



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
CURSO INTERFACULTADES DE POSTGRADO EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Efecto del tamaño de partícula y nivel de incorporación de salvado estabilizado de arroz sobre la calidad de panes de molde.

TRABAJO DE GRADO presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela, por el Ingeniero **Yovanny Gregorio Belandria Paredes**, como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencia y Tecnología de alimentos.

Tutor. Dr. Romel Guzmán

Caracas, septiembre de 2017.



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



Comisión de Estudios
de Postgrado

VEREDICTO

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, para examinar el **Trabajo de Grado** presentado por: **Yovanny Gregorio Belandria Paredes** Cédula de identidad N° 12.048.375, bajo el título "**Efecto del tamaño de partícula y nivel de incorporación de salvado estabilizado de arroz sobre la calidad de panes de molde**", a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de **MAGÍSTER SCIENTIARUM, MENCIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**, dejan constancia de lo siguiente:

Burig

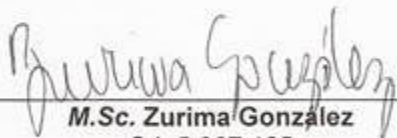
1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 28 de Septiembre de 2017 a las 09:00 AM., para que el autor lo defendiera en forma pública, lo que éste hizo en el salón de usos múltiples, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.

2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió **aprobarlo**, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por el autor, que se ajusta a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado

Aut.
Rovis

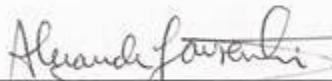
Para dar este veredicto, el jurado estimó que el trabajo examinado representa un aporte en la formulación y desarrollo de productos horneados, con incorporación de salvado estabilizado de arroz, el cual además de mejorar las propiedades nutricionales del producto, proporciona una calidad sensorial aceptable.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los 28 días del mes de Septiembre del año 2017, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios, de Postgrado, actuó como Coordinador del jurado el Dr. Romel Guzmán. .


M.Sc. Zurima González

C.I. 5.967.165

Facultad de Ciencias - UCV



Dr. Alexander Laurentin

C.I.: 9.565.764

Facultad de Ciencias
IBE-UCV



Dr. Romel Guzmán

C.I. 15.077.336

Facultad de Ciencias - UCV



o.a.s.28/09/2017

Dedicatoria

A Dios, nuestro señor todo poderoso por siempre ser mi guía espiritual e iluminarme para así alcanzar tan anhelada meta.

A mis dignos y queridos padres, hermanos y familiares, quienes de manera muy humilde han sido ejemplos claros en mi vida, por su apoyo absoluto en todo momento durante mi formación académica.

Especialmente a mi bella esposa e hijo, quienes día a día han sido mi máxima fortaleza, brindándome confianza y apoyo incondicional en los momentos más necesarios, mucho amor y esperanza para así contribuir en ser una mejor persona y profesional.

Agradecimiento

A la Universidad Central de Venezuela, la Facultad de Ciencias y el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos por ser las máximas instituciones en donde obtuve una excelente formación académica.

Seguidamente, quiero expresar especial agradecimiento a todas aquellas personas que participaron en lograr el cumplimiento de la presente investigación, entre estas:

Muy especialmente al Dr. Romel Guzmán, por ser excelente tutor y por guiarme con sus valiosos conocimientos que fueron claves tanto en el desarrollo como en la culminación exitosa del estudio. Además, por brindar el apoyo necesario para realizar la investigación en el Laboratorio de Granos, Raíces y Tubérculos “Dra. Mercedes Baragaño de Mosqueda” y Laboratorio Instrumental de Cereales del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Facultad de Ciencias-UCV.

Al jurado evaluador, M. Sc. Zurima González y Dr. Alexander Laurentin, por su participación y su revisión acertada del manuscrito final.

Al profesor Víctor Hugo, por su grandiosa colaboración en realizar los análisis estadísticos.

A la Dra. Aura Cova del Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos de la Universidad Simón Bolívar, por su apoyo con el texturómetro.

Al M. Sc. Manuel Ávila y Fundación DANAC, por donar el salvado de arroz utilizado en el estudio. Además por su colaboración en permitir realizar el estudio amilográfico de las harinas.

A la Dra. Shelly Alemán, M.Sc. José Gregorio Márquez y M.Sc. Ana Paredes por su valiosa colaboración en el desarrollo de metodologías específicas necesarias para la culminación de este trabajo.

Tabla de contenido

Contenido

Lista de cuadros	9
Lista de figuras.....	10
Resumen	11
Introducción.....	12
Objetivos	14
General.....	14
Específicos	14
Hipótesis de la investigación	15
Capítulo I. Revisión bibliográfica	16
I.1. Salvado de arroz.....	16
I.1.1. Componentes del salvado	16
I.1.1.1. Pericarpio.....	17
I.1.1.2. Testa	17
I.1.1.3. Aleurona	17
I.1.1.4. Germen.....	17
I.2. Proceso industrial del salvado de arroz.....	18
I.2.1. Descripción de las etapas del procesamiento del salvado	19
I.2.1.1. Materia prima.....	19
I.2.1.2. Secado	19
I.2.1.3. Limpieza	19
I.2.1.4. Descascarillado.....	19
I.2.1.4. Pulido o blanqueado	19
I.3. Composición química, estabilización, producción mundial y usos del salvado de arroz.....	20
I.3.1. Composición nutricional del salvado de arroz.....	20
I.3.2 Efecto de la lipasa en el salvado de arroz.....	22
I.3.3. Estabilización del salvado de arroz	23
I.3.4. Métodos para estabilizar el salvado de arroz.....	23
I.3.5. Almacenamiento y vida útil del salvado estabilizado.....	25
I.3.6. Datos de producción industrial y ventas del salvado de arroz	27
I.4. Fibra y sus componentes.....	29
I.4.1. Fibra alimentaria o dietética	29
I.4.2. Importancia de la fibra en la industria alimentaria y en la salud humana.....	29
I.4.3. Composición general de la fibra alimentaria	30
I.4.3.1 Polisacáridos.....	30
I.4.3.2. Polisacáridos no almidonosos.....	31
I.4.3.2.1. Celulosa	31
I.4.3.2.2. Hemicelulosas	31
I.4.3.2.2.1. Arabinoxilanos	32
I.4.3.2.3. β -glucanos.....	32
I.4.3.3. Sustancias asociadas.....	32
I.4.3.3.1. Lignina	32
I.4.3.3.2. Almidón resistente.....	33

I.4.3.3.2.1. Almidón físicamente inaccesible (RS1).....	33
I.4.3.3.2.2. Almidón nativo (RS2)	33
I.4.3.3.2.3. Almidón retrogradado (RS3)	33
I.4.3.3.2.4. Almidón químicamente modificado (RS4)	34
I.4.3.3.2.5. Almidón complejo amilosa-lípido (RS5).....	34
I.5. Usos del salvado de arroz en la industria panadera	34
I.5.1. Propiedades funcionales tecnológicas del salvado de arroz en la industria de alimentos.....	35
I.5.1.1. Tamaño de la partícula	35
I.5.1.2. Capacidad de retención de agua (CRAg)	36
I.5.1.3. Capacidad de retención de aceite (CRAc)	37
I.6. Pan, ingredientes, proceso de preparación y aportes del salvado estabilizado	38
I.6.1. Definición de Pan	38
I.6.2. Ingredientes principales en panificación y su función.....	38
I.6.2.1. Harina de trigo.....	38
I.6.2.2. Agua potable	39
I.6.2.3. Sal.....	39
I.6.2.4. Levadura	40
I.6.2.5. Otros aditivos	40
I.6.3. Métodos de panificación	41
I.6.3.1. Directo	41
I.6.3.2. Mixto.....	41
I.6.3.3. Esponja.....	41
I.6.3.4. Pan de molde	41
I.6.4. Proceso para la preparación de pan tipo molde	41
I.6.5. Aportes nutricionales del salvado estabilizado de arroz en la preparación de panes	43
Capítulo II. Materiales y métodos	45
II.1. Materiales	45
II.1.1. Lugar de la investigación	45
II.1.2. Materia prima.....	45
II.2. Métodos.....	47
II.2.1. Estabilización del salvado de arroz	47
II.2.2. Propiedades funcionales tecnológicas del salvado de arroz entero y estabilizado.....	48
II.2.3. Evaluación proximal y nutricional del salvado de arroz entero y estabilizado.....	49
II.2.4. Evaluaciones físico-químicas del salvado entero y estabilizado	53
II.2.5. Análisis microbiológicos del salvado entero y estabilizado	55
II.2.6. Propiedades reológicas de la harina de trigo y salvado de arroz estabilizado.....	56
II.2.6.1. Amilogramas	56
II.2.7. Ensayos de panificación para la selección del porcentaje óptimo de adición de salvado estabilizado	57
II.2.7.1. Procedimiento para la elaboración de los panes de molde.....	58
II.2.8. Perfil sensorial	60
II.2.9. Evaluaciones químicas del pan con harina de trigo (patrón) y pan con harina de trigo más salvado de trigo estabilizado.	62
II.10. Evaluaciones físico-químicas de los panes.....	62
II.11. Evaluación física de la calidad de los panes.....	64
II.12. Parámetros de calidad del producto durante el almacenamiento en anaquel	67

II.13. Análisis estadístico	68
Capítulo III. Resultados y discusión.....	69
III.1. Estudio del salvado de arroz entero y estabilizado	69
III.1.1. Estabilización del salvado de arroz entero y estabilizado	69
III.1.2. Propiedades funcionales tecnológicas del salvado de arroz entero y estabilizado	69
III.1.2.1. Tamaño de la partícula (granulometría)	70
III.1.2.2. Capacidad de retención de agua (CRAg) y Capacidad de retención de aceite (CRAc)	72
III.1.2.3. Composición química del salvado de arroz entero y estabilizado en base seca.....	74
III.1.2.4. Evaluaciones físico-químicas del salvado entero y estabilizado.....	80
III.1.2.5. Análisis microbiológicos del salvado entero y estabilizado	84
III.2. Selección de porcentaje de salvado a incorporar en la formulación de panes de molde.	85
III.3. Propiedades reológicas de las harinas y pruebas físico-químicas de las masas de trigo y harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.....	85
III.3.1. Evaluaciones físico-químicas de la masa compuesta por harina de trigo y harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.	89
III.3.1.1. Ajuste final de formulación para la elaboración del pan de molde con harina de trigo y harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.....	92
III.3.2. Evaluaciones del pan con harina de trigo (patrón) y pan con harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado.	92
III.3.2.1. Evaluaciones químicas (base seca).	92
III.3.2.2. Digestibilidad <i>in vitro</i> del almidón en el salvado de arroz estabilizado, pan patrón y pan con harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado.....	100
III.3.2.3. Propiedades tecnológicas del pan con harina de trigo y pan con harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.	101
III.3.2.4. Evaluaciones físico-químicas de los panes.....	102
III.3.2.5. Evaluación de la calidad de los panes elaborados con harina de trigo y harina de trigo más 30% de salvado de arroz estabilizado.....	104
III.3.2.6. Aceptabilidad del pan con salvado de arroz estabilizado	113
III.3.2.7. Estudios de estabilidad del pan con salvado de arroz estabilizado.....	117
III.3.2.7.1. Parámetros de calidad del pan con salvado de arroz estabilizado durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente.....	117
III.3.2.7.2. Análisis microbiológicos del pan con salvado de arroz estabilizado.....	122
IV.4.1. Conclusiones.....	125
IV.4.2. Recomendaciones	126
IV.4.3 Referencias bibliográficas.....	127

