<sub>i</sub>** = Efecto de la sustitución de la HT por HCP (i =1, 2, 3, 4, 5)

**E<sub>ij</sub>** = Efecto del error experimental

La evaluación sensorial de los atributos color, aroma, suavidad, gomosidad, sabor y aceptabilidad, se realizó utilizando una escala hedónica de 7 puntos (como se muestra en la tabla 3), y con la participación de 20 panelistas semi entrenados.

Tabla 3

*Escala hedónica para la evaluación sensorial*

Calificación	Puntaje
Me gusta mucho	7
Me gusta	6
Me gusta poco	5
No me gusta ni me disgusta	4
Me disgusta poco	3
Me disgusta	2
Me disgusta mucho	1

Fuente: Adaptado de Anzaldúa (1994).

Para analizar los resultados de la evaluación sensorial, se utilizó el diseño bloque completamente al azar (DBCA), y para el ordenamiento de los promedios de los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey a un nivel de significación de ( $\alpha=0,05$ ).

El modelo matemático correspondiente a un DBCA tiene la ecuación siguiente:

$$Y_{ij} = U + B_i + T_j + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  : Variable dependiente (característica evaluada en el pan a diferentes niveles de sustitución de la harina de trigo (HT) por harina de cáscara de plátano (HCP)).

$U$  : Media general

$B_i$  : Efecto de panelistas o bloques (( $i=1, 2, 3, \dots, 20$ ))

$T_j$  : Efecto de la sustitución de la HT por HCP ( $j=1, 2, 3, 4, 5$ )

$E_{ij}$  : Efecto del error experimental

### 3.3. ESTRATEGIA DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

#### Hipótesis nula

$H_0$ : los niveles de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, no influye en las características fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas y actividad antioxidante del pan.

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$

### **Hipótesis de investigación**

H<sub>1</sub>: al menos un nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano influye significativamente en las características fisicoquímicas, sensoriales, bioactivas actividad antioxidante del pan.

H<sub>1</sub>: al menos un  $\tau_i \neq 0$

## **3.4. VARIABLES**

### **Variable independiente**

Porcentaje de sustitución parcial de la harina de trigo (HT)/por harina de cáscara de plátano (HCP)

- 100/0 %
- 95/5 %
- 90/10 %
- 85/15 %
- 80/20 %

### **Variables dependientes**

En el producto obtenido (pan de molde), se evaluó lo siguiente:

- Características físicas
- Características sensoriales
- Características fisicoquímicas
- Contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante

### 3.5. POBLACIÓN

Al ser una investigación experimental con diseño de experimento puro, desarrollado en talleres y laboratorio, no es necesario delimitar una población de estudio, y la materia prima para el experimento fue adquirido de acuerdo a la cantidad de muestra requerida para la ejecución de las pruebas experimentales y los análisis respectivos.

### 3.6. MUESTRA

La muestra consistió en 120 kg de plátanos variedad hartón conocido como “bellaco”, en su madurez fisiológica óptima (en estado verde) para la elaboración de chifles y harina de plátano; cuyas cáscaras fueron procesadas para obtener la harina.

### 3.7. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en tres etapas; en la primera, se procesó la cáscara de plátano hasta obtener la harina, en la segunda, se elaboró pan de molde de acuerdo a las formulaciones del diseño experimental y en la tercera etapa se realizó los análisis de las características fisicoquímicas, sensoriales y bioactivas de los panes elaborados con las diferentes formulaciones.

#### Primera etapa

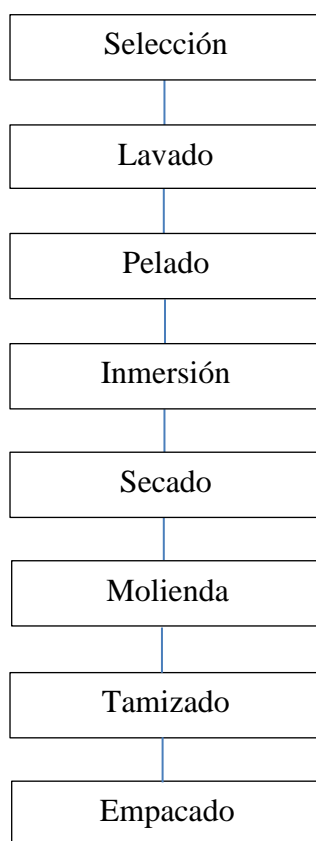
##### 3.7.1. Preparación de la harina de cáscara de plátano

La harina de cáscara de plátano se obtuvo mediante el flujo de operaciones para la obtención de harina de plátano modificado, descrito por Mazzeo *et al.*, (2010), siendo las operaciones las siguientes (figura 1):

- a) **Selección:** Se realizó teniendo en cuenta las características físicas y sensoriales, se tomó los frutos que estuvieron aptos para el proceso;

separando las que presentaron golpes y alteraciones que lo hacían no aptas para su industrialización.

- b) **Lavado:** Se utilizó agua potable y se desinfectó mediante una solución de hipoclorito de sodio a 50 ppm por 10 minutos.
- c) **Pelado:** Se realizó de forma manual con cuchillo de acero inoxidable, separando la parte comestible, luego la cáscara fue troceada en tiras de 8 cm de largo por 0,5 cm de ancho en promedio.
- d) **Inmersión:** Las tiras de cáscaras fueron sumergidos en una solución de ácido cítrico al 0,25 % y metabisulfito de sodio al 0,20 % por 30 minutos con el fin de inhibir el pardeamiento.



*Figura 1.* Operaciones para la obtención de la harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

- e) **Secado:** La deshidratación se llevó a cabo en un secador de cabina a  $50 \pm 3$  °C, hasta lograr un producto con un contenido de humedad del  $8,5 \pm 0,3\%$ .
- f) **Molienda:** Se utilizó un molino de martillos de 12 HP, por el cual se pasaron los trozos de cáscara seca siendo pulverizados hasta partículas finas.
- g) **Tamizado:** La totalidad del producto se pasó a través de un tamiz de 0,25 mm.
- h) **Empacado:** La harina de cáscara de plátano fue empacada en bolsas de polipropileno de alta densidad en presentaciones de 500 g, con sellado térmico; de los cuales se tomaron muestra para los análisis respectivos y el resto fueron almacenadas en lugar fresco y seco hasta su uso en la elaboración del pan.

### 3.7.2. Elaboración del pan con harina de cáscara de plátano

Los panes fueron elaboradas siguiendo las operaciones descritas por Osuna, Avallone, Montenegro y Aztarbe, (2006), las operaciones fueron las siguientes (figura 2):

- a) **Pesaje:** Todos los insumos fueron pesadas de acuerdo a la formulación de cada tratamiento en estudio, como son harina de trigo, harina de cáscara de plátano, azúcar, sal, levadura, leche en polvo, mejorador, margarina, antimoho y agua.
- b) **Mezclado:** Todos los ingredientes secos se mezcló convenientemente, homogenizándola, está operación se realizó en la amasadora a baja velocidad.





*Figura 2.* Operaciones para la elaboración de pan con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

- c) **Amasado:** En esta operación se añadieron la margarina y el agua de acuerdo a cada formulación. El amasado se realizó en dos fases. Pre-amasado a velocidad lenta, esta fase tuvo una duración de 3 minutos. Luego se continuó con el amasado (Oxigenación o maduración): se realizó de forma rápida, en la segunda velocidad de la amasadora, es la más importante, ya que se desarrolla el cuerpo final de la masa y sus características plásticas determinantes de su tenacidad y extensibilidad. Esta fase tuvo una duración de 6 minutos, se utilizó una

amasadora de brazos, ya que, además de producir una mezcla perfecta, suministra una buena aireación.

- d) División-pesado:** Se realizó de forma manual mediante cortado y pesado de la masa obteniendo piezas con un determinado volumen, y por tanto, con un determinado peso.
- e) Acondicionado:** Las piezas fueron formadas y colocadas en los moldes, especiales cubriéndose éstas con un film para mantener la humedad.
- f) Fermentación:** Esta operación permitió dar a la masa de pan su característica de hinchamiento antes de ser horneado. En esta fase se dejó la masa en la cámara de fermentación de 25 a 35 minutos a temperatura ambiente.
- g) Horneado:** Se realizó en un horno eléctrico rotativo a 180 °C por 20 minutos.
- h) Pre-enfriado:** Terminada la cocción, se extrajeron los panes del horno y se dejaron reposar por 10 minutos para que se pre enfríen.
- i) Desmoldado y enfriado:** Los panes fueron retirados de los moldes y se dejó que continúe enfriándose y a la vez que termine de producirse la evaporación de la humedad superficial.
- j) Empacado:** Los panes fueron empacadas en bolsas de polietileno de baja densidad, hasta su análisis fisicoquímico, sensorial y de compuestos bioactivos.

## **Métodos analíticos de control y evaluación**

### **Análisis en la materia prima**

Se realizó el análisis en la harina de cáscara de plátano, como son:

### **Análisis de granulometría**

Se realizó mediante tamizado de la harina utilizando el equipo RO-TAP WS TYLES, el cual consta de siete tamices N° 35, 45, 60, 80, 120, 170 y 230, con tamaño de partícula de 500, 355, 250, 180, 125, 90 y 63 µm respectivamente.

### **Análisis fisicoquímicos**

- Acidez y pH de la harina, la acidez se determinó mediante el método volumétrico de titulación y el pH mediante lectura directa con el potenciómetro, según el método oficial de la AOAC (1990).
- Color de la harina: se determinó por el método del colorímetro, descrito por Alkarkhi, *et al.*, (2010).
- Análisis proximal: humedad, proteína, grasa, ceniza y fibra cruda, se determinaron según el método oficial AOAC (1990). Secado en horno (método AOAC 934.06), Kjeldahl's (método 930.29), Soxhlet (método AOAC 922.06), incineración en seco (método AOAC 940.26) y gravimétrico (método AOAC 962.09), respectivamente. El contenido de carbohidratos se estimó por diferencia [Hidratos de carbono (%) = 100 - % (humedad + ceniza + proteína cruda + grasa cruda)].
- El contenido de minerales, el nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl's (método 930.29, AOAC (1990)), el fósforo mediante el método colorimétrico de meta vanadato (método 957.02 (AOAC, 1997)); Calcio, magnesio, potasio y sodio, por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), (AOAC, 2005); cobre, hierro y zinc por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), lectura directa con estándares adecuados (AOAC, 2012); y manganeso, por

Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), con aspiración en llama aire/acetileno, según el método descrito por AOAC (2012).

### **Análisis de compuestos bioactivos**

- El contenido de fibra dietaria insoluble, fibra dietaria soluble y fibra dietaria total, se determinó según los métodos 985.29, AOAC (1997), descritos por Lee *et al.*, (2013).
- El contenido de polifenoles totales, se determinó según el método Folin – Ciocalteu descrito por Singleton, Orthofer & Lamuela-Raventos, (1999).
- La actividad antioxidante, se determinó mediante decoloración del radical violeta 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH), según la metodología de Brand-Williams, Cuvelier & Berst, (1995), y el ensayo ABTS se llevó a cabo de acuerdo con el método descrito por Re *et al.*, (1999).
- El contenido de carotenos, se realizó por el método espectrofotométrico descrito por Rodríguez (1993).
- Las antocianinas totales se cuantificaron mediante el método espectrofotométrico del pH diferencial reportado por Zapata (2014).

### **Análisis en el pan de trigo sustituido con harina de cáscara de plátano**

#### **Análisis físicos**

La determinación del volumen, volumen específico, densidad, pérdida de peso y altura del pan se realizó según los métodos descritos por Lee *et al.*, (2013).

### **Análisis fisicoquímicos**

- Acidez y pH del pan, la acidez se determinó mediante titulación volumétrica, según la NTP 206.013 (INDECOPI 1981) (De la Cruz, 2009), y el pH con un potenciómetro, según el Método de la AOAC (1995).
- Perfil de textura, mediante un analizador de textura de acuerdo al método descrito por Zuñiga, *et al.*, (2007).
- Color de la corteza y la miga del pan: se determinó por el método del colorímetro descrito por Alkarkhi, *et al.*, (2010).
- La evaluación sensorial del pan se realizó con 20 panelistas semi entrenados de la Escuela de Industrias Alimentarias, de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Filial La Merced, utilizando una escala hedónica de siete puntos como describe Anzaldúa (1994), y adaptado para describir los atributos sensoriales del pan como son: color, aroma, suavidad, gomosidad, sabor y aceptabilidad.
- Análisis proximal: humedad, proteína, grasa, ceniza y fibra cruda, se determinaron según el método oficial AOAC (1990). Secado en horno (método AOAC 934.06), Kjeldahl's (método 930.29), Soxhlet (método AOAC 922.06), incineración en seco (método AOAC 940.26) y gravimétrico (método AOAC 962.09), respectivamente. El contenido de carbohidratos se estimó por diferencia [Hidratos de carbono (%) = 100 - % (humedad + ceniza + proteína cruda + grasa cruda)].
- El contenido de minerales, el nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl's (método 930.29, AOAC (1990)), el fósforo mediante el método colorimétrico de meta vanadato (método 957.02 (AOAC, 1997)); Calcio, magnesio, potasio y

sodio, por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), (AOAC, 2005); cobre, hierro y zinc por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), lectura directa con estándares adecuados (AOAC, 2012); y manganeso, por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), con aspiración en llama aire/acetileno, según el método descrito por AOAC (2012).

### **Análisis de compuestos bioactivos**

- El contenido de fibra dietaria insoluble, fibra dietaria soluble y fibra dietaria total, se determinó según los métodos 985.29, AOAC (1997), descritos por Lee *et al.*, (2013).
- El contenido de polifenoles totales, se determinó según el método Folin – Ciocalteu descrito por Singleton *et al.*, (1999).
- La actividad antioxidante, se determinó mediante decoloración del radical violeta 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH), según la metodología de Brand-Williams *et al.*, (1995), y el ensayo ABTS se llevó a cabo de acuerdo con el método descrito por Re *et al.*, (1999).
- El contenido de carotenos, se realizó por el método espectrofotométrico descrito por Rodríguez (1993).
- Las antocianinas totales se cuantificaron mediante el método espectrofotométrico del pH diferencial, reportado por Zapata (2014).

### **3.8. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Al tratarse de una investigación experimental, con diseño de experimento puro, para la recolección de datos se utilizó diversos métodos y técnicas oficiales, descritas para

cada análisis, para lo cual fueron necesarios diversos equipos y materiales de laboratorio para la cuantificación de los datos de cada indicador.

### **Instrumento de recolección de información en laboratorio**

- Equipos: Secadora de cabina de aire forzado de 32 bandejas, marca vulcano; Horno industrial marca Halley de 10 bandejas; Molino de martillo de 12 Hp; ROTAP WS TYLES modelo RX-29-16 USA; Texturómetro Brookfield CTB texture analyzer, Brookfield engineering Labs; Colorímetro digital CR-400 Konica Minolta serie N° B8209050 y accesorios; Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer modelo 1100B, Norwalk, CT 0685, USA; Espectrofotómetro UV/VIS: modelo 2100, rango de onda 200 – 1000 nm, resolución  $\pm 1$  nm; Estabilizador UPS 1000, marca Forza Power Technologies, Fx-2200; Batidora orbital Finezza Stand Mixer 5.5 L, 800W, 6 velocidades; Balanza analítica marca BEL, cap. Max. 200 g, resolución 0,0001 g; Balanza digital Electronic kitchen scale weiheng, cap. Max. 7000 g, resolución 1 g, Estufa eléctrica: Binder, modelo FED 53, rango de trabajo 25 - 300 °C, Centrifuga: Heltich Zentrifugen, modelo EBA 200S, 500 – 6000 rpm; Mufla: H. W. Kessel S.A.; modelo 2000366, temperatura Max. 1150 °C, precisión de 1 °C; Homogenizador de soluciones: Wizard & Classic Velp®, modelo VL-F202A0175, velocidad max. 3000 rpm, movimiento orbital; Estufa-esterilizadora de 54 L; Brixómetro digital 0 - 85 % marca Atago; Potenciómetro: Hanna Instruments, modelo Cheker, rango 0 a 14, resolución 0,01 pH; Digestor semimicro kjendahl, Digestor de fibra cruda, Equipo de titulación, Cámara fotográfica y de video.

- Materiales y envases: cubetas para espectrofotómetro, plástico y cuarzo, micropipeta 5 – 20  $\mu\text{L}$  (Gilson), micropipeta de 5 a 50  $\mu\text{L}$  (Wheaton), micropipeta de 100 a 1000  $\mu\text{L}$  (Hirschmann Laborgerate), puntas (Tips) para micropipetas de 10, 100 y 1000  $\mu\text{L}$ , matraz erlenmeyer de 100, 125, 250 mL, vasos de precipitados de 100, 250, 500 mL, probetas de 25, 50, 100 ml, fioles de 10, 25, 50, 100 y 250 mL, embudos, bureta de 25 mL (equipo de titulación), gradillas, tubos de ensayo 16x160mm, papel filtro, termómetro digital, cronómetro, vernier digital, termohigrómetro -10 a 70°C, mesas de acero inoxidable, bol de acero inoxidable, fuentes de acero inoxidable, rejillas de acero inoxidable, pizeta, jabas de plástico 20 L, cuchillos y cucharas de acero inoxidable y otros.

### **3.9. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Para la recopilación del material bibliográfico se realizó el análisis documental, análisis de contenido y fichaje; para la recopilación de los datos de cada variable e indicador, se usó la observación; y para el procesamiento y presentación de resultados se realizó utilizando el software Microsoft Office 2013 con sus programas de texto Word y de cálculos Excel. La presentación de los resultados se realizó mediante tablas y figuras.



## CAPÍTULO IV

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Características de la harina de cáscara de plátano

##### 4.1.1. Rendimiento en la obtención de la harina de cáscara de plátano

En la tabla 4, se presenta los rendimientos en pulpa, cáscara y harina de cáscara de plátano (más detalle anexo 1).

Tabla 4

*Rendimiento en pulpa, cáscara y harina de cáscara de plátano*

<b>Componentes</b>	<b>kg</b>	<b>%</b>
Plátano entero	60,0	100,0
Pulpa	36,8	61,3
Cáscara	17,8	29,7
Restos (pérdida)	5,4	9,0
Cáscara seca	2,99	4,98
Rendimiento en harina de cáscara/fruta	2,41	4,02
Pérdida en la molienda	0,58	0,97
Relación pulpa/cáscara	2,07	---

Promedios de dos repeticiones

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4, se observa que la cáscara fresca representa el 29,7 % del peso de la fruta fresca, este residuo cuando es procesado hasta obtener la harina alcanza un rendimiento de 4,02 % con respecto al plátano entero y la relación pulpa/cáscara alcanzó (2,07). Estos valores representan una importante cantidad de residuo que no se utiliza y se desecha como desperdicio. El cálculo de estos valores es importante debido a que es el producto (residuo)

materia de la investigación, cuyas propiedades potenciales se puso a prueba en un producto de consumo habitual como el pan.

#### 4.1.2. Granulometría de la harina de cáscara de plátano

En la tabla 5, se presentan los resultados de granulometría de harina de cáscara de plátano.

Tabla 5

##### *Granulometría de la harina de cáscara de plátano*

N° Tamiz	Apertura de malla ( $\mu\text{m}$ )	Material retenido (g)	% material retenido	Factor	% material retenido x factor
35	500	220,526	10,76	7	75,30
45	355	332,716	16,23	6	97,38
60	250	402,501	19,63	5	98,17
80	180	457,308	22,31	4	89,23
120	125	418,906	20,43	3	61,30
170	90	162,956	7,95	2	15,90
230	63	41,386	2,02	1	2,02
Fondo	< 63	13,701	0,67	0	0,00
Total		205	100,00		439,30

Módulo de finura:  $439,3/100 = 4,4$

Índice de uniformidad 42 %, para un tamaño de partícula de entre 180 a 250  $\mu\text{m}$ .

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5, se observa que la harina de cáscara de plátano, presenta un módulo de finura de 4,4 y un índice de uniformidad de 42 % para un tamaño de partícula de entre 180 a 250  $\mu\text{m}$ , valores que corresponden a una harina gruesa. Estas características se deben a que la cáscara de plátano tiene un mayor contenido de fibra que durante la molienda proporciona una harina gruesa, en contraste a otros productos que tienen mayor contenido de almidón, como es la harina de trigo. Sin embargo, los valores determinados se

encuentran dentro de los valores indicados para otras harinas utilizados en la elaboración de panes y otros productos horneados.

#### 4.1.3. Acidez y pH de las harinas de trigo y cáscara de plátano

En la tabla 6, se presenta los resultados del pH y la acidez de las harinas de trigo y cáscara de plátano (más detalle anexo 2).

Tabla 6

*Acidez y pH de las harinas de trigo y cáscara de plátano*

	HT	HCP
pH	5,93±0,04 a	4,74±0,07 b
Acidez (%) (Ác. Sulfúrico)	0,069±0,005 b	0,645±0,031 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). HT: harina de trigo, HCP: harina de cáscara de plátano.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 6, se observa que existen diferencias significativas (p<0,05) en el valor de pH y la acidez entre la harina de trigo y la harina de cáscara de plátano; esta última presenta mayor acidez (0,645 %) y un menor pH (4,74), que la harina de trigo utilizado normalmente en la elaboración de panes. Esta diferencia se debe a que el plátano es una fruta y las frutas normalmente tienen mayor acidez que las harinas de los cereales; además, durante el proceso para la obtención de la harina de cáscara de plátano después del pelado y cortado, estas fueron sumergidas en una solución de ácido cítrico al 0,25 % y metabisulfito de sodio al 0,20 % por 30 minutos, para inhibir el pardeamiento enzimático, el cual ha incrementado la acidez final de la harina

de cáscara de plátano, sin embargo, estos valores se encuentran por debajo del límite establecido para su uso en panificación.

#### 4.1.4. Color de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

En la tabla 7, se presenta los resultados del color de las harinas de trigo (HT), pulpa de plátano (HP) y cáscara de plátano (HCP) (más detalle anexo 3).

Tabla 7

*Color de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano*

Harinas	L*	a*	b*
HT	96,08 a	0,03 a	8,17 c
HP	93,27 b	-0,18 b	13,33 b
HCP	78,69 c	-1,20 c	21,06 a

Valores promedios  $\pm$  desviación estándar (n = 3). HT: harina de trigo, HP: harina de plátano, HCP: harina de cáscara de plátano.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7, se observa que existen diferencias significativas (P<0,05) en el espectro CIE L\* a\* b\*, en las tres harinas evaluadas. Los parámetros determinados fueron L\* (L\* = 0 [negro] y L\* = 100 [blanco]), a\* (-a\* = tendencia hacia el verde y +a\* = tendencia hacia el rojo) y b\* (-b\* = tendencia hacia el azul y +b\* = tendencia hacia el amarillo). En ese sentido, se observa que la harina de cáscara de plátano (L\* = 78,69), es más oscuro que la harina de plátano (L\* = 93,27) y la harina de trigo (L\* = 96,08), siendo esta última el más blanco por que tuvo el valor L\* más alto. Según el valor de a\*, también se observa que la harina de trigo tiene una muy ligera tendencia hacia el rojo (a\* = 0,03), mientras que la harina de pulpa (a\* = -0,18) y la harina de cáscara de plátano (a\* = -1,20) presentan una ligera

tendencia hacia el verde; siendo mayor esta tendencia en la harina de cáscara de plátano debido al contenido de clorofila, ya que se trabajó con plátano en estado verde. En cuanto al valor de  $b^*$ , se observa que las tres harinas tienen tendencia hacia el amarillo, siendo menor esta tendencia en la harina de trigo ( $b^* = 8,17$ ), mientras que la harina de pulpa ( $b^* = 13,33$ ) y la harina de cáscara de plátano ( $b^* = 21,06$ ) tienen mayor tendencia hacia el amarillo, debido a que la cáscara de plátano, además de clorofila también contiene carotenos.

#### 4.1.5. Composición proximal de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.

En la tabla 8 y figura 3, se presenta los resultados de la composición proximal de las harinas de pulpa y cáscara de plátano (más detalle anexo 4).

Tabla 8

*Composición proximal de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP) (g/100 g)*

	HP	HCP
Humedad	8,81 ± 0,14 a	8,42 ± 0,23 a
Proteína	3,85 ± 0,13 b	8,26 ± 0,25 a
Grasa	0,42 ± 0,08 b	5,04 ± 0,25 a
Ceniza	3,06 ± 0,18 b	9,89 ± 0,46 a
Fibra cruda	2,54 ± 0,35 b	10,08 ± 0,43 a
Carbohidratos	81,32 ± 1,31 a	58,31 ± 1,29 b

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). HP: harina de plátano, HCP: harina de cáscara de plátano.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

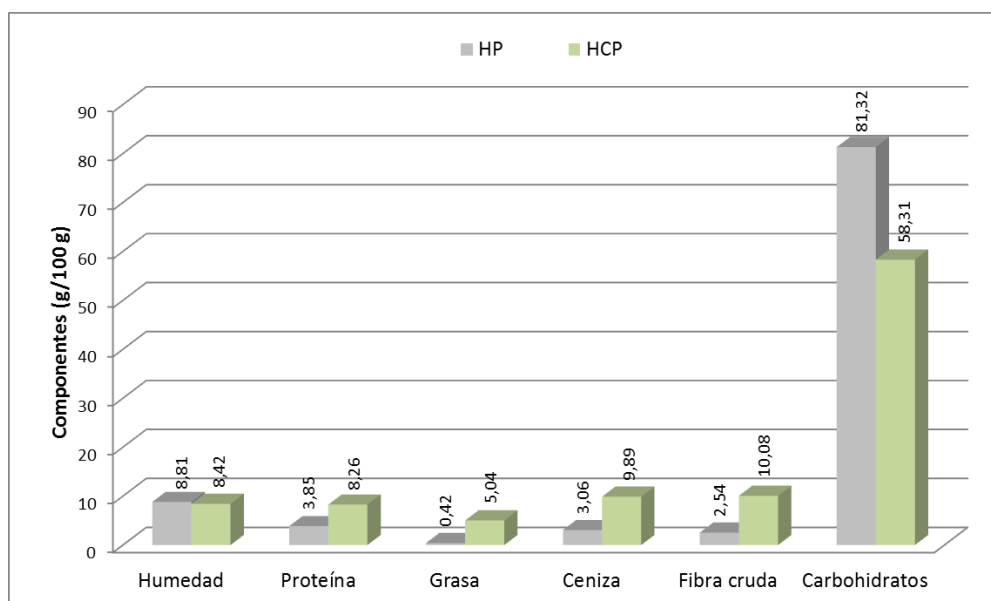


Figura 3. Composición proximal de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 y figura 3, se observa que la harina de cáscara de plátano tiene mayor contenido de proteína, grasa, ceniza y fibra (8,26, 5,04, 9,89 y 10,08 g/100 g), que la harina de la pulpa del plátano (3,85, 0,42, 3,06 y 2,54 g/100 g, respectivamente; esta última utilizada comúnmente para el consumo humano directo o mediante su transformación en derivados. También se observa diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), mostrando que la harina de cáscara de plátano tiene mayor concentración de nutrientes que debe ser aprovechado mediante un adecuado proceso y aplicación en alimentos procesados.

En cuanto a la humedad (tabla 8), se observa que no existe diferencia significativa ( $P > 0,05$ ), entre la harina de plátano (8,81 %) y la harina de cáscara de plátano (8,42 %), esto debido a que las dos harinas fueron sometidas a similares operaciones de secado, molienda y envasado.

También, se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), en el contenido de carbohidratos entre la harina de pulpa de plátano (81,32 %) y la harina de cáscara (58,31 %). Esto se debe a que la cáscara es la cobertura externa de la fruta y actúa como cubierta protectora contra agentes extraños, por ello en su composición tiene más fibra y menos carbohidratos, mientras que la pulpa es una reserva alimenticia que contiene más carbohidratos.

Estos resultados demuestran que la cáscara de plátano es una buena fuente de proteína, grasa, ceniza y fibra, que puede ser aprovechada en la elaboración de diversos productos alimenticios para consumo humano.

#### 4.1.6. Contenido minerales en las harinas de pulpa y cáscara de plátano

En la tabla 9 y figura 4 y 5, se presentan los contenidos de minerales en la harina de plátano y harina de cascara de plátano (más detalle anexo 5).

Tabla 9

*Contenido de minerales en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP)*

Minerales	HP	HCP
Nitrógeno (g/100g)	0,55 ± 0,05 b	1,16 ± 0,11 a
Fósforo (g/100g)	0,332 ± 0,015 b	0,539 ± 0,016 a
Calcio (g/100g)	0,437 ± 0,054 a	0,330 ± 0,041 a
Magnesio (g/100g)	0,079 ± 0,009 a	0,061 ± 0,009 a
Potasio (g/100g)	0,407 ± 0,018 b	2,821 ± 0,119 a
Sodio (g/100g)	0,013 ± 0,002 a	0,016 ± 0,002 a
Cobre (ppm)	1,64 ± 0,21 b	2,45 ± 0,23 a
Hierro (ppm)	3,45 ± 0,38 b	48,39 ± 2,08 a
Zinc (ppm)	161,58 ± 5,97 b	247,14 ± 8,99 a
Manganeso (ppm)	2,68 ± 0,23 b	11,40 ± 0,77 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). HP: harina de plátano, HCP: harina de cáscara de plátano.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Fuente: Elaboración propia.

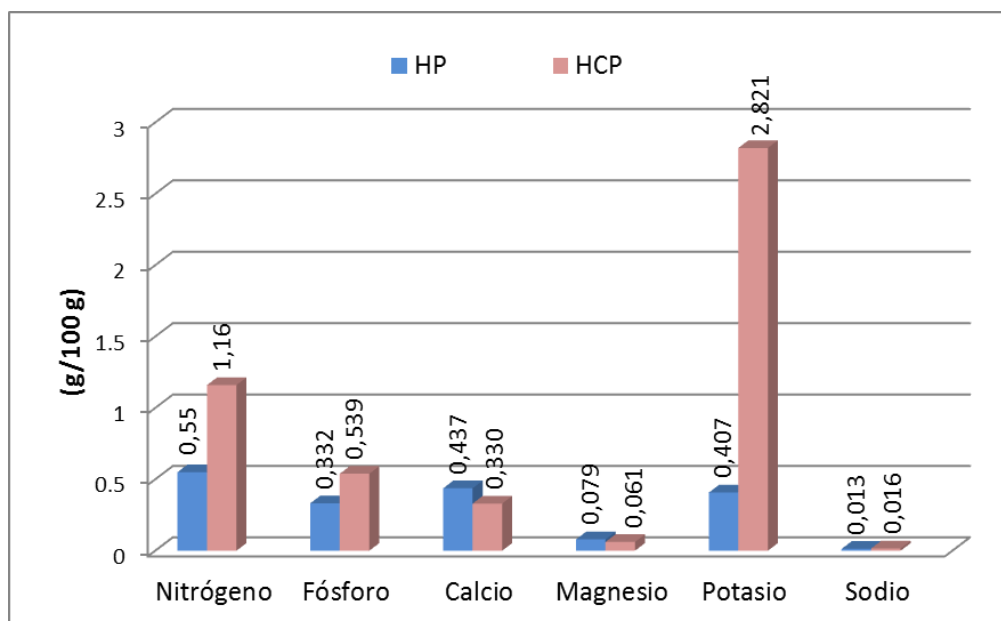


Figura 4. Contenido de macrominerales en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP) en g/100 g.

Fuente: Elaboración propia

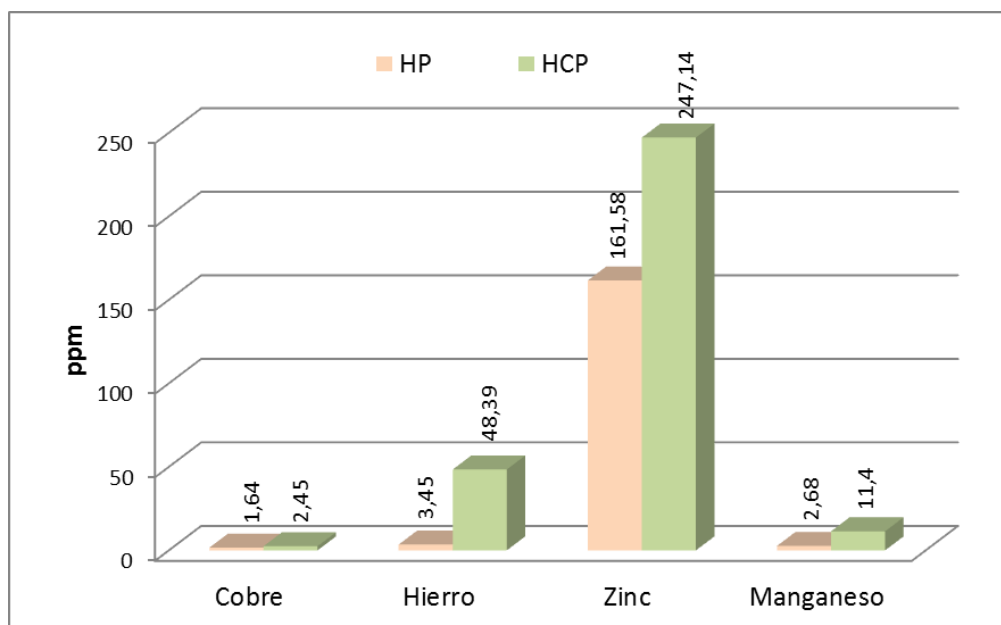


Figura 5. Contenido microminerales en la harina de plátano (HP) y harina de cáscara de plátano (HCP) en ppm.

Fuente: Elaboración propia.



En la tabla 9, y en las figuras 4 y 5, se muestran los contenidos de los principales minerales presentes en la harina de pulpa y cáscara de plátano. Además, se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, cobre, hierro, zinc y manganeso, entre la harina de cáscara y pulpa de plátano; siendo mayor el contenido de estos minerales en la cáscara. Mientras que el contenido de calcio y magnesio fue mayor en la pulpa, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas.

Se conoce que la pulpa de plátano es una buena fuente de potasio (0,407 g/100 g), sin embargo, los resultados nos demuestran que el contenido de potasio es significativamente mayor en la cáscara del plátano (2,821 g/100 g) en comparación con la pulpa.

Estos resultados ponen de manifiesto que la cáscara del plátano debe ser aprovechado en la alimentación humana, como una fuente importante de minerales.

#### **4.1.7. Características bioactivas y actividad antioxidante de las harinas de pulpa y cáscara de plátano**

##### **Contenido de fibra dietaria**

En la tabla 10 y figura 6, se presentan los contenidos de fibra dietaria en la harina de plátano y harina de cascara de plátano (más detalle anexo 6).