Lista de cuadros

Cuadro 1. Composición química del salvado de arroz (% base seca)	21
Cuadro 2. Técnicas para estabilizar el salvado	23
Cuadro 3. Comparación nutricional del salvado de arroz sin estabilizar y estabilizado con diferentes métodos (% base seca)	24
Cuadro 4. Componentes de la fibra	30
Cuadro 5. Efecto de la adición de salvado de arroz en las características gravimétricas en panes	37
Cuadro 6. Etapas de preparación en pan de molde	42
Cuadro 7. Composición nutricional de productos horneados sustituidos con salvado de arroz (% base seca por cada 100g de producto)	44
Cuadro 8. Condiciones operativas del equipo RVA	57
Cuadro 9. Formula básica para preparar pan de molde	58
Cuadro 10. Granulometría del salvado de arroz entero y estabilizado	71
Cuadro 11. Propiedades tecnológicas del salvado de arroz entero y estabilizado	72
Cuadro 12. Composición química del salvado de arroz entero y estabilizado (% base seca)	75
Cuadro 13. Parámetros físico-químicos del salvado de arroz entero y estabilizado	81
Cuadro 14. Estudio de estabilidad microbiológica del salvado de arroz entero y salvado de arroz estabilizado a temperatura ambiente.	84
Cuadro 15. Perfil amilográfico de la harina de trigo y harina compuesta por harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado.	86
Cuadro 16. Características físico-química de la masa con harina de trigo y masa compuesta por harina de trigo más 30 % SAE.	90
Cuadro 17. Fórmula definitiva para preparar pan de molde control y pan con 30 % de salvado... ..	92
Cuadro 18. Evaluaciones químicas del pan patrón y pan con harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado (% base seca).	94
Cuadro 19. Propiedades tecnológicas del pan patrón y pan con harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado	102
Cuadro 20. Características físico-químicas del pan con harina de trigo y pan con harina de trigo más 30 % de salvado de arroz estabilizado	103
Cuadro 21. Características físicas de la calidad del pan patrón y pan con harina de trigo más 30 % de salvado de arroz estabilizado	104
Cuadro 22. Perfil de textura instrumental (TPA) del pan patrón y pan con salvado de arroz estabilizado	109
Cuadro 23. Aceptabilidad del pan con salvado de arroz estabilizado	113
Cuadro 24. Porcentaje de aceptación por atributos sensoriales del pan con salvado de arroz estabilizado en una escala hedónica estructurada de 1 al 9	114
Cuadro 25. Cambios en las propiedades físico-químicas del pan con salvado de arroz durante el almacenamiento a temperatura ambiente	118
Cuadro 26. Estudio de estabilidad microbiológica del pan con salvado de arroz estabilizado durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente.	123

Lista de figuras

Figura 1. Componentes del salvado	16
Figura 2. Esquema del proceso industrial del salvado	18
Figura 3. Hidrólisis de los lípidos en el salvado.....	22
Figura 4. Efecto de la estabilización del salvado durante el almacenamiento.....	26
Figura 5. Producción mundial salvado de arroz (Ton/año).....	28
Figura 6. Tamaño de partículas en salvado de arroz entero	36
Figura 7. Procesamiento del salvado de arroz entero	46
Figura 8. Flujograma del proceso de estabilización del salvado de arroz entero.....	47
Figura 9. Esquema para la preparación de panes con salvado de arroz estabilizado	60
Figura 10. Curva patrón polifenoles (mg ácido tánico/mL).....	63
Figura 11. Sistema de colores CIE LAB: L*a*b*	65
Figura 12. Texturómetro TA-XT. Plus.....	66
Figura 13. Pan en centro de la base para comprimir.....	67
Figura 14. Tamaño de partículas en salvado de arroz entero y estabilizado.....	70
Figura 15. Características de las masas fermentadas	91
Figura 16. Digestibilidad <i>in vitro</i> del almidón del pan con harina de trigo (patrón), pan con harina de trigo más 30 % de salvado de arroz estabilizado y SAE	101
Figura 17. Color de la corteza de los panes	106
Figura 18. Representación gráfica del porcentaje de aceptación del pan con salvado de arroz estabilizado.....	115
Figura 19. Cambios en la humedad del pan con salvado de arroz durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente	119
Figura 20 . Cambios en la pérdida de peso del pan con salvado de arroz durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente	120
Figura 21. Cambios en el pH del pan con salvado de arroz durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente	121
Figura 22. Cambios en la acidez titulable del pan con salvado de arroz durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente	122

Resumen

Con el propósito de diversificar el uso del salvado de arroz estabilizado (SAE) por calor a través de microondas y evaluar los efectos de su inclusión en la preparación y calidad de panes tipo molde, el presente trabajo se realizó tomando como referencia el salvado de arroz de la variedad MD248, proveniente de la estación experimental de Fundación Danac. La caracterización química, física, fisicoquímica, funcional y nutricional del salvado se llevó a cabo de acuerdo a las metodologías oficiales y específicas aceptadas para el mismo. En cuanto a la formulación del pan, se incorporó directamente en la receta de pan tradicional 30 % de SAE, cuya granulometría estuvo compuesta por fracciones de partículas de 420, 250 y < 250 micras. A fin de establecer comparaciones se estableció como control el pan preparado con 100 % harina de trigo. Los resultados indican que la caracterización del SAE mostró ser una fuente interesante en aporte de almidón resistente, fibra, grasa cruda, proteína cruda y cenizas, con gran potencial en la capacidad de retención tanto de agua como de aceite al compararlo con el salvado de arroz entero. En cuanto al comportamiento reológico de la harina compuesta con SAE, se encontró que hubo un comportamiento significativamente diferente tanto en la viscosidad como la consistencia de la mezcla. En base a la composición nutricional obtenida en los panes, se encontró que la adición mejoró notablemente los contenidos en fibra, proteína cruda, grasa cruda, cenizas y polifenoles, lográndose disminuir los carbohidratos totales, así como la energía al compararlos con el pan control. El estudio de estabilidad físico-química y microbiológica de los panes con salvado durante 4 días a temperatura ambiente, indicaron resultados aceptables por lo que pueden considerarse higiénicamente aptos para su comercialización, distribución y consumo. La evaluación sensorial realizada con un panel de 68 personas indicó que el pan con SAE tuvo un alto grado de aceptación en los atributos evaluados. Basado en los resultados obtenidos, se puede concluir que es factible la incorporación del SAE de la variedad MD248 hasta un nivel de 30 % con tamaño de partículas finas a fin de mejorar la calidad nutricional y sensorial de panes tipo molde, lo que pudiera representar una mejor alternativa de alimentación por su alto aporte en fibra y demás nutrientes, con menor aporte calórico que panes a base únicamente de harina refinada de trigo.

Palabras claves: *pan, salvado de arroz, fibra, caracterización química, almidón resistente, digestibilidad.*

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) representa en todo el mundo un alimento básico en la dieta humana, tanto por sus aportes nutricionales, como energéticos; contiene los nutrientes indispensables en la alimentación diaria de la población (Ramos, 2013). Del pulido de los granos de arroz, se obtiene el salvado que aporta un buen balance nutricional. Más del 65 % de todos los nutrientes que componen al grano de arroz se encuentran concentrados en las capas externas que cubren al pericarpio, aleurona, testa y germen que conforman el salvado (Pacheco *et al.*, 2009; Gul *et al.*, 2015).

El salvado de arroz es económico y de fácil producción, cabe destacar que su importancia radica en aportar un buen perfil de nutrientes como la fibra con 24,15 %, proteína 16,61 % y de grasa 17,87 %. Adicionalmente, proporciona minerales como calcio, fósforo, hierro, magnesio, potasio y zinc, vitaminas del complejo B y E (Dos Santos *et al.*, 2012). También es una buena fuente de antioxidantes naturales tales como polifenoles, tocoferoles, tocotrienoles y gamma-orizanol (Tuncel *et al.*, 2014).

Su uso sin estabilizar limita su consumo, debido al rápido deterioro de los lípidos por la acción enzimática de la lipasa, además de los fitatos e inhibidores de la tripsina que en conjunto obstaculizan la digestibilidad y disponibilidad de nutrientes (Younas *et al.*, 2011; Gul *et al.*, 2015). Por lo que se debe efectuar un proceso denominado estabilización, con el fin de prolongar su vida útil y preservar su calidad nutritiva. Entre los principales métodos de estabilización empleados se encuentran: calor, radiación infrarroja, extrusión, químico y calentamiento óhmico, todos estos basados en la posibilidad de modificar el contenido de humedad, la temperatura o el pH para destruir la actividad enzimática (Bagheri *et al.*, 2011; Younas *et al.*, 2011; Dos Santos *et al.*, 2012; Tuncel *et al.*, 2014).

Tomando en cuenta el excelente balance nutricional del salvado, propiedades hipoalergénicas, propiedades tecnológicas como tamaño de partícula, capacidad de absorción de agua y de grasas (Majzoobi *et al.*, 2013), componentes nutraceuticos (fibra y antioxidantes), se hace idóneo considerarlo como ingrediente novedoso en la preparación de productos horneados de buena calidad tanto nutricional como sensorial (Ozdestan *et al.*, 2014; Irakli *et al.*, 2015; Sardarodiyani y Salehi, 2016) y más aun considerando que históricamente se ha venido utilizando en alimentación animal, fertilización, extracción de aceite y otros fines (Sumantha *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2012; Dos Santos *et al.*, 2012, Tuncel *et al.*, 2014).

La fibra alimentaria o dietética, es el componente de mayor importancia que contiene este subproducto, por sus bondades demostradas para elaborar productos de panificación, debido a que retiene humedad, favoreciendo la suavidad, frescura y rendimiento en peso (Pacheco *et al.*, 2009; Bagheri y Mehdi, 2011; Dos Santos *et al.*, 2012; Kurek y Wyrwysz, 2015; Taghinia *et al.*, 2015). Además, por su calidad como nutriente y efectos beneficiosos como agente protector en controlar el peso, disminuir los niveles de colesterol sanguíneo, triglicéridos, glucosa, ayudando a reducir los riesgos de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer colorrectal en humanos (Mohd *et al.*, 2013; Ozdestan *et al.*, 2014; Sharma *et al.*, 2015).

En los últimos años, el salvado de arroz estabilizado, ha despertado gran interés en la comunidad científica avalándose exitosamente su uso, debido a que brinda una excelente alternativa como sustituto parcial de la harina de trigo en la elaboración de panes, ponquecitos, galletas, tortas, bocadillos, bizcochos, cereales para el desayuno, pastas, pizzas, pasteles, tortas, entre otros (Pacheco *et al.*, 2009; Torres, 2009; Majzoobi *et al.*, 2013; Ozdestan *et al.*, 2014; Irakli *et al.*, 2015; Rafe *et al.*, 2016).

En la actualidad en el sector panadero, la tendencia en introducir alimentos innovadores ha incentivado diversificar el uso del salvado de arroz estabilizado como ingrediente funcional clave a ser añadido en las formulaciones mezclado con harina de trigo, con el fin de preparar alimentos con buenos balances nutricionales, en donde no solo se busca satisfacer la necesidad de comer, sino también suministrar alimentos con menor contenido calórico (Sharif *et al.*, 2009; Majzoobi *et al.*, 2013; Ozdestan *et al.*, 2014; Gul *et al.*, 2015). En este contexto, teniendo presente la importancia del salvado de arroz estabilizado, surge la idea de darle un mejor aprovechamiento en la preparación de panes tipo molde utilizando específicamente diferentes tamaños de partículas del subproducto en una misma formulación, dado a que existen pocos estudios o casi nulos, sobre el efecto que tiene adicionar altos niveles de salvado con diferentes tamaños de partículas finas sobre la calidad nutricional y sensorial del producto terminado, adicionalmente a que pudiera ser una mejor opción para incrementar la ingesta de fibra, así como de los demás nutrientes, debido a que los panes obtenidos con harinas refinadas proporcionan principalmente un alto contenido de almidón con altos aportes energéticos.

Objetivos

General

- Evaluar el efecto del tamaño de partícula y nivel de incorporación de salvado estabilizado de arroz sobre la calidad de panes de molde.

Específicos

- Estabilizar el salvado de arroz de la variedad MD248 y determinar la composición química, características físicas, físico-químicas, microbiológicas y funcionales del salvado de arroz entero y estabilizado.
- Seleccionar el porcentaje óptimo de salvado estabilizado a incorporar en la formulación de panes tipo molde.
- Seleccionar a través de pruebas sensoriales la aceptación de panes de molde formulados adicionando 10 %, 30 % y 40 % de salvado de arroz estabilizado.
- Determinar las propiedades reológicas de la harina de trigo comercial y la mezcla de harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.
- Evaluar la composición química, características físicas, físico-químicas, funcionales y microbiológicas del pan enriquecido con salvado estabilizado de arroz y compararlas con un patrón (100% harina de trigo).
- Evaluar la estabilidad de los panes en anaquel por medio de los parámetros de calidad (humedad, pH y acidez) por un período de 4 días a temperatura ambiente.
- Determinar mediante un análisis sensorial con un panel de consumidores no entrenados la aceptación del pan de molde elaborado.

Hipótesis de la investigación

- Hay diferencias nutricionales y efectos tecnológicos entre el salvado de arroz entero y el salvado de arroz estabilizado que les permitan ser usados en la formulación de nuevos productos horneados.
- Se puede elaborar panes tipo molde de buena calidad usando diferentes tamaños de partícula de salvado estabilizado en una misma formulación.
- El nivel de incorporación de salvado estabilizado produce variación en la calidad de panes de molde.