Tabla 10

*Contenido de fibra dietaria insoluble, soluble y total en las harinas de pulpa y cáscara de plátano (g/100 g)*

Fibra	HP	HCP
Fibra dietaria insoluble (FDI)	11,33 ± 0,95 b	35,75 ± 1,24 a
Fibra dietaria soluble (FDS)	2,25 ± 0,20 b	6,43 ± 0,41 a
Fibra dietaria total (FDT)	13,58 ± 1,10 b	42,18 ± 1,32 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). HP: harina de plátano, HCP: harina de cáscara de plátano.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

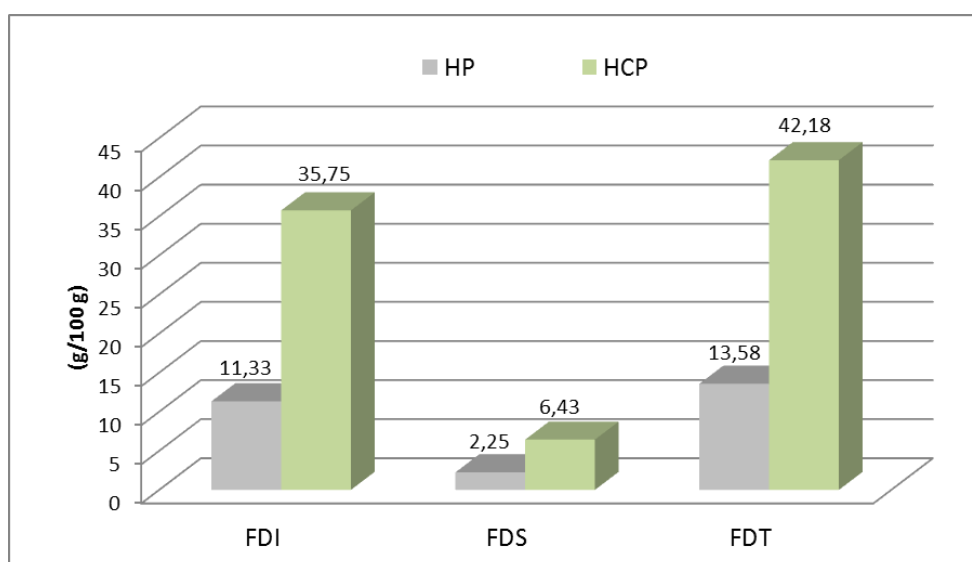


Figura 6. Contenido de fibra dietaria en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10, se observa que existe diferencia significativa (P<0,05), en el contenido de fibra dietaria insoluble, soluble y total entre la harina de cáscara de plátano y la harina pulpa plátano; la tabla 8 y la figura 6, también nos muestra que la harina de cáscara de plátano tiene un mayor contenido de fibra dietaria insoluble, soluble y total (35,75, 6,43 y 42,18 %) en comparación con la harina pulpa plátano (11,33, 2,25 y 13,58 % respectivamente).

Estos valores son muy importantes para la investigación, ya que es uno de los compuestos relevantes que se está evaluando como efecto de la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano en la composición del pan; ya que en los últimos años se ha despertado el interés por el estudio y la incorporación de fibra dietaria en los alimentos, debido a los efectos positivos en la salud de las personas, por tanto, la cáscara de plátano al tener un alto contenido en fibra dietaria es ideal para su incorporación en alimentos funcionales.

### **Polifenoles y actividad antioxidante**

En la tabla 11 y figura 7, se presentan los contenidos de polifenoles y la actividad antioxidante de la harina de plátano y harina de cascara de plátano (más detalle anexo 7).

Tabla 11

*Polifenoles totales y actividad antioxidante en la harina de pulpa y cáscara de plátano*

<b>Características</b>	<b>HP</b>	<b>HCP</b>
Polifenoles totales (mg EAG/ g muestra)	9,59 ± 0,55 b	33,84 ± 1,34 a
Actividad antioxidante (DPPH) IC <sub>50</sub> (µg/ml)	191,82 ± 2,88 b	15,50 ± 0,20 a
Actividad antioxidante (ABTS) IC <sub>50</sub> (mg/ml)	5,827 ± 0.091 b	0,121 ± 0,010 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). HP: harina de plátano, HCP: harina de cáscara de plátano.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

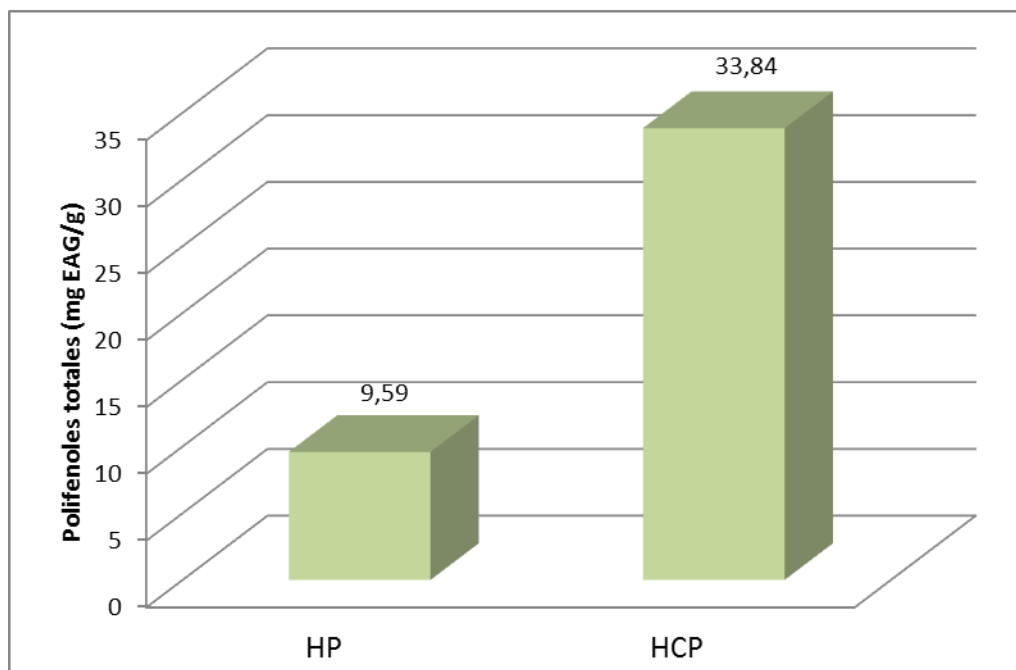


Figura 7. Contenido polifenoles totales en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

Fuente: Elaboración propia.

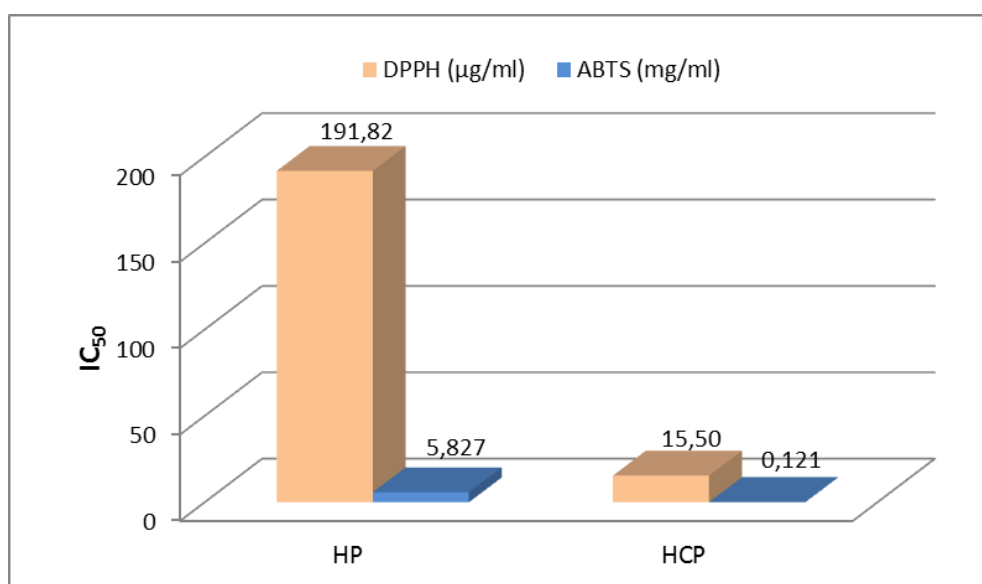


Figura 8. Actividad antioxidante en las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11, se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), en el contenido de polifenoles totales entre la harina de cáscara y la harina de pulpa de plátano; siendo mayor el contenido de polifenoles totales en la harina de cáscara (33,84 mg EAG/g de muestra) en comparación con la harina de pulpa de plátano (9,59 mg EAG/g de muestra).

Los resultados demuestran que la harina de cáscara de plátano tiene 3,5 veces más polifenoles que la harina de pulpa. Esto se debe a que los polifenoles son metabolitos sintetizados por los vegetales y que actúan como defensa ante diversos tipos de estrés y agentes extraños, por lo que se encuentra en mayor concentración en la cascara.

En cuanto a la actividad antioxidante, en la tabla 11, se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), entre la harina de cáscara y la harina de pulpa de plátano, determinado con los métodos del DPPH y ABTS, siendo mayor la actividad antioxidante en la harina de cáscara. Esto se refiere que utilizando el DPPH, la harina de plátano obtuvo un  $IC_{50}$  de 191,82  $\mu\text{g/ml}$ , lo cual significa que se necesita 191,82  $\mu\text{g}$  de muestra para inhibir el 50 % del radical DPPH, mientras que el  $IC_{50}$  de la harina de cáscara de plátano es 15,50  $\mu\text{g/ml}$ , lo que significa que se necesita 15,50  $\mu\text{g}$  de muestra para inhibir el 50 % del radical DPPH, similar resultado se logró con el ABTS ( $IC_{50}$  0,121 mg/ml en la harina de cáscara y 5,827 mg/ml en la harina de pulpa).

También se observa que existe una relación proporcional entre el contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante, es decir, cuanto mayor es el contenido de polifenoles totales, también se observa una mayor actividad antioxidante.

Estos resultados son valiosos para la investigación, debido a que son datos relevantes que se está evaluando como efecto de la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano en pan de molde; debido a que los polifenoles son compuestos importantes en los alimentos funcionales y la actividad antioxidante una característica de este tipo de alimentos.

### **Carotenos y antocianinas**

En la tabla 12 y figura 9, se presentan los contenidos de carotenos totales y antocianinas de la harina de plátano y harina de cascara de plátano (más detalle anexo 8).

Tabla 12

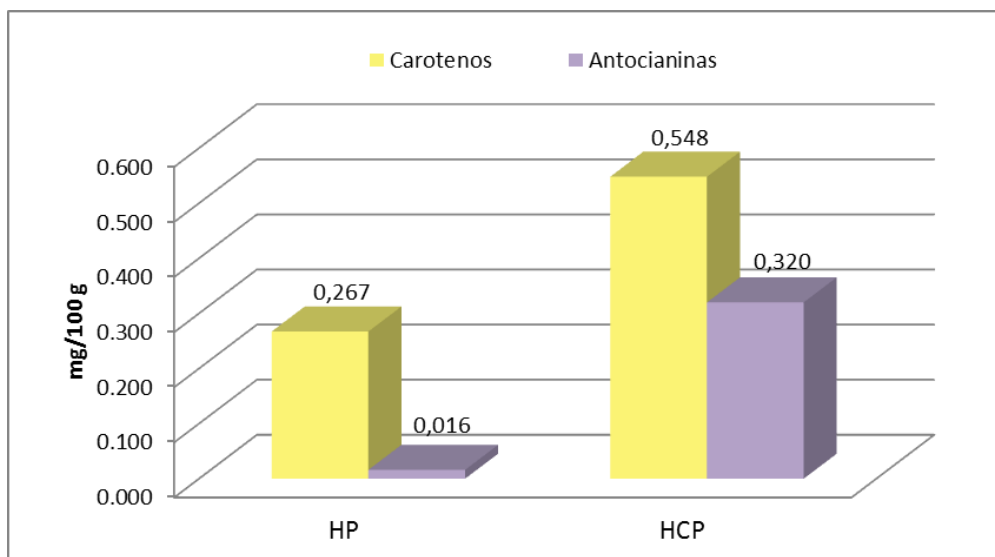
*Carotenos totales y antocianinas en las harinas de pulpa y cáscara de plátano*

<b>Características</b>	<b>HP</b>	<b>HCP</b>
Carotenos totales (mg/100 g)	0,267 ± 0,012 b	0,548 ± 0,011 a
Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido/100 g)	0,016 ± 0,003 b	0,320 ± 0,030 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). HP: harina de plátano, HCP: harina de cáscara de plátano.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 9.* Carotenos totales y antocianinas en la harina de plátano (HP) y harina de cáscara de plátano (HCP).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12, se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), en el contenido de carotenos totales entre la harina de cáscara (0,548 mg/100 g) y la harina de pulpa de plátano (0,267 mg/100 g); siendo mayor el contenido de carotenos totales en la harina de cáscara.

El mayor contenido de carotenos en la cáscara de plátano se debe a que es un pigmento que se encuentra naturalmente en este tipo de fruta, que cuando esta verde se encuentra enmascarado por la abundante concentración de clorofila, pero se hace visible cuando la fruta madura, mientras que en la pulpa este pigmento se encuentra en menor concentración.

En la tabla 12, también se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), en el contenido de antocianinas entre la harina de cáscara (0,320 mg/100 g) y la harina de pulpa de plátano (0,016 mg/100 g); siendo mayor el contenido de antocianinas en la harina de cáscara.

De acuerdo a los resultados de los análisis de las características fisicoquímicas (granulometría, acidez, pH y color), de sus componentes nutricionales (proteínas, grasa, cenizas y minerales) y de sus compuestos bioactivos (fibra dietaria, polifenoles, carotenos y antocianinas), y la actividad antioxidativa de la harina de cáscara de plátano, demuestran que este producto tiene un gran potencial como materia prima o insumo para su uso en la alimentación humana.

Para demostrar la factibilidad de la aplicación de la harina de cáscara de plátano en un alimento de consumo habitual como es el pan, esta harina se utilizó en la formulación de pan de molde mediante cuatro niveles de sustitución de la harina de trigo, cuyas características físicas, fisicoquímicas, sensoriales y bioactivas fueron evaluadas y comparadas con un testigo o control.

#### **4.2. Características del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

A continuación se presentan los resultados de los análisis de las muestras de pan de molde, obtenidas mediante sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, los análisis de variancia y la prueba de comparación de promedios, las mismas que fueron realizadas para evaluar el efecto de los niveles de sustitución, en las características del físicas, sensoriales, fisicoquímicas, bioactivas y actividad antioxidante del pan, con la finalidad de probar las hipótesis y a la vez elegir el mejor tratamiento. Como refiere, García et al., (2001), el análisis estadístico



de un experimento tiene como objetivo brindar información referida a la forma en que las unidades experimentales responden a los tratamientos aplicados.

#### 4.2.1. Características físicas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

En la tabla 13, se presentan las características físicas de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 9).

Tabla 13

*Características físicas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano*

Características	T0	T1	T2	T3	T4
Peso del pan (g)	396,89 c	406,02 bc	411,40 ab	414,74 a	418,03 a
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1345,3 a	1351,3 a	1198,7 a	1155,3 ab	982,7 b
Vol. específico (cm <sup>3</sup> /g)	3,39 a	3,33 a	2,91 ab	2,79 bc	2,35 c
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,30 b	0,30 b	0,34 b	0,36 b	0,43 a
Pérdida de peso (g)	33,2 a	33,8 a	35,3 a	35,7 a	35,9 a
Altura del pan (cm)	9,5 a	9,4 a	8,9 ab	8,4 bc	7,8 c

Valores promedios  $\pm$  desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T1 = 5 % HCP, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP y T4 = 20 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 y anexo 9, se observa que para algún nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, existen diferencias significativas (P<0,05) en las características físicas del pan, como son: peso, volumen, volumen específico, densidad y altura de los panes, este resultado demuestra que en la medida que se incrementa los porcentajes de sustitución

de la harina de trigo, se modifican las características físicas del pan, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

En la tabla 13 y anexo 9, también se muestra el ordenamiento promedio de las características físicas analizadas en los tratamientos en estudio, y al observar la prueba de ordenamiento de tukey ( $\alpha=0,05$ ) se determinó el mejor nivel de sustitución, es decir en el tratamiento que no muestra diferencias significativas con el testigo o control, resultando el tratamiento T2 con 10 % de sustitución.

Al analizar en detalle cada característica física del pan se observa que: el peso promedio de los panes se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por la harina de cáscara de plátano; también se observa que no existen diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre el testigo o control (T0) con el T1 (5 % de sustitución), pero existen diferencias significativas con los tratamientos T2, T3 y T4, también se observa que no existe diferencias entre el T1 y T2, así como entre el T2, T3 y T4 respectivamente. Siendo el T0 (testigo) el que tuvo el menor peso y el de mayor peso es el T4 (con 20 % de sustitución). El incremento en el peso de los panes se debe al aumento en la absorción de agua, ya que en la medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, también la absorción de agua fue mayor; de acuerdo a los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4 la absorción de agua fue 57,2, 59,7, 61,6, 64,1 y 67,1 % respectivamente.

En cuanto al volumen de los panes (tabla 13), se observa que no existen diferencias significativas ( $P>0,05$ ), entre el testigo (T0) con respecto al T1,

T2 y T3, sin embargo, existe diferencias con respecto al tratamiento T4 (con 20 % de sustitución), siendo el T4 el que tuvo el menor volumen y el testigo (T0) el que tuvo el mayor volumen. Este decrecimiento del volumen del pan se debe a una disminución de la concentración de proteína en la harina de trigo por efecto de la sustitución con harina de cáscara de plátano. La harina de trigo contiene gluten, el cual es fundamental para la formación de la estructura del pan y desarrollar volumen, el cual se ve disminuido al ser sustituido por la harina de cáscara de plátano.

En la tabla 13, se observa que el volumen específico de los panes oscilaron de 2,35 a 3,39  $\text{cm}^3/\text{g}$ ; también se observa que no existen diferencias significativas ( $P>0,05$ ), en el volumen específico de los panes de molde testigo (T0) con respecto al T1 y T2, (5 y 10 % de sustitución) sin embargo, existe diferencias con respecto al tratamiento T3 y T4 (con 15 y 20 % de sustitución), siendo el T4 el que tuvo el menor volumen específico y el testigo (T0) el que tuvo el mayor volumen específico. El decrecimiento del volumen específico del pan a medida que se incrementa la sustitución se debe a que los panes tuvieron un mayor peso y desarrollaron un menor volumen, debido a una mayor absorción de agua y a la disminución del contenido de proteína en los tratamientos por efecto de la sustitución con harina de cáscara de plátano, dando como resultado panes más pequeños.

En cuanto a la densidad de los panes (tabla 13) se observa que aumenta a medida que se incrementa la sustitución, de 0,30  $\text{g}/\text{cm}^3$  (testigo, T0) hasta 0,43  $\text{g}/\text{cm}^3$  T4 (20 % de sustitución); también se observa que no existen diferencias significativas ( $P>0,05$ ), entre la densidad del pan testigo (T0) con los tratamientos T1, T2 y T3, pero existe diferencias con respecto al

tratamiento T4 (con 20 % de sustitución), siendo el T4 el que tuvo mayor densidad.

En la tabla 13, se observa la pérdida de peso durante la transformación de la masa en pan, dicha pérdida se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, oscilando desde 33,2 g. (testigo, T0) a 35,9 g. en el T4 (20 % de sustitución); también se observa que no existen diferencias significativas ( $P>0,05$ ), en la pérdida de peso entre el pan testigo (T0) con los demás tratamientos, siendo mayor la pérdida en el tratamiento T4. Esta pérdida de peso es debida a la pérdida de humedad durante la fermentación, horneado y enfriado del pan, debido a que la resistencia de la masa disminuye en la medida que se incrementa la sustitución, el cual produce mayor evaporación de agua en los panes.

En la tabla 13, también se observa una reducción en la altura de los panes a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, oscilando dicha altura desde 9,5 cm (testigo, T0) hasta 7,8 cm en el T4 (20 % de sustitución); también se observa que no existen diferencias significativas ( $P>0,05$ ), entre la altura del pan testigo (T0) con los tratamientos T1 y T2, pero si existe diferencias con los tratamientos T3 y T4. Esta reducción en la altura del pan se debe a la disminución de la concentración de proteína (gluten) en la harina de trigo por efecto de la sustitución con harina de cáscara de plátano, este comportamiento es similar a la disminución del volumen de los panes por efecto de la sustitución.

#### 4.2.2. Acidez y pH del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

En la tabla 14, se presentan la acidez y el pH de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 10).

Tabla 14

*Acidez y pH del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano*

Característica	T0	T1	T2	T3	T4
Acidez (%) (Ác. Sulfúrico)	0,066 d	0,090 cd	0,106 bc	0,131 ab	0,163 a
pH	5,65 a	5,32 b	5,26 bc	5,19 cd	5,13d

Valores promedios  $\pm$  desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T1 = 5 % HCP, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP y T4 = 20 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 y anexo 10, se observa que para algún nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la acidez y pH del pan, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

En la tabla 14, se observa un incremento en la acidez del pan a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, oscilando desde 0,066 % (testigo, T0) hasta 0,163 % T4 (20 % de sustitución); también se observa que no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), entre la acidez del pan testigo (T0) con el tratamiento T1 (5 % de sustitución) pero si existe diferencias con los tratamientos T2, T3

y T4. El incremento en la acidez de las muestras se debe a la mayor acidez de la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución de la harina de trigo, ya que este durante se obtención fue sumergido en una solución de ácido cítrico para evitar el pardeamiento enzimático.

También, en la tabla 14, se observa una disminución del pH del pan a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, desde 5,65 (testigo, T0) hasta 5,13 T4 (con 20 % de sustitución); también se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), entre el pH del pan testigo (T0) con los demás tratamientos, pero no existen diferencias ( $P > 0,05$ ), entre los tratamientos T1 y T2, T2 y T3, T3 y T4, respectivamente. La depreciación del pH de las muestras se debe a la acidez de la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución de la harina de trigo, ya que este durante se obtención fue sumergido en una solución de ácido cítrico para evitar el pardeamiento enzimático.

#### **4.2.3. Perfil de textura del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.**

En la tabla 15, se presentan las características del perfil de textura de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 11).

Tabla 15

*Características del perfil de textura del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano*

Parámetros	T0	T1	T2	T3	T4
Dureza ciclo 1 (N)	17,81 ab	11,41 b	20,69 a	21,61 a	24,72 a
Dureza ciclo 2 (N)	14,71 ab	9,84 b	16,61 a	18,05 a	20,87 a
Cohesividad	0,50 a	0,54 a	0,42 a	0,41 ab	0,38 b
Gomosidad (N)	8,89 a	6,15 a	8,85 a	8,97 a	9,34 a
Masticabilidad (J)	0,0805 a	0,0635 a	0,0723 a	0,074 a	0,070 a
Resiliencia	0,24 a	0,24 a	0,22 a	0,20 a	0,17 a
Elasticidad (mm)	9,31 a	10,51 a	8,09 a	8,34 a	7,54 a
Deformación según dureza (mm)	9,80 a	10,00 a	9,10 a	9,6 a	9,91 a
% Deformación según dureza	39,20 a	39,97 a	36,37 a	38,37 a	39,63 a
Deformación recuperable (mm)	6,34 a	6,23 a	5,64 a	5,64 a	5,40 a
Fuerza de adhesividad (N)	0,10 a	0,20 a	0,06 a	0,08 a	0,19 a

Valores promedios  $\pm$  desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T1 = 5 % HCP, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP y T4 = 20 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 15 y anexo 11, se observa que para algún nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en las características del perfil de textura del pan, como son: dureza y cohesividad de los panes, este resultado demuestra que algún porcentaje de sustitución de la harina de trigo, afecta la dureza y cohesividad del pan, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación. Sin embargo, en la tabla 15 y anexo 11, también se observa que no existen diferencias en las demás características texturales como son: gomosidad, masticabilidad, resiliencia, elasticidad, deformación según dureza, % de deformación según dureza, deformación recuperable y fuerza de adhesividad.

En la tabla 15 y anexo 11, se observa que la dureza del pan aumenta ligeramente a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, siendo 17,81 N en el testigo (T0) y 24,72 N en el T4 (con 20 % de sustitución) en el ciclo 1; y 14,71 N en el testigo (T0) y 20,87 N en el T4 (con 20 % de sustitución) en el ciclo 2; sin embargo, esta diferencia en el análisis estadístico se observa que no existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), entre la dureza del pan testigo (T0) con los tratamientos T2, T3 y T4, que corresponden a 10, 15 y 20 % de sustitución respectivamente. Estos valores demuestran que la harina de cáscara de plátano influye en la dureza del pan.

También en la tabla 15 y anexo 11, se observa que la cohesividad del pan disminuye ligeramente a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, siendo 0,50 en el testigo (T0) y 0,38 en el T4 (con 20 % de sustitución); También se observa que no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), entre la cohesividad del pan testigo (T0) con los tratamientos T1, T2 y T3, que corresponden a una sustitución de 5, 10 y 15 % respectivamente. Pero existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) con el tratamiento T4 (20 % de sustitución). Este se debe a la harina de cáscara de plátano que tiene alto contenido de fibra el cual influye en la formación de la miga del pan provocando una ligera disminución en la cohesividad, siendo menor en el tratamiento T4 con 20 % de sustitución por tener un mayor contenido de fibra.

En la tabla 15 y anexo 11, se observa que en las propiedades texturales de gomosidad, masticabilidad, resiliencia, elasticidad, deformación según



dureza, % de deformación según dureza, deformación recuperable y fuerza de adhesividad, no presentan diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), entre las muestras evaluadas que son T0, T1, T2, T3 y T4, con 0, 5, 10, 15 y 20 % de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano. Este resultado nos indica que si bien la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano influye en las características texturales de los panes; sin embargo, estos efectos son mínimos y no son significativos. Estos resultados garantizan que la harina de cáscara de plátano puede ser utilizado en la elaboración de pan de molde sin provocar cambios significativos en su textura del producto, el cual es una característica muy importante de la calidad en el pan de molde. En cuanto a la masticabilidad, en los resultados (tabla 15) se observó que no existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); sin embargo, el testigo (T0) tuvo un valor ligeramente mayor que los demás tratamientos.

La resiliencia es menor cuanto mayor es la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, así el testigo (T0) tuvo una resiliencia de 0,24 mientras que el T4 con 20 % de sustitución tuvo 0,17, es decir este último tuvo menor capacidad de recuperarse luego de un aplastamiento.

En la elasticidad se observa una leve disminución a medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, siendo 9.31 mm en el testigo (T0) hasta 7.54 mm en el T4 (con 20 % de sustitución); esto es consecuencia de la disminución de la concentración de proteína (gluten) de la harina de trigo al ser sustituido por harina de cáscara de plátano, lo que ocasiona que la miga tenga menor capacidad de recuperarse después de un estiramiento.

En cuanto a la gomosidad se observa un leve aumento a medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, siendo 8,89 N en el testigo (T0) y 9,34 N en el T4 (con 20 % de sustitución). Estos resultados se deben al mayor contenido de fibra en la harina de cáscara de plátano que proporciona una mayor dureza a los panes; ya que la gomosidad es la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido con el fin de que pueda ser tragado.

Con respecto a la deformación y a la fuerza de adhesividad, no hubo diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre las muestras, estos resultados demuestran que la sustitución de la harina de trigo con 0, 5, 10, 15 y 20 % de harina de cáscara de plátano, no modificó significativamente estas características en los panes.

En términos generales, los resultados de las características texturales evidencian que la harina de cáscara de plátano es adecuada para incluir en la elaboración del pan de molde y otros tipos de panes, pero en concentraciones moderadas para no afectar las características texturales de los productos.

#### **4.2.4. Color del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.**

En la tabla 16 y 17, se presentan las características del color de la corteza y la miga de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 12).

Según la tabla 16 y 17, y anexo 12, se observa que para algún nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, existen diferencias significativas ( $P<0,05$ ) en el color de la corteza y la miga (CIE L\*

a\* b\*) de los panes, este resultado demuestra que la sustitución influye en el color, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

Tabla 16

*Color de la corteza del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano*

Tratamientos	L*	a*	b*
T0	45,21 ± 0,43 a	16,03 ± 0,94 a	22,29 ± 0,36 a
T1	44,35 ± 1,58 a	14,66 ± 0,30 ab	20,85 ± 1,68 a
T2	42,54 ± 6,72 a	13,10 ± 0,83 bc	18,97 ± 6,03 a
T3	44,85 ± 2,47 a	12,58 ± 0,37 c	21,23 ± 2,38 a
T4	40,56 ± 4,35 a	12,43 ± 0,45 c	16,04 ± 4,79 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T1 = 5 % HCP, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP y T4 = 20 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al color de la corteza de los panes, en la tabla 16 y anexo 12, se observa que no existen diferencias significativas (P>0,05) en los valores de L\* y b\*, en las cinco muestras evaluadas, pero si existen diferencias (P<0,05) en los valores de a\*. Los parámetros determinados fueron L\* (L\* = 0 [negro] y L\* = 100 [blanco]), a\* (-a\* = tendencia hacia el verde y +a\* = tendencia hacia el rojo) y b\* (-b\* = tendencia hacia el azul y +b\* = tendencia hacia el amarillo).

Según los resultados de la tabla 16, se observa que el valor de L\* disminuyó de L\* = 45,21 (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta L\* 40,56 (pan con 20 % de sustitución, T4), siendo ligeramente más oscuro esta última que tuvo el valor L\* más bajo, lo que significa que la luminosidad disminuye en

la medida que se incrementa el nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

Según los valores de  $a^*$ , se observa un decrecimiento de  $a^*= 16,03$  (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta  $a^*= 12,43$  (pan con 20 % de sustitución, T4), todas las muestras tuvieron una ligera tendencia hacia el rojo, siendo menor esta tendencia en la muestra T4, es decir la tendencia al rojo disminuye a medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano. Esta disminución de la tendencia hacia el rojo en la medida que aumenta la sustitución, se debe al efecto de la harina de cáscara de plátano que tiene un color ligeramente verde.

En cuanto al valor de  $b^*$ , se observa que disminuyó de  $b^*= 22,29$  (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta  $b^*= 16,04$  (pan con 20 % de sustitución, T4), todas las muestras tuvieron una tendencia hacia el amarillo, siendo menor esta tendencia en la muestra T4, es decir la tendencia al amarillo disminuye a medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por de cáscara de plátano. Según estos valores se observa una ligera disminución de la tendencia hacia el amarillo a medida que aumenta la sustitución, el cual se debe al efecto de la harina de cáscara de plátano que tiene un color ligeramente verde.

Tabla 17

*Color de la miga del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano*

Tratamientos	L*	a*	b*
T0	73,75 ± 0,75 a	-0,81 ± 0,03 e	17,68 ± 0,34 a
T1	66,07 ± 3,82 b	0,31 ± 0,13 d	18,02 ± 0,79 a
T2	58,91 ± 1,35 c	0,91 ± 0,16 c	16,17 ± 0,33 a
T3	54,81 ± 2,44 c	1,68 ± 0,11 b	16,40 ± 1,08 a
T4	53,80 ± 0,93 c	2,08 ± 0,14 a	15,85 ± 0,99 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). T0 = 100 % HT, T1 = 5 % HCP, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP y T4 = 20 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al color de la miga de los panes, en la tabla 17, se observa que existen diferencias significativas (P<0,05) en los valores de L\* y a\*, en los cinco tratamientos evaluadas, pero no existen diferencias (P>0,05) en los valores de b\*.

Según los resultados de la tabla 17, se observa que el valor de L\* de la miga disminuyó de L\* = 73,75 (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta L\* 53,80 (pan con 20 % de sustitución, T4), siendo más oscuro esta última al tener el valor L\* más bajo, lo que significa que la luminosidad de la miga del pan disminuye en la medida que se incrementa el nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, tornándose una miga más oscura cuando mayor es la sustitución. La disminución en la luminosidad de la miga del pan ha sido generada por la harina de cáscara de plátano que tiene un color más oscuro que la harina de trigo, dando como resultado un pan con una miga más oscura.

Según los valores de  $a^*$ , se observa un incremento de  $a^* = -0,81$  (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta  $a^* = 2,08$  (pan con 20 % de sustitución, T4), todas las muestras con sustitución tuvieron una tendencia hacia el rojo, siendo mayor esta tendencia en la muestra T4, es decir la tendencia al rojo se aumenta a medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por de cáscara de plátano, el cual se debe al efecto de esta última que tiene un color ligeramente verde.

En cuanto al valor de  $b^*$ , se observa que osciló de  $b^* = 17,68$  (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta las  $b^* = 15,85$  (pan con 20 % de sustitución, T4), no mostrando diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre muestras; los valores de  $b^*$  muestran una tendencia hacia el amarillo, siendo menor esta tendencia en la muestra T4; es decir la tendencia hacia el amarillo disminuye a medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por de cáscara de plátano, debido a que esta harina tiene un color ligeramente verde.

#### **4.2.5. Características sensoriales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

En la tabla 18 y figura 10, se presentan las características sensoriales de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 13). La evaluación sensorial se realizó para corroborar las evaluaciones fisicoquímicas realizadas en las muestras y seleccionar el mejor tratamiento de acuerdo a los análisis de variancia y prueba de comparación de promedios, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 18

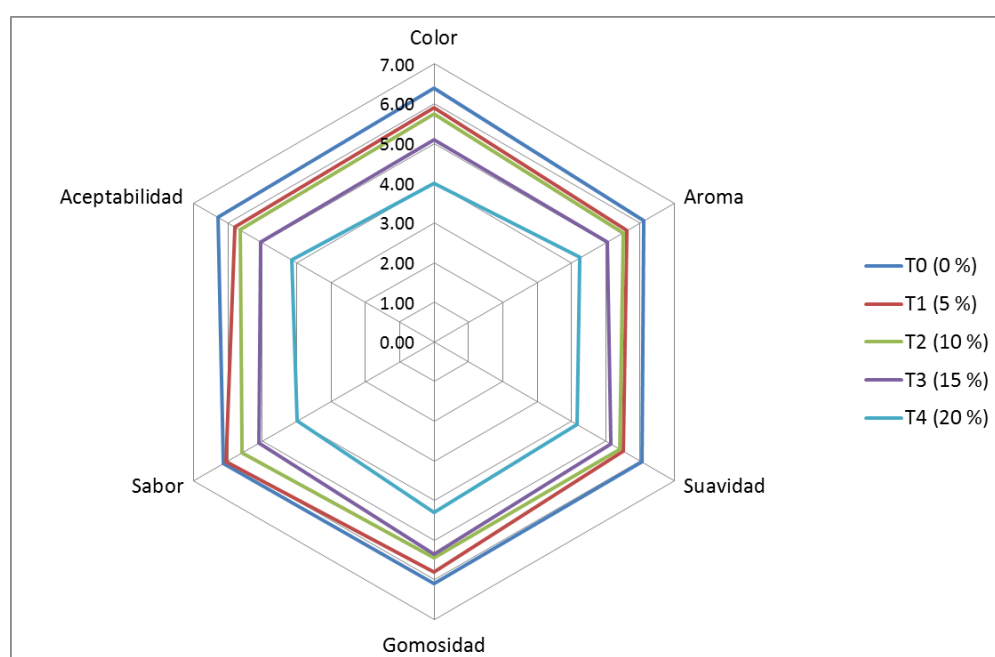
*Características sensoriales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano*

Atributos	T0	T1	T2	T3	T4
Color	6,40±0,82a	5,90±0,85a	5,75±0,44ab	5,10±0,45b	4,00±1,26c
Aroma	6,10±0,79a	5,60±0,82a	5,50±0,61ab	5,05±0,81b	4,25±0,79c
Suavidad	6,05±0,83a	5,50±0,69a	5,40±0,68ab	5,15±0,81b	4,15±1,04c
Gomosidad	6,10±0,79a	5,80±0,62a	5,45±0,89ab	5,35±0,99b	4,30±0,73c
Sabor	6,15±0,81a	6,05±0,76a	5,60±0,75ab	5,10±0,97b	4,00±0,73c
Aceptabilidad	6,30±0,57a	5,80±0,77a	5,65±0,75ab	5,05±0,76b	4,15±0,93c

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T1 = 5 % HCP, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP y T4 = 20 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 10. Características sensoriales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.*

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 18 y anexo 13, se observa que para algún nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en los atributos sensoriales de los panes, este resultado demuestra que la sustitución influye en la calidad sensorial, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

En la tabla 18, figura 10 y anexo 13, se observa los resultados de la evaluación sensorial en los atributos color, aroma, suavidad, gomosidad, sabor y aceptación general. Estos resultados muestran que no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), entre los tratamientos T0, T1 y T2 con 0, 5 y 10 % de sustitución respectivamente, pero existe diferencias con los tratamientos T3 y T4 con 15 y 20 % de sustitución, también se observa que no existe diferencias ente el T2 y T3 con 10 y 15 % de sustitución respectivamente. Estos resultados demuestran que la harina de cáscara de plátano influyó en las características sensoriales del pan, es decir en la medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano los puntajes en los atributos sensoriales tiende a disminuir. Los mayores puntajes fue alcanzado por el testigo T0 (pan con 0 % de sustitución) y los puntajes más bajos el tratamiento T4 (pan con 20 % de sustitución). En todos los atributos las muestras alcanzaron puntajes superiores a 4,0 puntos, y las muestras con 10 % de sustitución lograron puntajes superiores a 5,0 puntos, que según la escala hedónica utilizada corresponden a un calificativo de me gusta poco y me gusta.

Estos resultados tienen coherencia con los análisis físicos como son peso, volumen, volumen específico, densidad y altura del pan; con el perfil de textura: dureza, cohesividad y con los valores CIE  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del color de las



muestras, es decir se observa el efecto de la sustitución de la harina de cáscara de plátano en las características físicas del pan, las que resultaron no significativas hasta el 10 % de sustitución. Dichas características resultan cruciales al momento en que los consumidores eligen el pan que desean comprar y consumir, ya que la gran mayoría tienen preferencias por determinados panes tradicionales elaborados con harina de trigo y otras harinas no convencionales.

La evaluación sensorial es de suma importancia en la investigación, ya que permite contrastar las pruebas físicas, fisicoquímicas y otras, con la apreciación de los panelistas sobre los atributos sensoriales del producto como son: color, aroma, suavidad, gomosidad, sabor y aceptabilidad, esto debido a que los consumidores son los que finalmente determinaran su aceptación en el mercado, de acuerdo a sus preferencias sensoriales.

Según los resultados de la evaluación sensorial y de las evaluaciones físicas, se observa que no existen diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los tratamientos T0, T1 y T2, con 0, 5 y 10 % de sustitución; asimismo se observa que no existe diferencias entre los tratamientos T2 y T3 con 10 y 15 % de sustitución. En base a estos resultados se ha considerado como mejor tratamiento para la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, el T2 (10 % de sustitución), mientras que el T3 (15 % de sustitución) se puede optimizar con una adecuada formulación y proceso. Por estas razones, estos dos tratamientos fueron considerados para los siguientes análisis: químico proximal, minerales, fibra dietaria, polifenoles totales, antioxidantes, carotenos totales y antocianinas.

#### 4.2.6. Composición proximal del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano

En la tabla 19 y figura 11, se presentan la composición proximal de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 14).

Tabla 19

*Composición proximal del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano (g/100g)*

Componentes	T0	T2	T3
Humedad	34,15 ± 0,92 a	34,73 ± 0,64 a	35,08 ± 0,24 a
Proteína	9,38 ± 0,36 a	8,47 ± 0,37 ab	8,12 ± 0,49 b
Grasa	2,34 ± 0,12 a	2,46 ± 0,11 a	2,51 ± 0,10 a
Ceniza	0,62 ± 0,11 c	3,04 ± 0,40 b	4,06 ± 0,14 a
Fibra cruda	0,78 ± 0,12 c	2,92 ± 0,21 b	3,98 ± 0,23 a
Carbohidratos	52,73 ± 1,40 a	48,38 ± 1,09 b	46,25 ± 1,07 b

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

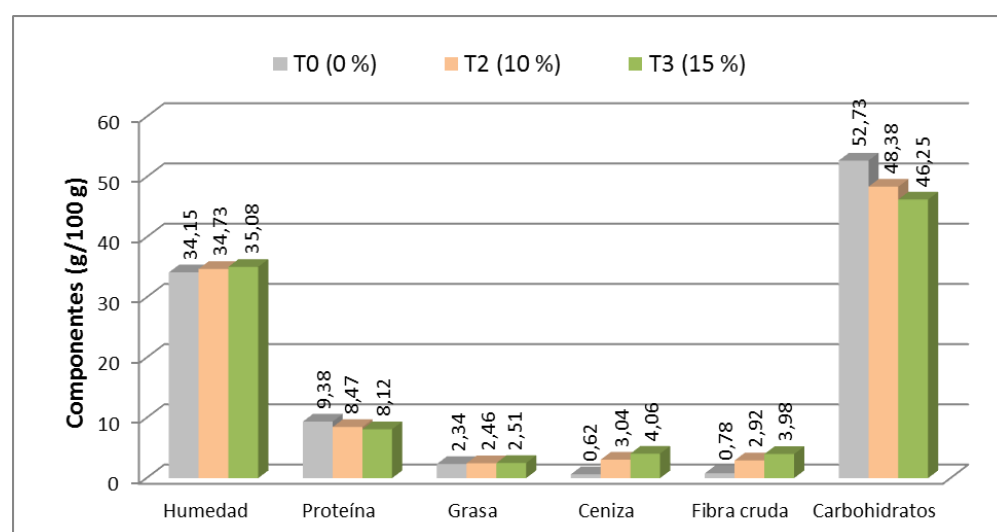


Figura 11. Composición proximal del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19, figura 11 y anexo 14 se observa que existe diferencias significativas ( $P>0,05$ ), en el contenido de proteína, ceniza, fibra cruda y carbohidratos, el cual se debe a que la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano afecta la composición proximal de los panes, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

Al analizar cada componente, en la tabla 19 y figura 11, se observa que existe un ligero incremento del contenido de humedad del pan de 34,15 a 34,73 y 35,08 % en los tratamientos T0, T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución, pero esta diferencia resultó no significativa estadísticamente ( $P>0,05$ ), siendo mayor el contenido de humedad en los tratamientos con 10 y 15 % de sustitución. Este incremento en la humedad del pan es consecuencia de una mayor absorción de agua en los tratamientos con sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, siendo la absorción de agua de 57,2, 61,6 y 64,1 % en los tratamientos T0, T2 y T3 respectivamente; por ello, durante el amasado es necesario aumentar el nivel de agua en la mezcla de harina con sustitución. Sin embargo, la humedad de las muestras estuvo por debajo de 40 %, el cual es el límite máximo permisible para pan de molde.

En cuanto al contenido de proteína se observa una leve disminución de 9,38, 8,47 y 8,12 % en los tratamientos T0, T2 y T3, con 0, 10 y 15 % de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano, también se observa que existen diferencias significativas ( $P<0,05$ ), entre los tratamientos T0 (0 % de sustitución) con el T3 (15 %), pero no existe diferencias ( $P>0,05$ ) entre los tratamientos T0 (0 %) y T2 (10 %), así como entre el T2 (10 %) con

el T3 (15 %). El contenido de proteína disminuye en el pan debido a que la harina de cáscara de plátano tiene menor contenido de proteína que la harina de trigo.

En la tabla 19, se observa un ligero incremento en el contenido de grasa de 2,34, 2,46 y 2,51 % en los tratamientos T0, T2 y T3, con 0, 10 y 15 % de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano, también se observa que este incremento resultó no significativo ( $P>0,05$ ), entre los tres tratamientos; el contenido de grasa aumenta debido a que la harina de cáscara de plátano que tiene mayor contenido de grasa que la harina de trigo.

En cuanto al contenido de cenizas (tabla 19), se observa un incremento de 0,62, 3,04 y 4,06 % en los tratamientos T0, T2 y T3, con 0, 10 y 15 % de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano, también se observa que este incremento resultó no significativo ( $P>0,05$ ), entre los tratamientos T2 y T3, pero si con respecto al testigo (T0). El contenido de ceniza aumenta en el pan en la medida que se incrementa el porcentaje de sustitución, debido a que la harina de cáscara de plátano tiene mayor contenido de ceniza, frente a la harina de trigo. En la tabla 19, también se observa que en las muestras con 0, 10 y 15 % harina de cáscara de plátano el contenido de cenizas no supera el 4,0 %, que es el límite máximo permisible para pan de molde.

Asimismo, en la tabla 19, se observa que el contenido de fibra cruda se ha incrementado de 0,78 a 2,92 y 3,98 % en los tratamientos T0, T2 y T3, con 0, 10 y 15 % de sustitución, y también se observa que existen diferencias significativas ( $P<0,05$ ), en el contenido de fibra cruda entre las tres muestras de pan, siendo mayor en el pan con 15 % de sustitución. El porcentaje de

fibra cruda aumenta por la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

En la tabla 19, se observa que el contenido de carbohidratos disminuyó con la sustitución de la harina de cáscara de plátano de 52,73 a 47,48 y 46,25 % en los tratamientos T0, T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución, también se observa que no existen diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre los tratamientos T2 y T3, pero existe diferencias ( $P<0,05$ ) con el tratamiento T0. Esta disminución se debe al incremento en la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, debido a que esta última harina tiene mayor contenido de fibra y menor contenido de carbohidratos, cuya sustitución provocó en el pan un incremento del contenido de fibra y una disminución en el de carbohidratos.

Estos resultados demuestran que la harina de cáscara de plátano presenta una adecuada composición proximal para ser utilizada mediante sustitución en la elaboración de productos de panificación hasta un 10 % de sustitución.

#### **4.2.7. Contenido de minerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

En la tabla 20 y figuras 12 y 13, se presentan el contenido de minerales en los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 15).

Tabla 20

*Contenido de minerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano*

Minerales	T0	T2	T3
Fósforo (g/100 g)	0,111 ± 0,006 c	0,232 ± 0,022 b	0,346 ± 0,030 a
Calcio (g/100 g)	0,557 ± 0,020 c	0,663 ± 0,037 b	0,758 ± 0,013 a
Magnesio (g/100 g)	0,060 ± 0,007 b	0,068 ± 0,002 ab	0,075 ± 0,006 a
Potasio (g/100 g)	0,137 ± 0,012 c	0,493 ± 0,060 b	0,637 ± 0,039 a
Sodio (g/100 g)	0,248 ± 0,007 c	0,334 ± 0,046 b	0,588 ± 0,032 a
Cobre (ppm)	1,53 ± 0,04 b	1,86 ± 0,20 b	2,42 ± 0,32 a
Hierro (ppm)	0,81 ± 0,17 b	3,18 ± 1,41 b	6,11 ± 1,20 a
Zinc (ppm)	9,53 ± 0,92 b	19,18 ± 1,24 b	34,10 ± 7,14 a
Manganeso (ppm)	5,74 ± 0,18 b	6,60 ± 0,40 ab	7,37 ± 0,44 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

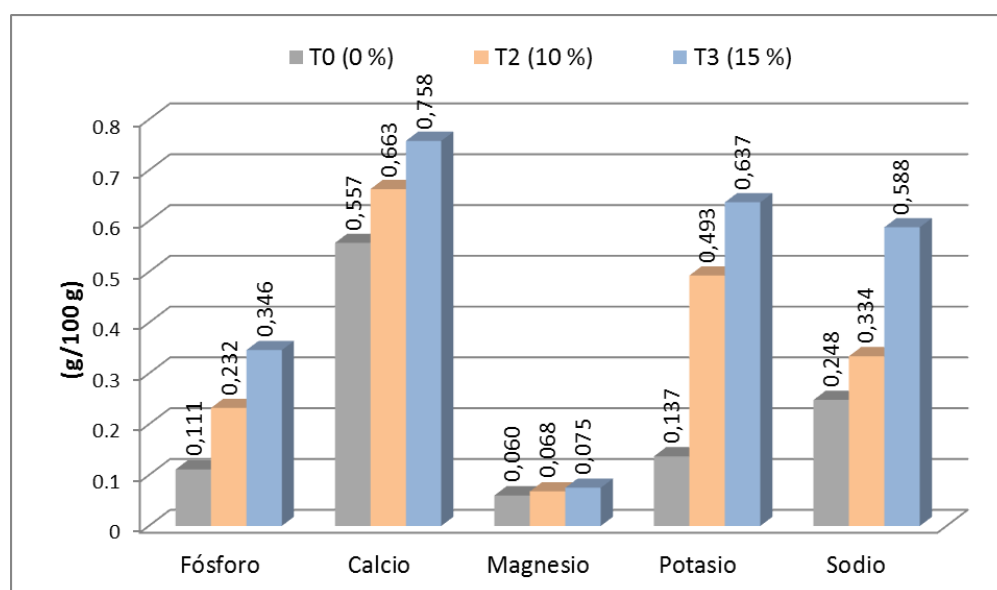


Figura 12. Contenido de macrominerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

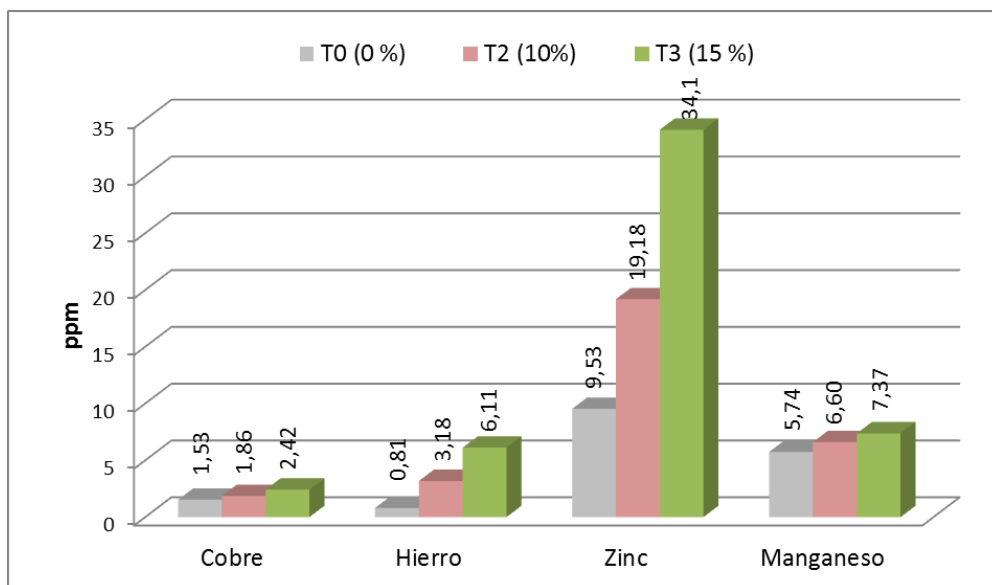


Figura 13. Contenido de microminerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20, figuras 12 y 13, se observa que los contenidos de todos los minerales analizados como son: fósforo, calcio, magnesio, potasio, sodio, cobre, hierro, zinc y manganeso, se incrementó con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; también se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el contenido de minerales entre los tratamientos T0, T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución. Este resultado evidencia que la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución mejoró el contenido de minerales en los panes con sustitución, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

El mayor contenido de minerales en los panes con harina de cáscara de plátano es una importante contribución en la mejora de la alimentación, ya que los minerales son elementos indispensables para el buen funcionamiento del organismo humano; por el contrario, la ingesta de minerales se ha

relacionado con el deterioro mental, el aumento de las enfermedades y la desnutrición severa. Algunos minerales son necesarios en menor cantidad (micro), mientras que otros se necesitan en mayor cantidad (macro).

En las muestras con 10 y 15 % de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, se ha observado importantes incrementos de macro minerales como fósforo, calcio, magnesio, potasio, sodio; siendo el calcio y potasio los dos minerales determinados en mayor concentración; de igual modo, se observa significativos incrementos en el contenido de micro minerales como el cobre, hierro, zinc y manganeso, siendo el zinc el que se encuentra en mayor concentración.

#### **4.2.8. Características bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

##### **Contenido de fibra dietaria**

En la tabla 21 y figura 14, se presentan el contenido de fibra dietaria en los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 16).

Tabla 21

*Contenido de fibra dietaria insoluble, soluble y total en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano (g/100g)*

Tipo de fibra	T0	T2	T3
Fibra dietaria insoluble	2,10 ± 0,09 c	5,32 ± 0,27 b	6,73 ± 0,25 a
Fibra dietaria soluble	1,14 ± 0,08 c	1,54 ± 0,14 b	1,94 ± 0,19 a
Fibra dietaria total	3,24 ± 0,23 c	6,86 ± 0,25 b	8,67 ± 0,30 a
Ratio FDI/FDS	1,84:1	3,45:1	3,47:1

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.



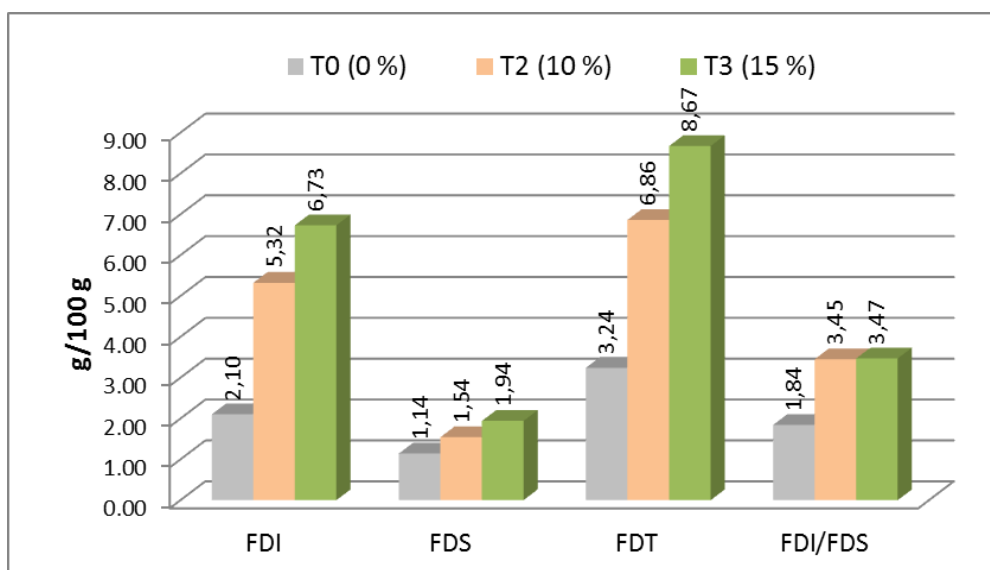


Figura 14. Contenido de fibra dietaria en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 21 y figura 14, se muestran que los contenidos de fibra dietaria insoluble, soluble y total, se incrementa con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; también se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos T0, T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

Estos incrementos son debidos a que la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución presenta alto contenido de fibra dietaria total, fibra dietaria insoluble y fibra dietaria soluble (Tabla 9), mientras que en la harina de trigo el contenido de fibra dietaria total es bajo. En la tabla 21, se observa que los panes con 10 y 15 % de harina de cáscara de plátano contienen 6,86 y 8,67 % de fibra dietaria total respectivamente, cantidad superior al requerido para ser etiquetado como pan alto en fibra (más de 6 g/100 g de alimentos).

Asimismo, se observa que la relación fibra dietaria insoluble/fibra dietaria soluble en los panes con 10 y 15 % de harina de cáscara de plátano es de 3,45:1 y 3,47:1, y en el control (1,84:1); por tanto, los panes con 10 y 15 % de harina de cáscara de plátano presentan un buen balance en fibra dietaria, debido a que para una dieta bien balanceada la relación fibra dietaria insoluble/fibra dietaria soluble debe ser de 3:1, este valor es importante para los efectos nutricionales y las propiedades bioactivas de la fibra en la dieta humana.

### Contenido de polifenoles y antioxidantes

En la tabla 22 y figuras 15 y 16, se presentan la el contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 17).

Tabla 22

*Polifenoles totales y actividad antioxidante del pan de trigo sustituido con harina de cáscara de plátano*

Componente	T0	T2	T3
Polifenoles totales (mg EAG/ g muestra)	4,19 ± 0,27 c	9,27 ± 0,19 b	12,48 ± 0,11 a
Actividad antioxidante (DPPH) IC <sub>50</sub> (µg/ml)	26,83 ± 0,41 b	2,73 ± 0,05 a	2,35 ± 0,06 a
Actividad antioxidante (ABTS) IC <sub>50</sub> (µg/ml)	15,18 ± 0,88 b	0,89 ± 0,06 a	0,49 ± 0,03 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). T0 = 100 HT, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

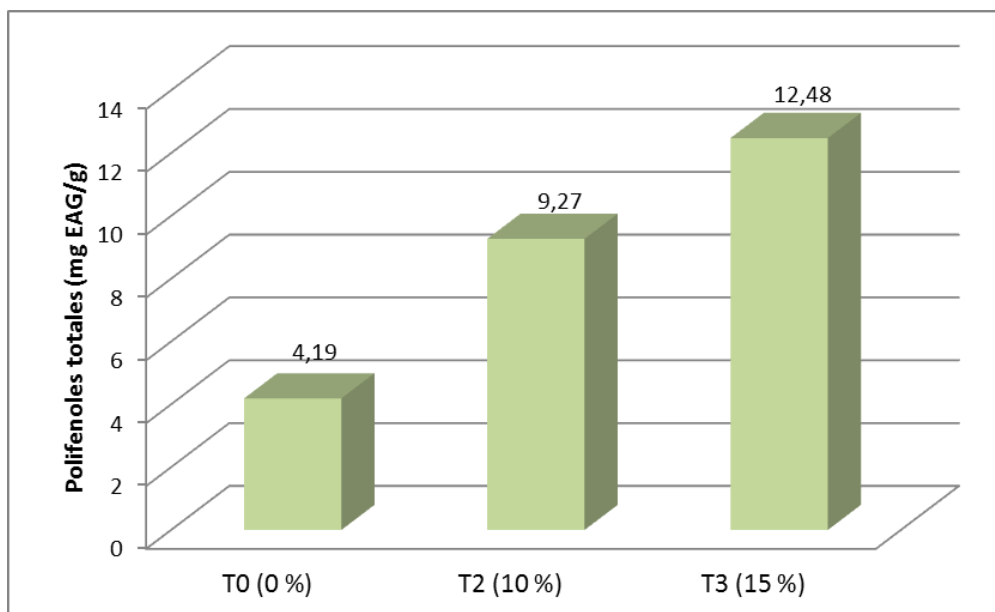


Figura 15. Contenido de polifenoles totales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 se observa que, en los contenidos de polifenoles totales y la actividad antioxidante, existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos T0, T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

En la tabla 22 y figura 15, se observa que los contenidos de polifenoles totales en los panes se incrementa en la medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, en los tratamientos T0, T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución (4,19, 9,27 y 12,48 mg EAG/g de muestra respectivamente), siendo mayor el contenido de polifenoles totales en las muestras con 15 y 10 % de sustitución frente al control sin sustitución. Este incremento es debido a que la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución tiene un mayor contenido de polifenoles totales (33,84 mg

EAG/g), frente a la harina de trigo (entre 0,35 a 0,53 mg EAG/g) reportado por Sánchez (2016).

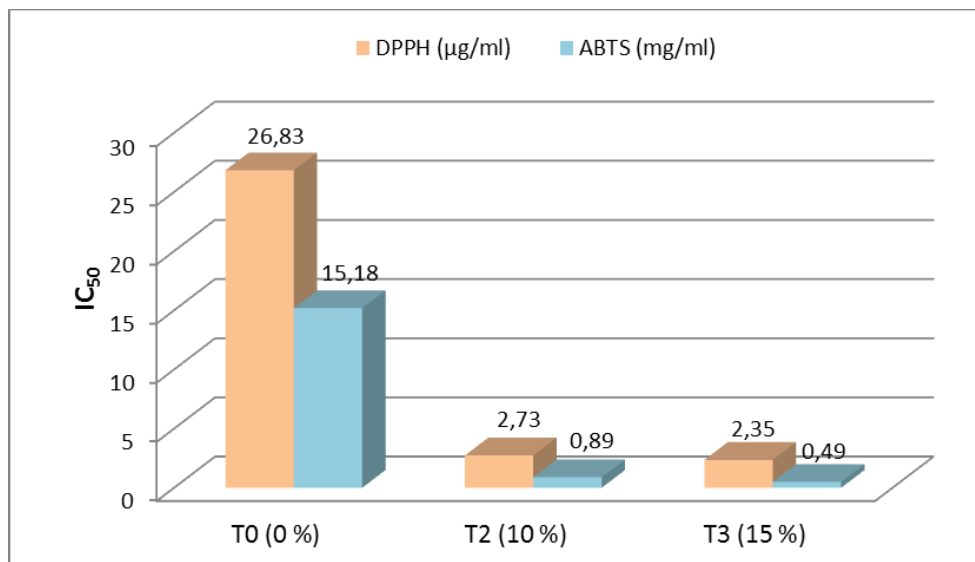


Figura 16. Actividad antioxidante del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 y figura 16, se observa que el valor de  $IC_{50}$  ( $\mu\text{g/ml}$ ) disminuye con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano (con DPPH:  $IC_{50}$  ( $\mu\text{g/ml}$ ) 26,83, 2,73 y 2,35, y con ABTS:  $IC_{50}$  (mg/ml) 15,18, 0,89y 0,49 respectivamente), el cual indica que la actividad antioxidante es mayor en las muestras con sustitución y menor en la muestra control (T0); también se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos T0 frente al T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución. Este incremento es debido a que la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución tiene una mayor actividad antioxidante frente a la harina de trigo. También, en la tabla 22 y figuras 15 y 16, se observan que los valores de actividad antioxidante determinadas mediante el DPPH y ABTS, está relacionado con los contenidos de polifenoles totales, es decir en la medida

que se incrementa el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por la harina de cáscara de plátano, se incrementa el contenido de polifenoles totales y a la vez se incrementa la actividad antioxidante del pan.

### Contenido de carotenos y antocianinas

En la tabla 23 y figura 17, se presentan el contenido de carotenos totales y antocianinas en los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cascara de plátano (más detalle anexo 18).

Tabla 23

*Carotenos totales y antocianinas en el pan de trigo sustituido con harina de cáscara de plátano*

Componente	T0	T2	T3
Carotenos totales (mg/100 g)	0,078 ± 0,014 c	0,132 ± 0,008 b	0,159 ± 0,008 a
Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/100 g)	ND	0,036 ± 0,005 b	0,052 ± 0,006 a

Valores promedios ± desviación estándar (n = 3). T0 = 100 % HT, T2 = 10 % HCP, T3 = 15 % HCP.

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05).

Fuente: Elaboración propia.

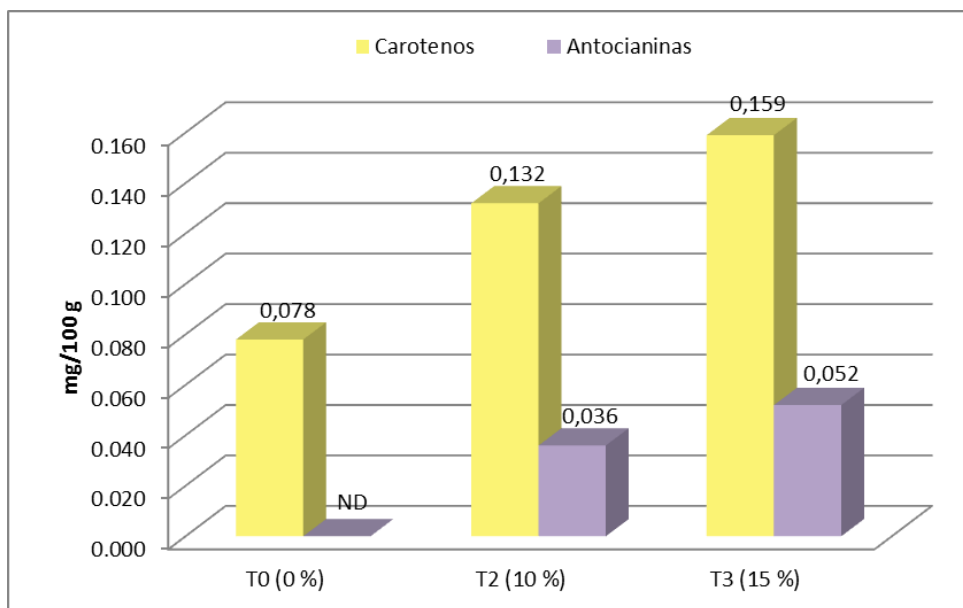


Figura 17. Contenido de carotenos totales y antocianinas en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 y figura 17, se observa que el contenido de carotenos totales se incrementa en la medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; también se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos T0, T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución (0,078, 0,132 y 0,159 mg/100 g de muestra respectivamente), siendo mayor el contenido de carotenos totales en las muestras con 15 y 10 % de sustitución frente al control sin sustitución. Este incremento es debido a que la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución tiene un importante contenido de carotenos totales.

Asimismo, en la tabla 23, se observa la presencia de antocianinas en las muestras de pan con sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; también se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos T2 y T3 con 10 y 15 % de sustitución (0,036 y 0,052

mg/100 g de muestra respectivamente), siendo mayor el contenido de antocianinas en los panes con 15 % de sustitución, mientras que en el control no ha sido detectado con el método empleado. Este incremento es debido a que en la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución también se ha determinado un importante contenido de antocianinas.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1. De las características de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

##### 5.1.1. Del rendimiento en la obtención de la harina de cáscara de plátano

De la tabla 4, con respecto a la cáscara fresca, esta representa el 29,7 % del peso de la fruta fresca, este resultado es muy similar al obtenido por Agama, *et al.*, (2016), quien trabajando con 20,5 kg de plátano inmaduro obtuvo 6,35 kg de cáscara, que representó el 30,98 % del peso de la fruta. Asimismo, en otro estudio, Pathak, *et al.*, (2016), afirman que, la cáscara de banano constituye del 30 - 40 % (p/p) de una fruta fresca.

En cuanto al rendimiento en harina de cáscara esta fue de 4,02 % (tabla 4) con respecto al plátano entero, este rendimiento es similar al indicado por Yangilar (2015), quien reporta rendimientos medios en harina de cáscara de plátano verde y harina de la pulpa de 4,03 y 17,2 %, respectivamente; y que la pulpa daba mayor cantidad de harina que la cáscara. Además, la relación pulpa/cáscara alcanzada (2,07) fue mayor el obtenido en plátano macho (1,72) reportado por Madrigal, *et al.*, (2008).

##### 5.1.2. De la granulometría de la harina de cáscara de plátano

Según la tabla 5, la harina de cáscara de plátano, tuvo un módulo de finura de 4.4 y con un índice de uniformidad de 42 % para un tamaño de partícula de entre 180 a 250  $\mu\text{m}$ , valores que corresponden a una harina gruesa, debido a su alto contenido de fibra. Además, los valores determinados se encuentra dentro de los límites



indicados por el CODEX STAN 176-1989, para harina fina de yuca comestible, que establece: mínimo el 90 % deberá pasar por un tamiz de 0,60 mm; de igual modo, según el CODEX STAN 155-1985, para harina de maíz sin germen, el 25 % o menos deberá pasar por un tamiz de 0,210 mm; en ambos casos la harina de cáscara de plátano se encuentra dentro de estos límites.

### **5.1.3. De la acidez y pH de las harinas de pulpa y cáscara de plátano**

De acuerdo a la tabla 6, la harina de trigo utilizada en la investigación tuvo un pH de 5,93, este valor se encuentra en el rango de alimentos de baja acidez con  $\text{pH} \geq 4,6$  (Cheftel, *et al.*, 1999). De igual modo, la acidez fue de 0,069 %, este valor se encuentra dentro del límite establecido por la NTP 205.027 (1986), para harina de trigo para consumo doméstico y uso industrial, cuyos límites máximos de acidez en las harinas consideradas en la norma son: especial 0,10 %, extra 0,15 %, popular 0,16 %, semi-integral 0,18 % e integral 0,22 %.

Asimismo, de acuerdo a la tabla 6, se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el pH y acidez, entre la harina de trigo y la harina de cáscara de plátano; esta última presentó mayor acidez (0,645 %) y un menor pH (4,74). Estos valores son similares al determinado por Alkarkhi, *et al.*, (2010), en harina de cáscara de plátano variedad Cavendish, cuyo rango de pH fue de 4,30 a 5,33, con un valor medio de 4,80, quienes también sumergieron la cáscara en una solución de ácido cítrico al 0,5% (p/v) durante 10 minutos para reducir el pardeamiento enzimático; de igual modo, Türker *et al.*, (2016), reportan para harina de cáscara de plátano verde (*Musa Cavendishii*), un pH de 4,74 y una acidez de 1,72 % como ácido málico; en cáscaras tratados con una solución de 1 g de ácido cítrico/L de agua, para inhibir el pardeamiento enzimático.

#### 5.1.4. Del color de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

De acuerdo a la tabla 7, se observa que, las tres harinas evaluadas presentan características del espectro CIE  $L^* a^* b^*$ , diferentes ( $P < 0,05$ ); la harina de trigo ( $L^* = 96,08$ ) es más blanco que la harina de plátano ( $L^* = 93,27$ ) y la harina de cáscara de plátano ( $L^* = 78,69$ ), siendo más oscuro. Sin embargo, la harina de cáscara de plátano obtenido en la investigación ( $L^* = 78,69$ ) fue menos oscuro que el reportado por Alkarkhi, et al., (2010), para harina de cáscara de plátano variedad Cavendish ( $L^* = 40,88$ ), tratado con una solución de ácido cítrico al 0,5% (p/v) para reducir el pardeamiento enzimático; en la investigación se utilizó además de ácido cítrico al 0,25 %, metabisulfito de sodio al 0,20 %, los que tuvieron mejor efecto en la inhibición del pardeamiento enzimático. De igual modo, la harina obtenida fue menos oscura que la reportada por Türker *et al.*, (2016), quienes mencionan un valor de  $L^* = 65,16$  para harina de cáscara de plátano verde; y más blanca que la harina de plátano macho ( $L^* = 88,17$ ) reportado por Madrigal *et al.*, (2008).

En cuanto al valor de  $a^*$  de la harina de cáscara de plátano ( $a^* = -1,20$ ) difiere con lo reportado por Alkarkhi, *et al.*, (2010), para harina de cáscara de plátano variedad Cavendish ( $a^* = 5,20$ ), ya que dicha harina presentó una ligera tendencia hacia el rojo; mientras que la harina obtenida en la investigación presenta una ligera tendencia hacia el verde, esta diferencia se debe a la variedad y a la solución utilizada para inhibir el pardeamiento. Sin embargo, el valor de  $a^*$  obtenido en la investigación fue similar al reportado por Türker, *et al.*, (2016),  $a^* = -1,72$ , en harina de cáscara de plátano verde.