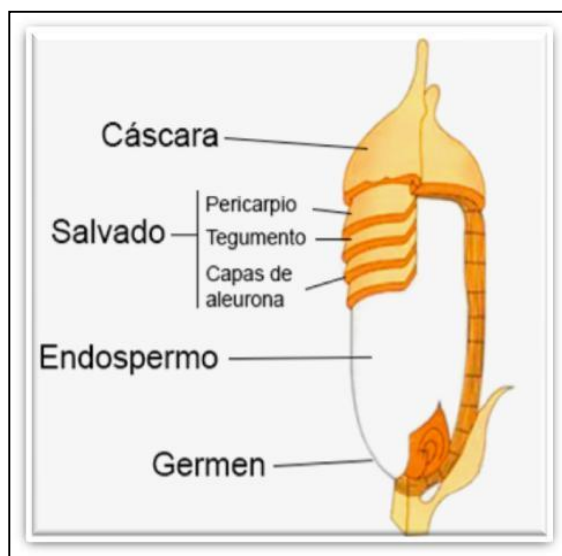
Capítulo I. Revisión bibliográfica

I.1. Salvado de arroz

Denominado también afrecho, harina, o semolina (INCAP, 2000; Larios-Saldaña *et al.*, 2005), es el subproducto obtenido del procesamiento industrial del grano de arroz paddy y representa aproximadamente el 10 % del peso total del grano, de color marrón claro, textura fina y sabor ligeramente dulce (Ozdestan *et al.*, 2014; Gul *et al.*, 2015; Sardarodiyani y Salehi; 2016). De gran interés como materia prima en la elaboración de diversos productos de la panificación, por su gran potencial como fuente complementaria de muchos nutrientes para mejorar la calidad nutricional y sensorial de los alimentos (Tuncel *et al.*, 2014; Sardarodiyani y Salehi; 2016).

I.1.1. Componentes del salvado

Se compone de diferentes estructuras o capas que recubren el grano: pericarpio, testa, aleurona y el germen (**Figura 1**) que difieren ampliamente en su composición de nutrientes (Suárez y Schang, 2003; Sharifa *et al.*, 2014; Gul *et al.*, 2015).



Fuente: Vargas y Aguirre (2011)

Figura 1. Componentes del salvado

I.1.1.1. Pericarpio

Abarca la capa más externa y comprende en promedio un 3 a 5 % del total del grano entero, aporta principalmente fibra (celulosa, xilanos, arabinosa, β -glucanos y lignina), proteínas, minerales, ácido ferúlico y otros compuestos bioactivos (Javed *et al.*, 2011; Lehtinen, 2012).

I.1.1.2. Testa

Es la capa o cubierta de la semilla, comprende aproximadamente el 1 % del grano que se compone principalmente de arabinoxilanos y lignina (Lehtinen, 2012).

I.1.1.3. Aleurona

Esta estructura comprende de 2 a 3 % del total del grano, es rica principalmente en fibra, así como de la mayoría de las vitaminas del complejo B (tiamina, niacina, riboflavina), también es fuente de minerales, proteínas, con un buen balance de aminoácidos y antioxidantes naturales. Adicionalmente, están presentes en la capa de aleurona los fitatos (antinutrientes) y ácidos fenólicos (Malekian *et al.*, 2000; Javed *et al.*, 2011). Casi todo el fósforo, que se encuentra en esta capa, está concentrado como ácido fítico, lo cual puede ser considerado como un punto negativo en la disponibilidad y digestibilidad de nutrientes, debido a que es capaz de unirse a las proteínas y almidón reduciendo su absorción (Hugo y Godiño, 2000; Younas *et al.*, 2011; Mohd *et al.*, 2013).

I.1.1.4. Germen

Se encuentra en el extremo del grano, es una muy buena fuente de grasas, vitaminas del grupo B (B1, B2 y B6) y E (α -tocoferol, tocotrienoles y gamma-orinazol), contiene además un buen balance tanto de proteínas como de minerales. Constituye entre un 2 a 3,5 % del peso total del grano (Belderok, 2000; Edel y Rosell, 2007). El componente principal de vitamina E en el germen es α -tocoferol, mientras que en el salvado es el γ -tocoferol (Mohd *et al.*, 2013).

I.2. Proceso industrial del salvado de arroz

En la **Figura 2**, se presenta un esquema propuesto para obtener salvado de arroz, basado en el estudio publicado por Parrado *et al.* (2006) que involucra las etapas en el procesamiento del grano de arroz, desde la recepción de la materia prima (arroz), secado, descascarillado, obteniéndose arroz cargo, el cual posteriormente es pulido hasta obtener el salvado.

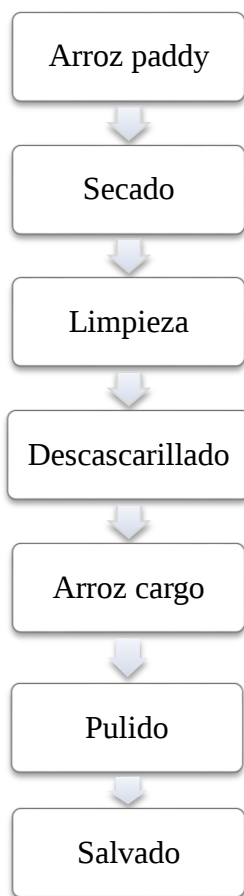


Figura 2. Esquema del proceso industrial del salvado

I.2.1. Descripción de las etapas del procesamiento del salvado

De acuerdo a Najar y Alvares (2007), se describen y definen cada una de las etapas en:

I.2.1.1. Materia prima

El arroz paddy recibido del campo, debe contener un contenido de humedad (20-24 %) y de impurezas menor a 4 %.

I.2.1.2. Secado

Es de suma importancia en la calidad del producto final a obtener, consiste en extraer la humedad del grano con que llega del campo, esta es realizada por etapas hasta obtener material con un 12 % de humedad. El referido contenido de humedad, garantiza poder ser procesado el material de forma segura sin modificar su composición, el grano obtenido debe ser sano, sin fracturas por calentamiento térmico para su mejor aprovechamiento en etapas posteriores.

I.2.1.3. Limpieza

Este proceso se efectúa haciendo pasar corrientes de aire por el grano, con la ayuda de un ventilador-aspirador y zarandas cernidoras, con el fin de eliminar las impurezas (tallos, vegetales, piedras y cualquier otro material que no sea granos de arroz).

I.2.1.4. Descascarillado

Es una operación que consiste en separar las glumas florales (lemma y palea) que constituyen la cáscara del arroz, dejando el endospermo y el embrión con su cubierta; mediante la fricción aplicada por medio de piedras o rodillo de hule. De esta etapa se obtiene el arroz cargo o integral.

I.2.1.4. Pulido o blanqueado

Consiste en eliminar por fricción con piedras, el pericarpio o salvado, el embrión y partículas de harina que quedan adheridas al grano, para darle un aspecto liso y brillante al grano. La fracción separada en la primera pasada se considera como salvado y un segundo pase de blanqueo como pulituras o harinillas. De esta operación se obtiene el coproducto que debe ser de textura fina.

I.3. Composición química, estabilización, producción mundial y usos del salvado de arroz

I.3.1. Composición nutricional del salvado de arroz

El salvado de arroz, es una muy buena fuente de nutrientes esenciales como la fibra, proteínas, lípidos y minerales (**Cuadro 1**). También aporta cantidades apreciables de aminoácidos, antioxidantes, vitaminas del grupo B, E y minerales tales como hierro, potasio, calcio, magnesio y zinc (Younas *et al.*, 2011). La composición química del salvado es muy variable, la cual es atribuida a factores tales como el cultivo (variedades genéticas), manejo agronómico (fertilización), condiciones climáticas, grado de madurez del grano, punto óptimo de cosecha, procesamiento industrial de los granos, grado de molienda y condiciones de almacenamiento que pueden afectar la calidad nutricional en el grano y por ende del salvado (Abdul-Hamid y Luan, 2000; FEDNA, 2003; Sardarodiyan y Salehi, 2016).

En cuanto al contenido de fibra, es una excelente fuente aportando en promedio un 24,15 %, siendo el componente de mayor proporción presente en este subproducto. De la fracción total, su mayor contenido es principalmente de fibra insoluble en un 22,67 %, aunque también contiene en pequeñas proporciones de fibra soluble aproximadamente en 1,48 % (Dos Santos *et al.*, 2012). En general, estas fracciones (solubles e insolubles) se corresponden a polisacáridos no almidonosos que son básicamente hemicelulosas (arabinoxilanos), β -glucanos y lignina (Mohd *et al.*, 2013; Gul *et al.*, 2015).

Se ha reportado en otras investigaciones una cantidad promedio de 30 % en fibra total. De este porcentaje global el 25 % se compone de fibra insoluble, y el 5 % restante a fibra soluble (Pacheco *et al.*, 2009). Por su parte, Abdul-Hamid y Luan (2000) han señalado valores en fibra total de 27,04 %, confirmando un promedio alto en la fracción insoluble de 24,99 % y soluble en 2,25 %.

Es también una buena fuente de proteínas (14-17 %) ricas en albúminas y globulinas, constituidas por un buen balance en aminoácidos de alto valor nutritivo como lisina y metionina (Malekian *et al.*, 2000). Asimismo, proporciona en promedio de lisina 5,3 g /16 g de nitrógeno (Vargas y Murillo, 1978). Estudios han señalado que los contenidos de lisina disponibles oscila en 4,8 g /100 g de proteína (Pacheco y Peña, 2006). Estos aminoácidos en conjunto con los azúcares reductores favorecen a las reacciones de Maillard y de caramelización que contribuyen en las coloraciones marrones de la corteza, mejores olores y sabores en productos horneados (Majzoobi *et al.*, 2013). Aporta contenidos apreciables

en vitaminas del complejo B, tales como: tiamina con 5,16 mg / 100 g, riboflavina con 1,71 mg /100 g y niacina con 42,13 mg /100 g, y de vitamina E con 15,5 mg /100 g (Vallabha *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Composición química del salvado de arroz (% base seca)

Componentes	Porcentaje (g/100g de muestra)
Humedad	8,41
Cenizas	8,13
Proteína	16,61
Grasa	17,87
Carbohidratos	33,24
Fibra total	24,15
Fibra insoluble	22,67
Fibra soluble	1,48
Calcio (µg/g)	438
Hierro (µg/g)	94
Sodio (µg/g)	17
Zinc (µg/g)	72
Potasio (µg/g)	11.293
Energía (Kcal)	423,19

Fuente: Dos Santos *et al.* (2012)

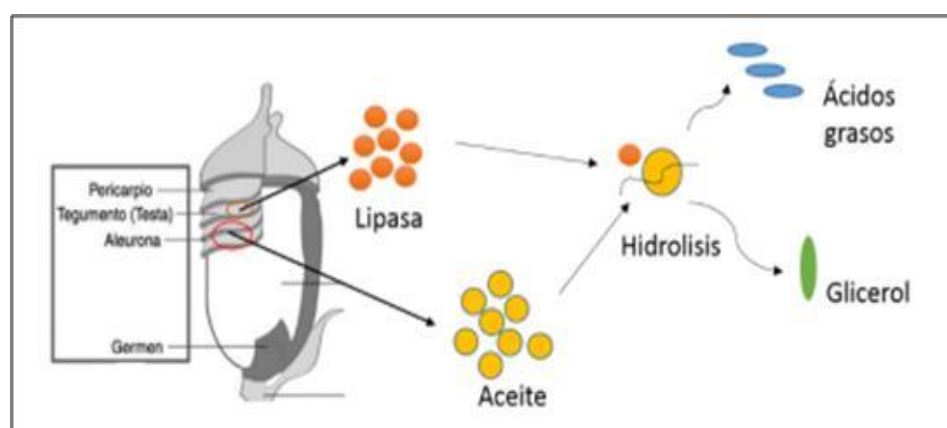
En cuanto al perfil de grasas, es una muy buena fuente de lípidos, del valor referido el 43 % se corresponde a ácidos grasos poliinsaturados, 37 % de monoinsaturados y un 20 % de saturadas (Pacheco *et al.*, 2009; Dos Santos *et al.*, 2012). Representa la mejor fuente de lípidos totales (ácidos grasos) y fitoesteroles totales (esteroles y estanoles) de todos los subproductos obtenidos del procesamiento industrial de los cereales con efectos positivos en la producción de alimentos en el sector panadero (Friedman, 2013; Ozdestan *et al.*, 2014). Los fitoesteroles tienen propiedades bioactivas contribuyendo en reducir los niveles de colesterol, antibacterianos, antifúngicos y antiulcerosos (Ozdestan *et al.*, 2014).