En cuanto al valor de  $b^*$  de la harina de cáscara de plátano ( $b^* = 21,06$ ), son muy similares a los reportados por Alkarkhi, *et al.*, (2010), ( $b^* = 23,27$ ) y Türker *et al.*, (2016), ( $b^* = 22,49$ ) en harina de cáscara de plátano variedad Cavendish; ya que en las dos investigaciones, las harinas presentan una tendencia hacia el amarillo; esto se explica, al oxidarse las clorofilas durante el secado se hacen visibles los carotenos y las antocianinas, que son pigmentos naturales de la cáscara del plátano; como reportan Blasco y Gómez (2014), Catalan, (2016), García, *et al.*, (2016), Pazmiño, *et al.*, (2001) y Alzate, *et al.*, (2011).

#### **5.1.5. De la composición proximal de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.**

De la tabla 8 y figura 3, se observa diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en los contenidos de proteína, grasa, fibra cruda, cenizas y carbohidratos, estos resultados coinciden con lo reportado por Castelo *et al.*, (2017), quienes manifiestan que los contenidos de humedad, cenizas, proteínas, grasas, carbohidratos y fibra de la harina de pulpa de banana verde y harina de cáscara de banana verde fueron significativamente diferentes.

Al analizar los valores de cada componente, la tabla 8, muestra que no existe diferencia significativa ( $P > 0,05$ ), en el contenido de humedad entre la harina de plátano (8,81 %) y la harina de cáscara de plátano (8,42 %). Además, estos valores de humedad se encuentran en el rango establecido por la Norma del CODEX para la harina de trigo, que indica un contenido de humedad de 15,5 % máximo (CODEX STAN 152-1985), así como en la NTP 205.027 (1986), que la humedad máxima para harina de trigo es 15 %. Asimismo, el contenido de humedad de la harina de cáscara de plátano fue muy similar al reportado por Nasrin *et al.*, (2015), quienes han determinado una humedad de 8,08 % en harina de cáscara de plátano, y

ligeramente menor al reportado por Ramli, *et al.*, (2010), quienes indican una humedad de 9,21 % y 9,45 %, en harina de cáscara de plátano verde Dream y Cavendish, respectivamente. Estas diferencias podría deberse a las diferencias en las variedades investigadas y los parámetros de procesamiento utilizados.

El contenido de proteínas es mayor en la harina de cáscara de plátano (8,26 %) que en la de pulpa (3,85 %). Este resultado tiene relación con lo reportado por Costelo *et al.*, (2017), cuyo contenido de proteína en la harina de cáscara de plátano verde fue 7,52 % y en la pulpa 4,60 %. Asimismo, el porcentaje de proteína determinado en la cáscara de plátano es muy similar al reportado por Wachirasiri, *et al.*, (2009), 8,6 %, pero ligeramente menor que los reportados por Agama, *et al.*, (2016), 10,29 % y Türker, *et al.*, (2016), 11,61 %, para cáscara de plátano verde utilizado en diversas investigaciones. También Ramli, *et al.*, (2010), reportan un contenido de proteínas de 7,09 % y 7,25 % en harina de cáscara de plátano verde Cavendish y Dream, respectivamente. De igual modo, Emaga, *et al.* (2007), indican contenidos de proteínas en cáscara del banano y plátano de 8 – 11 %. Además, mencionan que en comparación con las cáscaras de otras frutas, la proteína y el contenido de grasa de la cáscara de plátano fueron mayores que los de la cáscara de limón (7,0 y 2,5 g/100 g) y la cáscara de naranja dulce (9,1 y 2,6 g/100 g) respectivamente. Estos resultados demuestran que la cáscara de plátano tiene mayor contenido de proteínas que la pulpa, esta última utilizado comúnmente en la alimentación humana y en la elaboración de diversos productos alimenticios; mientras que la cáscara con mayor contenido de proteínas no es aprovechada para consumo humano, más bien es desechada como desperdicio o utilizada en la preparación de abonos y la alimentación animal, como refiere Vidal, *et al.*, (2001).

El contenido de grasa en la harina de pulpa de plátano (0,42 %) es significativamente menor ( $P < 0,05$ ) que en la cáscara (5,04 %). Este resultado tiene relación con lo reportado por Costelo, *et al.*, (2017), quienes informan un mayor contenido de grasa en la harina de cáscara de banana verde (9,04 %) en comparación con la harina de la pulpa (0,48 %). Por otro lado, el contenido de grasa determinado en la cáscara de plátano es muy similar a los valores reportados por Agama *et al.*, (2016), 5,02 % y Türker, *et al.*, (2016), 6,17 %, pero es ligeramente menor que el reportado Wachirasiri, *et al.*, (2009), 13,1 %, para cáscara de plátano verde. También, Emaga, *et al.*, (2007), reportan que el contenido de lípidos en la cáscara de plátano y banana varió de 2,2 % a 10,9 %. Asimismo Ramli, *et al.*, (2010), reportan un contenido de grasa de 4,81 % y 5,00 % en harina de cáscara de plátano verde Dream y Cavendish, respectivamente. Estos resultados demuestran que la cáscara de plátano es una fuente importante de grasa vegetal que junto a los demás componentes puede ser aprovechada en la elaboración de diversos productos alimenticios para consumo humano.

También, el contenido de cenizas en la harina de pulpa de plátano (3,06 %) es menor que en la cáscara (9,86 %). Este porcentaje de cenizas determinado en la cáscara de plátano es similar al reportado por Narsin, *et al.*, (2015), que indican un contenido de cenizas de 9,66 % en harina de cáscara de plátano; sin embargo, es menor a los valores reportados por Agama, *et al.*, (2016), 12,7 % y Wachirasiri, *et al.*, (2009), 15,25, para cáscara de plátano verde. Estas variaciones puede deberse a diferencias en las variedades utilizadas y a factores geográficos como afirman Emaga, *et al.*, (2007). Estos resultados corroboran que la cáscara de plátano presenta un mayor contenido de cenizas en comparación con la pulpa.

Asimismo, en la tabla 8, el contenido de fibra cruda difiere significativamente ( $P < 0,05$ ), entre la harina de pulpa de plátano (2,54 %) y la harina de cáscara (10,08 %). Este resultado tiene relación con lo reportado por Costelo, *et al.*, (2017), quienes informan un mayor contenido de fibra cruda en la harina de cáscara de banana verde (8,89 %) en comparación con la harina de la pulpa (4,77 %). Además, el porcentaje de fibra cruda presente en la harina de plátano son similares a los valores reportados por Gil, *et al.*, (2011), 2,35 % para harina de banano verde con cáscara y Ramli, *et al.*, (2009), de 2,32 a 2,56 % en harina de banana verde dream y cavendish respectivamente. Asimismo, Ramli, *et al.*, (2010), reportan un contenido de fibra cruda de 10,02 % y 10,46 % en harina de cáscara de plátano verde Dream y Cavendish, respectivamente. Por otro lado, el contenido de fibra cruda en la harina de cáscara de plátano es similar al contenido de fibra en harinas de cascara de otras frutas como guayaba (9,93 %) y bergamota (9,4 %), pero menor que el de naranja (16,70 %) reportado por Stefanello y Rosa (2012). Estos resultados demuestran que las cáscaras contienen mayor cantidad de fibra que la pulpa, el cual es una característica común en estos productos, debido a que la cáscara es la capa protectora de frutas y vegetales, como refiere Fennema (2010), los tejidos protectores se forman en la superficie de los órganos vegetales y constituyen su piel, y es de gran importancia en el manejo post cosecha.

En cuanto al contenido de carbohidratos (tabla 8), existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), entre la harina de pulpa de plátano (81,32 %) y la harina de cáscara (58,31 %). Este resultado tiene relación con lo reportado por Costelo, *et al.*, (2017), quienes informan un mayor contenido de carbohidratos en la harina de pulpa de banana verde (84,4 %) en comparación con la harina de cáscara (70,0 %). También, el porcentaje de carbohidratos de la harina de plátano es similar al reportado por

Gil, *et al.*, (2011), 81,75 % para harina de banano verde con cáscara, Soto (2010) 81,03 % en harina de plátano verde y Ayala, *et al.*, (2003), 85,72 % en harina de pulpa de plátano verde. Estos resultados demuestran que la harina de cáscara (58,31 %) contiene menor cantidad de carbohidratos que la pulpa; valores similares han reportado Ramli, *et al.*, (2010), que mencionan un contenido de carbohidratos de 60,52 % y 60,81 % en harina de cáscara de plátano verde Cavendish y Dream, respectivamente. También Agama, *et al.*, (2016) reportan un menor contenido de carbohidratos en la harina de cáscara de plátano (39,29 %).

Por otro lado, al comparar la harina de cáscara de plátano con la harina de trigo reportado por INCAP-OPS (2012), esta última presenta mayor contenido de proteína (11,98 g/100 g) y carbohidratos (72,53 g/100 g), pero menor contenido de grasa (1,66 g/100 g) y ceniza (0,47 g/100 g).

La composición proximal de la harina de cáscara de plátano analizado en la investigación demuestra que este subproducto presenta mayor contenido de nutrientes que la harina de pulpa, por tanto, se debe dar especial interés su aplicación en alimentos de consumo humano, como refiere Sulaiman, *et al.*, (2011), se necesitan más investigaciones para destacar las aplicaciones prácticas para una mejor utilización de las cáscaras de banano.

#### **5.1.6. Del contenido de minerales en las harinas de pulpa y cáscara de plátano**

De la tabla 9, se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, cobre, hierro, zinc y manganeso, entre la harina de cáscara y pulpa de plátano; siendo mayor el contenido de estos minerales en la cáscara. Al respecto, Fernandes, *et al.*, (2014), afirman que, la cáscara superó a la pulpa en los contenidos promedios de macro y micronutrientes

en 15 cultivares de plátano (*Musa* spp.); cuyos contenidos de macronutrientes (g/100 g) fueron (pulpa/cáscara): N (1.040/2.075), P (0.328/0.635), K (0.902/3.583), Mg (0.091/0.122); Ca (0.016/0.185); asimismo, los micronutrientes (ppm) fueron: Fe (30.15/62.80), Zn (21.83/51.86), Mn (12.73/49.08) y Cu (4.25/7.30).

Según los resultados de la investigación, el orden en la concentración de macrominerales en la harina de cáscara de plátano fue: K> P> Ca> Mg> Na, y de micronimerales Zn> Fe> Mn> Cu; al respecto Yusoff (2008), reporta el orden relativo de concentración de macrominerales fue K> Mg> Na> Ca, mientras que el orden de disminución de la concentración de microminerales fue Mn> Fe> Zn> Cu, en pulpas y cáscaras de banana fresca.

Estos resultados demuestran que la cáscara del plátano es una importante fuente de minerales superando en contenido a la pulpa, la misma que no está siendo aprovechado en la alimentación humana; estos resultados son confirmados por Fernandes, *et al.*, (2014), quienes aseveran que, en relación a los niveles medios de minerales, se constató que, para N, P, Fe, Zn y Cu, la cáscara presentó el doble del contenido observado en la pulpa, mientras que el contenido de K y Mn en la cáscara fue de aproximadamente cuatro veces el de la pulpa.

De acuerdo a la tabla 9, de todos los minerales analizados el contenido de potasio se encontró en mayor concentración en la cáscara del plátano en comparación con la pulpa, este resultado tiene relación con los reportados por Emaga, *et al.* (2007), quienes mencionan que, el potasio fue el elemento mineral más importante en la cáscara de plátano y banana. De igual modo, Yusoff (2008), refiere que, el potasio fue el elemento mineral más significativo en las pulpas y las cáscaras de banano



con un valor estimado de 295,68 – 463,57 mg/100 g de peso fresco y 1071,20 – 1361,56 mg/100 g de peso fresco, respectivamente.

Los resultados de la harina de cáscara de plátano muestran un mayor contenido de minerales frente a la harina de trigo para pan reportado por INCAP-OPS (2012), en cuya tabla de composición de alimentos para Centroamérica, reporta que el contenido de minerales en la harina de trigo es: fósforo 0.097, potasio 0.10, magnesio 0.025, calcio 0.015, sodio 0.002 expresado en g/100 g; así como hierro 9.0 y zinc 8.5 expresados en ppm; estos valores son inferiores al determinado en la harina de cáscara de plátano.

#### **5.1.7. De las características bioactivas y actividad antioxidante de las harinas de pulpa y cáscara de plátano.**

##### **Del contenido de fibra dietaria**

De acuerdo a la tabla 10, el contenido de fibra dietaria insoluble, soluble y total en la harina de cáscara de plátano (35,75, 6,43 y 42,18 %) fue significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) que en la harina de pulpa de plátano (11,33, 2,25 y 13,58 %). Asimismo, el contenido de fibra dietaria total determinado en la investigación se encuentra dentro del rango mencionado por Emaga, *et al.*, (2007), quienes afirman que la cáscara de seis variedades de plátano y banana estudiadas eran ricas en fibra dietética total (40-50 %). Asimismo, según Agama, *et al.*, (2016), la harina de cáscara de plátano estudiado reportó un contenido de fibra dietaria total de 37,64 %, fibra dietaria soluble 7,3 % y fibra dietaria insoluble 30,34 %, valores similares al determinado en la presente investigación. Sin embargo, Wachirasiri, *et al.*, (2009), en la composición proximal de la cáscara de banano reporta un mayor contenido de

fibra dietaria total de (50,25 %); esto puede deberse a diferencias en las variedades estudiadas y a factores geográficos. Además, Wachirasiri, *et al.*, (2009), mencionan que, el contenido de fibra dietética total fue menor que el obtenido a partir de diferentes fuentes de subproductos industriales de frutas (60 - 78 g/100 g).

Sin embargo, la harina de pulpa y cáscara de plátano presentan un mayor contenido de fibra que la harina de trigo reportado por INCAP-OPS (2012), que indica un contenido de fibra dietaria total de 2,40 g/100 g. Por ello, como refiere Agama, *et al.*, (2016), la harina de cáscara de plátano, con mayor contenido de fibra dietética, alta capacidad antioxidante y características funcionales, podría ser utilizada como ingrediente funcional para la elaboración de alimentos

Este resultado es importante, debido a que, la incorporación de fibra en los alimentos ha despertado mucho interés por presentar efectos positivos en la salud de las personas, como manifiesta Sánchez, *et al.*, (2015), la importancia de la fibra dietaria se debe a que está compuesto principalmente por carbohidratos no digeribles ni absorbibles en el tubo digestivo y que llegan intactos al colon, por lo que ha sido empleado frecuentemente para tratar y prevenir diversas patologías gastrointestinales.

### **Del contenido de polifenoles y actividad antioxidante**

Según la tabla 11, existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), en el contenido de polifenoles totales entre la harina de cáscara (33,84 mg EAG/g de muestra) y la harina de pulpa de plátano (9,59 mg EAG/g de muestra); siendo mayor el contenido de polifenoles en la harina de cáscara. Este resultado tiene relación con los reportado por Someya, *et al.*, (2002), quienes mencionan que, los compuestos fenólicos totales fueron más abundantes en la cáscara (9,07 mg/g) que en la pulpa (2,32 mg /g), y que ese resultado fue consistente con la actividad antioxidante. Sin

embargo, la concentración de polifenoles determinado en la investigación son mayores al reportado por Someya, *et al.*, (2002), estas diferencias puede ser debido a diferencias en las variedades y a factores geográficos.

El contenido de polifenoles totales determinado en la investigación son similares a los reportados por Gomes, *et al.*, (2014), en extractos de harina de cáscara de plátano, en el que exhibieron un alto contenido fenólico total (alrededor de 29,2 mg EAG/g). De igual modo Castelo, *et al.*, (2017), han determinado que la harina de cáscara de banana verde (40,3 mg GAE/100 g) presentó más compuestos fenólicos totales que la harina de pulpa verde (32,9 mg GAE/100 g). En otro estudio, Agama, *et al.*, (2016), reportan altos contenidos de polifenoles determinado como taninos condensados (31,0 mg GAE/g) y taninos hidrolizables (20,1 mg GAE/g), en la harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Asimismo, Veliz (2016), reporta que, el contenido de compuestos fenólicos del liofilizado de la cáscara de *Musa acuminata* Colla “plátano morado” fue de 19,9 mg EAG/g y el de *Musa paradisiaca* L “plátano Gros Michel” 41,69 mg EAG/g.

La diferencia en los valores del contenido de compuestos fenólicos podría atribuirse a las diferentes variedades de plátano utilizadas en las investigaciones, así como al método de extracción fenólica. Como menciona Castelo, *et al.*, (2017), los contenidos fenólicos de los frutos, aun cuando se extraen de la misma especie, dependen de una serie de factores intrínsecos y extrínsecos, como los cultivares, las prácticas agrícolas y los métodos de extracción fenólica utilizados.

Además, Agama, *et al.*, (2016), refieren que, la presencia de niveles más altos de polifenoles en la cáscara de la fruta se ha relacionado con el sistema de defensa que los tejidos vegetales tienen naturalmente contra diferentes estrés abióticos.

En cuanto a la actividad antioxidante, determinado con los métodos DPPH y ABTS, en la tabla 11, se observa que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ), entre la harina de cáscara ( $IC_{50} 15,50 \mu\text{g/ml}$ ) y la harina de pulpa de plátano ( $IC_{50} 191,82 \mu\text{g/ml}$ ), utilizando el DPPH, de igual modo, con el ABTS ( $IC_{50} 0,121 \text{ mg/ml}$  en la harina de cáscara y  $5,827 \text{ mg/ml}$  en la harina de pulpa); siendo mayor la actividad antioxidante en la harina de cáscara. Este resultado es similar al reportado por Singh, *et al.*, (2016), quienes afirman que los extractos etanólicos de pulpa de banano mostraron una actividad antioxidante frente al DPPH con valores de  $IC_{50}$  de  $44,07 \mu\text{g/ml}$ , mientras que, los extractos etanólicos de las cáscaras mostraron una actividad antioxidante frente al DPPH con los valores más bajos de  $IC_{50}$  ( $19,10 \mu\text{g/ml}$ ), estos resultados indicaron que las cáscaras del banano se pueden utilizar como buena fuente de antioxidantes. En ese mismo sentido, Agama, *et al.*, (2016), afirman que la harina de cáscara de plátano mostró una mayor capacidad antioxidante que la pulpa, también Fatemeh, Saifullah, Abbas & Azhar, (2012), refiere que en la mayoría de los casos los compuestos antioxidantes fueron generalmente más altos en la cáscara que en la pulpa y en los componentes verdes que en los maduros. De igual modo, Someya, *et al.*, (2002), aseveran que, el extracto de cáscara de banano mostró una actividad antioxidante 2,2 veces mayor que el extracto de pulpa, y que la diferencia en las actividades antioxidantes entre el extracto de cáscara y el extracto de pulpa puede atribuirse a su mayor contenido fenólico.

Al comparar la actividad antioxidante (medida con DPPH) con otros alimentos vegetales, se observa que la harina de pulpa de plátano ( $191,82 \mu\text{g/mL}$ ) y cáscara del plátano ( $15,50 \mu\text{g/mL}$ ), presentan mejor actividad antioxidante que la harina de

pulpa de guanábana ( $IC_{50}$  de 1290,81  $\mu\text{g/ml}$  (DPPH), reportado por Canturin y Paucar (2013).

En otro estudio, Gomes, *et al.*, (2014), reporta que, el alto contenido fenólico total de extractos de harina de cáscara de plátano es responsable de la muy alta actividad antioxidante, todos estos resultados sugieren el interés de profundizar en el buen uso de la cáscara del banano como fuente rentable de compuestos fenólicos bioactivos.

La cáscara del plátano al tener un mayor contenido de polifenoles totales también presenta una mayor actividad antioxidante; como demostró Veliz (2016), que existe una correlación inversa y relativamente alta ( $r = - 0.995$ ) entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la concentración reductora media ( $CR_{50}$ ) (la concentración de compuestos fenólicos necesarios para reducir en un 50 % la concentración inicial de DPPH de los liofilizados de los extractos de las cáscaras de *Musa sp.* “plátano”, por lo que las cáscaras de los plátanos tienen una buena capacidad antioxidante. De igual modo, Yusoff, (2008), menciona que, generalmente los extractos de cáscara exhibieron un mayor contenido fenólico total y una actividad antioxidante más fuerte que los extractos de pulpa.

### **Del contenido de carotenos y antocianinas**

De la tabla 12, se observa que el contenido de carotenos totales de la harina de cáscara (0,548  $\text{mg}/100 \text{ g}$ ) difiere significativamente ( $P < 0,05$ ), con la harina de pulpa de plátano (0,267  $\text{mg}/100 \text{ g}$ ); siendo mayor en la harina de cáscara. Estos resultados demuestran que los carotenoides están presentes en la cáscara del plátano, como refiere Palmer (1971), la cáscara de plátano contiene clorofila 5 – 10  $\text{mg}/100 \text{ g}$ , xantofila 0,5 – 0,7  $\text{mg}/100 \text{ g}$  y carotenos 0,15 a 0,35  $\text{mg}/100 \text{ g}$  de peso

fresco, y que durante la maduración la clorofila se pierde y los pigmentos totales amarillos permanecen constantes.

Los valores determinados en la harina de cáscara de plátano son similares al reportado por Subagio, *et al.*, (1996), quienes mencionan que la cáscara de plátano contiene carotenoides, como el  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno y diferentes xantofilas, las que han sido cuantificadas en un rango de 0,3 – 0,4 mg de equivalentes de luteína/100 g. También Honfo, *et al.*, (2007), en otro estudio han determinado en el plátano verde 0,252 mg de  $\beta$ -caroteno/100 g y en la harina de plátano verde 0,203 mg de  $\beta$ -caroteno/100 g; de igual modo, en otro estudio García, *et al.*, (2016), en la cáscara de banano han determinado un contenido de carotenoides de 5,55 a 11,97  $\mu$ g de  $\beta$ -caroteno/100 g; asimismo, manifiestan que, el contenido de carotenoides, es la propiedad que presenta mayor varianza entre los datos con respecto a las demás características químicas y físicas de las muestras, debido principalmente a que son compuestos lábiles al tratamiento térmico.

Estudios realizados en cultivares de plátanos de otras regiones, también han reportado valores muy similares, como refiere Englberger, *et al.*, (2003), quienes analizando diecisiete cultivares de plátanos micronesios han cuantificado desde 0,04 a 4,96 mg de  $\beta$ -caroteno/100 g, y en trece cultivares seleccionados de banano del sudeste asiático estuvieron desde 0,021 a 1,370 mg de  $\beta$ -caroteno/100 g.

La cáscara de plátano presenta menor contenido de carotenos, comparado con la cáscara y residuos de otras frutas, al respecto Moreno, *et al.*, (2006), reportan un contenido de carotenoides totales en la cáscara de naranja que va desde 5,33 a 14,0 mg/100 g de cáscara, y también Ordoñez, *et al.*, (2014), mencionan que el contenido de carotenoides totales en residuos de papaya, guayaba y piña fueron 5,88, 4,20 y 1,29 mg/100 g respectivamente.

Dada la importancia del contenido de carotenoides en la cáscara de plátano, Catalán (2016), ha realizado la extracción y caracterización de  $\beta$ -caroteno de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca* L.) evaluando el rendimiento de tres solventes de distinta polaridad, a nivel de laboratorio; en el cual ha determinado que la concentración de  $\beta$ -caroteno en el extracto de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca* L.), variedad William, presenta diferencias significativas entre cada solvente, siendo el etanol con el que ha obtenido una mayor concentración (0,9124 ppm).

En la tabla 12, el contenido de antocianinas de la harina de cáscara (0,320 mg/100 g) presenta diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), con la harina de pulpa de plátano (0,016 mg/100 g); siendo mayor en la harina de cáscara. Estos resultados corroboran lo manifestado por Blasco y Gómez (2014), quienes mencionan que, la cáscara de plátano también contiene otros compuestos tales como las antocianinas (delfinidina y cianidina).

Los valores cuantificados en la harina de pulpa y cáscara del plátano son similares al reportado por Gonzales, *et al.*, (2010), quienes afirman que los compuestos de antocianina en la cáscara de banano fueron  $0,434 \pm 0,097$  mg equivalentes de cianidina-3-glucósido/100 g de cáscara liofilizada. Mientras que Giane y Ornella (2016), refieren que la harina de plátano verde contiene 0,108 mg cianidina-3-glucosido/100 g, y que la concentración de antocianinas puede sufrir modificaciones debido a la temperatura, la luz, la presencia de oxígeno, las enzimas, la interacción entre los componentes de los alimentos, el pH, etc.

Sin embargo, analizando otros residuos del plátano han determinado contenidos variables de antocianinas; Kitdamrongsont, *et al.*, (2008), han determinado que el contenido total de antocianinas en las brácteas varió de 0 - 119,70 mg /100 g de

peso fresco; de igual modo, Pazmiño, *et al.*, (2001), han cuantificado que el contenido de antocianinas monoméricas fue de 32,3 mg /100 g de brácteas sobre una base de cianidin-3-rutinosido.

## **5.2. De las características del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

### **5.2.1. De las características físicas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.**

De la tabla 13, con respecto al peso promedio de los panes, este aumentó con la sustitución de la harina de trigo por la harina de cáscara de plátano; observándose diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre el testigo (T0) con los tratamientos T2, T3 y T4, siendo el T0 (testigo) el que tuvo el menor peso. Este resultado es similar al reportado por De la Cruz (2009), quien menciona que el pan de molde testigo tuvo menor peso que los panes obtenidos por sustitución de la harina de trigo por harina de quinua y suero de leche.

El principal factor que provoca el aumento del peso de los panes es el incremento en la absorción de agua en los tratamientos con sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; como reportan Lee, *et al.*, (2013), que la sustitución de 10 % de harina de pseudotallo de banana por harina de trigo comercial en el pan provocó un aumento en el contenido de humedad y este resultado se debe al mayor contenido de agua en la masa de las formulaciones.

De acuerdo a la tabla 13, existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), en el volumen del pan de molde entre el testigo (T0) y el tratamiento T4 (con 20 % de sustitución), siendo el T4 el que tuvo el menor volumen y el testigo (T0) el que tuvo el mayor volumen, es evidente que la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara



de plátano disminuye el volumen de pan, pero a niveles de 5 y 10 % (T1 y T2) este efecto resultó no significativo; al respecto Lee, *et al.*, (2013), refiere que la incorporación de harina de pseudotallo de banana disminuyó el volumen de los panes. Similares resultados ha reportado De la Cruz (2009), quien menciona que la harina de quinua precocida y suero influye en el volumen del producto, el cual va disminuyendo a medida que aumentan los porcentajes de incorporación, también menciona que el que tiene mayor media es el tratamiento 1 (control). También en ese sentido Ragae, *et al.*, (2011) y Hathorn, *et al.*, (2008) reportan que la sustitución parcial de la harina de trigo por la harina de cebada, avena, centeno, celulosa y batata dió como resultado la reducción del volumen del pan. Esta reducción del volumen se debe a la interferencia de la harina de cáscara de plátano en las proteínas (gluten) de la harina de trigo, como reportan Lee, *et al.*, (2013), que la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de pseudotallo de banana diluyó la proteína e interfirió con la formación óptima de la matriz de gluten durante la mezcla de la masa, la fermentación y la cocción. Como afirma Hung, *et al.*, (2007) que el gluten es vital para dar al pan su marco estructural.

En cuanto al volumen específico de los panes, en la tabla 13, se muestra que oscilaron de 2,35 a 3,39 cm<sup>3</sup>/g; y que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), entre el testigo (T0), con los tratamiento T3 y T4 (con 15 y 20 % de sustitución), siendo en el testigo (T0) mayor que los demás tratamientos. Es evidente que la sustitución de la harina de trigo con harina de cáscara de plátano provoca un decrecimiento del volumen específico, el cual se debe a un mayor peso y un menor volumen desarrollado, debido a una mayor absorción de agua y a la disminución del contenido de proteína en los tratamientos con sustitución; este resultado es similar al reportado por Lee, *et al.*, (2013), quienes mencionan que los volúmenes

específicos de los panes oscilaban entre 3,21 y 5,11 cm<sup>3</sup>/g, y la sustitución de la harina de trigo por 10 % de harina de pseudotallo de banana produjeron reducciones en los volúmenes específicos de 0,64 - 1,9 cm<sup>3</sup>/g, en comparación con el control. También De la Cruz (2009), menciona que las sustituciones afectan el comportamiento del mezclado y llega un momento en que no hay tenacidad ni elasticidad para resistir a la presión de los gases produciendo panes más pequeños.

De acuerdo a la tabla 13, la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano incrementa la densidad del pan de 0,30 g/cm<sup>3</sup> (testigo, T0) hasta 0,43 g/cm<sup>3</sup> T4 (20 % de sustitución); siendo este último el que tuvo mayor densidad de todos los tratamientos. Este incremento se produce debido a que al sustituir la harina de trigo por harina de cáscara de plátano se forja una masa más compacta y de menor volumen, similar resultado ha reportado por Lee, *et al.*, (2013), donde el pan con 10 % de sustitución de harina de pseudotallo de banana tuvo una miga con estructura fuertemente compactada, que refleja el tamaño y la relación de celdillas de aire del producto; y que las explicaciones posibles para la alta densidad pueden incluir factores tales como la dilución de la red de gluten y la capacidad de retención de agua. También Hathorn, *et al.*, (2008), menciona que el pan con alta densidad es bajo en volumen con bolsas de aire menos visibles debido a la estructura de miga compacta.

Durante la transformación de la masa en pan, la pérdida de peso (tabla 13) se incrementa en la medida que se incrementa el porcentaje de sustitución, desde 33,2 g (testigo, T0) a 35,9 g en el T4 (20 % de sustitución); no existiendo diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), entre la entre el testigo (T0) con los demás tratamientos. La pérdida de peso se relaciona con la pérdida de humedad durante la fermentación, horneado y enfriado del pan. Al respecto, Lee, *et al.*, (2013), afirman que el peso

del pan se reduce durante su transformación de masa en pan, asimismo, De la Cruz, (2009), afirma que la pérdida de peso de los panes de molde es debido a la evaporación de agua durante la cocción y enfriamiento del pan. En la investigación, la pérdida de peso osciló desde 8,37 % (testigo, T0) hasta 8,59 % (T4, con 20 % de sustitución), siendo menor la pérdida en la muestra testigo (100 % harina de trigo), este resultado se encuentra dentro del rango reportado por Bennion (1970) quien refiere que la pérdida de humedad no debe exceder de 9 %, porque significaría que la masa se cuece demasiado; asimismo, Quaglia (1991), menciona que la menor evaporación de agua se da en una masa más resistente que en una masa blanda, como es la masa con harina de cáscara de plátano.

La altura del pan se redujo (tabla 13), en la medida que se incrementa el porcentaje de sustitución, desde 9,5 cm (testigo, T0) hasta 7,8 cm en el T4 (20 % de sustitución). Este resultado pone en evidencia que la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano produce una reducción en la altura del pan debido a una menor concentración de proteína en la harina de trigo; similar resultado observó De la Cruz, (2009), quien afirma harina de quinua precocida y suero tuvo un efecto en la altura del producto, el cual va disminuyendo en la medida que los porcentajes de incorporación aumentan. De igual modo Lee, *et al.*, (2013), reportan una reducción de 9,3 % en la altura del pan de molde al sustituir la harina de trigo con 10 % de harina de pseudotallo de banana.

### **5.2.2. De la acidez y pH del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.**

De acuerdo a la tabla 14, la acidez del pan aumentó en la medida que se incrementa el porcentaje de sustitución, desde 0,066 % (testigo, T0) hasta 0,163 % T4 (20 % de

sustitución); mostrando diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), entre la acidez del pan Testigo (T0) con los tratamientos T2, T3 y T4. Este incremento se debe a que la harina de cáscara de plátano tiene mayor acidez de la harina de trigo. Sin embargo, todas las muestras presentan una acidez por debajo de 0.5 % (expresada como ácido sulfúrico), el cual es el límite para pan de molde, establecido por la Norma Sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería del MINSA (2011); asimismo, según la Norma Técnica Peruana 206.004 (2016) indica que la acidez del pan de molde debe ser como máximo 0,5 % en ácido sulfúrico para cualquier tipo de pan de molde. Similares resultados fueron reportados en otras investigaciones, en los cuales la sustitución de la harina de trigo por otras harinas e insumos provoca un ligero incremento de la acidez; así como menciona De la Cruz, (2009), los valores de acidez de las formulaciones con incorporación de harina de quinua precocida y suero, produce un ligero aumento en el porcentaje de acidez, y el que tuvo menor media fue el control. En la investigación la acidez determinada en las muestras de pan con 0, 5, 10, 15 y 20 % de harina de cáscara de plátano fueron 0,066, 0,090, 0,106, 0,131 y 0,163 %; valores similares han reportado Pascual y Zapata (2010), en pan con sustitución de harina de trigo por harina de kiwicha al 0, 5, 10, 15 y 20 %, en los cuales la acidez fue: 0,11, 0,10, 0,11, 0,10 y 0,10 % respectivamente.

Según la tabla 14, el pH del pan disminuye en la medida que se incrementa el porcentaje de sustitución, desde 5,65 (testigo, T0) hasta 5,13 T4 (con 20 % de sustitución); mostrando diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), entre el testigo (T0) con los demás tratamientos. La depreciación del pH de las muestras se debe a la acidez de la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución de la harina de trigo. Al respecto, se ha observado que, la sustitución de la harina de trigo por otras

harinas e insumos también provoca una ligera variación en el pH del pan, como reporta De la Cruz, (2009), valores de pH ligeramente diferentes de 5,56, 5,56 y 5,61 entre las formulaciones con incorporación de quinua y suero, con una diferencia notable con respecto a la formulación patrón (5,23) (100 % harina de trigo). Valores similares han reportado Pascual y Zapata (2010), en pan con sustitución de harina de trigo por harina de kiwicha al 0, 5, 10, 15 y 20 %, en los cuales el pH fue: 5,5, 5,5, 5,6, 5,6 y 5,6 respectivamente.

### **5.2.3. Del perfil de textura del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.**

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 15, la dureza del pan aumenta ligeramente con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano desde 17,81 N testigo (T0) y 24,72 N T4 (con 20 % de sustitución) en el ciclo 1; y 14,71 N testigo (T0) y 20,87 N T4 (con 20 % de sustitución) en el ciclo 2. Este incremento se debe al efecto de la harina de cáscara de plátano en la formación de la estructura de la miga, dando como resultado un textura más firme; como afirma De la Cruz, (2009), la presencia de la harina de quinua precocida afecta significativamente la textura de los panes de molde, es decir a mayores niveles de harina de quinua, la estructura de la miga varía significativamente. También Arone (2015), manifiesta que a medida que incrementan la harina de quinua y harina de chíá aumentan la dureza del pan molde. Por otro lado, Norhidayah, *et al.*, (2014), trabajando con galletas determinó que la sustitución con diferentes tipos de harina de banano produce diferentes efectos a la dureza, y que el aumento de la dureza de las galletas está relacionado con el incremento de la sustitución de la harina de banano inmaduro. Al respecto Chevallier, *et al.*, (2002), afirma que las proteínas no

se agregan e hidratan lo suficiente para formar una red de gluten el cual conduce al aumento en la dureza de las galletas. Por otro lado, Otálvaro, *et al.*, (2016), afirman que la firmeza y la dureza del pan aumentaron con el incremento de la concentración de mezcla de almidones modificados.

De acuerdo a la tabla 15, la cohesividad del pan disminuye con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, de 0,50 testigo (T0) y 0,38 en el T4 (con 20 % de sustitución); además, no existen diferencias ( $P > 0,05$ ), entre el testigo (T0) con los tratamientos con 5, 10 y 15 % de sustitución. Pero existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) con el tratamiento T4 (20 % de sustitución). Este resultado es similar al logrado por Bravo y Moreno (2015), quienes reportan que las muestras con 0, 5 y 10 % presentan diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) con la muestra de 15 % de harina de chontaduro, y que esta muestra tuvo menor cohesividad (0,399) comparado con el testigo (0 % de harina de chontaduro) (0,481), el cual se explica por la cantidad de fibra presente en la harina de chontaduro que es mayor en la formulación que lleva 15 %. La harina de cáscara de plátano también tiene alto contenido de fibra el cual influye en la formación de la miga del pan provocando una ligera disminución en la cohesividad, siendo menor en el tratamiento T4 con 20 % de sustitución por tener un mayor contenido de fibra. En ese sentido, Bravo y Moreno (2015), refieren que la adición de harina de chontaduro afecta la capacidad de la muestra de pan para recuperar su forma luego de la primera mordida, ya que la fibra liga agua, gracias a los puentes de hidrogeno que se forman entre sus moléculas, los cuales las mantienen muy unidas, es decir, son cohesivas, lo cual explica porque la muestra de 15 % tiene un valor más bajo comparado con las otras muestras. Similar resultado reportó Baños (2007), quien observó una ligera disminución en la cohesividad de 0,25 a 0,24 en panes elaborados con 0 y 5 % de

fibra soluble respectivamente, sin embargo, no encontró diferencias significativas entre tratamientos. También influye en la cohesividad otros componentes como mencionan, Otálvaro, *et al.*, (2016), quienes reportan que los panes con 0, 5, 7 y 10 % de almidón modificado de yuca tuvo una reducción en la cohesividad de 0,39, 0,38, 0,38 y 0,37 respectivamente, sin embargo, estos resultados no presentaron diferencias significativas. Los efectos adversos por la adición de los almidones modificados en la estructura de la masa, pueden ser debido a la dilución de la red de gluten, la cual retiene el gas producido en la fermentación. Aparentemente, estos almidones parecen romper la matriz de gluten y restringir la expansión de las celdas de gas. Este comportamiento distorsiona la estructura de los alveolos de la miga y puede contribuir a su morfología, la cual es un elemento importante en la estructura de la miga.

Las propiedades texturales de gomosidad, masticabilidad, resiliencia, elasticidad, deformación según dureza, % de deformación según dureza, deformación recuperable y fuerza de adhesividad (tabla 15), no son afectadas significativamente ( $P>0,05$ ), con la sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

En cuanto a la masticabilidad, Muro, *et al.*, (2017), refiere que es un parámetro que se relaciona con la facilidad o dificultad de masticar el alimento y la formación del bolo antes de ser tragado, es decir, entre mayor sea el valor de este parámetro el pan presenta una mayor dificultad para masticar. Según los resultados (tabla 15) no existieron diferencias significativas ( $P>0,05$ ); el testigo (T0) tuvo un valor ligeramente mayor que los demás tratamientos. Al respecto, Bravo y Moreno (2015), mencionan que la muestra de pan que no tiene harina de chontaduro en su formulación presenta un valor diferente con respecto a las otras muestras que si

presentan harina de chontaduro, esto se debe a que cualquier adición, eliminación o sustitución de algún ingrediente afecta cualquier parámetro sensorial del pan.

La sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano afectó La resiliencia, la muestra testigo (T0) tuvo una resiliencia de 0,24 mientras que el T4 con 20 % de sustitución 0,17, lo que indica que este último tuvo menor capacidad de recuperarse luego de un aplastamiento; al respecto, Muro, *et al.*, (2017), reportan que los valores de resiliencia más bajos indican que la estructura de los panes toma más tiempo para recuperarse después de la compresión.

De acuerdo a la tabla (15) la elasticidad disminuyó con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, de 9,31 mm testigo (T0) hasta 7,54 mm en el T4 (con 20 % de sustitución). Sin embargo, estas diferencias no fueron significativas ( $P > 0,05$ ) estadísticamente. Similares resultados obtuvieron Bravo y Moreno (2015), quienes no encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en la elasticidad del pan de molde al sustituir harina de trigo por harina de chontaduro al 0, 5, 10 y 15 %; sin embargo, encontraron un ligera disminución en la elasticidad de 4,13 (0 %) hasta 2,96 Nm (15 %).

De igual modo, la gomosidad del pan experimentó un leve aumento con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, de 8,89 N en el testigo (T0) y 9,34 N en el T4 (con 20 % de sustitución). Similares resultados reportaron Ruíz y Urbáez (2010), quienes obtuvieron valores comprendidos entre 0,3454 kg-F para el pan con 100 % harina de trigo y 0,8361 kg-F para el pan con 40 % catebía, observándose tendencia creciente al incrementarse el contenido de catebía. La gomosidad del pan con 100 % de harina de trigo fue menor a la observada para el pan con 40 % catebía. Estos resultados se deben al alto contenido de fibra en la catebía que le proporciona una mayor dureza a los panes; asimismo



Ruíz y Urbáez (2010), refieren que se entiende por gomosidad como la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido con el fin de que pueda ser tragado.

#### **5.2.4. Del color del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.**

##### **En la corteza del pan**

De acuerdo a la tabla 16, la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano influye en el color de la corteza de los panes, sin embargo, las diferencias no son significativas ( $P > 0,05$ ) en los valores de  $L^*$  y  $b^*$ , en las cinco muestras evaluadas, pero si ( $P < 0,05$ ) en los valores de  $a^*$ .

Según la tabla 16, los valores de  $L^*$  de las muestras disminuyen con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, siendo en el pan testigo con 0 % de sustitución ( $L^* = 45,21$ ) mayor que del pan con 20 % de sustitución ( $L^* 40,56$ ), siendo más oscuro esta última que tuvo el valor  $L^*$  más bajo. Similar resultado reportó De La Cruz (2009), quien determinó una disminución de la luminosidad ( $L^*$ ) de 28,47 a 21,76 al sustituir la harina de trigo de 0 % a 19,8 % por harina de quinua y suero de leche respectivamente. También Gomes, et al., (2016), han observado la disminución de la luminosidad de 49,71, 42,47 y 35,04 en panes elaborados con 0, 10 y 20 % de sustitución de harina de trigo con harina de banana verde con cáscara respectivamente. La variación en la luminosidad de la corteza del pan puede atribuirse a la dilución de la proteína, al sustituir la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, como mencionan Gómez, *et al.*, (2003), el color de la corteza del pan se asocia principalmente con las reacciones de Maillard y caramelización, por tanto un aumento en la reacción de Maillard se produce

durante la cocción debido a los mayores contenidos de proteína y lisina. En términos generales, como menciona De la Cruz, (2009), el color de la corteza muestran coloraciones ligeramente oscuras propias de un pan de molde.

De acuerdo a la tabla 16, los valores de  $a^*$ , muestran una disminución de  $a^*= 16,03$  (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta  $a^*= 12,43$  (pan con 20 % de sustitución, T4), con una ligera tendencia hacia el rojo, siendo menor dicha tendencia en la muestra T4, cuando mayor es la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano. Resultados similares reportó De La Cruz (2009), quien determinó una disminución de los valores de  $a^*$  de 11,63 a 8,05 al sustituir la harina de trigo de 0 % a 19,8 % por harina de quinua y suero de leche respectivamente. De igual modo Gomes, *et al.*, (2016), han observado esta disminución de los valores de  $a^*$  de 20,08, 18,14 y 15,88 en panes elaborados con 0, 10 y 20 % de sustitución de harina de trigo con harina de banana verde con cáscara respectivamente.

Según la tabla 16, valor de  $b^*$ , disminuyó de  $b^*= 22,29$  (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta  $b^*= 16,04$  (pan con 20 % de sustitución, T4), con una tendencia hacia el amarillo, siendo menor esta tendencia en la muestra con mayor porcentaje de sustitución de la harina de trigo por de cáscara de plátano. Similar resultado reportó De La Cruz (2009), quien determinó una disminución de los valores de  $b^*$  de 9,85 a 5,23 al sustituir la harina de trigo de 0 % a 19,8 % por harina de quinua y suero de leche respectivamente. También Gomes, *et al.*, (2016), han determinado una disminución de los valores de  $b^*$  de 32,10, 25,87 y 17,71 en panes elaborados con 0, 10 y 20 % de sustitución de harina de trigo con harina de banana verde con cáscara respectivamente. También Lee, *et al.*, (2013), han

reportado en panes elaborados con sustitución de harina de trigo por harina de pseudotallo de banana valores de  $b^*$  de 25,71 a 27,14, mientras que en el control fue 29,42. La disminución de la tendencia hacia el amarillo se debe al efecto de la harina de cáscara de plátano que tiene un color ligeramente verde.

### **En la miga del pan**

De acuerdo a la tabla 17, se observa que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en los valores de  $L^*$  y  $a^*$ , de la miga en los cinco tratamientos evaluadas, pero no existen diferencias ( $P > 0,05$ ) en los valores de  $b^*$ .

Analizando cada componente del color de la miga, la tabla 17, muestra que el valor de  $L^*$  disminuyó de  $L^* = 73,75$  (testigo, T0) hasta  $L^* 53,80$  (con 20 % de sustitución, T4), este último tuvo la miga más oscura al tener el valor  $L^*$  más bajo. Esto demuestra que la miga del pan se va tornando más oscura en la medida que se incrementa el nivel de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano. Similar resultado reportó Gomes, *et al.*, (2016), quienes han observado la disminución de la luminosidad de 80,19, 59,80 y 47,35 en panes elaborados con 0, 10 y 20 % de sustitución de harina de trigo con harina de banana verde con cáscara respectivamente. Asimismo, Lee, *et al.*, (2013), en panes elaborados con sustitución de la harina de trigo por harina de pseudotallo de banana, determinaron una disminución de los valores de  $L^*$  de 61,74 (control con 0 % de sustitución) hasta 55,41 (10 % de sustitución). Una miga más oscura en el pan es debido a que la harina de cáscara de plátano tiene un color más oscuro que la harina de trigo.

Según la tabla 17, los valores de  $a^*$ , se incrementa de  $a^* = -0,81$  (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta  $a^* = 2,08$  (pan con 20 % de sustitución, T4), en la medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por de cáscara de plátano. Resultados similares reportó Gomes, *et al.*, (2016), quienes han observado este incremento de los valores de  $a^*$  de 3,11, 6,47 y 9,19 en panes elaborados con 0, 10 y 20 % de sustitución de harina de trigo con harina de banana verde con cáscara respectivamente. Asimismo, Lee, *et al.*, (2013), en panes elaborados con sustitución de la harina de trigo por harina de pseudotallo de banana, han determinado un incremento de los valores de  $a^*$  de -0,26 (control con 0 % de sustitución) hasta 1,50 (10 % de sustitución).

De acuerdo a la tabla 17, el valor de  $b^*$ , osciló de  $b^* = 17,68$  (pan testigo con 0 % de sustitución, T0) hasta las  $b^* = 15,85$  (pan con 20 % de sustitución, T4), pero no se evidenció diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), es decir la tendencia hacia el amarillo se ve afectado con la sustitución de la harina de trigo por de cáscara de plátano, debido a que esta última presentan un color ligeramente verde. Similar resultado reportó De La Cruz (2009), quien determinó una tendencia al amarillo con valores de  $b^*$  de 15,94 a 27,70 al sustituir la harina de trigo de 0 % a 19,8 % por harina de quinua y suero de leche respectivamente. También, Gomes, *et al.*, (2016), han determinado la tendencia al amarillo con valores de  $b^*$  de 8,94, 13,24 y 15,04 en panes elaborados con 0, 10 y 20 % de sustitución de harina de trigo con harina de banana verde con cáscara respectivamente. De igual modo Lee, *et al.*, (2013), en panes elaborados con sustitución de la harina de trigo por harina de pseudotallo de banana, han determinado tendencia hacia el amarillo con valores de  $b^*$  de 11,50 (control con 0 % de sustitución) y 14,12 (con 10 % de sustitución).

### **5.2.5. De las características sensoriales del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

Según los resultados de la tabla 18 y figura 10, los atributos color, aroma, suavidad, gomosidad, sabor y aceptación general se ven disminuidos por la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara. Pero no se evidencian diferencias significativas ( $P>0,05$ ), entre los tratamientos T0, T1 y T2 con 0, 5 y 10 % de sustitución respectivamente.

Los puntajes de la calificación sensorial disminuyeron con la sustitución, logrando mayor puntaje el T0 (testigo) y el más bajo el tratamiento T4 (pan con 20 % de sustitución). Este resultado es similar al reportado por Lee, et al., (2013), quienes afirman que las muestras que contenían harina de pseudotallo de banana mostraron puntuaciones más bajas de color (4,10 – 4,33) frente al control (5,77). De igual modo Norhidayah, *et al.*, (2014), trabajando con galletas, reporta que la muestra control preparada a partir de harina de trigo al 100 % obtuvo la puntuación media más alta comparada con las muestras con sustitución, en todos los atributos; el aumento en la sustitución de harina de banana, provoca disminución en la apariencia, color, sabor, crispiness y aceptabilidad general de las galletas, y la baja aceptabilidad en el color se debe a la harina de plátano que es de color más oscuro que la harina de trigo.

En otro estudio, Knuckles, *et al.*, (1997), produjeron panes con mayores niveles de fibra dietética (incluyendo  $\beta$  - glucanos) sustituyendo a las harinas estándar por fracciones de harina de cebada enriquecidas con  $\beta$  beta - glucano por 5, 20 o 40 %. Este pan se juzgó aceptable en las pruebas de aceptación de laboratorio, aunque el volumen del pan se redujo y el color fue ligeramente más oscuro que el control.

En la investigación, las muestras con 10 % de sustitución alcanzaron puntajes superiores a 5,0 en todos los atributos, que corresponden a un calificativo entre me gusta poco y me gusta; al respecto Knuckles, *et al.*, (1997), mencionan que en la evaluación sensorial, los productos con un valor de puntuación de más de cinco para la aceptabilidad general pueden considerarse como un producto de buena calidad.

Los resultados de la evaluación sensorial son coherentes con los análisis físicos: peso, volumen, volumen específico, densidad y altura del pan; con el perfil de textura: dureza, cohesividad y con los valores CIE L\*, a\* y b\* del color de las muestras, estas características son importantes en la calidad del pan, y determinación la preferencia del consumidor. Además, de todos los atributos evaluados, el color es lo primero que percibe el consumidor y direcciona la preferencia sobre el producto, como refiere Lee, *et al.*, (2013), los consumidores perciben los panes como claros u oscuros y tienen preferencias según el tipo de pan que parezca ser. De igual modo Hathorn, *et al.*, (2008), refiere que el color del pan es una importante característica sensorial para los consumidores.

#### **5.2.6. De la composición proximal del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

De acuerdo a la tabla 19 y figura 11, la humedad del pan se incrementa de 34,15 a 34,73 y 35,08 % en los tratamientos T0, T2 y T3 con 0, 10 y 15 % de sustitución, pero no mostró diferencias ( $P>0,05$ ), entre los tratamientos. Similares resultados han observado Lee, *et al.*, (2013), al evaluar pan elaborado mediante sustitución de harina de trigo por harina de pseudotallo de banana, observando mayor humedad en el pan con 10 % de sustitución (43,60 %) frente al control (41,00 %). De igual

modo, De la Cruz (2009), reporta incremento en el contenido de humedad de 34,24, 35,63, 35,74, 35,94 % en panes de molde con 0, 16,5, 18,1 y 19,8 % de sustitución de la harina de trigo con harina de quinua y suero de leche, respectivamente; y no encontrado diferencias entre tratamientos. Este incremento en la humedad del pan es consecuencia de la mayor absorción de agua en los tratamientos con sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano, siendo la absorción de agua 57,2, 61,6 y 64,1 % en los tratamientos T0, T2 y T3 respectivamente; También Lee et al., (2013), reportan que el incremento en el contenido de humedad se debió al mayor contenido de agua en la masa de las formulaciones con sustitución, en el cual las cadenas hidrófilas de la fibra dietética de la harina de pseudotallo de banana tienen mayores capacidades de absorción de agua que la harina de trigo; Por ello, es necesario aumentar el nivel de agua durante la mezcla de harina compuesta. En otro estudio, Gomes, *et al.*, (2016), trabajando con harina de plátano con cáscara reportó contenidos de humedad de 26,45, 30,64 y 32,71 % en panes elaborados con 0, 10 y 20 % respectivamente.

Aun cuando la harina de cáscara de plátano genera un incremento en la humedad del pan, todas las muestras tuvieron humedades por debajo de 40 %, el cual es el límite máximo permisible para pan de molde, establecido por la Norma Sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería del MINSA (2011); y también de la Norma Técnica Peruana 206.004 (2016) que indica que la humedad del pan de molde será como máximo 40 % para cualquier tipo de pan de molde.

El contenido de proteína tuvo una ligera disminución de 9,38, 8,47 y 8,12 % en los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano, presentando diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), entre el

tratamiento T0 (0 % de sustitución) con el T3 (15 %), pero no existiendo diferencias ( $P>0,05$ ) entre los tratamientos T0 (0 %) y T2 (10 %), así como entre el T2 (10 %) con el T3 (15 %); el contenido de proteína disminuye en el pan por efecto de la sustitución debido a que la harina de cáscara de plátano tiene menor contenido de proteína (8,26 %), frente a la harina de trigo (10,00 %) (De la Cruz, 2009). Este resultado es muy similar al observado por Lee, *et al.*, (2013), quienes refieren que el contenido de proteína en la muestra con 10 % de sustitución era significativamente menor que en el control, y que este resultado está relacionado con la sustitución de la harina de trigo comercial con la harina de pseudotallo de banana, que diluye el contenido de proteína, debido a que la harina de pseudotallo contiene 4,63 % de proteína, que es tres veces menor que en la harina comercial (13,00 %).

De acuerdo a la tabla 19, la sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano produce un ligero incremento en el contenido de grasa de 2,34, 2,46 y 2,51 % en los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución, que este resultó no significativo ( $P>0,05$ ), entre los tres tratamientos; este incremento se debe a que la harina de cáscara de plátano tiene mayor contenido de grasa (5,04 %), frente a la harina de trigo (1,44 %) (De la Cruz, 2009). Este resultado es similar al reportado por Eshak (2016), quien ha determinado un contenido de grasa de 2,06, 2,24 y 2,96 % en pan plano egipcio con 0, 5 y 10 % de harina de cáscara de plátano. También Gomes, *et al.*, (2016), trabajando con harina de plátano con cáscara no encontró diferencias significativas en el contenido de grasa del pan con 10 y 20 % de frente al pan tradicional (0 % de sustitución), y que el contenido de grasa osciló entre 4,27 y 4,30 %. Por otro lado, Lee, *et al.*, (2013), informan que el contenido de grasa en



la muestra con 10 % de sustitución era significativamente menor que en el control; esta diferencia se debe al tipo de harina utilizado en la sustitución.

Según la tabla 19, se muestra un incremento en el contenido de cenizas de 0,62, 3,04 y 4,06 % en los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano. El contenido de ceniza en el pan aumenta, debido a que la harina de cáscara de plátano tuvo mayor contenido de ceniza (9,89 %), frente a la harina de trigo (0,51 %) (De la Cruz, 2009). Este resultado es similar al reportado por Gomes, *et al.*, (2016), quienes trabajando con harina de plátano con cáscara el contenido de ceniza se incrementó de 2,78 a 2,90 y 2,92 en panes con 0, 10 y 20 % de sustitución. También Eshak (2016), ha determinado un incremento del contenido de ceniza de 10,8 a 33,5 y 38,0 % en pan plano egipcio al sustituir la harina de trigo con 0, 5 y 10 % de harina cáscara de plátano. De igual modo, Lee, *et al.*, (2013), informan que el contenido de cenizas fueron de 3,27 y 3,90 % en panes con 0 y 10 % de harina de pseudotallo de banana. En la investigación, los contenidos de cenizas en las muestras con 0, 10 y 15 % harina de cáscara de plátano encuentran dentro del límite máximo permisible para pan de molde (máximo 4.0 % de cenizas), establecido por la Norma Sanitaria para la fabricación, elaboración y expendio de productos de panificación, galletería y pastelería del MINSA (2011); y también de la Norma Técnica Peruana 206.004 (2016) que indica que el contenido de cenizas del pan de molde será como máximo 4.0 %.

De acuerdo a los resultados de la investigación, (tabla 19), el contenido de fibra cruda mostró un incremento de 0,78 a 2,92 y 3,98 % en los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución, evidenciando diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), entre las tres muestras de analizadas. El porcentaje de fibra cruda aumenta debido a que la harina de cáscara de plátano es una fuente rica en fibra (10.08 %) en contraste a la harina

de trigo (1.13 %) (De la cruz, 2009). Estos resultados tiene relación con lo reportado por Lee, *et al.*, (2013), quienes afirman que la sustitución de la harina de trigo comercial con harina de pseudotallo de banana aumentó significativamente el contenido de fibra cruda, de 1,05 a 2,23 % en el pan con 0 y 10 % de sustitución respectivamente. De igual modo, Eshak (2016), ha determinado un incremento del contenido de fibra cruda de 1,42 a 1,97 y 2,18 % en pan plano egipcio al sustituir la harina de trigo con 0, 5 y 10 % de harina cáscara de plátano, como fuente de fibra natural. Similar efecto se ha observado al sustituir la harina de trigo con otras harinas como menciona De la Cruz (2009), quien determinó un incremento en el contenido de fibra cruda de 0,75 a 1,71 en el pan de molde al sustituir la harina de trigo con 13,92 % de harina de quinua y 3,54 % de suero de leche. Estos resultados se deben a que las harinas de cáscaras contienen mayor cantidad de fibra que las harinas de pulpas de frutas y endospermo de cereales, el cual es una característica común en estos productos, dado a que la cáscara es la capa protectora de frutas y vegetales, como refiere Fennema (2010), los tejidos protectores se forman en la superficie de los órganos vegetales y constituyen su piel, y es de gran importancia en el manejo post cosecha.

El contenido de carbohidratos disminuyó con la harina de cáscara de plátano de 52,73 a 47,48 y 46,25 % en los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución. Esta disminución se debe a que la harina de cáscara de plátano tiene mayor contenido de fibra y menor contenido de carbohidratos, por tanto, la sustitución provocó en el pan un incremento del contenido de fibra y una disminución en el de carbohidratos, como reporta Lee, *et al.*, (2013), que el pan con reemplazo del 10 % de harina de trigo exhibió una composición de fibra mayor que el pan control y que también dió lugar a una disminución significativa en la cantidad de carbohidratos de 39,19 a

37,44 %. También Eshak (2016), ha determinado una disminución del contenido de carbohidratos de 74,93 a 50,50 y 44,34 % en pan plano egipcio al sustituir la harina de trigo con 0, 5 y 10 % de harina cáscara de plátano, como fuente de fibra natural. Similar efecto se ha observado al sustituir la harina de trigo con otras harinas como menciona De la Cruz (2009), quien observó una disminución en el contenido de carbohidratos de 52,75 a 50,00 % en pan de molde al sustituir la harina de trigo con 13,92 % de harina de quinua y 3,54 % de suero de leche. Estos resultados se deben a que las harinas de cáscaras contienen mayor cantidad de fibra y menor cantidad de carbohidratos que las harinas de pulpas de frutas y endospermo de cereales, debido a que la cáscara es la capa protectora de frutas y vegetales, como refiere Fennema (2010).

#### **5.2.7. Del contenido de minerales en el pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

De acuerdo a la tabla 20 y figuras 12 y 13, los contenidos de fósforo, calcio, magnesio, potasio, sodio, cobre, hierro, zinc y manganeso, se incrementó con la incorporación de la harina de cáscara de plátano; mostrando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución. Este incremento es debido a que la harina de cáscara de plátano utilizado en la sustitución tiene un mayor contenido de minerales que la harina de trigo para pan reportado por INCAP-OPS (2012).

Similares incrementos ha determinado Eshak (2016), en pan plano egipcio al sustituir la harina de trigo con 0, 5 y 10 % de harina de cáscara de banano, cuyos valores fueron: potasio (873, 5353 y 8194 mg/kg), calcio (229, 915 y 663 mg/kg), sodio (5142, 5659 y 6066), hierro (37,71, 96,00, 221,00), manganeso (6,16, 11,19

y15,18) y zinc (0,15, 3,20 y 5,20 mg/kg) respectivamente; estos resultados muestran que los panes con sustitución al 5 y 10 % tenían contenidos más altos de potasio, calcio, sodio, hierro, manganeso y zinc en comparación con el pan de control y el incremento fue gradual con la adición de la harina de cáscara de banano.

Al mejorar el contenido de minerales en los panes con la incorporación de harina de cáscara de plátano contribuiría a mejorar la alimentación, en vista que los minerales son ineludibles para un adecuado funcionamiento del organismo humano, como afirma Ameh, *et al.*, (2013), los minerales son vitales para el funcionamiento de muchos procesos corporales. Son actores críticos en el funcionamiento del sistema nervioso, otros procesos celulares, balance hídrico y sistemas estructurales (por ejemplo, esqueléticos). La falta de ingesta de minerales se ha correlacionado con el deterioro mental, el aumento de las enfermedades y la desnutrición severa (Eshak, 2016). De igual modo Amoakoah, *et al.*, (2015), refiere que los minerales son nutrientes esenciales que se necesitan en el cuerpo para facilitar el funcionamiento adecuado de ciertos órganos en el cuerpo. Algunos minerales son necesarios en menor cantidad (micro), mientras que otros se necesitan en mayor cantidad (macro).

#### **5.2.8. De las características bioactivas y actividad antioxidante del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano**

##### **Del contenido de fibra dietaria**

Según los resultados de la tabla 21 y figura 14, los contenidos de fibra dietaria insoluble, soluble y total, se incrementó con la harina de cáscara de plátano;

mostrando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución, debido a que la harina de cáscara de plátano tiene un alto contenido de fibra dietaria total (42,18 %), fibra dietaria insoluble (35,75 %) y fibra dietaria soluble (6,43 %), en comparación con la harina de trigo que tiene un menor contenido de fibra dietaria total (2,40 %) INCAP-OPS (2012). Estos resultados tienen relación con lo reportado por Nasution, *et al.*, (2012), quienes al investigar el efecto de la sustitución de la harina integral (WMF) por la harina de cáscara de banano (BPF) en las propiedades del pan integral (WMB), han determinado que el contenido total de fibra dietética en la muestra con un 7 % de BPF fue mayor (14,4 %) que la muestra de control (11,3 %).

También, Lee, *et al.*, (2013), reporta que la incorporación de harina de pseudotallo de banana en el pan, produjo incrementos en el contenido de fibra dietaria total, insoluble y soluble; y que de acuerdo con declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos, los panes enriquecidos con harina de pseudotallo de banana pueden ser etiquetados como alimento alta en fibra, ya que contienen más de 6 g/100 g de alimentos (Diario Oficial de la Unión Europea, 2006). Por tanto, según los resultados de la investigación, los panes con 10 y 15 % de harina de cáscara de plátano pueden ser etiquetados como pan alto en fibra al contener 6,86 y 8,67 % de fibra dietaria total respectivamente.

Además, Sánchez, *et al.*, (2015) y Bordeiras, Sánchez y Pérez (2005), refieren que la relación fibra dietaria insoluble/fibra dietaria soluble debe ser de 3:1, para una dieta bien balanceada. En ese sentido, los panes con 10 y 15 % de harina de cáscara de plátano presentan buenas relaciones de fibra dietaria insoluble/soluble de 3,45:1 y 3,47:1, frente al control (1,84:1), lo que evidencia que los panes con 10 y 15 % de

harina de cáscara de plátano presentan un mejor balance en fibra dietaria frente al pan tradicional. Similares resultados en el balance de fibra han determinado Lee, *et al.*, (2013), en pan con 10 % de harina de pseudotallo de banana, en el cual tuvo un mejor equilibrio entre fibra dietaria insoluble/soluble de 4,0:1, frente al control (1,8:1), y afirma que un buen balance en la relación fibra dietaria insoluble/soluble es importante en las propiedades bioactivas y para los efectos nutricionales de la fibra en la dieta humana.

Sobre la importancia de la fibra en la alimentación, Sánchez, *et al.*, (2015), afirma que la fibra es un elemento importante en una alimentación balanceada. Por sus propiedades fisiológicas y múltiples efectos en el sistema digestivo, se considera que juega un papel trascendental en la prevención, fisiopatología y tratamiento de diversas enfermedades.

### **Del contenido de polifenoles y antioxidantes**

De acuerdo a la tabla 22 y figura 15, los contenidos de polifenoles totales se incrementó con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; evidenciando diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución, cuyos valores fueron 4,19, 9,27 y 12,48 mg EAG/g de muestra respectivamente. Este incremento es debido a la harina de cáscara de plátano que tiene un mayor contenido de polifenoles totales (33,84 mg EAG/g), frente a la harina de trigo (entre 0,35 a 0,53 mg EAG/g) reportado por Sánchez (2016).

El incremento del contenido de polifenoles totales en los panes con sustitución del 10 y 15 % de harina de cáscara de plátano, es similar al reportado por Nasution, *et al.*, (2012), quienes al investigar el efecto de la sustitución de la harina integral (WMF) por la harina de cáscara de banano (BPF) en las propiedades del pan

integral (WMB); en el contenido fenólico total encontraron que la muestra con un 7 % de BPF mostró diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) frente al control, también encontraron que la muestra con 7 % de BPF tenía un mayor contenido fenólico total ( $36,06 \pm 1,90$  mg GAE/g), casi el doble del valor encontrado en la muestra de control ( $19,16 \pm 1,59$  mg GAE/g). Sin embargo, el mayor contenido fenólico encontrado por Nasution, *et al.*, (2012), se debe a que han trabajado con panes integrales las mismas que han sido elaborados a base de harina integral. Según Sánchez (2016), la harina integral (1,42 a 2,27 mg EAG/g) tiene mayor contenido fenólico que la harina blanca (0,35 a 0,53 mg EAG/g).

Similares incrementos han determinado en otro estudio realizado por Lee, *et al.*, (2013), en el cual la sustitución de 10/100 g de harina de pseudo tallo de banana (BPF) por harina de trigo en la fórmula del pan dió como resultado un aumento en el contenido fenólico. El pan con 10 % de BPF contenía el nivel más alto de compuestos fenólicos totales (2,04 mg GAE/g de muestra), frente al control (1,39 mg GAE/g de muestra).

Según la tabla 22 y figura 16, valor de  $IC_{50}$  se disminuye con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; mostrando diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución, estos valores indican que la actividad antioxidante de los panes con 15 y 10 % de sustitución es mayor que el control sin sustitución, debido a que la harina de cáscara de plátano utilizado tiene mayor actividad antioxidante que la harina de trigo. Estos resultados tiene relación con el reporte de Nasution, *et al.*, (2012), quienes al investigar el efecto de la sustitución de la harina integral (WMF) por la harina de cáscara de banano (BPF) en las propiedades del pan integral (WMB),

determinaron que la muestra con 7 % de BPF mostró un mayor porcentaje de inhibición de la peroxidación lipídica ( $16,55 \pm 5,40$  %) en comparación la muestra testigo ( $6,99 \pm 2,80$  %). Similar relación en las capacidades antioxidantes en base a las capacidades de eliminación de radicales libres en ensayos de DPPH y FRAP han reportado Lee, *et al.*, (2013), quienes afirman que la sustitución de 10/100 g de harina de pseudo tallo de banana (BPF) por harina de trigo dió como resultado un aumento en la actividad de eliminación de radicales DPPH. El pan con 10 % de BPF tuvo una mayor capacidad de eliminación de radicales ( $241,39 \mu\text{mol TEAC}/100$  g de muestra), frente al control ( $127,99 \mu\text{mol TEAC}/\text{g}$  de muestra). De igual modo, en los ensayos de FRAP, la capacidad del pan con 10 % de BPF para reducir iones férricos ( $849,01 \mu\text{mol Fe (II)}/100$  g de muestra) fue mayor que en el control ( $670,81 \mu\text{mol Fe (II)}/100$  g de muestra). Una tendencia similar fue reportada por Ragae, *et al.*, (2011), quienes informaron que la incorporación de harinas integrales de cereales y la adición de jengibre en polvo en las fórmulas de pan de trigo mejoraron las propiedades antioxidantes de los panes en comparación con el pan blanco.

También la tabla 22, muestra que la actividad antioxidante es mayor cuanto mayor es el contenido de polifenoles totales. Esta relación también es reportada por Nasution, *et al.*, (2012), quienes afirman que el aumento del contenido de fenoles totales en la muestra con 7 % de harina de cáscara de banano ha ocasionado un mayor porcentaje de inhibición de la peroxidación lipídica ( $16,55 \pm 5,40$  %) frente a la muestra testigo ( $6,99 \pm 2,80$  %). Asimismo Guine, *et al.*, (2015), afirman que la actividad antioxidante puede predecirse a partir de los contenidos fenólicos. También, Vijayakumar, *et al.*, (2008), reportaron que la actividad antiperoxidativa de los flavonoides es directamente proporcional al número de grupos hidroxilo



fenólicos libres, por ello los flavonoides del banano actúan como un antioxidante efectivo. Por lo tanto, la suplementación de antioxidantes naturales a través de una dieta balanceada que contenga banana podría ser efectiva para proteger el cuerpo contra diversos tipos de estrés oxidativo.

### **Del contenido de carotenos y antocianinas**

De acuerdo a la tabla 23 y figura 17, el contenido de carotenos totales se incrementa con la sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano; mostrando diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre tratamientos con 0, 10 y 15 % de sustitución (0,078, 0,132 y 0,159 mg/100 g de muestra respectivamente), debido al contenido de carotenos totales de la harina de cáscara de plátano. El incremento en el contenido de carotenos en panes ha sido investigado por Carpio (2016), quien ha reportado contenidos de  $\beta$ -carotenos de 0,861mg/100 g de muestra, al sustituir harina de trigo con 10 % de harina de camote; sin embargo, el mayor contenido de  $\beta$ -carotenos en el pan de camote en comparación con el pan con harina de cáscara de plátano se debe a que el camote tiene un mayor contenido de carotenos (7.32 a 21.32 mg / 100 g) Carpio (2016).