De acuerdo a Pestana *et al.*(2009) las grasas del salvado de arroz crudo aportan niveles significativos de ácidos grasos en cantidades de 36,3 % en oleico, de 30,8 % en linoleico, de 3,72 % en linolénico y 20 % de palmítico, representando los referidos lípidos el 90% del total de los triglicéridos presentes.

Adicionalmente, esta fracción lipídica aporta un complejo único de poderosos antioxidantes naturales denominados tocoferoles, tocotrienoles y orizanol que presentan una importante actividad de vitamínica E, como el alfa tocoferol en 6,21 mg /100 g (79,5 %), γ -tocopherol en 1,50 mg /100 g (19,5 %) y en pequeñas cantidades de δ -tocopherol en 0,08 mg /100 g (0,98 %) para un total en tocoferoles de 7,82 mg /100 g. También contiene γ -orizanol (168 mg/100g), igualmente se identificaron en este mismo estudio nueve componentes presentes en forma natural en el γ -orizanol de gran interés en el ámbito industrial. Por otra parte, Patel y Naik (2004), indican que el γ -orizanol tiene gran relevancia debido a su actividad antioxidante contribuyendo en prevenir daños oxidativos de los tejidos del cuerpo y el ADN, en atenuar los niveles de colesterol en sangre, reduciendo así el riesgo de enfermedades cardiovasculares y con gran potencial en la prevención frente algunos tipos de cáncer en humanos.

I.3.2 Efecto de la lipasa en el salvado de arroz

Debido al elevado contenido de lípidos presentes en el salvado, es necesario tener presente muy especialmente la acción de la enzima lipasa que degrada el aceite en ácidos grasos libres (AGL) más glicerol (**Figura 3**), ocasionando alteraciones de acidificación y enranciamiento. Debido a esta conversión, su calidad se reduce al impartir mal olor y sabor amargo, disminuyendo su valor como ingrediente en la preparación de alimentos para humanos. Por tal razón, es necesario estabilizarlo para evitar su deterioro, permitiendo aprovechar mejor su contenido nutritivo para así incorporarlo como ingrediente en formulaciones alimentarias (Suárez y Schang, 2003; Parrado *et al.*, 2006; Tuncel *et al.*, 2014; Vallabha *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2015).



Fuente: Interredu (2014)

Figura 3. Hidrólisis de los lípidos en el salvado

I.3.3. Estabilización del salvado de arroz

Es una técnica que consiste en aplicar tratamiento térmico (vapor húmedo o seco), químico, entre otros afines, con el fin de inactivar la lipasa; lo cual favorece por un lado prolongar su vida útil durante el almacenamiento en términos de prevención de la rancidez hidrolítica y por otra parte, preservar su calidad tanto nutricional como funcional. El salvado estabilizado representa un ingrediente funcional con gran potencial en la preparación de alimentos horneados (Younas *et al.*, 2011, Tuncel *et al.*, 2014, Gul *et al.*, 2015) a diferencia de otras fibras, tiene buen aroma y sabor dulce agradable al paladar, características particulares muy apreciadas en la agroindustria (Bagheri y Mehdi, 2011).

Una técnica de estabilización adecuada es aquella en la que el salvado es sometido a un proceso que permita eliminar la lipasa, sin afectar el nivel nutricional y funcional; además de contribuir en disminuir los niveles de tripsina y fitatos (Vargas y Haros, 2010; Younas *et al.*, 2011), inhibir colonias de bacterias, hongos, e insectos o mantenerlos dentro de límites aceptables (Mohd *et al.*, 2013). Los cambios en la estructura terciaria de la enzima inducidos por el tratamiento de estabilización, dan como resultado que la lipasa pierda su funcionalidad y por ende su inactivación (Jha *et al.*, 2013).

I.3.4. Métodos para estabilizar el salvado de arroz

Varias técnicas han sido propuestas para estabilizar exitosamente el salvado (**Cuadro 2**), entre las cuales se destacan: química, calor húmedo o seco, bajas temperaturas, ondas ultrasónicas, rayos infrarrojos, calentamiento óhmico y otras afines. (Pestana *et al.*, 2006; Bagheri y Mehdi., 2011; Younas *et al.*, 2011; Dos Santos *et al.*, 2012; Dhingra *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Técnicas para estabilizar el salvado

Técnica de estabilización	Condiciones	Referencias
Calor (microondas)	78°C por 6 minutos	Dos Santos <i>et al.</i> (2012)
Calor (autoclave)	121°C por 30 minutos	Vargas y Haros (2010)
Calor(horno)	100 °C por 10 minutos	Taghinia <i>et al.</i> (2015)
Ondas ultrasónicas	24 mil frecuencias/segundo por 5 minutos	
Química	HCL al 30 % agregando 44 ml/kg	Younas <i>et al.</i> (2011)
Extrusión	Velocidad tornillo 200 rpm, 130 °C y humedad de 20,5 %	Guevara y Fernández (2015)
Rayos infrarrojos	700 W / 3 minutos	Tuncel <i>et al.</i> (2014)
Calentamiento óhmico	Gradientes de voltaje entre 44 a 72 V/cm	Dhingra <i>et al.</i> (2012)
Refrigeración	2 °C	Sardarodiyani y Salehi (2016)
Vapor	100 °C por 30 minutos	

En el caso particular del proceso con microondas, ha sido ampliamente utilizado y reconocido como muy eficaz para estabilizar el salvado, por lo rápido de realizar, económico y efectivo en preservar su contenido nutricional (Dos Santos *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2013; Bagchi *et al.*, 2014). La calefacción por microondas es homogénea y uniforme, originando un calentamiento interno de las partículas del salvado y las moléculas del agua que son interactuadas por ondas electromagnéticas, alcanzando temperaturas internas que dan origen a la destrucción de la lipasa (Malekian *et al.*, 2000), no afectando su valor nutritivo debido a que el tratamiento térmico es corto y a que el contacto con el agua es menor (Abdul-Hamid *et al.*, 2007; Basulto *et al.*, 2014), favoreciendo en poder aplicar calor por más de tres minutos, lo que tiende a conferirle un sabor tostado y aroma aceptable (Ramezanzadeh *et al.*, 2000).

Estudios han señalado comparaciones interesantes entre salvado de arroz sin estabilizar y usando el método de estabilización con microondas a 78°C por 6 minutos y horno convencional a 80°C por 6 minutos (**Cuadro 3**), observándose que al aplicar el procedimiento con microondas resultó una mejor técnica en la preservación y concentración de nutrientes. Por otra parte, parece ser una herramienta más práctica y más rápida para estabilizarlo, conservándose mejor los ácidos grasos y demás nutrientes. No obstante, la muestra estabilizada con horno convencional presentó el contenido de humedad más bajo, lo que sugiere que este procedimiento puede ser eficaz en alargar su vida útil en anaquel, con menos posibilidad en contaminación microbiana (Dos Santos *et al.*, 2012).

Cuadro 3. Comparación nutricional del salvado de arroz sin estabilizar y estabilizado con diferentes métodos (% base seca)

Componentes	Salvado arroz sin estabilizar	Salvado arroz (Microondas)	Salvado arroz (Horno convencional)
Humedad	8,41	6,28	5,14
Ceniza	8,13	6,98	8,52
Proteína	16,61	19,38	18,93
Grasa	17,87	20,05	18,34
Fibra	24,15	25,38	20,45
Ácido palmítico	2,73	2,85	2,46
Ácido oleico	6,86	8,14	6,91
Ácido linoleico	6,35	6,85	6,84

Fuente: Dos Santos *et al.* (2012)

En otras investigaciones, se ha ratificado que efectivamente estabilizar el salvado de arroz en microondas a 110 °C / 20 minutos, ha resultado beneficioso para conservar los ácidos grasos, sin afectar significativamente su calidad nutricional, incidiendo en disminuir la rancidez, aportándole un mejor sabor a dulce y sensación agradable al paladar, prolongándose su estabilidad en el tiempo, proporcionando humedad y frescura a los productos enriquecidos (Bagheri y Mehdi, 2011).

Por otro lado, se ha encontrado que el salvado estabilizado en autoclave con vapor húmedo a 121 °C por 30 minutos, ha resultado también una alternativa eficaz para conservar el valor nutricional y funcional para preparar productos de panadería como el pan. Luego de estabilizarlo se ha reportado que contiene alrededor de 17,7 % en lípidos (ácidos grasos insaturados), en 28,37 % de fibra, 14,02 % de proteínas y 10,22 % de cenizas. Igualmente, se ha mencionado que la estabilización del salvado logra disminuir el contenido de ácido fítico y fitatos, debido a la desnaturalización de la fitasa con el tratamiento térmico a elevadas temperaturas, lo que puede incidir en que estos antinutrientes disminuyan su actividad como agentes quelantes de minerales y proteínas (Vargas y Haros, 2010), siendo de interés destacar que efectuar la estabilización a temperaturas superiores a 100 °C pueden reducir significativamente la calidad del aceite de salvado de arroz al disminuir los contenidos de orizanoles, tocoferoles y tocotrienoles presentes en el salvado, desmejorando su calidad y funcionalidad (Lloyd *et al.*, 2000). Por lo que no se recomienda estabilizar el salvado a temperaturas superiores a 140 °C (Sharma *et al.*, 2015).

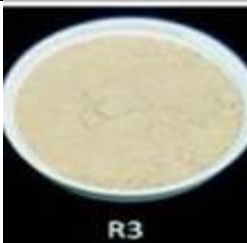
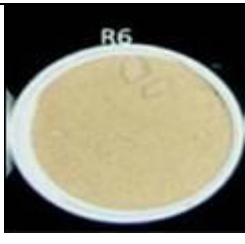
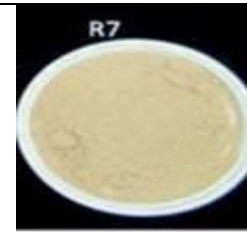
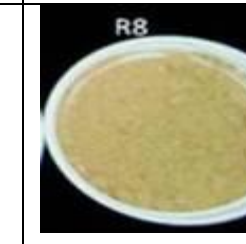
I.3.5. Almacenamiento y vida útil del salvado estabilizado

La preservación del salvado de arroz está relacionada directamente con la temperatura, la humedad y la técnica usada para destruir la enzima y el período de almacenamiento (Bagchi *et al.*, 2014). Así mismo, las muestras ya estabilizadas, es recomendable almacenarlas en bolsas laminadas metalizadas (envase primario) y/o bolsas con cierre hermético (envase secundario) para controlar posibles cambios por rancidez oxidativa (Guevara y Fernández, 2015).

Se ha encontrado estabilizando salvado en microondas y almacenando la muestra en bolsas de aluminio puede mantenerse sin ningún deterioro en los ácidos grasos, bajo la refrigeración entre 4 a 5°C durante un máximo de 4 meses o a temperatura de 25 °C durante un máximo de 2 meses (Irakli *et al.*, 2015). De acuerdo a Ramezanzadeh *et al.* (2000) aplicando calor con microondas por 3 minutos y envasado en bolsas con cierre de cremallera, puede almacenarse entre 4-5 °C durante hasta 16 semanas, sin causar efectos adversos en los ácidos grasos y demás nutrientes.

Por su parte, Bagchi *et al.* (2014) ratifican la calefacción con microonda como el procedimiento más efectivo de estabilización en la preservación de las muestras tratadas y almacenadas por 180 días de conservación a temperatura ambiente, al compararlo con otras técnicas como autoclave, secado en horno y etanol (**Figura 4**). Encontrándose la muestra de salvado sin estabilizar (control) completamente rancia, decolorada con formación de grumos y presencia de olores desagradables que aumentó progresivamente durante el período de estudio, a diferencia de la tratada con microondas a razón de 2,5 minutos de mejor calidad de todas en cuanto a mejor textura, olor y color con menor contenido de ácidos grasos libres y mejor capacidad antioxidante.

De acuerdo a Akhter *et al.* (2015) el ácido clorhídrico a una concentración de 30 mL/kg contribuye en inactivar efectivamente la lipasa, así como en reducir significativamente los contenidos de AGL en muestras de salvado de arroz almacenadas durante 60 días de almacenamiento a temperatura ambiente al compararlo con otros productos químicos utilizados en el mismo estudio como ácido fosfórico, ácido acético y metabisulfito de sodio. La irradiación gamma con dosis superiores a 12 kGy también es efectiva para inactivar lipasa y mantener estable el salvado durante el almacenamiento (Jha *et al.*, 2013).

			
Control	Autoclave y secado a 80 °C durante la noche	Horno a 130 °C/ 20 min	Horno a 180 °C/ 5 min
			
Microondas a 900 vatios /1 min	Microondas a 900 vatios /1,5 min	Microondas a 900 vatios /2,5 min	Etanol/6 horas

Fuente: Bagchi *et al.* (2014)

Figura 4. Efecto de la estabilización del salvado durante el almacenamiento

I.3.6. Datos de producción industrial y ventas del salvado de arroz

En Venezuela existen zonas con condiciones favorables para la explotación del cultivo de arroz, como son los estados: Barinas, Cojedes, Guárico, Portuguesa y Yaracuy. La producción nacional desde 2000 hasta 2014, se situó en 14.265.331 Ton, lo que representa volúmenes importantes de producción nacional por año (Fedeagro, 2016). De su procesamiento se ha obtenido el arroz de consumo humano y salvado de arroz como subproducto de la agroindustria que en la actualidad está siendo utilizado casi en su totalidad principalmente en planes alimenticios pecuarios, fertilizantes y gran parte como desecho (Prato, 2011). Lo que ha conllevado a diseñar alternativas para darle un mejor uso en el ámbito alimentario. Aunque históricamente no ha existido registros de producción en salvado de arroz en el país, hay conocimiento de su producción tanto para fines comerciales como de investigación en los estados: Guárico (Planta Procesadora de Arroz Llano Verde), Portuguesa (Empresa Arroz Mary, Cristal, Ensila, Lam Chispa y en Yaracuy (Fundación Danac de Empresas Polar). Por sus bondades nutricionales, también se le ha dado en parte auge en la industria alimentaria para la elaborar y enriquecer productos de panificación (Pacheco *et al.*, 2002). Por otra parte, se ha indicado que entre un 70 % a 80 % de la producción nacional ha sido direccionado a formular alimentos para programas pecuarios y un 20 % aproximadamente para diversificar su uso para matrices de la cadena alimentaria (Prato, 2011).

La producción mundial estimada en salvado de arroz ha oscilado a 76 millones de toneladas/año (Friedman, 2013). La tendencia en los últimos años, ha sido en darle más interés en intensificar la producción para enriquecer harinas refinadas y obtener una amplia variedad de productos alimentarios como panes, galletas, pizzas, bocadillos y pastas, ya que contiene muchas características y componentes que lo hacen atractivo en la preparación de estos alimentos (Ozdestan *et al.*, 2014; Irakli *et al.*, 2015).

En Pakistán, durante el periodo 2007-2008, se generó en promedio entre 450 a 500 mil toneladas en salvado de arroz (GOP, 2008). Mientras que, en Argentina, se ha obtenido alrededor de 100 mil toneladas por año, dirigido en su totalidad a la alimentación animal (Suárez y Schang, 2003).

En Colombia, se ha referido producciones para el periodo 2004-2005 de 152.000 ton/año de salvado, cantidad que representó el 5,42 % del total de la producción anual. Adicionalmente, el precio osciló en 400 pesos/kg, y se usó principalmente para producciones pecuarias, la industria farmacéutica y en una pequeña escala en la producción agroalimentaria. Por sus bondades nutricionales ha despertado interés

en la industria agroalimentaria en el referido país, igualmente se han obtenido alrededor de 180.000 toneladas al año (Tadeo, 2010).

En la India y en otros países asiáticos, se han reportado anualmente volúmenes de producción promedio de 1 millón en toneladas de salvado, debido a precios bajos para adquirirlo, ha conllevado a que sea direccionado principalmente a la suplementación animal y la elaboración de nuevos productos para el consumo humano, como una estrategia de ofrecer alimentos con contenidos nutricionales que proporcionen los nutrientes requeridos ante la mal nutrición existente en estas regiones, con mucha atención inicialmente a los infantes y adultos mayores (Sumantha *et al.*, 2006).

Visto gráficamente, la producción de salvado reportada hasta el momento es de 1.727.000 ton/año; siendo la India y otros países asiáticos los que presentan el mayor volumen reportado en producción con 1.000.000 ton/año (58 %) del total general producido; seguido por Pakistán con 475.000 ton/año (28 %), Colombia con 152.000 ton/año (9 %) y Argentina con 100.000 ton/año (6 %) del total (Figura 5).

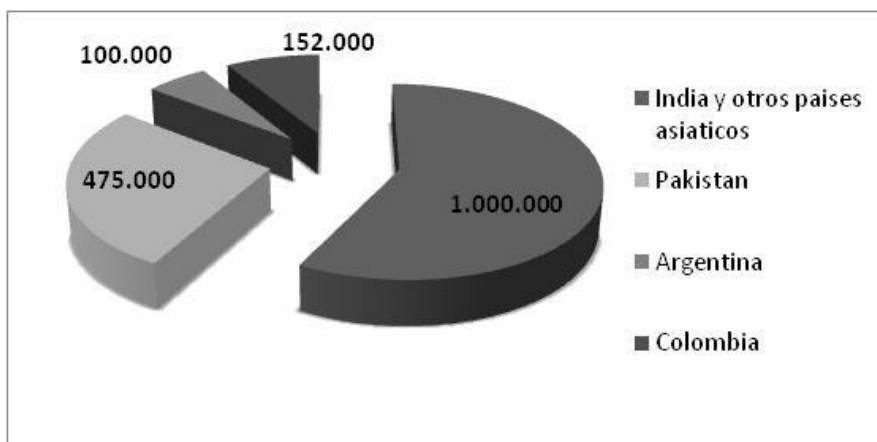


Figura 5. Producción mundial salvado de arroz (Ton/año)

I.4. Fibra y sus componentes

El establecimiento de una definición precisa de fibra, ha sido históricamente el principal debate de la comunidad científica durante varias décadas (Olive Li y Komarek; 2017). En los últimos 60 años se le ha dado diferentes denominaciones tales como fibra cruda, dietaria, dietética o alimentaria (Tungland y Meyer, 2002; García *et al.*, 2008). Aunque, existe un consenso generalizado para establecer un concepto más moderno debe darse un enfoque tanto químico como fisiológico, considerándose desde esta perspectiva como un ingrediente funcional que juega un papel fundamental por la gran diversidad en usos que se le puede dar en la industria de alimentos (Fadaei y Salehifar, 2012; Mudgil, 2013; Westenbrink *et al.*, 2013).

I.4.1. Fibra alimentaria o dietética

Son polímeros de hidratos de carbono que se encuentran presentes en las paredes celulares de los vegetales, constituida por componentes solubles e insolubles; tales como lignina, celulosa, hemicelulosas (arabinoxilanos y arabinogalactanos) incluyéndose a otros carbohidratos no digeribles como el almidón resistente, hidrocoloides (proteínas, gomas, mucílagos, β -glucanos) y oligosacáridos (maltodextrinas, galactooligosacáridos, fructooligosacáridos) que escapan a la digestión de las enzimas digestivas del humano, los cuales no son digeridos, ni absorbidos en el intestino delgado, terminando de ser degradados parcial o totalmente por la microflora del colon (Comisión del Codex Alimentarius, 2009; Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010; Mudgil, 2013).

I.4.2. Importancia de la fibra en la industria alimentaria y en la salud humana

La fibra juega un papel fundamental en la industria de la tecnología de alimentos para desarrollar y promocionar alimentos nutritivos de consumo, debido a que puede aprovecharse para dar textura, gelificación, espesante, emulsionante y estabilizante en una amplia gama de alimentos (Kuren y Wyrwisz., 2015; Sardarodiyani y Salehi, 2016; Olive Li y Komarek, 2017). Por otro lado, la fibra ha mostrado ser un componente de la dieta esencial para un estado óptimo de la salud humana. Los estudios científicos sobre los beneficios de alimentos ricos en fibra, han permitido identificar claramente destacados efectos favorables en la salud humana en prevenir y/o reducir el riesgo de enfermedades tales como: regular procesos metabólicos, disminuir la hipercolesterolemia y hipertrigliceridemia en plasma sanguíneo, controlar la glucemia, prevenir la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, el cáncer de colon, mantener la flora microbiótica benéfica (Bifidobacterias -

Lactobacilos) y fortalecer el sistema inmune (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamami, 2010; Cañas *et al.*, 2011; Mohd *et al.*, 2013; Almeida-Alvarado *et al.*, 2014). Consumir cereales y sus subproductos como el salvado de arroz, pueden contribuir en prevenir y controlar las referidas patologías (Falcón *et al.*, 2009; Mohd *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2015).

I.4.3. Composición general de la fibra alimentaria

En líneas generales, los componentes que en la actualidad se consideran parte de la fibra no son muy distintos de aquéllos discutidos en años anteriores (**Cuadro 4**). La fibra se compone de polisacáridos no almidonosos, oligosacáridos no digeribles y sustancias asociadas (Escudero y González, 2006; Plaza *et al.*, 2013). Por otra parte, los polisacáridos que contiene el salvado son básicamente celulosa, hemicelulosas (arabinoxilanos), β -glucanos y lignina (Mohd *et al.*, 2013; Gul *et al.*, 2015).

Cuadro 4. Componentes de la fibra

Polisacáridos no almidonosos: celulosa, hemicelulosas (arabinoxilanos y arabinogalactanos), pectinas, hidrocoloides (gomas, mucílagos, β -glucanos), compuestos menores (ceras, cutinas y suberina).
Oligosacáridos no digeribles: maltodextrinas, dextrinas resistentes, galactooligosacáridos (GOS), inulina y fructooligosacáridos (FOS)
Sustancias asociadas: almidón resistente y lignina

Fuente: Escudero y González (2006), Plaza *et al.* (2013).

En virtud de la importancia que tienen los componentes que forman parte de la fibra, así como los que constituyen el salvado de arroz, a continuación se menciona una breve descripción de los polisacáridos principales de la fibra alimentaria.

I.4.3.1 Polisacáridos

Los polisacáridos son macromoléculas de monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos. Dentro de estos se incluyen a los polisacáridos no almidonosos que se encuentran principalmente en las paredes celulares de los vegetales con diferentes grados de solubilidad en agua, tamaños y estructuras, los cuales tienen diferentes efectos sobre la fisiología del intestino y el organismo en general. En la fracción de fibra insoluble, se incluyen como polisacáridos a la celulosa, galactomananos, xilanos, xiloglucanos y lignina, mientras que en la fibra soluble se incluyen a las pectinas, arabinogalactanos, arabinoxilanos y β -glucanos (Caprita y Caprita, 2011).

I.4.3.2. Polisacáridos no almidonosos

Son todos los polímeros de carbohidratos presentes en las células de los vegetales comestibles que contienen 10 o más residuos de monosacáridos (Plaza *et al.*, 2013). Se diferencian por el número y tipo de unidades monoméricas unidas entre sí, el orden en la cadena, los tipos de enlaces entre los diversos monómeros, la presencia de puntos de ramificación en la cadena principal de la molécula. Han sido clasificados en celulosa, hemicelulosas, β -glucanos, pectinas, gomas y mucílagos. También se incluyen las sustancias asociadas como la lignina y compuestos menores tales como ceras, cutinas, polifenoles y fitatos (AACC, 2001; Gray, 2006). El contenido de polisacáridos no almidonosos en las plantas pueden variar de acuerdo a factores como el tipo de cultivo, variedad genética, manejo agronómico del cultivo, factores ambientales, madurez fisiológica, época oportuna de cosecha, procesamiento y almacenamiento luego de la cosecha. Adicionalmente aún en una misma especie de cultivar pueden tener diferentes grados de solubilidad en agua, tamaño y estructura (Caprita y Caprita, 2011).

I.4.3.2.1. Celulosa

Es un polisacárido lineal no ramificado y el más abundante de las paredes celulares de los vegetales, consta de hasta 10.000 unidades de glucosa por molécula. Las moléculas lineales de glucosa se encuentran estrechamente agrupadas como fibras largas, formando una estructura insoluble y resistente a la digestión por las enzimas humanas. Las fuentes más importantes son las verduras, frutas, el salvado de cereales como el salvado de arroz y trigo (Gray, 2006; Mudgil, 2013).

I.4.3.2.2. Hemicelulosas

Son polisacáridos que contienen otros azúcares adicionales a la glucosa y se encuentran asociados con la celulosa en las paredes celulares de las plantas. Las hemicelulosas son moléculas tanto lineales como ramificadas, más pequeñas que la celulosa, contienen entre 50 a 200 unidades de pentosa como la xilosa y la arabinosa, también contienen unidades de hexosa tales como la glucosa, galactosa, manosa, ramnosa, glucurónico y ácido galacturónico. Se encuentran presentes en la mayoría de los vegetales entes estos se incluye el salvado de arroz y/o trigo (Escudero y González, 2006). Estos subproductos contienen polisacáridos como los arabinoxilanos y arabinogalactanos. El salvado de arroz, contiene hemicelulosas que se corresponde principalmente a arabinoxilanos (Gul *et al.*, 2015).