También la tabla 23, muestra la presencia de antocianinas en los panes con harina de cáscara de plátano; mostrando diferencias ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos con 10 y 15 % de sustitución, aun cuando las cantidades son pequeñas (0.036 y 0.052 mg/100 g de muestra respectivamente), su presencia en el pan con harina de cáscara de plátano, es importante, como afirma Aguilera, *et al.*, (2011), la incorporación de antocianinas en los alimenticios es benéfica para nuestra salud. Diversos estudios muestran evidencia científica que las antocianinas pueden actuar como agentes

quimioprotectores, mejorar la agudeza visual y la actividad antioxidante. Las antocianinas tienen propiedades antidiabéticas, en control de lípidos, secreción de insulina y efectos vasoprotectores (Shipp y Abdel-Aal, 2010). En ese sentido, se abre una nueva perspectiva para la obtención de productos con valor agregado para consumo humano debido a las propiedades funcionales de las antocianinas.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos, resultados y discusiones de la investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La sustitución parcial de la harina de trigo (HT) por harina de cáscara de plátano (HCP) influyó en las características físicas, sensoriales, fisicoquímicas y en el contenido de compuestos bioactivos del pan; demostrándose que a un nivel de 10 % de sustitución produce una ligera reducción de la calidad (características físicas y sensoriales) del pan, pero mejoró el contenido de grasa, cenizas, fibra, minerales, polifenoles totales, carotenos, antocianinas y la actividad antioxidante.
- La harina de cáscara de plátano mostró un mayor índice de finura que la harina de trigo, un color más oscuro que las harinas de pulpa de plátano y de trigo; pero con valores apropiados para su uso en la panificación. Asimismo, tuvo mayor acidez y menor pH que la harina de trigo, pero ambos dentro del rango para su uso en panificación; también, presentó un mayor contenido de proteína, grasa, ceniza, fibra y minerales como nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, cobre hierro, zinc y manganeso. En cuanto a los compuestos bioactivos, presentó mayor contenido de fibra dietaria, polifenoles totales, carotenos totales, antocianinas y actividad antioxidante en comparación con la harina de la pulpa de plátano.

- La sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano en un 10 % mostró un leve efecto en las características físicas, sensoriales, colorimétricas y texturales del pan, que estadísticamente resultó no significativo. En cuanto a las características fisicoquímicas, se incrementó la acidez y disminuyó el pH del pan, pero dentro del límite establecido por la norma técnica peruana, además mejoró el contenido de grasa, ceniza, fibra y minerales (fósforo, calcio, magnesio, potasio, sodio, cobre, hierro, zinc y manganeso).
- En cuanto a los compuestos bioactivos, la sustitución parcial de la harina de trigo con 10 % de harina de cáscara de plátano mejoró significativamente los contenidos de fibra dietaria insoluble, soluble y total, polifenoles totales, carotenos totales, antocianinas y la actividad antioxidante del pan.
- La harina de cáscara del plátano ha demostrado tener mayor contenido de nutrientes específicamente proteínas, grasa, ceniza, fibra y minerales; además, compuestos bioactivos como fibra dietaria, polifenoles, carotenos y antocianinas, con actividad antioxidante, frente a la pulpa utilizada normalmente como alimento, por tanto este subproducto no aprovechado en la actualidad; adecuadamente procesado puede ser utilizado en la formulación de alimentos con propiedades funcionales de gran aceptación y demanda en la sociedad actual.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios para optimizar el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano utilizando programas estadísticos, así como el proceso tecnológico e insumos, cuyos resultados permita establecer un mayor porcentaje de sustitución de las harinas, con un mínimo efecto en las características físicas y sensoriales del pan.
- Realizar un estudio de la vida útil del producto en comparación con el pan tradicional, utilizando métodos apropiados para demostrar la estabilidad del producto durante su almacenamiento y comercialización.
- Realizar estudios de la digestibilidad del pan para establecer si la harina de cáscara de plátano afecta la disponibilidad y absorción de los nutrientes en el organismo humano.
- Realizar una investigación para identificar los principales compuestos fenólicos que predominan en las harinas de cáscaras de plátano de diferentes variedades y producidas en diferentes regiones del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, M. Z., Guan, L. C., Lim, K. C., & Karim, A. A. (2004). The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 125–135. doi:10.1016/S0260-8774(03)00194-8
- Agama, A. E., Islas, H. J., Osorio, D. P., Rendón, V. R, Urtilla, C. R., Angulo, O. y Bello, P. L. (2009). Pasta with unripe banana flour: physical, texture and preference study. *Journal of Food Science*, 74(6), 90-95.
- Agama, A. E., Sañudo, B. J. A., Vélez De La Rocha, R., González, A. G. A., y Bello, P. L. A. (2016). Potencial de la harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) como fuente de fibra dietética y compuestos antioxidantes. *Cyta - Journal of Food*. ISSN: 1947-6337 <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2015.1055306>
- Aguilera, M., Reza, M., Chew, R., y Meza, J. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. Biotecnia* 13(2), 16-22.
- Agrodata. (2015). Trigo los demás Perú importación, Mayo 2015, 6 junio 2015. Recuperado de <http://www.agrodataperu.com/2015/06/trigo-los-demas-peru-importacion-mayo-2015.html>
- Alarcón, M. A., López, J. H. y Restrepo, D. A. (2014). Efecto de la inclusión de una fuente de fibra dietaria sobre la degradación lipídica y proteica de un producto cárnico tipo hamburguesa. *Rev Chil Nutr*, 41(1), 77-84.
- Alkarkhi, A. F. M., Ramli, S. B., Yong, Y. S., & Easa Azhar Mat. 2010. Physicochemical properties of banana peel flour as influenced by variety and stage of ripeness: multivariate statistical analysis. *As. J. Food Ag-Ind.* 3(03), 349-362.

- Almazán, A. M. (1990). Effect of cassava flour variety and concentration on bread loaf quality. *Cereal Chem.* 67: 97-9.
- Almeida, S. L., Aguilar, L. T., Hervert, H. D. (2014). La fibra y sus beneficios a la salud. *An Venez Nutr* 2014; 27(1): 73-76.
- Alzate, T. L. M., Jimenez, C. C., y Londoño, L. J. (2011). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. *Producción + Limpia*, 6(1), 108-127.
- Ameh, M. O., Gernah, D. I. & Igbabul, B. D. (2013). Physico-chemical and sensory evaluation of wheat bread supplemented with stabilized undefatted rice bran. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 43-48.
- Amoakoah, T. L., Kottoh, I. D., Asare, I. K., Torby-Tetteh, W., Buckman, E. S., & Adu-Gyamfi, A. (2015). Physicochemical and elemental analyses of bananas composite flour for infants. *Br. J. Appl. Sci. Technol.* 6(3): 277–284.
- Andersson, J. W., & Chen, W. J. L. (1986). Cholesterol-lowering properties of oat products. In F. H. Webster (Ed.), *Oats chemistry and technology* (pp. 205e226). USA: American Association of Cereal Chemistry.
- Anderson, J., Smith, B., & Gustafson, J. (1994). Health benefits and practical aspects of high fiber diets. *Am J Clin Nutr* 59: 12425-75.
- Angelo, P. M., y Jorge, N. (2007). Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, v. 66, n.1, p. 1 - 9.
- Anzaldúa, M. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica*. Zaragoza. España. Editorial Acribia.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. 15th Edition., AOAC International, Washington, USA.
- AOAC. (1997). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. 16th Edition., AOAC International, Washington, USA.

- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. 18th Edition., AOAC International, Washington, USA.
- AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. 19th Edition., AOAC International, Washington, USA.
- Arone, P. H. D. (2015). *Evaluación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del pan tipo molde enriquecido con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y Chia (*Salvia hispanica* L.)* (Tesis de grado). Universidad Nacional José María Arguedas, Perú.
- Arun, K.B., Persia, F., Aswathy, P. S., Chandran, J., Sajeev, M. S., Jayamurthy, P. & Nisha, P. (2015). Plantain peel - a potential source of antioxidant dietary fibre for developing functional cookies. *J Food Sci Technol*, 52(10),6355–6364.
- Ayala, C. E., Rivas, G. M., Zambrana, C. B. (2003). Estudio proximal comparativo de la cáscara y pulpa de plátano (*Musa paradisiaca*) para su aprovechamiento completo en la alimentación humana y animal (tesis de grado). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Badui, D. S. 2006. *Química de los alimentos*. Editorial Pearson Educación. México.
- Baños, E. B. (2007). *Caracterización reológica de masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble* (Tesis de grado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo México.
- Bazzano, L. A., Orden, L. G., Loria, C. M., & Whelton, P. K. (2003). Dietary fiber intake and reduced risk of coronary Heart disease in US men and women: the Nacional Health and Nutrition Examination Survey I Epidemiologic Follow-up Study. *Arch Intern Med*; 163: 1897-904.
- Bennion, B. (1970). *Fabricación del pan*. Zaragoza, España. Editorial Acribia.



- Blasco, L. G. y Gómez, M. F. J. (2014). Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp.*). *Rev Med UV*, Julio – Diciembre. Universidad Veracruzana. México.
- Botero, L. J. y Mazzeo, M. M. (2009). Obtención de harina de ráquis del plátano dominico hartón y evaluación de su calidad con fines de industrialización. *Vector 4*: 83-94.
- Borderias, A. J., Sanchez, A. I., & Perez, M. M. (2005). New applications of fibres in food: Addition to fishery products. *Food Science Technology*, 16, 458–465.
- Brand-Williams, W. Cuvelier, M. E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm Wiss Technol* 28, 25-30.
- Bravo, P. E. D. y Moreno, P. L. J. (2015). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro (*Bactris Gasipaes*) var. Rojo cauca.* (Tesis de grado). Universidad de La Salle. Bogotá Colombia.
- Brewer, M. S. (2011). Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(4), 221–247. doi:10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x
- Brouillard, R. (1982). Chemical Structure of Anthocyanins. *En Anthocyanins as Food Colors*. P. Markakis (ed.), pp 1-38. Academic Press.
- Cabarcas, H. E., Guerra, B. A. F., y Henao, B. A. (2012). *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción* (Trabajo de grado). Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería.
- Canturin, A. C. y Paucar, Y. S. (2013). *Efecto del ácido ascórbico, cítrico y escaldado en el control del pardeamiento de la guanábana (*Annona muricata*) para la obtención de harina* (Tesis de grado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Junín, Perú.

- Cárdenas, D. F. L. (2009). Estudio de mercado de la cadena del plátano. Informe final de consultoría. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Competitividad Agraria. Recuperado de [http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/banano/estudio\\_platano.pdf](http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/banano/estudio_platano.pdf)
- Carpio, R. V. (2016). Contenido de  $\beta$ -caroteno, hierro y zinc en genotipos de camote (*Ipomoea batatas L.*) durante el almacenamiento, cocción y elaboración de pan (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- Carvajal, L. L., Sánchez, G. M. L., Giraldo G, y Arcila, P. M. I. (2002). Diseño de un producto alimenticio para humanos (hojuelas) a partir del raquis de plátano (*Musa AAB simmonds*). En Resumen XV Reunión Internacional ACORBAT 2002. Cartagena de Indias, Colombia. p. 531-534.
- Catalán, L. L. F. (2016). *Extracción y caracterización de  $\beta$ -caroteno obtenido de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca L.*) evaluando el rendimiento de tres diferentes solventes de distinta polaridad para su utilización como colorante natural, a escala laboratorio* (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Cheftel, J. C., Cheftel, H. y Besancon, P. (1999). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Zaragoza. Acribia. V-I.
- Che Man, Y. B. & Tan C.P. (2003). *Carotenoids*. pp. 25-52, In: Lipids for Functional Foods and Nutraceuticals, Volume 13. (Gunstone, F.D.), the Oily Press, England.
- Chen Z. (2008). Research of antioxidative capacity in essential oils of plants. *China Cond.*, 11,40–43.
- Chevallier, S., Della Valle, G., Colonna, P., Broyart, B., & Trystram, G. (2002). Structural and Chemical Modifications of Short Dough During Baking. [\*Journal of Cereal Science\*](#), 35: 1-10.

- CODEX (1989). Norma del codex para la harina de yuca comestible, CODEX STAN 176-1989.
- CODEX (1985). Norma para la harina y la sémola de maíz sin germen, CODEX STAN 155-1985.
- CODEX (1985). Norma del Codex para la harina de trigo, CODEX STAN 152-1985.
- Colmenares, L. M. J. (2009). *Elaboración de harina de pulpa y cáscara de plátano verde clón hartón común para la formulación de una mezcla de harina para arepas a base de plátano: maíz* (Tesis de grado). Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
- Castelo, V. N., Nogueira, G. J., Souza, L., Rodrigues, G. M., Moreira, S. P., Limoeiro, F. L., Fontanive, M. R., Rangel, G. R., Lemos, F. S. M., Citelli dos Reis, M., Zago, L. (2017). The use of green banana (*Musa balbisiana*) pulp and peel flour as an ingredient for tagliatelle pasta. *Braz. J. Food Technol., Campinas, 20*, e2016119, <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.11916>
- De la Cruz, W. H. (2009). *Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clementz, A., Pranzetti, V. (2010). El color en los alimentos: determinación del color en mieles. *Invenio, 13*(25), 145–152.
- De Pascual, T. S. y Sánchez, B. M. T. (2008). Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry Reviews, 7*(2), 281-299.
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2006). Reglamento (CE) N° 1924/2006 Del parlamento Europeo y del Consejo, del 20 de diciembre de 2006, relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. L 404 (49), 9-25.

- Dirección Regional de Agricultura de San Martín [DRASAM]. (2016). Diagnóstico de la cadena de valor del cultivo del plátano. Dirección de desarrollo agropecuario y promoción de la inversión privada. PEHCBM. Tarapoto.
- Emaga, T., Andrianaivo, R., Whatelet, B., Techango, J., & Paquot, M. (2007). Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chemistry*, 103(2), 590–600.
- Englberger, L., Darnton, H. I., Coyne, T., Fitzgerald, M. H.; & Marks, G. C. (2003). Carotenoid-rich bananas: A potential food source for alleviating vitamin A deficiency. *Food and Nutrition Bulletin*, 24(4), 303-318.
- Eshak, N. S. (2016). Sensory evaluation and nutritional value of balady flat bread supplemented with banana peels as a natural source of dietary fiber. *Annals of Agricultural Science*, 61(2), 229–235.
- Fatemeh, S. R., Saifullah, R., Abbas, M. A. & Azhar, M. E. (2012). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of banana pulp and peel flours: influence of variety and stage of ripeness. *International Food Research Journal*, 19 (3), 1041-1046.
- Fennema, O. R. (1993). *Química de los alimentos*. Zaragoza España. Acribia.
- Fennema, O. R. (2010). *Química de los alimentos*. Zaragoza. España. Acribia.
- Fernández, A. S. (2013). *Estudio de la textura de 3 quesos azules asturianos. Análisis instrumental y organoléptico* (Tesis de maestría). Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
- Fernandes, A. C., Chamhum, L. C., Lopes de Siqueira, D., Roberto, C. P. e Rocha, S. M. (2014). Teores de minerais em polpas e cascas de frutos de cultivares de bananeira. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 49(7), 546-553.

- Fingolo, C., Braga, J., & Vieirwa, A. (2012). The natural impact of banana inflorescences (*Musa acuminata*) on human nutrition. *An Acad Bras Cienc*, 84(4), 891–898.
- Fundación Española de Nutrición (2015). Principales funciones de los minerales. <http://www.fen.org.es/blog/principales-funciones-de-los-minerales-en-la-alimentacion/>
- FAO (s.f.). Minerales. <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0e.htm>
- García, P., Bretón, L., De la Cuerda, C., & Camblor, M. (2002). Metabolismo colónico de la fibra. *Nutrición hospitalaria*, 17, 11-16.
- García, C. J. M., Castaño, M. P., y Osorio, C. (2016). Caracterización fisicoquímica de cáscaras de mango (*Mangifera indica* L.), piña (*Ananas comosus*) y banano (*Musa paradisiaca*) como material de partida para alimentos biofuncionales. *Agronomía Colombiana* 34(1), 911-913.
- García, J. A., Castillo, M. A., Ramírez, M. E., Rendón, S. G., y Larqué, M. U. (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para selección de medias. *Agrociencia* 35(1): 79 – 86.
- Garzón, A. G. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36.
- Gestión (2014). Producción nacional de trigo creció 1.8 % entre 2008 y 2013. Marzo 28. Recuperado de <http://gestion.pe/economia/produccion-nacional-trigo-crecio-18-entre-2008-y-2013-2093075>
- Gestión (2015). Producción peruana de banana y plátano crecerá 2,6 % en el 2015. Enero 30. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/produccion-peruana-banano-platano-creceria-2-6-2015-151809>

- Ghiselli A., Nardini M., Baldi A. y Scaccini C. (1998). Antioxidant activity of different phenolic fractions separated from an Italian red wine. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 46(2), 361-367.
- Giane, D. C. y Ornella, M. P. (2016). Análise comparativa do conteúdo total de antocianinas em diferentes farinhas. 6° Congresso de Ciências Farmacéuticas do Mercosul y 6° Simposio em Ciencia e Tecnologia do Mercosul. Paraná, Brasil.
- Gil, M. A., Vélez, L. M., Millán, L., Acosta, M. A., Díez, A. C., Cardona, N., Rocha, L. A. y Villa, G. C. (2011). Desarrollo de un producto de panadería con alto valor nutricional a partir de la harina obtenida del banano verde con cáscara: una nueva opción para el aprovechamiento de residuos de exportación. *Producción + limpia*, 6(1), 96-107.
- Gomes, A. A. B., Ferreira, M. E. & Pimentel, T. C. (2016). Bread with flour obtained from green banana with its peel as partial substitute for wheat flour: Physical, chemical and microbiological characteristics and acceptance. *International Food Research Journal*, 23(5), 2214-2222.
- Gomez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2003). Effects of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research Technology*, 216, 51–56.
- Gomes, L. P., Mota, R. A., Becker, P. P., Teixeira, B. M., Castillo, M. N., Hermosín, G. I. (2014). Flour of banana (*Musa AAA*) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. *Food Research International* 55: 397–403
- González, R., Lobo, M. & González, M. (2010). Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. *Food Chemistry*, 119(3), 1030-1039.

- Granito, M. y Guerra, M. (1995). Uso del germen desgrasado de maíz en harinas compuestas para panificación. *Arch Latinoam Nutr.* 45: 322-8.
- Guiné, R. F., Barroca, M. J., Gonçalves, F. J., Alves, M., Oliveira, S. & Mendes, M. (2015). Artificial neural network modelling of the antioxidant activity and phenolic compounds of bananas submitted to different drying treatments. *Food Chemistry*, 168 (1), 454 – 459. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.07.094.
- Hathorn, C. S., Biswas, M. A., Gichuhi, P. N., & Bovell-Benjamin, A. C. (2008). Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high-gluten dough enhancers. *Food Science and Technology*, 41, 803–815.
- Henao, S. y Aristizabal, G. (2009). Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Ingeniería e Investigación*, 29(1), 39-46.
- Hernández, J. B., Cañizares, A. E., Blanco, G., Arrieche, I., Alexis Pérez, I, César Salazar, C., Y Meylú González, M. (2009). Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en harinas de clones de musáceas comestibles (*Musa spp.*). *Revista udo agrícola*, 9(2), 449-457.
- Hernandez, S. R., Fernández, C. C., y Baptista, L. M. (2014). *Metodología de la investigación*. México, MC Graw Hill/Interamericana Editores S, A. de C. V.
- Herrera, M. y Colonia, L. (2011). Manejo integrado del cultivo del plátano. Universidad Nacional Agraria La molina-Agrobanco. Lima.
- Hincapie, L. G., Vásquez, O. D., Galicia, M. V., y Hincapie, L. C. (2014). Propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria de cáscaras de mango variedad hilacha (*Manguiфера indica L.*): efecto del secado por convección. *Bioteχνología del sector agropecuario y agroindustrial*. 12(1), 153 - 160.

- Honfo, F, Hell, K., Coulibaly, O., y Tenkouano, A. (2007). Valor de los micronutrientes y contribución de los alimentos derivados del plátano al consumo diario de hierro, zinc y  $\beta$ -caroteno en el sur de Nigeria. *InfoMusa*, **16(1 y 2)**.
- Hung, P. V., Maeda, T., & Morita, N. (2007). Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution. *Food Research International*, *40(2)*, 273–279.
- INSTITUTO DE NUTRICIÓN DE CENTRO AMÉRICA Y PANANÁ (INACP)/ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). (2012). Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. Guatemala. Serviprensa SA.
- Jenkins, D. J., Kendall, W. C., & Vuksan, W. (2000). Viscous fibers, health claims and strategies to reduce cardiovascular disease risk. *Am J Clin Nutr*, *71(2)*, 401-412.
- Juárez, E., Agama, E., Sáyago, S., Rodríguez, S., & Bello, L. (2006). Composition, digestibility and application in breamaking of banana Fluor. *Plant Foods for Human Nutrition*, *61(3)*, 131-137.
- Khanduja, K. L. (2003). Stable free radical scavenging and antiperoxidative properties of resveratrol in vitro compared with some other bioflavonoids. *Ind J Biochem Biophys* *40(6)*,416–22.
- Kitdamrongsont, K., Pothavorn, P., Swangpol, S., Wongniam, S., Atawongsa, K., Svasti, J. & Somana, J. (2008). Anthocyanin Composition of Wild Bananas in Thailand. *J. Agric. Food Chem.*, *56(22)*, 10853-10857. DOI: 10.1021/jf8018529
- Knuckles, B. E., Hudson, C. A., Chiu, M. M. & Sayre, R. N. (1997). Effects of  $\beta$ -glucan barley fractions in high-fiber bread and pasta. *Cereal Food World*, *42(2)*, 94-99.
- Lee, H., Noor Aziah, A. A., Baharin, A. (2013). Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata* X *balbisiana* cv. Awak) pseudo-stem flour. *Food Chemistry* *139* (2013) 532–539.



- Lupano, C. E. (2013). *Modificaciones de componentes de los alimentos. Cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento*. Buenos Aires, Argentina. Editorial de la Universidad de la Plata.
- Madrigal, L.V., Alanís, M. G., Justo, B. M., García, C. L., Vázquez, G. J., Rodríguez, M. A., y Moreno, R. V. H. (2008). Producción y caracterización físico-química de harinas de bananos FHIA-17, FHIA-23 y plátano FHIA-20, para su incorporación en panificación. Universidad de Colima e Instituto de Ciencias Agrícolas Universidad de Guanajuato.
- Martínez, V. I., Periago, M. J., y Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos en la dieta. *Arch. Latinoam. Nutr*, 50, 5-18.
- Mazzeo, M., León, A., Mejía, G., Guerrero, M. y Botero, L. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. *Revista Educación en Ingeniería*, 9: 128-139.
- Ministerio de Agricultura y riego [MINAGRI] (2014). El banana peruano “Producto estrella de exportación”. Tendencias de la producción y el comercio del banano en el mercado internacional y nacional. Lima.
- Ministerio de Salud [MINSA] (2011). Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería. RM N° 1020-2010/MINSA. Lima Perú.
- Miyazawa, T., Nakagawa, K., Kudo, M., Muraishi, K. & Someya, K. (1999). Direct intestinal absorption of red fruit anthocyanins, cyaniding-3-glucoside and cyaniding-3,5-diglucoside, into tracts and humans. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 1083-1091.
- Moreira, C. K. (2013). *Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (Musa paradisiaca) y plátanos (Musa sapientum) para la producción de alimentos*

*destinados al consumo humano* (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

- Moreno, A. M. J., Belén, D. R., García, D., y Mendoza, L. (2006). Evaluación del contenido de carotenoides totales en cáscaras de algunas variedades de naranjas venezolanas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 23, 298-305.
- Muro, B. D., Gómez, S. E., Castañeda, P. A., Chávez, J. A., y Chávez, C. E. (2017). Elaboración y estudio de un producto de panificación adicionado con harina de cáscara de tuna. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 391-396.
- Nakatani, N. (2003). Biologically functional constituents of spices and herbs. *J Jpn Soc Nut Food Sci*, 56(6), 389–95.
- Nasrin, A. A.; Noomhorm, A. & Kumar, A. A. (2015). Physico-Chemical Characterization of Culled Plantain Pulp Starch, Peel Starch, and Flour. *International Journal of Food Properties*, 18(1), 165–177.
- Nasution, Z., Lim, R. Y., & Wan, Z. S. (2012). Banana peel flour: an alternative ingredient for wholemeal bread. UMTAS, 9-11, Malaysia. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/279921919\\_Banana\\_peel\\_flour\\_an\\_alternative\\_ingredient\\_for\\_wholemeal\\_bread](https://www.researchgate.net/publication/279921919_Banana_peel_flour_an_alternative_ingredient_for_wholemeal_bread)
- Norhidayah, M., Noorlaila, A. & Nur Fatin Izzati, A. (2014). Textural and sensorial properties of cookies prepared by partial substitution of wheat flour with unripe banana (*Musa x paradisiaca* var. *Tanduk* and *Musa acuminata* var. *Emas*) flour. *International Food Research Journal* 21(6): 2133-2139.
- Norma Técnica Peruana [NTP] (1986). Harina de trigo para consumo doméstico y uso industrial. NTP 205.027.

- Norma Técnica Peruana [NTP] (2016). Pan de molde: pan blanco, pan integral y sus productos tostados. NTP 206.004.
- Novoa, D. F., & Ramírez Navas, J. S. (2012). Caracterización colorimétrica del manjar blanco del Valle. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 54–61.
- Ordoñez, L. E., y Ledezma, D. P. (2013). Lycopene Concentration and Physico-Chemical Properties of Tropical Fruits. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 758-762.
- Ordoñez, L. E., Hurtado, A. P., Ríos, O. D., Arias, M. E. (2014). Concentración de carotenoides totales en residuos de frutas tropicales. *Producción + Limpia*, 9(1), 91-98.
- Osuna, M. B., Avallone, C. M., Montenegro, S. B., y Aztarbe, M. (2006). Elaboración de pan fortificado con ácidos grasos Omegas 3 y 6. Universidad Nacional del Nordeste. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-094.pdf>
- Otálvaro, J. A., Rodríguez, S., y Hernández, V. (2016). Propiedades texturales de pan adicionado con almidón modificado de yuca. *Agronomía Colombiana*. 34(1), 779-781.
- Otles, S. (2008). Handbook of food analysis instruments. (CRC Press, Ed.) (Ilustrada., p. 544).
- Ovando, M. (2008). Pasta adicionada con harina de plátano: digestibilidad y capacidad antioxidante (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Morelos, México.
- Ozsoy, N., Candoken, E., & Akev, N. (2009). Implications for degenerative disorders: antioxidative activity, total phenols, flavonoids, ascorbic acid, beta-carotene and beta-tocopherol in Aloe vera. *Oxid Med Cell Longev*, 2(2), 99–106.

- Palmer, J. K. 1971. *The banana*. pp. 65-101. In. The biochemistry of fruits and their products. Vol. 2. HULME A. A. (ed.). Academia Press London.
- Pazmiño, E. A., Giusti, M. M., Wrolstad, R. E., & Gloria, B. A. (2001). Anthocyanins from banana bracts (*Musa x paradisiaca*) as potential foods colorants. *Food Chemistry* 73(3), 327 - 332.
- Pascual, C. G. y Zapata, H. J. (2010). Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.), usando el método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 76(4), 377-388.
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A., Kulkarni, B. D. (2016). Valorization of banana peel: a biorefinery approach. *Reviews in Chemical Engineering*, 32(6), 651 - 666. DOI: <https://doi.org/10.1515/revce-2015-0063>
- Pereira, A. & Maraschin, M. (2015). Banana (*Musa spp*) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. *Journal of Ethnopharmacology* 160: 149–163. doi: 10.1016/j.jep.2014.11.008
- Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *J. Nat. Prod.*, 63(7), 1035–1042.
- Planells, E., Baró, L., Mataix, J., y Ochoa, J. (2003). Análisis de la composición mineral en alimentos congelados precocinados de consumo habitual. *Ars Pharmaceutica*, 44(4), 343-350.
- Quaglia, G. (1991). *Ciencia y tecnología de la Panificación*. Zaragoza, España. Edit. Acribia.
- Ragae, S., Guzar, I., Dhull, K., y Seetharaman, K. (2011). Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2147–2153.

- Ramli, S., Ismail, N., Alkarkhi, F. M. & Easa, A. M. (2010). The use of principal component and cluster analysis to differentiate banana peel flours based on their starch and dietary fibre components. *Tropical Life Sciences Research*, 21(1), 91–100.
- Ramli, S. B., Alkarkhi, F. M., Yong, Y. S. & Easa, A. M. (2009). The use of principle component and cluster analyses to differentiate banana pulp flours based on starch and dietary fiber components. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(S4): 317-325. doi: 10.1080/09637480903156244.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26 (9-10), 1231–1237.
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic. Biol. Med.*, 20(7), 933–956.
- Robards, K., Prentzler, P. D., Tucker, G., Swatsitang, P., & Glover, W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66(4), 401- 436.
- Rodríguez – Amaya, A. D. (1993). Curso latinoamericano de carotenoides en alimentos. UNICAMP – CAMPINAS. Brasil.
- Rodríguez-Amaya, D. B. (1999). *Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados*. Sao Paulo, Brasil. Editorial John Snow, Inc./OMNI Project.
- Rong, T. (2010). Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231-46.

- Ruíz, M. S. y Urbáez, C. Z. (2010). *Elaboración de panes con harinas compuestas de catebía de yuca (Manihot esculenta) y trigo*. (Tesis de grado). Universidad de Oriente. Puerto la Cruz, Venezuela.
- Sánchez, G. I. (2016). *Nutrientes y compuestos bioactivos del trigo: fibra y polifenoles* (Tesis de grado). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- Sánchez, A. R., Martín, F. M., Palma, M. S., López, P. B., Bermejo, L. M., y Gómez, C. C. (2015). Indicaciones de diferentes tipos de fibra en distintas patologías. *Nutr Hosp.* 31(6):2372-2383.
- Sánchez, H. y Reyes, C. 2002. *Metodología y diseños en la investigación científica*. Universidad Ricardo Palma. Editorial Universitaria. Lima.
- Santos Espi, P. (2009). Medición del color (p. 4). Zaragoza. Retrieved from [http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala\\_prensa/revista\\_tecnica/hemeroteca/articulos\\_R42\\_A3.pdf](http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos_R42_A3.pdf)
- Shipp, J. y Abdel-Aal, S. M. (2010). Food Applications and Physiological Effects of Anthocyanins as Functional Food Ingredients. *The Open Food Science Journal*, 4, 7-22.
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – a review, *Food Chemistry*, 206,1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.033>.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and others oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Slavin, J. L. (2008). Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. *J Am Diet Assoc*, 108(10):1716-31.

- Someya, S., Yoshiki, Y. & Okubo, K. (2002). Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*). *Food Chemistry*, 79(3): 351-354.
- Soto, A. V. S. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa cavendishii*) y banana verde (*Musa paradisiaca*). *Revista boliviana de química*, 27(2), 94-99.
- Stefanello, C. L. y Rosa, C. S. (2012). Composición aproximada de las cáscaras de diferentes frutas. *Rev. Cienc. Tecnol.*, 17, 34–37.
- Subagio, A., Morita, N. y Sawada, S. (1996). Carotenoids and their fatty-acid esters in banana peel. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*. 42(6), 553–66.
- Torres, J. D., Gonzales, K. J., y Acevedo, C. D. (2015). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista ReCiTeIA*, 14 (2), 63-75.
- Torres, M. P., Jiménez, M. T. y Bárcenas, M. E. (2014). Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(1), 94-102.
- Sulaiman, S.F., Yusoff, N.A.M., Eldeen, I.M., Seow, E.M., Sajak , A.A., Supriatno and Ooi, K.L. (2011). Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa sp.*). *Journal of Food Composition and Analysis* 24(1), 1–10.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215-225.
- Türker, B., Savlak, N., Berkel, K. M. (2016). Effect of green banana peel flour substitution on physical characteristics of gluten-free cakes. *Curr. Res.Nutr Food Sci Jour.*, 4(2), 197-204.
- Valérie, P. T. C., Marie-France, H. M., Tomekpe, K., Happi, E. T., Quetin, L. J., Rogez, H, Larondelle, Y. & Andre, C. (2015). Phenolic profiling in the pulp and peel of nine

- plantain cultivars (*Musa sp.*). *Food Chemistry*, 167, 197 – 204. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.06.095.
- Veliz, Q. C. A. (2016). *Contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad reductora de la cáscara de Musa sp. "plátano"*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Vidal, F.I., Pereira, E., Sotolongo, R., Quintana, Y., Ortiz, A., García, A., Ly, J. (2001). Efecto de la suplementación con pseudotallo de plátano sobre la salud y el peso al sacrificio de cerdos comerciales. *Revista Producción Animal*, 13(1), 67-69.
- Vijayakumar, S., Presannakumar, G. & Vijayalakshmi, N. R. (2008). Antioxidant activity of banana flavonoids. *Fitoterapia*, 79(4), 279–282.
- Wang, H., Cao, G. & Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 44(3), 701–705.
- Wong, D. (1995). *Química de los Alimentos: mecanismos y teoría*. Editorial Acribia, S. A. España.
- Wood, P. J., Braaten, J. T., Fraser, W. S., Riedel, D., & Poste, L. M. (1990). Comparisons of viscous properties of oat and guar gum and the effects of these and oat bran on glycemic index. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(3), 753-757. DOI: 10.1021/jf00093a036
- Wood, P. J. (1991). Oat  $\beta$ -glucan-physicochemical properties and physiological effects. *Trends in Food Science and Technology*, 2, 311-314. [doi:10.1016/0924-2244\(91\)90733-Y](https://doi.org/10.1016/0924-2244(91)90733-Y)
- Wood, P. J., Braaten, J. T., Scott, F. W., Riedel, K. D., Wolynetz, M. S., & Collins, M. W. (1994). Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *British Journal of Nutrition*, 72(5), 731-743.



- Yangilar, F. (2015). Effects of green banana flour on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. *Food technol. Biotechnol*, 53 (3), 315–323.
- Yusoff, N. A. M. (2008). *Correlation between total phenolics and mineral content with antioxidant activity and determination of bioactive compounds in various local bananas (Musa Sp.)* (Tesis de maestría), Universiti Sains Malaysia.
- Wachirasiri, P.; Julakarangka, S. and Wanlapa, S. (2009). The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 31(6), 605-611.
- Zapata, L. M. (2014). *Obtención de extracto de antocianinas a partir de arándanos para ser utilizado como antioxidante y colorante en la industria alimentaria* (Tesis doctoral). Universidad Politecnica de Valencia. España.
- Zumarán, O. R. y Yglesis L. A. (2013). Optimización de las propiedades físicas, nutritivas y sensoriales del pan elaborado con harina de espárrago, kiwicha y trigo. *Revista "Ciencia y Tecnología"*, Escuela de Postgrado – Universidad Nacional de Trujillo.
- Zuleta, A., Binaghi, M. J., Greco, C. B., Aguirre, C., De la Casa, L., Tadini, C., Ronayne de Ferrer, P. A. (2012). Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales. *Rev Chil Nutr*, 39(3), 58-64.
- Zúñiga, L. A., Velásquez, H. J., y Osorio, J. A. (2007). Estudio de la dureza del queso Edam por medio de análisis de perfil de textura y penetrometría por esfera. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 60(1), 3797-3811.

## **ANEXOS**

### Anexo 1

Datos del rendimiento en la obtención de la harina de cáscara de plátano

Rendimiento de la pulpa, cáscara y harina de cáscara de plátano

Componentes	r1	r2	Promedio (kg)	%
Plátano entero	60,2	59,8	60,0	100
Pulpa	36,9	36,7	36,8	61,3
Cáscara	18,2	17,4	17,8	29,7
Restos (pérdida)	5,6	5,2	5,4	9,0
Cáscara seca	3,05	2,93	2,99	4,98
Harina de cáscara	2,46	2,36	2,41	4,02
Pérdida en la molienda	0,59	0,57	0,58	0,97
Relación pulpa/cáscara	2,03	2,11	2,07	---

Módulo de finura:  $439,3/100 = 4,4$

Índice de uniformidad 42 %, para un tamaño de partícula de entre 180 a 250  $\mu\text{m}$ .