I.4.3.2.2.1. Arabinoxilanos

Son los principales polisacáridos no almidonosos que se localizan en las capas externas de los cereales como el trigo (*Triticum aestivum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), sorgo (*Sorghum vulgare*), maíz (*Zea mays* L.) y sus subproductos como el salvado. Una de sus principales características es la capacidad de formar soluciones viscosas y geles. Adicionalmente, ha despertado gran interés debido a que presentan propiedades deseables como: olor y sabor neutro; estabilidad al pH, y a los cambios de temperatura. Estas características en general, les confieren aplicación potencial como matrices alimentarias, lo cual podría aprovecharse para dar valor agregado en la preparación de una amplia gama de alimentos (Morales-Ortega *et al.*, 2013). Entre las propiedades funcionales más destacadas de estos polisacáridos se encuentra la capacidad de retener agua y aceite que pueden favorecer a la textura del producto horneado en cuanto a proporcionar más frescura, lo que brinda una mejor aceptación del alimento por parte del consumidor (Bagdi *et al.*, 2016).

I.4.3.2.3. β -glucanos

Son polímeros de glucosa, a diferencia de la celulosa tienen estructuras ramificadas de menor tamaño y menor peso molecular, estas características son importantes ya que determinan su solubilidad, formando soluciones más viscosas que la celulosa (Gray, 2006). Las fuentes principales son los cereales como la avena y la cebada, pero se puede encontrar en pequeñas cantidades en el salvado de cereales (Gray, 2006; Kamal-Eldin *et al.*, 2009).

I.4.3.3. Sustancias asociadas

I.4.3.3.1. Lignina

No es un polisacárido, pero se encuentra unido a la hemicelulosa y por lo tanto está íntimamente asociado a los polisacáridos de las paredes celulares de las plantas, su función es dar rigidez a la pared celular haciéndola resistente a impactos. De todos los constituyentes que forman parte de la fibra es el de mayor resistencia a la digestión. La lignificación de sus tejidos también permite mayor resistencia al ataque de los microorganismos y por ende daños micóticos (Gray, 2006). Puede encontrarse en muy pequeñas cantidades en verduras, frutas, hortalizas y en los salvados (arroz y trigo) puede estar presente en cantidades promedio de un 3 % (Escudero y González, 2006).

I.4.3.3.2. Almidón resistente

Es la suma del almidón y sus productos de degradación que no son digeridos en el intestino delgado de los humanos (Laurentin y Edwards, 2013). De acuerdo a esta definición, los referidos investigadores lo han clasificado y definido en las siguientes categorías:

I.4.3.3.2.1. Almidón físicamente inaccesible (RS1)

Son almidones físicamente inaccesibles y están protegidos a la acción de la enzima alfa-amilasa, esta inaccesibilidad se debe a la presencia de paredes celulares de las plantas que atrapan el almidón, pueden estar presentes en semillas de leguminosas y granos enteros o parcialmente molidos. También pueden estar presentes en alimentos altamente procesados como la pasta compacta. Su contenido se puede afectar por la disrupción de la estructura de los alimentos durante el procesamiento.

I.4.3.3.2.2. Almidón nativo (RS2)

Son almidones cristalizados que no pueden ser atacados enzimáticamente si no se gelatinizan previamente. Cada planta en particular tiene gránulos de almidón característicos que difieren en tamaño, forma, cantidad de amilosa y amilopectina, y los complejos lípido-amilosa, entre otras características. Se ha estimado que las combinaciones de estos factores hacen que algunos gránulos sean más resistentes al ataque de las enzimas digestivas que otros gránulos. Este tipo de almidón se encuentra en plátanos verdes, papas crudas y almidones ricos en amilosa como el amilomaíz. El mismo desaparece durante la cocción, especialmente en agua, debido a una combinación de agua y el calor gelatiniza el almidón, lo cual permite un mayor acceso a las enzimas amilasas.

I.4.3.3.2.3. Almidón retrogradado (RS3)

Es el almidón más abundante de los almidones resistentes que pueden estar presentes en los alimentos. Se forma por fenómenos como la cocción, enfriamiento y almacenamiento de los alimentos, lo que causa la retrogradación (recristalización), disminuyéndose el acceso a la degradación enzimática intestinal. Este tipo de almidón puede verse afectado por cantidad de amilosa y amilopectina, la cantidad de agua y la temperatura durante la cocción, por el número repetidos de cocción y ciclos de enfriamiento. Se puede encontrar en productos horneados como los panes, algunos cereales y papas cocidas y enfriadas.

I.4.3.3.2.4. Almidón químicamente modificado (RS4)

Es un almidón que ha sido modificado químicamente por medios ácidos, pirodextrinización enzimática entre otros, los cuales se producen de forma industrial. Pueden estar presentes en alimentos procesados como alimentos para infantes, pasteles, entre otros afines.

Adicionalmente se ha propuesto otro tipo de almidón resistente a las categorías anteriormente descritas, la cual se ha definido basada principalmente en su digestibilidad y funcionalidad como ingrediente alimentario (Birt *et al.*, 2013).

I.4.3.3.2.5. Almidón complejo amilosa-lípido (RS5)

Es un almidón térmicamente estable que se forma de la interacción de los lípidos con la amilosa, este complejo puede reformarse luego del proceso de cocción, lo que permite ampliar su uso en el procesamiento de alimentos y con tendencia a ser más resistente a la digestión por el alto contenido de amilosa, lo que puede contribuir en importantes efectos biológicos en la salud humana ((Birt *et al.*, 2013).

I.5. Usos del salvado de arroz en la industria panadera

Su utilidad se atribuye muy especialmente a que posee propiedades tecnológicas que brindan efectos positivos en el desarrollo de nuevos productos horneados al permitir mejorar las características nutricionales y sensoriales (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamami, 2010; Fadaei y Salehifar, 2012). Se ha demostrado que incorporándolo en fórmulas de panadería proporciona humedad, prolonga la frescura, mejora el sabor, la suavidad y la firmeza del producto (Bagheri y Mehdi, 2011; Mudgil, 2013; Irakli *et al.*, 2015). También se ha avalado exitosamente su uso por su efecto antioxidante para mejorar la estabilidad durante el almacenamiento de los alimentos, y por ende prolongar su vida útil en anaquel (Kim y Gobder, 2001; Sairam *et al.*, 2011).

I.5.1. Propiedades funcionales tecnológicas del salvado de arroz en la industria de alimentos

En lo referente a las propiedades tecnológicas del salvado de arroz como ingrediente para elaborar nuevos productos alimenticios, se tienen evidencias bien establecidas en la industria de alimentos para ser utilizado, entre las cuales cabe destacar: tamaño de la partícula, viscosidad, capacidad en retener agua y lípidos (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamami, 2010; Cañas *et al.*, 2011). Estas características, deben ser consideradas al momento que se desee formular y elaborar un nuevo producto sustituido con salvado, debido a que influyen notablemente en la calidad del producto terminado, incidiendo en la humedad, peso, volumen específico y parámetros sensoriales como el color, olor, sabor, y textura (Majzoobi *et al.*, 2013). Entre estas propiedades funcionales cabe destacar y describir las siguientes:

I.5.1.1. Tamaño de la partícula

El tamaño de la fibra a utilizar en la elaboración de un producto horneado, tiene un efecto directo en su calidad sensorial. En el caso de fibras con granulometría fina pueden absorber mayor proporción de grasas, no afectando la apariencia general del alimento, su sabor y palatabilidad al degustarlo. Sin embargo, fibras con tamaño de partículas más grandes y unido a mayor adición de salvado en la mezcla, se traduce en absorber mayor cantidad de agua en la masa, haciéndola más viscosa, e impartiendo sensación fibrosa al degustar el alimento, afectando directamente la retención de gas durante la fermentación, lo que se refleja en efectos adversos en la calidad del producto (Majzoobi *et al.*, 2013).

Se ha establecido que el tamaño ideal de las partículas de fibra para añadirla a un alimento en promedio debe ser alrededor de 50 a 500 micrómetros (μm). Igualmente, tamaños inferiores pueden presentar inconvenientes para la hidratación al favorecerse la formación de grumos, limitando la absorción de grasas, lo que puede afectar el apelmazamiento, incidiendo en su textura interna y externa (Fuentes, 1998; citado por Matos-Chamorro y Chambilla-Mamami, 2010).

Rodríguez (2007) estudió el efecto del tamaño de partículas de 300, 425 y 600 μm sobre las propiedades físicas del salvado de arroz entero (**Figura 6**), notificando que las muestras con 425 μm , presentaron las mejores características referidas a capacidad en absorción de agua (4,16 mL/g) y capacidad en absorción de aceite (3,61 mL/g). Demostrando que las muestras más finas de 300 μm , difieren de los otros grados de molienda con los valores más bajos de capacidad en absorción de agua y aceite.



Fuente: Rodríguez (2007)

Figura 6. Tamaño de partículas en salvado de arroz entero

Estudios realizados por Majzoobi *et al.* (2013), destacan el efecto del tamaño de las partículas (170, 280, 425 y 750 μm) de salvado en niveles hasta 20 %, para procesar pan enriquecido con fibra, obteniéndose productos con características deseables hasta un nivel máximo de sustitución de harina blanca por salvado de trigo en un 15 % y tamaño de partículas hasta 280 μm , pero superiores a estos valores se afecta el color del pan y la apariencia general. Los autores señalan que partículas más grandes en el subproducto, inciden en mayor absorción de agua en la masa y por ende la viscosidad, afectando directamente el amasado y la calidad tecnológica del producto horneado al compararlo con uno comercial. Por lo cual, al momento de la formulación de este tipo de alimentos se debe tener muy presente tanto el tamaño de partícula como el porcentaje de salvado a adicionar, sin causar efectos negativos en su aceptabilidad.

I.5.1.2. Capacidad de retención de agua (CRAg)

Se refiere a la habilidad que tiene la fibra para retener agua en su estructura interna, expresa la máxima cantidad de agua (mL), que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua bajo la acción de una fuerza (Valencia y Román, 2006). Esta propiedad confiere un efecto de frescura y suavidad a productos de la panificación, la misma está correlacionada a su vez con la solubilidad y viscosidad del tipo de fibra incorporada a la mezcla. Por esta razón, los alimentos ricos en fibras solubles como las frutas y las verduras, tienen mayor capacidad de retener agua y formar soluciones altamente viscosas que los cereales enteros y salvados. Alta absorción de agua favorece a la absorción de grasas (López *et al.*, 1997).

La influencia de la capacidad de absorción de agua del salvado de arroz en las propiedades funcionales de los alimentos ha sido especialmente examinada en la industria de la panadería, debido a que desempeña un papel fundamental durante el horneado, incidiendo en la desnaturalización enzimática, la fermentación, la inactivación de la levadura, en el sabor y la formación de color en la corteza (Abdul-Hamid y Luan, 2000; Bagheri y Mehdi, 2011). Igualmente, se ha reportado el efecto funcional del salvado en las características gravimétricas de panes (**Cuadro 5**) en donde se ha reportado que al incrementar el nivel de sustitución aumenta proporcionalmente la absorción de agua, el peso y firmeza, pero disminuye el volumen del producto (Bagheri y Mehdi, 2011). La disminución del volumen en los panes se atribuye a que al aumentar el nivel de salvado en la mezcla interfiere en la formación del gluten y en la retención de dióxido de carbono durante la fermentación (Tuncel *et al.*, 2014).

Cuadro 5. Efecto de la adición de salvado de arroz en las características gravimétricas en panes

Salvado de arroz (%)	Absorción de agua (%)	Peso (g)	Volumen (cm ³)
0	62,5	219,3	1535
5	65,8	228	1505
10	72,2	235,2	1482
15	69,2	250	1425
20	70,2	275,5	1405

Fuente: Bagheri y Mehdi (2011)

Por otra parte, se ha informado que usando el salvado de arroz desgrasado con capacidad de retención de agua en 4,89 mL/g, y capacidad emulsionante del 14,4 %, en proporciones de 5 y 10 % para elaborar panes, unido a su bajo contenido de fibra soluble, permitió reducir el volumen, aumentar el peso y la firmeza, mostrándose más frescos y más húmedos, presentando características muy similares en cuanto a sabor, olor y olor a los disponibles en el mercado (Abdul-Hamid y Luan, 2000).

I.5.1.3. Capacidad de retención de aceite (CRAc)

Esta propiedad hace referencia a la máxima cantidad de grasa (g) que puede ser retenida por gramo de materia seca en presencia de un exceso de aceite bajo la acción de una fuerza (Rodríguez, 2007). Esta

característica está muy relacionada también con el tamaño de la partícula, ya que mientras mayor sea el tamaño de la partícula en la fibra, mayor es la capacidad de absorción de agua y de aceite en su estructura. Se ha observado que las fibras insolubles presentan mayor habilidad para absorber grasas que las solubles, permitiéndoles servir como emulsionantes (Fadaei y Salehifar, 2012).

Bagheri y Mehdi (2011), estudiaron el efecto del salvado de arroz estabilizado con calor en niveles de 5 %; 10 %; 15 % y 20 %, para elaborar productos tipo pan. Observando que al aumentar el nivel de sustitución hasta un 10 %, se favorecía la absorción de agua y la retención de aire en la masa durante la fermentación, con lo que disminuía la resistencia al moldeo de la masa, incidiendo en textura más suave de las migas y mejor aceptación en sabor y color.

I.6. Pan, ingredientes, proceso de preparación y aportes del salvado estabilizado

I.6.1. Definición de Pan

El pan es un producto de consistencia esponjosa resultante de la cocción de una masa obtenida al mezclar harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por la acción de las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) activas, adicionando o no cualquier otro ingrediente o aditivo autorizado (COVENIN 226-88). Durante el procesamiento del pan es importante considerar el orden de incorporación de los ingredientes, ya que esto influye en la calidad del producto. Inicialmente se adicionan todos los ingredientes secos (harina, azúcar, sal, y/o cualquier otro aditivo) seguido de los ingredientes líquidos (agua, esencias, entre otros) y finalmente el aceite, luego de efectuarse un mezclado parcial de los ingredientes (Taghinia *et al.*, 2015). Un pan de buena calidad debe tener una corteza crujiente, de miga con tonalidad blanca cremosa, de olor apetitoso, sabroso y con buena conservación (Osorio y Galvis, 2009).

I.6.2. Ingredientes principales en panificación y su función

Los ingredientes básicos en la preparación de panes de molde son: harina de trigo, agua, sal y levadura:

I.6.2.1. Harina de trigo

Es el insumo principal para preparar pan. La más idónea en panificación es la obtenida de la molienda del grano de trigo maduro, limpio, sano y seco. Se prefiere siempre que sea harina de fuerza, es decir

que tenga un alto contenido de proteína (gluten), preferiblemente superior al 11 % para obtener panes de buena calidad. El gluten está formado por gliadinas (prolaminas) y gluteninas que son proteínas insolubles que al hidratarse forman una red viscoelástica proporcionando características ideales a la masa en la etapa del amasado, debido a que retienen más agua, lo que permite obtener masas más flexibles, favoreciendo la retención de gas durante la fermentación, así como el aumento del volumen, aspecto y textura del pan. Estas características son únicas y le dan gran versatilidad a la harina de trigo para elaborar exitosamente productos panificados (Torres *et al.*, 2011).

I.6.2.2. Agua potable

Es el segundo componente mayoritario en la masa y constituye un componente esencial en la panificación al servir de vehículo para que los ingredientes, al mezclarse, formen la masa. Además, permite que se hidraten las proteínas de la harina para que la masa adquiera textura blanda y moldeable. Su presencia también es necesaria para la gelatinización del almidón durante la cocción, para el desarrollo de las levaduras, controlar la temperatura de la masa, disolver sales y hacer posible la actividad enzimática. Es por estas razones que es necesario que se usen aguas potables o filtradas, ya que su calidad y composición influyen en la formación de la masa. Es notable resaltar que aguas ácidas o demasiado duras, afectan la formación de la red del gluten, mientras que las alcalinas suavizan la masa. De ahí radica la importancia el utilizar aguas potables en la elaboración del pan para evitar que estos factores afecten negativamente a la masa e inhibiendo o retardando la acción de las levaduras en la fermentación (Torres *et al.*, 2011).

I.6.2.3. Sal

El cloruro de sodio o sal común, tiene la facultad de dar sabor y reforzar los aromas en el pan. Además, es importante porque da fuerza al gluten, lo que hace la masa más resistente, aumentando su capacidad de retención de agua y así evitar fermentaciones indeseables dentro de la masa. La sal contribuye también de una forma indirecta en la formación del color marrón característico de la corteza, debido a que controla la acción de la levadura y retarda la fermentación, generando un exceso de azúcares que durante el horneado favorecen la formación de colores dorados en la corteza (Torres *et al.*, 2011).

I.6.2.4. Levadura

En panadería se llama levadura al componente microbiano aportado a la masa, con el fin de hacerla fermentar de modo que se produzca etanol y dióxido de carbono (CO₂). El dióxido de carbono queda atrapado en la masa, la cual se esponja y aumenta de volumen. A este fenómeno se le denomina levantamiento de la masa (Henspenger *et al.*, 2002). Una de las levaduras más conocidas en panificación es la especie *Saccharomyces cerevisiae* que actúan seguido de la actividad enzimática que hidrolizan el almidón en azúcares fermentables: glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa (Gil, 2010). Las levaduras, tienen la facultad de crecer en forma anaerobia metabolizando los azúcares fermentables realizando una fermentación de tipo alcohólica, dando origen a elevadas concentraciones de alcohol etílico y CO₂ (Torres *et al.*, 2011). Al producirse el CO₂ en la fase acuosa, el pH disminuye y la fase acuosa se satura de CO₂. Una vez saturada el agua, el CO₂ en exceso entra en las burbujas de aire y aumenta la presión. Dada las propiedades viscoelásticas de la masa, la celda de gas se expande para equilibrar la presión; es así como el volumen de la masa aumenta, generando el sistema esponja. Adicionalmente, son las responsables de formar ciertos compuestos que dan sabores típicos en el pan (Osorio y Galvis, 2009; Torres *et al.*, 2011).

I.6.2.5. Otros aditivos

En panadería también se pueden utilizar otros ingredientes opcionales denominados coadyuvantes o mejoradores del proceso de panificación cuyas funciones consisten principalmente en estimular la fermentación, reforzar el gluten, dar volumen a la masa y modificar sus características plásticas. Cabe destacar entre estos mejorantes de procesos tecnológicos panaderos a los antioxidantes como el ácido ascórbico, emulsionantes como la lecitina o ácidos grasos y enzimas como las amilasas o las lipooxigenasas que actúan como catalizadores de diferentes reacciones bioquímicas que tienen efectos positivos en el procesamiento del pan y calidad final (Torres *et al.*, 2011; Tuncel *et al.*, 2014). El uso de antimicrobianos, tales como el propionato de sodio y de calcio son los más recomendados a dosis moderadas, debido a que su actividad sobre las levaduras es mínima, permitiendo una buena fermentación de la masa e inhibiendo el crecimiento de bacterias y hongos (Salgado-Nava y Jiménez-Munguía, 2012). Aunque el aceite esencial del clavo de olor tiene capacidad inhibitoria en hongos, favoreciendo la vida útil en anaquel en productos panaderos (Pilco *et al.*, 2009).

I.6.3. Métodos de panificación

Existen en general tres sistemas de elaboración de pan que están determinados principalmente por el tipo de levadura utilizada (Tejero, 1992-1995; Callejo, 2002 citados por Mesas y Alegre, 2002):

I.6.3.1. Directo

Es el menos frecuente y se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Requiere un periodo de reposo de la masa de unos 45 minutos antes de la división de la misma. No es útil en procesos mecanizados con división automática volumétrica.

I.6.3.2. Mixto

Es el sistema más frecuente para preparar pan común. Utiliza simultáneamente masa madre (levadura natural) y levadura comercial. Requiere un reposo previo a la división de la masa de aproximadamente entre 10 a 20 minutos. Es el más recomendable cuando la división de la masa se hace por medio de divisora volumétrica.

I.6.3.3. Esponja

Es el sistema más empleado en la elaboración de pan francés y sobre todo en la de pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 a 40 % del total de la harina, la totalidad de la levadura (comercial) y tantos litros de agua como kilos de harina. Se deja reposar unas horas, se incorpora el resto de la harina y del agua y a partir de ahí se procede como en el método directo.

I.6.3.4. Pan de molde

También llamado americano, es un pan esponjoso de corteza blanda en cuya cocción se emplean moldes, es muy requerido en todo tipo de mercado por su buen sabor (Alvis *et al.*, 2011).

I.6.4. Proceso para la preparación de pan tipo molde

En el **Cuadro 6**, se presentan las etapas y definiciones para la preparación de pan tipo molde, basado en los estudios publicados por Quaglia (1991); Kamel (1993); Guinet y Godon (1996); Cauvain y Young, (1998) citados por Mesas y Alegre (2002); Osorio y Galvis, 2009.

Cuadro 6. Etapas de preparación en pan de molde

Etapas	Descripción
Mezclado	Consiste en unir bien todos los ingredientes: harina de trigo, sal comestible, levadura y agua potable para así evitar la presencia de grumos. Primero se adicionan los ingredientes sólidos y una vez obtenida una mezcla homogénea se agrega paulatinamente el agua que proporciona a la masa elasticidad y extensibilidad. Dura en promedio 2 a 5 min.
Amasado	Dura entre 5 a 8 minutos, cuyo propósito es lograr la mezcla homogénea de los ingredientes para obtener una masa elástica, flexible, suave, homogénea y consistente, con un cierto volumen debido a la hidratación de las proteínas del gluten. El buen desarrollo del gluten es de vital importancia para propiciar una mayor retención del gas durante la fermentación.
División y pesado	Consiste en efectuar la división y pesado de una gran masa. Posteriormente se realiza una subdivisión volumétrica en pequeños pedazos de acuerdo al peso de la barra deseada. No debe durar más de 25 min porque se puede iniciar la fermentación.
Boleado	Consiste en dar forma de bola al fragmento de masa, su objetivo es reconstruir la estructura de la masa tras la división y formar piezas redondas, con una capa externa lisa y seca.
Reposo	Cuyo propósito es dejar descansar la masa por 25-30 min a temperatura ambiente para que se recupere de la desgasificación sufrida durante la división y boleado. Durante el referido tiempo la actividad de las levaduras comienza a generar CO ₂ y la masa aumenta el doble de su tamaño. El tiempo de reposo es clave para aportar a la masa maduración y cualidades plásticas necesarias que permitan darle forma, otorgándole la fuerza y el equilibrio óptimo.
Moldeado	Consiste en golpear la masa con las palmas de las manos para darle forma simétrica, extraer parcialmente las burbujas de aire y así evitar la formación de agujeros en las rodajas del pan ya horneado, seguidamente cada masa moldeada se coloca en un molde. Esta fase tarda entre 5 a 7 minutos y es una de las más críticas en panificación ya que muchos de los defectos originados en el pan suelen ser causados por una mala manipulación de la masa durante el moldeado.
Fermentación	Es una de las etapas más importantes en el proceso, ya que determina la calidad del producto terminado. Dura en promedio 60-90 min a 25-35°C que consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares fermentables en etanol y CO ₂ , aldehídos y cetonas, obteniéndose en menor proporción el ácido acético, butírico y láctico. Los productos minoritarios proporcionan aroma, sabor y una cierta acidez que contribuye en la conservación del pan. La formación de CO ₂ es vital para que al ser retenido en la masa ésta se esponje, favoreciendo en el sabor del pan. Esta etapa culmina cuando la temperatura interna de la pieza alcanza en el horno entre los 55 a 60 °C.
Horneado	En esta etapa la masa sufre una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, de forma que al final se obtiene un producto comestible y con buenas características sensoriales y nutritivas. Se realiza en hornos a temperaturas promedio de 190 hasta 250 ° C. Su objetivo es la transformación de la masa fermentada en pan, lo que conlleva a la evaporación de todo el etanol producido en la fermentación, la evaporación parcial del agua, la coagulación de las proteínas, la gelatinización del almidón, su transformación en azúcares menores y el pardeamiento de la corteza.
Enfriamiento	Es una etapa esencial para el posterior envasado, ya que si se envasa caliente se formaría una película de agua sobre la superficie del pan, lo cual favorecería el crecimiento microbiano.
Empacado	Las piezas ya cortadas, son envasadas de inmediato y almacenadas hasta su comercialización.

I.6.5. Aportes nutricionales del salvado estabilizado de arroz en la preparación de panes

De acuerdo a Olagnero *et al.* (2007), productos horneados como panes adicionados con salvados de cereales o mezclados como harinas integrales, ya han sido clasificados como alimentos con un alto contenido nutricional por sus aportes altos en fibra, y otros nutrientes tales como: proteínas, grasas y minerales que en conjunto representan interesantes propuestas alimenticias para ser ofrecidas a la población.

Por otra parte, cabe destacar que para considerar un alimento rico en fibra, debe contener como mínimo en fibra 3g/100g de producto sólido (Código Alimentario Argentino, 2011; citado por Zapata *et al.* (2013), por lo cual consumir alrededor de 25-30 g/día de fibra en personas adultas aporta beneficios (Slavin *et al.*, 2009).