## Anexo 2

Datos del pH, acidez y análisis estadístico de las harinas de trigo (HT) y cáscara de plátano (HCP)

### Anexo 2a. pH de las harinas

Datos del pH de las harinas de trigo y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Trigo (HT)	5,95	5,96	5,88	5,93	0,04
Cáscara de plátano (HCP)	4,82	4,73	4,68	4,74	0,07

Análisis de variancia del pH de las harinas de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	2,1123	2,1123	609,31	7,71	*	1,60E-05
Error	4	0,0139	0,0035				
Total	5	2,1261					

CV = 1,10 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del pH de las harinas de trigo y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Trigo (HT)	5,93	a
Cáscara de plátano (HCP)	4,74	b

ALS(t) = 0,13

### Anexo 2b. Acidez (% Ácido sulfúrico) de las harinas

Datos de la acidez de las harinas de trigo y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Trigo (HT)	0,074	0,069	0,064	0,069	0,005
Cáscara de plátano (HCP)	0,613	0,674	0,649	0,645	0,031

Análisis de variancia de la acidez de las harinas de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,4982	0,4982	1032,27	7,71	*	5,59E-06
Error	4	0,0019	0,0005				
Total	5	0,5002					

CV = 6,15 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la acidez de las harinas de trigo y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	0,645	a
Trigo (HT)	0,069	b

ALS(t) = 0,05

### Anexo 3

Datos de colorimetría de las harinas de trigo (HT), pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP), expresados en CIE L\* a\* y b\*

#### Anexo 3a. Datos CIE L\* de las harinas

Datos de L\* de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Trigo (HT)	96,12	96,02	96,1	96,08	0,05
Pulpa de plátano (HP)	93,25	93,39	93,16	93,27	0,12
Cáscara de plátano (HCP)	78,41	78,84	78,83	78,69	0,25

Análisis de variancia de L\* de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	2	522,5931	261,2965	10251,39	5,14	*	2,50E-11
Error	6	0,1529	0,0255				
Total	8	522,746					

CV = 0,18 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de L\* de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Trigo (HT)	96,08	a
Pulpa de plátano (HP)	93,27	b
Cáscara de plátano (HCP)	78,69	c

ALS(t) = 0,40

#### Anexo 3b. Datos CIE a\* de las harinas

Datos de a\* de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Trigo (HT)	0,03	0,02	0,04	0,03	0,01
Pulpa de plátano (HP)	-0,16	-0,23	-0,16	-0,18	0,04
Cáscara de plátano (HCP)	-1,29	-1,14	-1,16	-1,2	0,08

Análisis de variancia de a\* de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	2	2,5771	1,2885	462,02	5,14	*	2,68E-07
Error	6	0,0167	0,0028				
Total	8	2,5938					

CV = -11,74 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de  $a^*$  de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Trigo (HT)	0,03	a
Pulpa de plátano (HP)	-0,18	b
Cáscara de plátano (HCP)	-1,2	c

ALS(t) = 0,13

**Anexo 3c.** Datos CIE  $b^*$  de las harinas

Datos de  $b^*$  de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Trigo (HT)	8,15	8,19	8,17	8,17	0,02
Pulpa de plátano (HP)	13,39	13,49	13,11	13,33	0,20
Cáscara de plátano (HCP)	21,28	21,06	20,83	21,06	0,23

Análisis de variancia de  $b^*$  de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	2	252,3932	126,1966	4214,36	5,14	*	3,60E-10
Error	6	0,1797	0,0299				
Total	8	252,5728					

CV = 1,22 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de  $b^*$  de las harinas de trigo, pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	21,06	a
Pulpa de plátano (HP)	13,33	b
Trigo (HT)	8,17	c

ALS(t) = 0,43

#### Anexo 4

Datos de la composición proximal y análisis estadístico de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

##### Anexo 4a. Datos de humedad de las harinas (g/100 g)

Datos de humedad de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	8,66	8,85	8,93	8,81	0,14
Cáscara de plátano (HCP)	8,66	8,39	8,21	8,42	0,23

Análisis de variancia de la humedad de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,2321	0,2321	6,58	7,71	ns	0,062293
Error	4	0,1411	0,0353				
Total	5	0,3731					

CV = 2,18 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la humedad de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Pulpa de plátano (HP)	8,81	a
Cáscara de plátano (HCP)	8,42	a

ALS(t) = 0,43

##### Anexo 4b. Datos de proteínas de las harinas (g/100 g)

Datos de proteína de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	3,98	3,72	3,86	3,85	0,13
Cáscara de plátano (HCP)	8,01	8,27	8,51	8,26	0,25

Análisis de variancia de la proteína de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	29,1722	29,1722	734,2	7,71	*	0,000011
Error	4	0,1589	0,0397				
Total	5	29,3311					

CV = 3,29 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la proteína de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	8,26	a
Pulpa de plátano (HP)	3,85	b

ALS(t) = 0,45

**Anexo 4c.** Datos de la grasa de las harinas (g/100 g)

Datos de la grasa de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,49	0,43	0,34	0,42	0,08
Cáscara de plátano (HCP)	4,78	5,28	5,06	5,04	0,25

Análisis de variancia de la grasa de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	32,0166	32,0166	934,79	7,71	*	7,00E-05
Error	4	0,137	0,0343				
Total	5	32,1536					

CV = 6,78 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la grasa de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	5,04	a
Pulpa de plátano (HP)	0,42	b

ALS(t) = 0,42

**Anexo 4d.** Datos de cenizas de las harinas (g/100 g)

Datos de cenizas de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	2,87	3,09	3,22	3,06	0,18
Cáscara de plátano (HCP)	10,38	9,84	9,46	9,89	0,46

Análisis de variancia de cenizas de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	70,0417	70,0417	571,69	7,71	*	1,80E-05
Error	4	0,4901	0,1225				
Total	5	70,5317					

CV = 5,40 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de cenizas de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	9,89	a
Pulpa de plátano (HP)	3,06	b

ALS(t) = 0,79



**Anexo 4e.** Datos de fibra cruda de las harinas (g/100 g)

Datos de fibra cruda de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	2,87	2,56	2,18	2,54	0,35
Cáscara de plátano (HCP)	10,49	9,64	10,11	10,08	0,43

Análisis de variancia de la fibra cruda de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	85,3528	85,3528	567,63	7,71	*	1,80E-05
Error	4	0,6015	0,1504				
Total	5	85,9543					

CV = 6,15 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de la fibra cruda de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	10,08	a
Pulpa de plátano (HP)	2,54	b

ALS(t) = 0,88

**Anexo 4f.** Datos de carbohidratos de las harinas (g/100 g)

Datos de carbohidratos de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	82,62	81,33	80,01	81,32	1,31
Cáscara de plátano (HCP)	59,58	57,01	58,34	58,31	1,29

Análisis de variancia de carbohidratos de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	794,1902	794,1902	473,44	7,71	*	2,60E-05
Error	4	6,7100	1,6775				
Total	5	800,9002					

CV = 1.86 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de la carbohidratos de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Pulpa de plátano (HP)	81,32	a
Cáscara de plátano (HCP)	58,31	b

ALS(t) = 2,94

### Anexo 5

Datos del contenido de minerales y análisis estadístico, de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

#### Anexo 5a. Datos de nitrógeno (g/100 g) de las harinas

Datos de nitrógeno de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,61	0,53	0,51	0,55	0,05
Cáscara de plátano (HCP)	1,08	1,12	1,28	1,16	0,11

Análisis de variancia de nitrógeno de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,5581	0,5581	79,74	7,71	*	8,70E-04
Error	4	0,028	0,007				
Total	5	0,5861					

CV = 9,79 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de nitrógeno de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	1,16	a
Pulpa de plátano (HP)	0,55	b

ALS(t) = 0,19

#### Anexo 5b. Datos de fósforo (g/100 g) de las harinas

Datos de fósforo de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,321	0,327	0,349	0,332	0,015
Cáscara de plátano (HCP)	0,521	0,546	0,551	0,539	0,016

Análisis de variancia de fósforo de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,0643	0,0643	270,25	7,71	*	8,00E-05
Error	4	0,001	0,0002				
Total	5	0,0652					

CV = 3,54 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de fósforo de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	0,539	a
Pulpa de plátano (HP)	0,332	b

ALS(t) = 0,035

**Anexo 5c.** Datos de calcio (g/100 g) de las harinas

Datos de calcio de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,398	0,414	0,499	0,437	0,054
Cáscara de plátano (HCP)	0,312	0,301	0,376	0,33	0,041

## Análisis de variancia de calcio de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,0173	0,0173	7,53	7,71	ns	0,051648
Error	4	0,0092	0,0023				
Total	5	0,0265					

CV = 12,49 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de calcio de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Pulpa de plátano (HP)	0,437	a
Cáscara de plátano (HCP)	0,330	a

ALS(t) = 0,109

**Anexo 5d.** Datos de magnesio (g/100 g) de las harinas

Datos de magnesio de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,072	0,076	0,089	0,079	0,009
Cáscara de plátano (HCP)	0,051	0,065	0,068	0,061	0,009

## Análisis de variancia de magnesio de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,0005	0,0005	5,8	7,71	ns	0,073627
Error	4	0,0003	0,0001				
Total	5	0,0008					

CV = 12,80 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de magnesio de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Pulpa de plátano (HP)	0,079	a
Cáscara de plátano (HCP)	0,061	a

ALS(t) = 0,020

**Anexo 5e.** Datos de potasio (g/100 g) de las harinas

Datos de potasio de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,391	0,404	0,426	0,407	0,018
Cáscara de plátano (HCP)	2,701	2,824	2,938	2,821	0,119

Análisis de variancia de potasio de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	8,7411	8,7411	1217,25	7,71	*	4,00E-06
Error	4	0,0287	0,0072				
Total	5	8,7698					

CV = 5,25 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de potasio de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	2,821	a
Pulpa de plátano (HP)	0,407	b

ALS(t) = 0,192

**Anexo 5f.** Datos de sodio (g/100 g) de las harinas

Datos de sodio de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,011	0,014	0,015	0,013	0,002
Cáscara de plátano (HCP)	0,014	0,016	0,018	0,016	0,002

Análisis de variancia de sodio de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,000011	0,000011	2,56	7,71	ns	0,18485
Error	4	0,000017	0,000004				
Total	5	0,000027					

CV = 13,92 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de sodio de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	0,016	a
Pulpa de plátano (HP)	0,013	a

ALS(t) = 0,005

**Anexo 5g.** Datos de cobre (ppm) de las harinas

Datos de cobre de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	1,44	1,62	1,86	1,64	0,21
Cáscara de plátano (HCP)	2,66	2,48	2,21	2,45	0,23

Análisis de variancia de cobre de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,9842	0,9842	20,57	7,71	*	0,010536
Error	4	0,1914	0,0479				
Total	5	1,1756					

CV = 10,70 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de cobre de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	2,45	a
Pulpa de plátano (HP)	1,64	b

ALS(t) = 0,50

**Anexo 5h.** Datos de hierro (ppm) de las harinas

Datos de hierro de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	3,86	3,36	3,12	3,45	0,38
Cáscara de plátano (HCP)	50,25	46,14	48,78	48,39	2,08

Análisis de variancia de hierro de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	3029,8548	3029,8548	1352,72	7,71	*	3,00E-06
Error	4	8,9593	2,2398				
Total	5	3038,8141					

CV = 5,77 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de hierro de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	48,39	a
Pulpa de plátano (HP)	3,45	b

ALS(t) = 3,40

**Anexo 5i.** Datos de zinc (ppm) de las harinas

Datos de zinc de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	155,29	162,27	167,18	161,58	5,97
Cáscara de plátano (HCP)	238,12	247,22	256,09	247,14	8,99

## Análisis de variancia de zinc de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	10981,626	10981,626	188,63	7,71	*	1,63E-04
Error	4	232,8695	58,2174				
Total	5	11214,496					

CV = 3,73 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de zinc de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	247,14	a
Pulpa de plátano (HP)	161,58	b

ALS(t) = 17,31

**Anexo 5j.** Datos de manganeso (ppm) de las harinas

Datos de manganeso de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	2,66	2,46	2,92	2,68	0,23
Cáscara de plátano (HCP)	11,55	12,08	10,57	11,4	0,77

## Análisis de variancia de manganeso de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	114,0576	114,0576	356,37	7,71	*	4,60E-05
Error	4	1,2802	0,32				
Total	5	115,3378					

CV = 8,04 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de manganeso de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	11,4	a
Pulpa de plátano (HP)	2,68	b

ALS(t) = 1,28

### Anexo 6

Datos de la fibra dietaria y análisis estadístico, de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

#### Anexo 6a. Datos de fibra dietaria insoluble de las harinas (g/100 g)

Datos de fibra dietaria insoluble de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	10,39	11,31	12,29	11,33	0,95
Cáscara de plátano (HCP)	34,51	35,76	36,98	35,75	1,24

Análisis de variancia de fibra dietaria insoluble de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	894,5046	894,5046	736,79	7,71	*	1,10E-05
Error	4	4,8562	1,2140				
Total	5	899,3608					

CV = 4,68 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la fibra dietaria insoluble de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP)

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	35,75	a
Pulpa de plátano (HP)	11,33	b

ALS(t) = 2,50

#### Anexo 6b. Datos de fibra dietaria soluble de las harinas (g/100 g)

Datos de fibra dietaria soluble de la harina de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP)

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	2,45	2,24	2,06	2,25	0,20
Cáscara de plátano (HCP)	6,43	6,84	6,02	6,43	0,41

Análisis de variancia de fibra dietaria soluble de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	26,2086	26,2086	254,21	7,71	*	9,00E-05
Error	4	0,4124	0,1031				
Total	5	26,621					

CV = 7,40 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la fibra dietaria soluble de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	6,43	a
Pulpa de plátano (HP)	2,25	b

ALS(t) = 0,73

**Anexo 6c.** Datos de fibra dietaria total de las harinas (g/100 g)

Datos de fibra dietaria total de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	13,57	14,68	12,49	13,58	1,10
Cáscara de plátano (HCP)	43,49	42,19	40,86	42,18	1,32

## Análisis de variancia de fibra dietaria total de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	1226,9400	1226,9400	837,96	7,71	*	8,00E-06
Error	4	5,8568	1,4642				
Total	5	1232,7968					

CV = 4,34 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de la fibra dietaria total de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	42,18	a
Pulpa de plátano (HP)	13,58	b

ALS(t) = 2,75



### Anexo 7

Datos del contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y análisis estadístico, de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

#### Anexo 7a. Datos de polifenoles totales de las harinas (mg EAG/g)

Datos de polifenoles totales de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	9,50	9,09	10,17	9,59	0,55
Cáscara de plátano (HCP)	33,35	32,81	35,36	33,84	1,34

Análisis de variancia de polifenoles totales de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	882,3363	882,3363	839,15	7,71	*	8,45E-06
Error	4	4,2059	1,0515				
Total	5	886,5421					

CV = 4,72 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de polifenoles totales de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	33,84	a
Pulpa de plátano (HP)	9,59	b

ALS(t) = 2,33

#### Anexo 7b. Datos de actividad antioxidante de las harinas con DPPH IC<sub>50</sub> ( $\mu\text{g/ml}$ )

Datos de actividad antioxidante de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	195,04	190,91	189,51	191,82	2,88
Cáscara de plátano (HCP)	15,34	15,72	15,44	15,50	0,20

Análisis de variancia de actividad antioxidante de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	46633,1136	46633,1136	11229,99	7,71	*	4,75E-08
Error	4	16,6102	4,1525				
Total	5	46649,7238					

CV = 1,97 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de actividad antioxidante de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	15,50	a
Pulpa de plátano (HP)	191,82	b

ALS(t) = 3,32

**Anexo 7c.** Datos de actividad antioxidante de las harinas con ABTS, IC<sub>50</sub> (mg/ml)

## Datos de actividad antioxidante de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	5,840	5,730	5,910	5,827	0,091
Cáscara de plátano (HCP)	0,123	0,112	0,129	0,121	0,010

## Análisis de variancia de actividad antioxidante de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	48,8262	48,8262	11754,50	7,71	*	4,34E-08
Error	4	0,0166					
Total	5	48,8429					

CV = 2,17 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de actividad antioxidante de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	0,121	a
Pulpa de plátano (HP)	5,827	b

ALS(t) = 0,13

### Anexo 8

Datos del contenido de carotenos totales y antocianinas, y análisis estadístico, de las harinas de pulpa (HP) y cáscara de plátano (HCP).

#### Anexo 8a. Datos de carotenos totales de las harinas (mg/100 g)

Datos de carotenos totales de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,268	0,254	0,278	0,267	0,012
Cáscara de plátano (HCP)	0,548	0,538	0,559	0,548	0,011

Análisis de variancia de carotenos totales de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,1190	0,1190	930,93	7,71	*	6,87E-06
Error	4	0,0005	0,0001				
Total	5	0,1195					

CV = 2,77 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de carotenos totales de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	0,548	a
Pulpa de plátano (HP)	0,267	b

ALS(t) = 0,026

#### Anexo 8b. Datos de antocianinas de las harinas (mg cianidina-3-glucósido/100 g)

Datos de antocianinas de la harina de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	r1	r2	r3	Promedio	SD
Pulpa de plátano (HP)	0,016	0,019	0,013	0,016	0,003
Cáscara de plátano (HCP)	0,35	0,29	0,32	0,32	0,03

Análisis de variancia de las antocianinas de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tipo de harina	1	0,1386	0,1386	305	7,71	*	6,31E-05
Error	4	0,0018	0,0005				
Total	5	0,1404					

CV = 12,69 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de antocianinas de las harinas de pulpa y cáscara de plátano

Tipo de harina	Promedios ordenados	Sig.
Cáscara de plátano (HCP)	0,320	a
Pulpa de plátano (HP)	0,016	b

ALS(t) = 0,05

### Anexo 9

Datos de las características físicas y análisis estadístico, de los panes con harina de trigo (HT) y cáscara de plátano (HCP).

#### Anexo 9a. Datos del peso (g) de los panes

Datos del peso de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	399,52	398,19	392,96	396,89	3,47
T1	405,07	409,96	403,02	406,02	3,56
T2	415,49	414,51	404,2	411,4	6,25
T3	416,15	416,13	411,95	414,74	2,42
T4	414,87	419,08	420,14	418,03	2,79

Análisis de variancia del peso de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	824,7858	206,1964	13,32	3,48	*	5,14E-04
Error	10	154,8429	15,4843				
Total	14	979,6287					

CV = 0,96 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del peso de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T4	418,03	a
T3	414,74	a
T2	411,40	a b
T1	406,02	b c
T0	396,89	c

ALS(t) = 10,02

#### Anexo 9b. Datos del volumen (cm<sup>3</sup>) de los panes

Datos del volumen de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	1424	1336	1276	1345,3	74
T1	1488	1254	1312	1351,3	122
T2	1156	1240	1200	1198,7	42
T3	1248	1084	1134	1155,3	84
T4	1032	904	1012	982,7	69

Análisis de variancia del volumen de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	279096	69774	10,27	3,48	*	1,44E-03
Error	10	67925,33	6792,53				
Total	14	347021,33					

CV = 6,83 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del volumen de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T1	1351,3	a
T0	1345,3	a
T2	1198,7	a
T3	1155,3	a b
T4	982,7	b

ALS(t) = 10,02

**Anexo 9c.** Datos del volumen específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) de los panes

Datos del volumen específico de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	3,56	3,36	3,25	3,39	0,16
T1	3,67	3,06	3,26	3,33	0,31
T2	2,78	2,99	2,97	2,91	0,11
T3	3,00	2,60	2,75	2,79	0,20
T4	2,49	2,16	2,41	2,35	0,17

ANVA del volumen específico de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	2,1699	0,5425	13,1	3,48	*	5,50E-04
Error	10	0,4142	0,0414				
Total	14	2,5841					

CV = 6,89 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del volumen específico de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	3,39	a
T1	3,33	a
T2	2,91	a b
T3	2,79	b c
T4	2,35	c

ALS(t) = 0,52

**Anexo 9d.** Datos de la densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) de los panes

Datos de la densidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,28	0,3	0,31	0,30	0,01
T1	0,27	0,33	0,31	0,30	0,03
T2	0,36	0,33	0,34	0,34	0,01
T3	0,33	0,38	0,36	0,36	0,03
T4	0,4	0,46	0,42	0,43	0,03

Análisis de variancia de la densidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	0,0337	0,0084	14,8	3,48	*	3,00E-04
Error	10	0,0057	0,0006				
Total	14	0,0394					

CV = 6,90 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la densidad de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T4	0,43	a
T3	0,36	b
T2	0,34	b
T1	0,30	b
T0	0,30	b

ALS(t) = 0,06

**Anexo 9e.** Datos de pérdida de peso (g) de los panes

Datos de pérdida de peso de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	35,84	28,24	35,61	33,23	4,32
T1	35,96	29,87	35,71	33,85	3,45
T2	41,43	28,92	35,68	35,34	6,26
T3	33,68	37,83	35,53	35,68	2,08
T4	36,80	35,25	35,74	35,93	0,79

Análisis de variancia de pérdida de peso de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	17,1602	4,2901	0,29	3,48	ns	0,8798
Error	10	149,4491	14,9449				
Total	14	166,6094					

CV = 11,11 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de pérdida de peso de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T4	35,93	a
T3	35,68	a
T2	35,34	a
T1	33,85	a
T0	33,23	a

ALS(t) = 9,84

**Anexo 9f.** Datos de altura (cm) de los panes

Datos de altura de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	9,6	9,5	9,3	9,5	0,2
T1	9,9	9,1	9,1	9,4	0,5
T2	8,9	9,0	8,9	8,9	0,1
T3	8,5	8,5	8,3	8,4	0,1
T4	7,7	7,8	8,0	7,8	0,2

Análisis de variancia de altura de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	5,556	1,389	25,1	3,48	*	3,40E-05
Error	10	0,5533	0,0553				
Total	14	6,1093					

CV = 2,67 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de altura de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	9,5	a
T1	9,4	a
T2	8,9	a b
T3	8,4	b c
T4	7,8	c

ALS(t) = 0,60

**Anexo 9g.** Gráfico de las características físicas de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

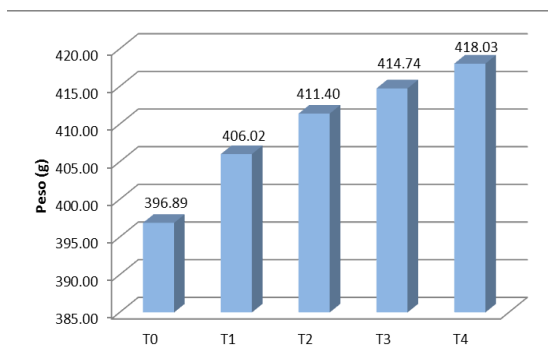


Figura 18. Peso de los panes con HCP

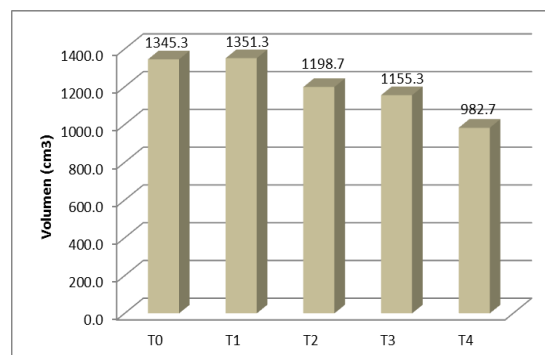


Figura 19. Volumen de los panes con HCP

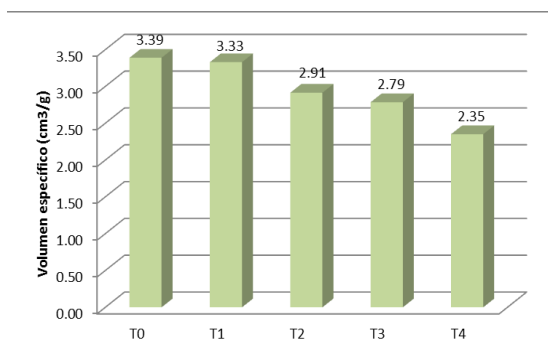


Figura 20. Volumen específico de los panes con HCP

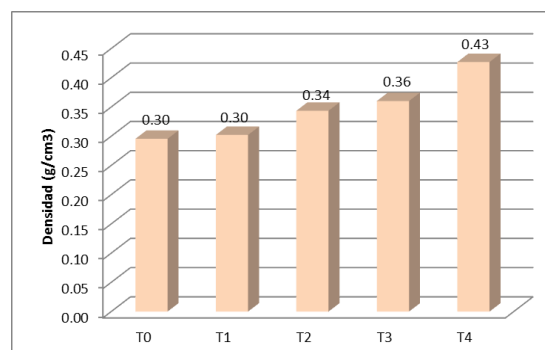


Figura 21. Densidad de los panes con HCP

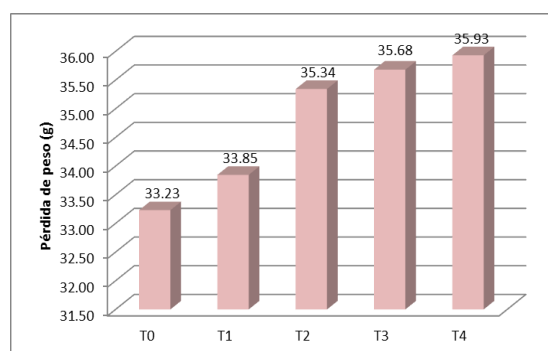


Figura 22. Pérdida de peso de los panes con HCP

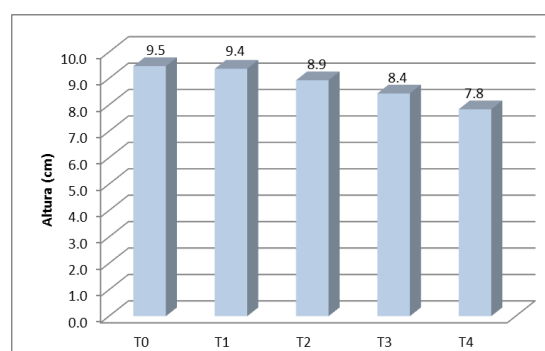


Figura 23. Altura de los panes con HCP

### Anexo 10

Datos de la acidez, pH y análisis estadístico, de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

#### Anexo 10a. Datos de la acidez de los panes (% Ácido sulfúrico)

Datos de la acidez de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,074	0,049	0,074	0,066	0,014
T1	0,074	0,098	0,098	0,090	0,014
T2	0,123	0,098	0,098	0,106	0,014
T3	0,147	0,123	0,123	0,131	0,014
T4	0,159	0,159	0,172	0,163	0,008

Análisis de variancia de la acidez de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	0,0170	0,0042	24,75	3,48	*	3,60E-05
Error	10	0,0017	0,0002				
Total	14	0,0187					

CV = 11,77 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la acidez de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T4	0,163	a
T3	0,131	a b
T2	0,106	b c
T1	0,090	c d
T0	0,066	d

ALS(t) = 0,035

#### Anexo 10b. Datos del pH de los panes

Datos del pH de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	5,68	5,66	5,62	5,65	0,03
T1	5,34	5,30	5,33	5,32	0,02
T2	5,29	5,24	5,26	5,26	0,03
T3	5,21	5,16	5,19	5,19	0,03
T4	5,11	5,12	5,15	5,13	0,02

Análisis de variancia del pH de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	0,5072	0,1268	206,72	3,48	*	1,45E-09
Error	10	0,0061	0,0006				
Total	14	0,5133					

CV = 0,47 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del pH de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	5,65	a
T1	5,32	b
T2	5,26	b c
T3	5,19	c d
T4	5,13	d

ALS(t) = 0,07



### Anexo 11

Datos del perfil de textura y análisis estadístico, de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano.

#### Anexo 11a. Datos de la dureza (N) ciclo 1 de los panes

Datos de la dureza ciclo 1 de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	18,69	13,12	21,63	17,81	4,32
T1	9,77	11,24	13,22	11,41	1,73
T2	21,03	23,05	17,99	20,69	2,55
T3	26,24	18,04	20,55	21,61	4,2
T4	18,16	30,13	25,87	24,72	6,07

Análisis de variancia de la dureza ciclo 1 de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	303,2811	75,8203	4,59	3,48	*	0,0231
Error	10	165,2623	16,5262				
Total	14	468,5434					

CV = 21,12 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la dureza ciclo 1 de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T4	24,72	a
T3	21,61	a
T2	20,69	a
T0	17,81	a b
T1	11,41	b

ALS(t) = 10,35

#### Anexo 11b. Datos de la dureza (N) ciclo 2 de los panes

Datos de la dureza ciclo 2 de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	15,89	10,96	17,28	14,71	3,32
T1	8,36	9,64	11,53	9,84	1,59
T2	17,24	17,87	14,73	16,61	1,66
T3	22,03	14,89	17,24	18,05	3,64
T4	15,00	25,65	21,95	20,87	5,41

Análisis de variancia de la dureza ciclo 2 de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	203,5318	50,883	4,33	3,48	*	0,0275
Error	10	117,6189	11,7619				
Total	14	321,1507					

CV = 21,41 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la dureza ciclo 2 de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T4	20,87	a
T3	18,05	a
T2	16,61	a
T0	14,71	a b
T1	9,84	b

ALS(t) = 8,73

**Anexo 11c.** Datos de la cohesividad de los panes

Datos de la cohesividad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,58	0,45	0,46	0,50	0,07
T1	0,56	0,46	0,59	0,54	0,07
T2	0,46	0,44	0,37	0,42	0,05
T3	0,41	0,39	0,44	0,41	0,03
T4	0,45	0,37	0,33	0,38	0,06

Análisis de variancia de la cohesividad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	0,04856	0,01214	3,69	3,48	*	0,0429
Error	10	0,03293	0,00329				
Total	14	0,08149					

CV = 12,73 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la cohesividad de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T1	0,54	a
T0	0,50	a
T2	0,42	a
T3	0,41	a b
T4	0,38	b

ALS(t) = 0,15

**Anexo 11d.** Datos de la gomosidad (N) de los panes

Datos de la gomosidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	10,75	5,97	9,95	8,89	2,56
T1	5,49	5,16	7,81	6,15	1,44
T2	9,69	10,18	6,68	8,85	1,9
T3	10,81	6,99	9,11	8,97	1,91
T4	8,19	11,24	8,58	9,34	1,66

Análisis de variancia de la gomosidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	20,0531	5,0133	1,34	3,48	ns	0,3197
Error	10	37,2999	3,73				
Total	14	57,353					

CV = 22,88 %

**Anexo 11e.** Datos de la masticabilidad (J) de los panes

Datos de la masticabilidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,0952	0,065	0,0813	0,0805	0,0151
T1	0,0732	0,0486	0,0686	0,0635	0,0131
T2	0,0832	0,0839	0,0497	0,0723	0,0195
T3	0,0863	0,0636	0,0722	0,074	0,0115
T4	0,0674	0,0818	0,0609	0,07	0,0107

Análisis de variancia de la masticabilidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	0,000459	0,000115	0,56	3,48	ns	0,6978
Error	10	0,002055	0,000205				
Total	14	0,002514					

CV = 19,89 %

**Anexo 11f.** Datos de la resiliencia de los panes

Datos de la resiliencia de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,25	0,22	0,26	0,24	0,02
T1	0,24	0,22	0,27	0,24	0,03
T2	0,25	0,24	0,18	0,22	0,04
T3	0,18	0,2	0,23	0,2	0,03
T4	0,24	0,15	0,13	0,17	0,06

Análisis de variancia de la resiliencia de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	0,01056	0,00264	2,01	3,48	ns	0,1689
Error	10	0,01313	0,00131				
Total	14	0,02369					

CV = 16,67 %

**Anexo 11g.** Datos de la elasticidad (mm) de los panes

Datos de la elasticidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	8,85	10,9	8,17	9,31	1,42
T1	13,33	9,42	8,79	10,51	2,46
T2	8,59	8,24	7,44	8,09	0,59
T3	7,98	9,1	7,93	8,34	0,66
T4	8,23	7,28	7,1	7,54	0,61

Análisis de variancia de la elasticidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	16,4929	4,1232	2,24	3,48	ns	0,1378
Error	10	18,4457	1,8446				
Total	14	34,9385					

CV = 15,51 %

**Anexo 11h.** Datos de la deformación (mm) según dureza de los panes

Datos de la deformación (mm) según dureza de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	10	10	9,41	9,8	0,34
T1	10	9,99	10	10	0,01
T2	9,49	9,32	8,48	9,1	0,54
T3	9,96	9,1	9,74	9,6	0,45
T4	9,83	10	9,91	9,91	0,09

AMVA de la deformación según dureza (mm) de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	1,5498	0,3874	3,15	3,48	ns	0,0643
Error	10	1,2307	0,1231				
Total	14	2,7804					

CV = 3,62 %

**Anexo 11i.** Datos del % deformación según dureza de los panes

Datos del % deformación según dureza de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	40	40	37,6	39,2	1,39
T1	40	39,9	40	39,97	0,06
T2	37,9	37,3	33,9	36,37	2,16
T3	39,8	36,4	38,9	38,37	1,76
T4	39,3	40	39,6	39,63	0,35

Análisis de variancia del % deformación según dureza de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	24,8427	6,2107	3,17	3,48	ns	0,0634
Error	10	19,6067	1,9607				
Total	14	44,4493					

CV = 3,62 %

**Anexo 11j.** Datos de la deformación recuperable (mm) de los panes

Datos de la deformación recuperable (mm) de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	6,44	6,68	5,91	6,34	0,39
T1	5,74	6,01	6,93	6,23	0,62
T2	6,28	6,06	4,57	5,64	0,93
T3	5,7	5,88	5,33	5,64	0,28
T4	6,49	5,22	4,5	5,4	1,01

ANVA de la deformación recuperable (mm) de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	2,0274	0,5068	1,01	3,48	ns	0,4461
Error	10	5,0075	0,5008				
Total	14	7,0349					

CV = 12,10 %

**Anexo 11k.** Datos de la fuerza de adhesividad (N) de los panes

Datos de la fuerza de adhesividad (N) de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,12	0,08	0,1	0,1	0,02
T1	0,37	0,06	0,18	0,2	0,16
T2	0,02	0,08	0,08	0,06	0,03
T3	0,08	0,06	0,1	0,08	0,02
T4	0,08	0,37	0,12	0,19	0,16

Análisis de variancia de la fuerza de adhesividad (N) de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	0,05167	0,01292	1,26	3,48	ns	0,3466
Error	10	0,10227	0,01023				
Total	14	0,15393					

CV = 9,84 %

**Anexo 11I.** Gráficos de las características del perfil de textura de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

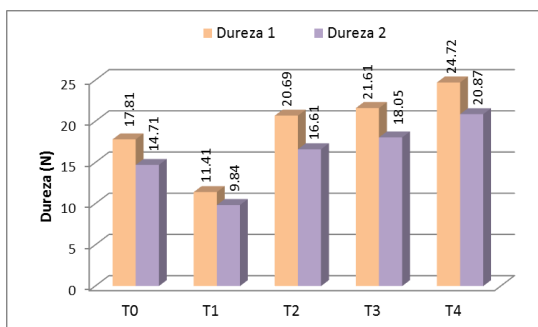


Figura 24. Dureza de los panes con HCP

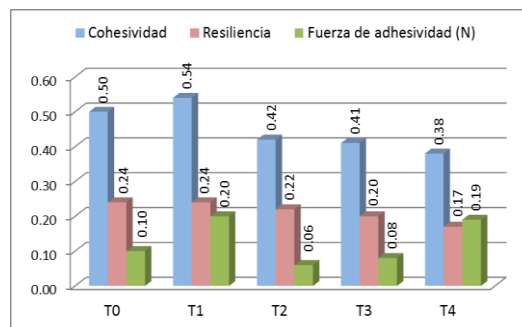


Figura 25. Cohesividad, resiliencia y fuerza de adhesividad de los panes con HCP

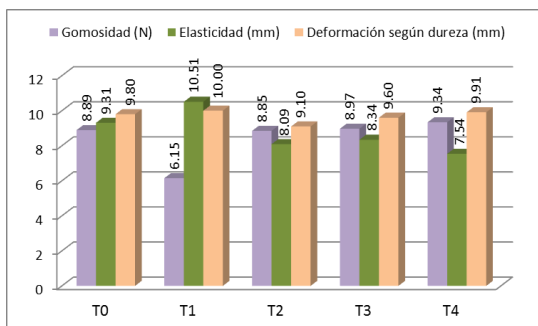


Figura 26. Gomosidad, elasticidad y deformación de los panes con HCP

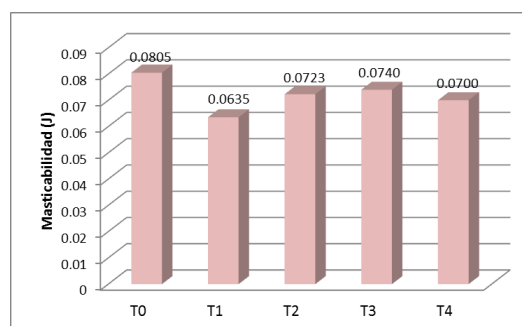


Figura 27. Masticabilidad de los panes con HCP

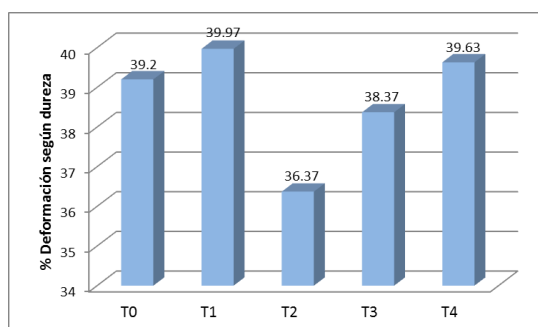


Figura 28. % Deformación según dureza de los panes con HCP

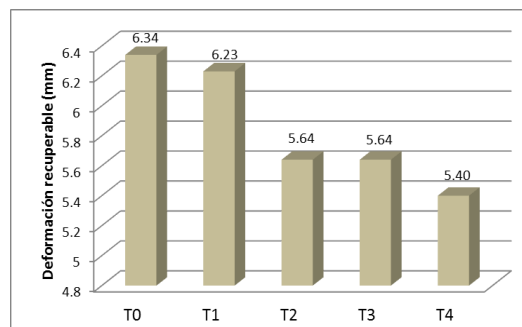


Figura 29. Deformación recuperable de los panes con HCP

## Anexo 12

Datos de colorimetría de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn), expresados en CIE L\* a\* y b\*

### Datos del color de la corteza de los panes de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.

**Anexo 12a.** Datos CIE L\* de la corteza de los panes

Datos de L\* de la corteza los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	45,21	45,64	44,78	45,21	0,43
T1	43,18	43,72	46,15	44,35	1,58
T2	43,33	35,46	48,82	42,54	6,72
T3	43,54	43,31	47,70	44,85	2,47
T4	43,35	35,55	42,77	40,56	4,35

Análisis de variancia de L\* de la corteza los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	45,181	11,2952	0,78	3,48	ns	0,56529
Error	10	145,5429	14,5543				
Total	14	190,7239					

CV = 8,77 %

**Anexo 12b.** Datos CIE a\* de la corteza de los panes

Datos de a\* de la corteza de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	15,17	15,88	17,04	16,03	0,94
T1	15,00	14,41	14,58	14,66	0,30
T2	13,34	13,79	12,18	13,10	0,83
T3	12,24	12,98	12,53	12,58	0,37
T4	11,92	12,56	12,80	12,43	0,45

Análisis de variancia de a\* de la corteza los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	28,6873	7,1718	17,76	3,48	*	1,54E-04
Error	10	4,0387	0,4039				
Total	14	32,726					

CV = 4,62 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de a\* de la corteza de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	16,03	a
T1	14,66	a b
T2	13,10	b c
T3	12,58	c
T4	12,43	c

ALS(t) = 1,71

**Anexo 12c.** Datos CIE b\* de la corteza de los panes

Datos de a\* de la corteza de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamiento	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	22,38	22,6	21,89	22,29	0,36
T1	20,3	19,52	22,74	20,85	1,68
T2	19,34	20,54	21,02	20,3	0,86
T3	20,3	18,26	21,66	20,07	1,71
T4	18,18	10,55	19,38	16,04	4,79

Análisis de variancia de b\* de la corteza los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	65,2104	16,3026	2,76	3,48	ns	0,088096
Error	10	59,1299	5,913				
Total	14	124,3403					

CV = 12,21 %

**Datos del color de la miga de los panes de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano.****Anexo 12d.** Datos CIE L\* de la miga de los panes

Datos de L\* de la miga de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	73,85	73,06	74,34	73,75	0,65
T1	68,72	61,69	67,81	66,07	3,82
T2	57,37	59,52	59,85	58,91	1,35
T3	56,61	52,04	55,79	54,81	2,44
T4	54,61	52,78	54,01	53,8	0,93

Análisis de variancia de L\* de la miga de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	844,9972	211,2493	44,65	3,48	*	2,40E-06
Error	10	47,3098	4,731				
Total	14	892,307					

CV = 3,54 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de L\* de miga de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	73,75	a
T1	66,07	b
T2	58,91	c
T3	54,81	c
T4	53,80	c

ALS(t) = 5,84



**Anexo 12e.** Datos CIE a\* de la miga de los panes

Datos de a\* de la miga de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamiento	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	-0,81	-0,84	-0,78	-0,81	0,03
T1	0,38	0,38	0,16	0,31	0,13
T2	0,73	0,97	1,02	0,91	0,16
T3	1,58	1,68	1,79	1,68	0,11
T4	1,92	2,14	2,18	2,08	0,14

Análisis de variancia de a\* de la miga de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	15,7799	3,945	275,1	3,48	*	3,53E-10
Error	10	0,1434	0,0143				
Total	14	15,9233					

CV = 14,37 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de a\* de miga de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T4	2,08	a
T3	1,68	b
T2	0,91	c
T1	0,31	d
T0	-0,81	e

ALS(t) = 0,32

**Anexo 12f.** Datos CIE b\* de la miga de los panes

Datos de b\* de la miga de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	17,86	17,90	17,29	17,68	0,34
T1	17,08	17,88	16,98	17,31	0,49
T2	15,88	16,52	16,95	16,45	0,54
T3	17,61	15,53	16,07	16,40	1,08
T4	16,87	15,77	14,90	15,85	0,99

Análisis de variancia de b\* de la miga de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	4	6,6422	1,6606	2,98	3,48	ns	0,073682
Error	10	5,5785	0,5578				
Total	14	12,2207					

CV = 4,46 %

**Anexo 12g.** Gráficos de las características del color (CIE L\*, a\* y b\*) de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

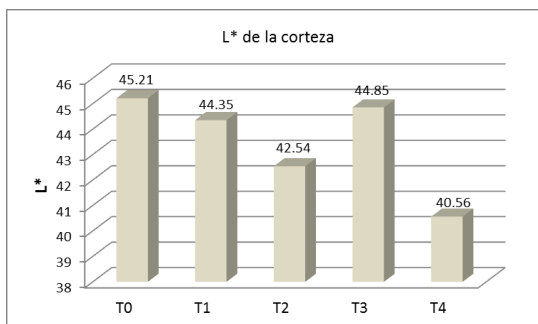


Figura 30. L\* de la corteza de los panes

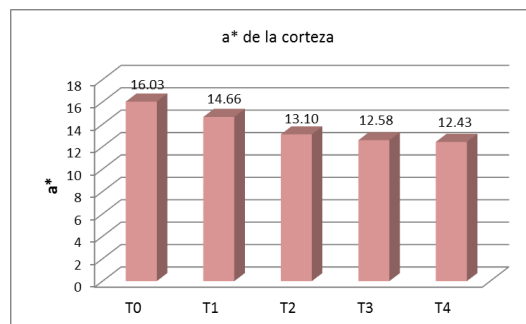


Figura 31. a\* de la corteza de los panes

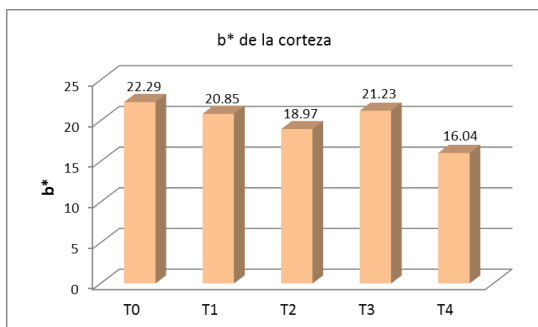


Figura 32. b\* de la corteza de los panes

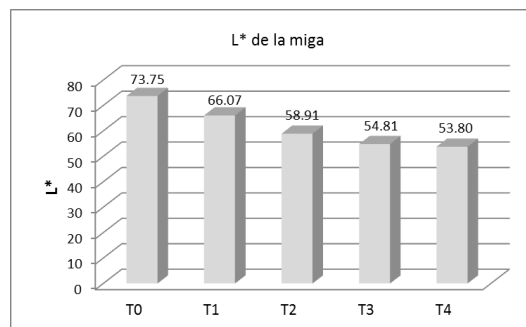


Figura 33. L\* de la miga de los panes

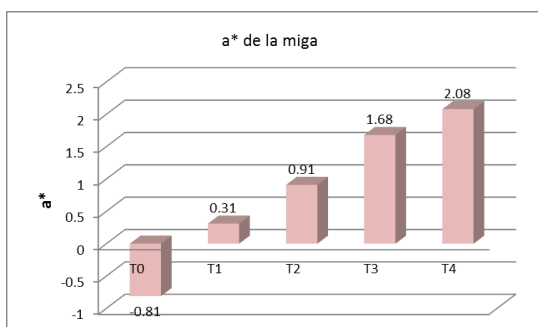


Figura 34. a\* de la miga de los panes

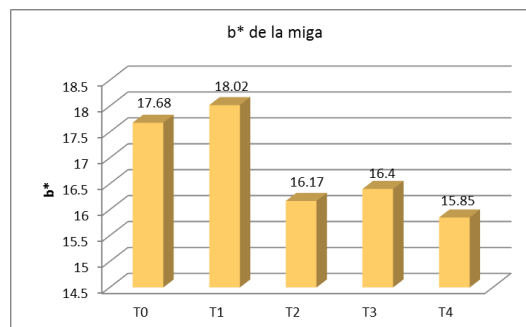


Figura 35. b\* de la miga de los panes

### Anexo 13

Datos de la evaluación sensorial de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn).

#### Anexo 13a. Datos del atributo **color** de los panes

Datos del atributo color de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Panelistas	T0	T1	T2	T3	T4	Total
1	7	7	6	5	4	29
2	7	7	6	6	4	30
3	5	7	6	5	4	27
4	5	7	6	6	5	29
5	7	4	5	5	4	25
6	6	5	6	5	6	28
7	5	6	6	5	4	26
8	7	6	6	5	4	28
9	7	6	5	5	5	28
10	7	6	6	5	5	29
11	6	6	6	5	5	28
12	7	7	6	6	4	30
13	6	5	6	5	4	26
14	7	6	5	5	4	27
15	7	6	6	5	4	28
16	7	5	5	5	3	25
17	5	5	6	5	2	23
18	7	5	6	5	6	29
19	7	6	5	5	1	24
20	6	6	6	4	2	24
Total	128	118	115	102	80	543
Promedio	6,4	5,9	5,75	5,1	4,0	5,43
SD	0,82	0,85	0,44	0,45	1,26	

Análisis de variancia del color de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Panelistas	19	16,51	0,8689	1,39	1,73	ns	0,159625
Tratamientos	4	68,36	17,0900	27,26	2,49	*	4,82E-14
Error	76	47,64	0,6268				
Total	99	132,51					

CV = 14,58 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del color de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	6,40	a
T1	5,90	a
T2	5,75	a b
T3	5,10	b
T4	4,00	c

ALS(t) = 2,01

**Anexo 13b.** Datos del atributo **aroma** de los panes

Datos del atributo aroma de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Panelistas	T0	T1	T2	T3	T4	Total
1	6	5	6	6	5	28
2	7	7	6	6	5	31
3	7	6	6	4	4	27
4	6	6	6	5	3	26
5	6	6	6	5	5	28
6	5	5	6	5	4	25
7	6	6	6	5	4	27
8	6	6	6	6	4	28
9	7	6	6	4	4	27
10	7	6	6	4	5	28
11	6	5	5	5	5	26
12	6	6	5	5	4	26
13	6	6	5	4	4	25
14	5	5	5	4	5	24
15	6	5	5	6	3	25
16	7	5	5	7	5	29
17	4	3	6	5	3	21
18	6	6	4	5	5	26
19	6	6	5	4	3	24
20	7	6	5	6	5	29
Total	122	112	110	101	85	530
Promedio	6,10	5,60	5,50	5,05	4,25	5,3
SD	0,79	0,82	0,61	0,89	0,79	

## Análisis de variancia del aroma de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Panelistas	19	18,600	0,9789	1,87	1,73	*	0,02893
Tratamientos	4	38,700	9,675	18,52	2,49	*	1,16E-10
Error	76	39,700	0,5224				
Total	99	97,000					

CV = 13.64 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) del aroma de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	6,10	a
T1	5,60	a
T2	5,50	a b
T3	5,05	b
T4	4,25	c

ALS(t) = 0,64

**Anexo 13c.** Datos del atributo **suavidad** de los panes

Datos del atributo suavidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Panelistas	T0	T1	T2	T3	T4	Total
1	7	6	6	6	5	30
2	7	5	6	5	5	28
3	7	6	5	4	4	26
4	6	6	6	6	5	29
5	6	5	6	4	4	25
6	5	6	5	6	5	27
7	6	5	4	4	6	25
8	6	5	5	5	4	25
9	7	6	6	5	5	29
10	6	5	5	4	4	24
11	7	4	6	6	3	26
12	6	6	6	5	4	27
13	5	6	6	6	4	27
14	6	6	6	5	5	28
15	6	6	6	4	4	26
16	6	6	5	5	5	27
17	5	6	5	6	4	26
18	7	5	5	6	3	26
19	6	6	5	5	2	24
20	4	4	4	6	2	20
Total	121	110	108	103	83	525
Promedio	6,05	5,50	5,40	5,15	4,15	5,25
SD	0,83	0,69	0,68	0,81	1,04	

## Análisis de variancia de la suavidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Panelistas	19	18,350	0,9658	1,61	1,73	ns	0,07445
Tratamientos	4	38,900	9,7250	16,24	2,49	*	1,18E-09
Error	76	45,500	0,5987				
Total	99	102,75					

CV = 14,74 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la suavidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	6,05	a
T1	5,50	a
T2	5,40	a b
T3	5,15	b
T4	4,15	c

ALS(t) = 0,69

**Anexo 13d.** Datos del atributo **gomosidad** de los panes

Datos del atributo gomosidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Panelistas	T0	T1	T2	T3	T4	Total
1	7	6	6	6	5	30
2	7	6	4	5	4	26
3	6	6	6	6	4	28
4	6	6	6	6	5	29
5	6	5	4	6	4	25
6	4	5	7	6	4	26
7	6	7	5	5	5	28
8	6	6	5	4	4	25
9	6	6	7	6	5	30
10	7	6	6	5	2	26
11	6	6	6	6	5	29
12	6	5	4	5	4	24
13	7	5	5	5	4	26
14	6	6	6	5	4	27
15	7	7	6	6	5	31
16	6	5	5	6	5	27
17	5	5	5	6	4	25
18	6	6	5	2	5	24
19	5	6	6	6	4	27
20	7	6	5	5	4	27
Total	122	116	109	107	86	540
Promedio	6,10	5,80	5,45	5,35	4,30	5,4
SD	0,79	0,62	0,89	0,99	0,73	

## Análisis de variancia de la gomosidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Panelistas	19	15,600	0,8211	1,32	1,73	ns	0,193631
Tratamientos	4	37,300	9,3250	15,05	2,49	*	4,21E-09
Error	76	47,100	0,6197				
Total	99	100,000					

CV = 14,58 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de la gomosidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	6,10	a
T1	5,80	a
T2	5,45	a b
T3	5,35	b
T4	4,30	c

ALS(t) = 0,70

**Anexo 13e.** Datos del atributo **sabor** de los panes

Datos del atributo sabor de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Panelistas	T0	T1	T2	T3	T4	Total
1	7	6	6	6	4	29
2	6	7	7	5	3	28
3	6	5	5	4	4	24
4	7	7	6	6	4	30
5	5	6	5	7	4	27
6	6	7	5	5	4	27
7	7	6	5	5	4	27
8	6	7	6	5	4	28
9	6	7	5	5	5	28
10	7	6	6	5	3	27
11	7	7	6	5	3	28
12	6	5	7	6	4	28
13	7	6	6	5	3	27
14	6	6	6	5	4	27
15	7	5	6	6	5	29
16	6	6	5	6	5	28
17	4	5	6	3	3	21
18	6	6	5	3	5	25
19	5	5	5	5	5	25
20	6	6	4	5	4	25
Total	123	121	112	102	80	538
Promedio	6,15	6,05	5,60	5,10	4,00	5,38
SD	0,81	0,76	0,75	0,97	0,73	

Análisis de variancia del sabor de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Panelistas	19	15,960	0,8400	1,38	1,73	ns	0,160965
Tratamientos	4	61,460	15,3650	25,31	2,49	*	2,41E-13
Error	76	46,140	0,6071				
Total	99	123,560					

CV = 14,48 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) del sabor de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	6,15	a
T1	6,05	a
T2	5,60	a b
T3	5,10	b
T4	4,00	c

ALS(t) = 0,69

**Anexo 13f. Datos del atributo aceptabilidad de los panes**

Datos del atributo aceptabilidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)

Panelistas	T0	T1	T2	T3	T4	Total
1	7	7	6	6	4	30
2	6	6	7	5	4	28
3	6	6	5	5	3	25
4	6	6	6	6	4	28
5	7	7	5	4	4	27
6	6	6	5	5	4	26
7	6	5	5	4	5	25
8	6	5	6	6	4	27
9	6	6	6	5	4	27
10	6	7	7	4	5	29
11	7	7	7	6	3	30
12	6	5	5	5	5	26
13	6	5	5	4	4	24
14	7	6	6	5	5	29
15	7	6	5	5	3	26
16	7	5	5	6	5	28
17	5	5	6	4	2	22
18	7	5	6	5	5	28
19	6	5	5	6	6	28
20	6	6	5	5	4	26
Total	126	116	113	101	83	539
Promedio	6,30	5,80	5,65	5,05	4,15	5,39
SD	0,57	0,77	0,75	0,76	0,93	

**Análisis de variancia de la aceptabilidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)**

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Panelistas	19	15,390	0,8100	1,54	1,73	ns	0,096999
Tratamientos	4	54,340	13,5850	25,77	2,49	*	1,63E-13
Error	76	40,060	0,5271				
Total	99	109,790					

CV = 13,47 %

**Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de la aceptabilidad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (Tn)**

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	6,30	a
T1	5,80	a
T2	5,65	a b
T3	5,05	b
T4	4,15	c

ALS(t) = 0,64



### Anexo 14

Datos de la composición proximal y análisis estadístico de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

#### Anexo 14a. Datos del contenido de humedad (%) de los panes

Datos de la humedad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	33,27	34,89	34,29	34,15	0,82
T2	35,96	33,29	34,94	34,73	1,35
T3	35,43	34,78	35,03	35,08	0,33

Análisis de variancia de humedad de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	1,3238	0,6619	0,77	5,14	ns	0,50565
Error	6	5,1872	0,8645				
Total	8	6,511					

CV = 2,68 %

#### Anexo 14b. Datos del contenido de proteínas (g/100g) de los panes

Datos de proteínas de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	9,02	9,38	9,74	9,38	0,36
T2	8,11	8,46	8,84	8,47	0,37
T3	7,64	8,11	8,61	8,12	0,49

Análisis de variancia de proteínas de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	2,5382	1,2691	7,64	5,14	*	0,0224
Error	6	0,9964	0,1661				
Total	8	3,5346					

CV = 4,71 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de proteínas de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	9,38	a
T2	8,47	a b
T3	8,12	b

ALS(t) = 1,02

**Anexo 14c.** Datos del contenido de grasa (g/100g) de los panes

Datos de grasa de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	2,46	2,34	2,22	2,34	0,12
T2	2,58	2,44	2,36	2,46	0,11
T3	2,51	2,61	2,41	2,51	0,10

## Análisis de variancia de grasa de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	0,0458	0,0229	1,87	5,14	ns	0,23422
Error	6	0,0736	0,0123				
Total	8	0,1194					

CV = 4,55 %

**Anexo 14d.** Datos del contenido de cenizas (g/100g) de los panes

Datos de cenizas de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,51	0,63	0,72	0,62	0,11
T2	3,30	2,58	3,24	3,04	0,40
T3	4,18	4,09	3,91	4,06	0,14

## Análisis de variancia de cenizas de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	18,7304	9,3651	148,18	5,14	*	8,00E-06
Error	6	0,3792	0,0632				
Total	8	19,1098					

CV = 9,77 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0.05$ ) de cenizas de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	4,06	a
T2	3,04	b
T0	0,62	c

ALS(t) = 0,63

**Anexo 14e.** Datos del contenido de fibra cruda (g/100g) de los panes

Datos de fibra cruda de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,66	0,79	0,89	0,78	0,12
T2	2,72	2,91	3,13	2,92	0,21
T3	4,22	3,96	3,76	3,98	0,23

Análisis de variancia de fibra cruda de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	15,9432	7,9716	220,21	5,14	*	2,43E-06
Error	6	0,2172	0,0362				
Total	8	16,1604					

CV = 7,43 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de fibra cruda de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	3,98	a
T2	2,92	b
T0	0,78	c

ALS(t) = 0,48

**Anexo 14f.** Datos del contenido de carbohidratos (g/100g) de los panes

Datos de carbohidratos de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	51,72	52,64	53,83	52,73	1,06
T2	49,18	48,82	47,14	48,38	1,09
T3	45,03	46,70	47,02	46,25	1,07

Análisis de variancia de carbohidratos de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	65,4498	32,7249	28,46	5,14	*	8,65E-04
Error	6	6,8932	114,887				
Total	8	72,343					

CV = 2,18 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de carbohidratos de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T0	52,73	a
T2	48,38	b
T3	46,25	b

ALS(t) = 2,69

### Anexo 15

Datos del contenido de minerales y análisis estadístico de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

#### Anexo 15a. Datos del contenido de fósforo (%) en los panes

Datos de fósforo de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,113	0,104	0,115	0,111	0,006
T2	0,218	0,257	0,221	0,232	0,022
T3	0,336	0,310	0,361	0,346	0,030

Análisis de variancia de fósforo de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	0,08333	0,04167	89,56	5,14	*	3,40E-05
Error	6	0,00279	0,00047				
Total	8	0,08612					

CV = 9,39 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de fósforo de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	0,346	a
T2	0,232	b
T0	0,111	c

ALS(t) = 0,054

#### Anexo 15b. Datos del contenido de calcio (%) en los panes

Datos de calcio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,573	0,535	0,564	0,557	0,02
T2	0,620	0,682	0,687	0,663	0,037
T3	0,745	0,760	0,770	0,758	0,013

Análisis de variancia de calcio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	0,06065	0,03033	46,76	5,14	*	2,19E-04
Error	6	0,00389	0,00065				
Total	8	0,06455					

CV = 3,86 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de calcio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	0,758	a
T2	0,663	b
T0	0,557	c

ALS(t) = 0,064

**Anexo 15c.** Datos del contenido de magnesio (%) en los panes

Datos de magnesio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,068	0,057	0,054	0,060	0,007
T2	0,066	0,068	0,069	0,068	0,002
T3	0,070	0,080	0,075	0,075	0,006

Análisis de variancia de magnesio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	0,000368	0,000184	6,35	5,14	*	0,033046
Error	6	0,000174	0,000029				
Total	8	0,000542					

CV = 7,97 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de magnesio de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	0,075	a
T2	0,068	a b
T0	0,060	b

ALS(t) = 0,013

**Anexo 15d.** Datos del contenido de potasio (%) en los panes

Datos de potasio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,151	0,130	0,129	0,137	0,012
T2	0,488	0,556	0,436	0,493	0,060
T3	0,619	0,611	0,682	0,637	0,039

Análisis de variancia de potasio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	0,39861	0,19931	113,07	5,14	*	1,73E-05
Error	6	0,01058	0,00176				
Total	8	0,40919					

CV = 9,94 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de potasio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	0,637	a
T2	0,493	a b
T0	0,137	b

ALS(t) = 0,105

**Anexo 15e.** Datos del contenido de sodio (%) en los panes

Datos de sodio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,256	0,245	0,242	0,248	0,007
T2	0,282	0,352	0,368	0,334	0,046
T3	0,552	0,614	0,597	0,588	0,032

Análisis de variancia de sodio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	0,18740	0,09370	88,6	5,14	*	3,51E-05
Error	6	0,00635	0,00106				
Total	8	0,19375					

CV = 8,34 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de sodio de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	0,588	a
T2	0,334	b
T0	0,248	c

ALS(t) = 0,081

**Anexo 15f.** Datos del contenido de cobre (ppm) en los panes

Datos de cobre de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	1,51	1,57	1,50	1,53	0,04
T2	1,70	1,80	2,08	1,86	0,20
T3	2,21	2,27	2,79	2,42	0,32

Análisis de variancia de cobre de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	1,23247	0,61623	13,02	5,14	*	6,57E-03
Error	6	0,28393	0,04732				
Total	8	1,51640					

CV = 11,23 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de cobre de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	2,42	a
T2	1,86	b
T0	1,53	b

ALS(t) = 0,55

**Anexo 15g.** Datos del contenido de hierro (ppm) en los panes

Datos de hierro de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	1,01	0,74	0,69	0,81	0,17
T2	1,60	4,32	3,61	3,18	1,41
T3	7,22	4,84	6,28	6,11	1,20

Análisis de variancia de hierro de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	42,29936	21,14968	18,35	5,14	*	0,00277
Error	6	6,91400	1,152330				
Total	8	49,21336					

CV = 31,87 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de hierro de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	6,11	a
T2	3,18	b
T0	0,81	b

ALS(t) = 2,69

**Anexo 15h.** Datos del contenido de zinc (ppm) en los panes

Datos de zinc de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	9,57	8,59	10,43	9,530	0,92
T2	17,83	20,27	19,43	19,18	1,24
T3	37,34	25,92	39,05	34,10	7,14

Análisis de variancia de zinc de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	919,71227	459,85613	25,86	5,14	*	0,00112
Error	6	106,68073	17,78012				
Total	8	1026,393					

CV = 20,14 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de zinc de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	34,10	a
T2	19,18	b
T0	9,53	b

ALS(t) = 10,57

**Anexo 15i.** Datos del contenido de manganeso (ppm) en los panes

Datos de manganeso de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	5,93	5,72	5,57	5,74	0,18
T2	6,69	6,16	6,94	6,60	0,40
T3	7,88	7,10	7,12	7,37	0,44

Análisis de variancia de manganeso de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	3,97282	1,98641	15,32	5,14	*	0,00439
Error	6	0,77813	0,12969				
Total	8	4,75096					

CV = 5,48 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de manganeso de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	7,37	a
T2	6,60	a b
T0	5,74	b

ALS(t) = 0,90



### Anexo 16

Datos del contenido de fibra dietaria y análisis estadístico de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

**Anexo 16a.** Datos del contenido de fibra dietaria insoluble (g/100g) de los panes

Datos de fibra dietaria insoluble de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	2,01	2,11	2,18	2,10	0,09
T2	5,05	5,33	5,58	5,32	0,27
T3	6,98	6,72	6,49	6,73	0,25

Análisis de variancia de fibra dietaria insoluble de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	33,7934	16,8967	368,12	5,14	*	5,28E-07
Error	6	0,2754	0,0459				
Total	8	34,0688					

CV = 4,54 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de fibra dietaria insoluble de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	6,73	a
T2	5,32	b
T0	2,10	c

ALS(t) = 0,54

**Anexo 16b.** Datos del contenido de fibra dietaria soluble (g/100g) de los panes

Datos de fibra dietaria soluble de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	1,23	1,12	1,07	1,14	0,08
T2	1,69	1,42	1,52	1,54	0,14
T3	2,12	1,96	1,75	1,94	0,19

Análisis de variancia de fibra dietaria soluble de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	0,9680	0,4840	24,3	5,14	*	1,33E-03
Error	6	0,1195	0,0199				
Total	8	1,0876					

CV = 9,15 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de fibra dietaria soluble de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	1,94	a
T2	1,54	b
T0	1,14	c

ALS(t) = 0,35

**Anexo 16c.** Datos del contenido de fibra dietaria total (g/100g) de los panes

Datos de fibra dietaria total de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	3,47	3,23	3,02	3,24	0,32
T2	7,11	6,86	6,61	6,86	0,25
T3	8,66	8,97	8,38	8,67	0,30

Análisis de variancia de fibra dietaria total de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	45,8654	22,9327	343,48	5,14	*	6,49E-07
Error	6	0,4006	0,0668				
Total	8	46,266					

CV = 4,13 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de fibra dietaria total de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	8,67	a
T2	6,86	b
T0	3,24	c

ALS(t) = 0,65

### Anexo 17

Datos de polifenoles totales, actividad antioxidante y análisis estadístico, de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

**Anexo 17a.** Datos del contenido de polifenoles totales (mg EAG/g) en los panes

Datos de polifenoles totales de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	3,89	4,26	4,41	4,19	0,27
T2	9,12	9,20	9,49	9,27	0,19
T3	12,51	12,57	12,35	12,48	0,11

Análisis de variancia de polifenoles totales de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	104,8471	52,4235	1284,19	5,14	*	1,27E-08
Error	6	0,2449	0,0408				
Total	8	105,092					

CV = 2,34 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de polifenoles totales de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	12,48	a
T2	9,27	b
T0	4,19	c

ALS(t) = 0,51

**Anexo 17b.** Datos de la actividad antioxidante con DPPH IC<sub>50</sub> ( $\mu\text{g/ml}$ ) en los panes

Datos de actividad antioxidante de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	27,30	26,54	26,65	26,83	0,41
T2	2,71	2,79	2,69	2,73	0,05
T3	2,40	2,37	2,29	2,35	0,06

Análisis de variancia de actividad antioxidante de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	1180,0591	590,0295	10130,23	5,14	*	2,60E-11
Error	6	0,3495	0,0582				
Total	8	1180,4086					

CV = 2,27 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de actividad antioxidante de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	2,35	a
T2	2,73	a
T0	26,83	b

ALS(t) = 0,60

**Anexo 17c.** Datos de la actividad antioxidante con ABTS IC<sub>50</sub> (mg/ml) en los panes

Datos de actividad antioxidante de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	15,05	16,11	14,36	15,18	0,88
T2	0,89	0,95	0,84	0,89	0,06
T3	0,52	0,49	0,46	0,49	0,03

## Análisis de variancia de actividad antioxidante de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	419,8745	209,9372	807,69	5,14	*	5,068E-08
Error	6	1,5595	0,2599				
Total	8	421,4340					

CV = 9,24 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de actividad antioxidante de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	0,49	a
T2	0,89	a
T0	15,18	b

ALS(t) = 1,28

### Anexo 18

Datos de carotenos totales, antocianinas y análisis estadístico de los panes con sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de plátano.

#### Anexo 18a. Datos del contenido de carotenos totales (mg/100g) en los panes

Datos de carotenos totales de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	0,069	0,094	0,07	0,078	0,014
T2	0,123	0,135	0,138	0,132	0,008
T3	0,154	0,168	0,155	0,159	0,008

Análisis de variancia de carotenos totales de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	2	0,010296	0,005148	47,62	5,14	*	2,08E-04
Error	6	0,000649	0,000108				
Total	8	0,010945					

CV = 8,46 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de carotenos totales de los panes con harina de trigo y cáscara de plátano

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	0,159	a
T2	0,132	b
T0	0,078	c

ALS(t) = 0,026

#### Anexo 18b. Datos del contenido de antocianinas (mg/100g) en los panes

Datos de antocianinas de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	r1	r2	r3	Promedio	SD
T0	ND	ND	ND	ND	ND
T2	0,031	0,036	0,041	0,036	0,005
T3	0,058	0,052	0,046	0,052	0,006

Análisis de variancia de antocianinas de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

FV	GL	SC	CM	FC	F0.05	Sig.	P-value
Tratamientos	1	0,00038	0,00038	12,59	7,71	*	0,02384
Error	4	0,00012	0,00003				
Total	5	0,00051					

CV = 12,55 %

Prueba de tukey ( $\alpha = 0,05$ ) de antocianinas de los panes con harina de trigo (T0) y cáscara de plátano (T2 y T3)

Tratamientos	Promedios ordenados	Sig.
T3	0,052	a
T2	0,036	b

ALS(t) = 0,013

**ANEXO 19**

Fotos de la investigación



Foto 1. Materia prima



Foto 2. Pelado y cortado de la cáscara



Foto 3. Inmersión en solución de ácido cítrico y metabisulfito



Foto 4. Pulpa de plátano



Foto 5. Secado de la cáscara



Foto 6. Secado de la pulpa



Foto 7. Molienda de la cáscara seca



Foto 8. Harina de cáscara de plátano



Foto 9. Análisis granulométrico



Foto 10. Harina de trigo, pulpa y cáscara de



Foto 11. Materiales para los tratamientos



Foto 12. Harinas para los tratamientos



Foto 13. Horno utilizado para las pruebas



Foto 14. Pesado de las harinas



Foto 15. Leudado de los tratamientos



Foto 16. Horneado de los tratamientos



Foto 17. Muestras de los tratamientos



Foto 18. Vista interna de las muestras





Foto 19. Análisis físicos de las muestras



Foto 20. Análisis de muestras



Foto 21. Medida del color de la corteza



Foto 22. Medida del color de la miga



Foto 23. Medida de la textura



Foto 24. Evaluación sensorial de las muestras

## Anexo 20

### FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombre:.....

Fecha:..... Hora: .....

#### Instrucciones

A continuación se presenta cinco muestras de pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano. Evalúe cada uno y califique en la casilla que corresponda con el valor que mejor describa su agrado o desagrado que producen cada muestra, para cada atributo.

Atributos	Muestras				
	T0	T1	T2	T3	T4
Color					
Aroma					
Suavidad					
Gomosidad					
Sabor					
Aceptabilidad					

Escala	Calificación
Me gusta mucho	7
Me gusta	6
Me gusta poco	5
No me gusta ni me disgusta	4
Me disgusta poco	3
Me disgusta	2
Me disgusta mucho	1

Observaciones:.....

.....

.....

Gracias