Teniendo presente la recomendación señalada anteriormente y basado en la ingesta de recomendación diaria en fibra, se infiere que los productos presentados en el **Cuadro 7**, son buenas fuentes en fibra, proteína, grasa y cenizas, observándose que al incrementarse el contenido de salvado estabilizado añadido parcialmente por harina de trigo en diferentes proporciones, se logra mejorar el perfil nutricional y a su vez al adicionar porcentajes óptimos de salvado estabilizado, se obtienen mejoras en los atributos sensoriales.

Cuadro 7. Composición nutricional de productos horneados sustituidos con salvado de arroz (% base seca por cada 100g de producto)

Producto	Fibra	Proteína	Grasa	Cenizas	Calidad sensorial	Referencia
Pan control	3,03	16,80	2,14	0,82	Mejor calidad	Pacheco <i>et al.</i> (2009)
Pan SA* (5 %) estabilizado horno	4,15	16,78	2,88	1,15	Buena calidad (sabor, color y esponjosidad)	
Pan SA* (10 %) estabilizado horno	5,0	16,70	3,25	1,42	Se afectó parcialmente la calidad (color, sabor y textura)	
Pan control	3,67	10,95	nd	nd	Mejor calidad	Vargas y Haros (2010)
Pan SA* (10 %) estabilizado autoclave	6,09	12,14	nd	nd	Afectó ligeramente (color, sabor y textura). Buena aceptación	
Pan control	2,25	11,86	2,50	1,55	Mejor calidad: color y textura	Irakli <i>et al.</i> (2015)
Pan SA* (10 %) estabilizado horno	4,11	12,32	3,98	2,72	Buena aceptación de la miga (color, firmeza y textura). Favoreció el aroma y sabor	
Pan SA* (15 %) estabilizado horno	4,80	12,52	4,36	2,39		
Pan SA* (20 %) estabilizado horno	5,59	12,57	5,14	2,93	Menor aceptación miga (color, firmeza y textura). Favoreció el aroma y sabor. Migas con colores más oscuros y menor frescura	
Pan SA* (25 %) estabilizado horno	5,91	12,70	5,71	3,18		
Pan SA* (30 %) estabilizado horno	6,42	13,07	6,17	3,96		
Ponquecito control	3,18	13,50	8,18	1,76	Mejor calidad. Todos los atributos	Torres (2009)
Ponquecitos HT-HB-SA* 55:25:20	2,99	12,63	10,11	2,27	Buena calidad (sabor, color y esponjosidad)	
Ponquecitos HT-HB-SA* 55:25:20	2,99	12,63	10,11	2,27	Buena calidad (sabor, color y esponjosidad)	
Galleta control	2,56	nd	nd	nd	Mejor calidad: (color, sabor, frescura, textura, apariencia)	Sharif <i>et al.</i> (2009)
Galletas SA* desgrasado (10 %)	4,25	nd	nd	nd	Mejor calidad en todos los atributos	
Galletas SA* desgrasado (20 %)	5,94	nd	nd	nd	Producto de buena aceptación	
Galletas SA* desgrasado (30 %)	7,63	nd	nd	nd	Incide negativamente en los atributos sensoriales	
Galleta control	nd	10,20	14,20	nd	Mejor calidad sensorial	Younas <i>et al.</i> (2011)
Galletas SA*(10 %) estabilizado horno	nd	11,78	15,93	nd	Mejor aceptación global (color, olor, sabor y textura)	
Galletas SA*(15 %) estabilizado horno	nd	12,56	16,17	nd		
Galletas SA*(20 %) estabilizado horno	nd	13,75	18,10	nd		
Galletas SA*(10 %) estabilizado HCl	nd	11,63	16,12	nd	Menor aceptación global (color y sabor). Más secas	
Galletas SA*(15 %) estabilizado HCl	nd	12,64	16,27	nd		
Galletas SA*(20 %) estabilizado HCl	nd	13,51	17,93	nd		

SA: Salvado de arroz; SA*: Salvado de arroz estabilizado en microondas, nd: no determinado.
HT: Harina de trigo, HB: Harina de batata.

Capítulo II. Materiales y métodos

II.1. Materiales

II.1.1. Lugar de la investigación

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Granos, Raíces y Tubérculos “Dra. Mercedes Baragaño de Mosqueda” y Laboratorio Instrumental de Cereales del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Facultad de Ciencias-UCV. Con apoyo de los laboratorios de Fundación DANAC, Universidad Simón Bolívar y Facultad de Agronomía-UCV.

II.1.2. Materia prima

- ✓ Harina de trigo.
- ✓ Salvado de arroz.
- ✓ Agua potable.
- ✓ Sal
- ✓ Levadura.
- ✓ Ácido ascórbico
- ✓ Leche en polvo
- ✓ Propionato de calcio

El salvado de arroz fue donado por la Fundación DANAC, ubicada en San Felipe, estado Yaracuy. El mismo fue obtenido del procesamiento de los granos de arroz correspondiente a la variedad MD248, y procesado en la referida Fundación de acuerdo a la metodología propuesta por Ávila *et al.* (2014). Inicialmente, los granos se limpiaron y secaron a exposición solar hasta 12 % de humedad, seguidamente se efectuó el descascarillado con un molino marca Grainman N° 64 (Grain Machinery Manufacture, Corp., FL, EE.UU), luego el arroz cargo se le dio dos pases de pulido con un molino McGill N° 2 (Rapsco, Brookshire, TX, EE.UU) obteniéndose el salvado de arroz entero (**Figura 7**).

El resto de los ingredientes para la formulación de los panes fueron adquiridos en locales comerciales de la ciudad de Caracas, manteniendo siempre la misma marca comercial de los productos.

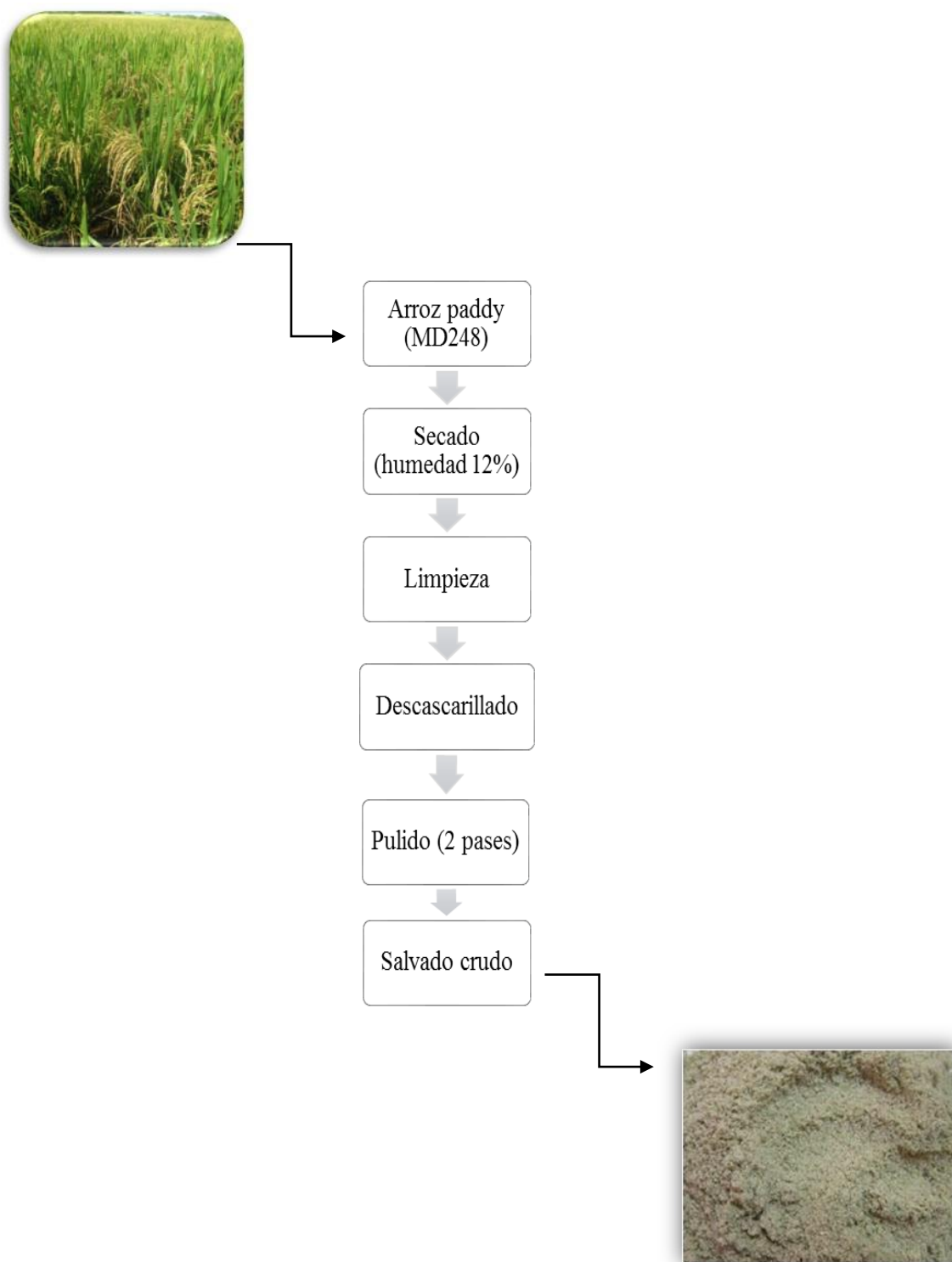


Figura 7. Procesamiento del salvado de arroz entero

II.2. Métodos

II.2.1. Estabilización del salvado de arroz

La estabilización del salvado se realizó siguiendo como base la metodología propuesta por Dos Santos *et al.* (2012), con modificaciones en cuanto al tiempo y temperatura alcanzada durante el proceso. Los ensayos previos permitieron establecer un tiempo total de tres (3) minutos para realizar la irradiación del salvado, tiempo que se aplicó en seis (6) sesiones de treinta (30) segundos, a fin de tener controlada la *reacción de Maillard*. La estandarización del proceso arrojó que 100 gramos de salvado podían ser colocados directamente para cada sesión de estabilizado, por lo cual se procedió a pesar esta cantidad en bandejas de plástico y llevar al microondas (Samsung 475 W) a razón de $\frac{1}{2}$ potencia total del equipo, lo que corresponde a 475W con la cual se garantizaba alcanzar una temperatura promedio de 90 °C. Tras cada dos (2) sesiones de irradiado, la muestra de salvado se homogenizó manualmente para garantizar uniformidad de la temperatura en todos los puntos. Transcurridos el proceso de estabilización el salvado se dejó enfriar y se envasó en bolsas de polipropileno para llevar a congelación (-5 °C) hasta su análisis. La **Figura 8**, representa el flujograma del proceso antes descrito.

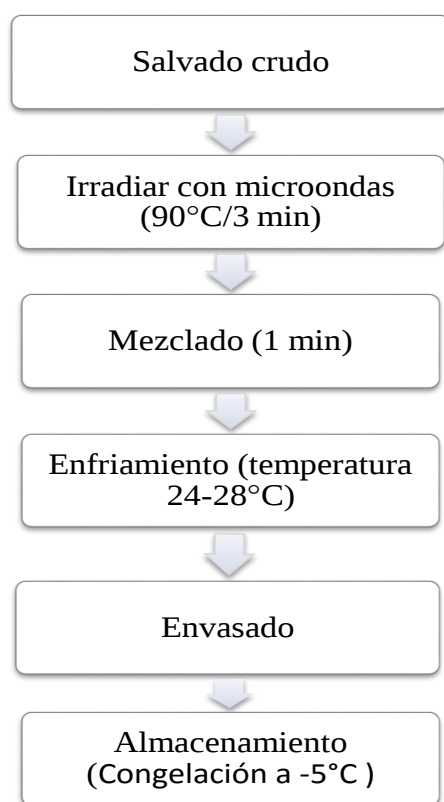


Figura 8. Flujograma del proceso de estabilización del salvado de arroz entero

II.2.2. Propiedades funcionales tecnológicas del salvado de arroz entero y estabilizado

- **Tamaño de la partícula (granulometría)**

La distribución del tamaño de la partícula se realizó siguiendo el protocolo indicado por Fernández-Muñoz *et al.* (2008), el cual consistió en utilizar un conjunto de tamices con mallas 30, 40, 60, > 60 mesh. Se pesaron 100 g de muestra (triplicado) y agitó durante 10 minutos para lograr la separación de las partículas por tamaño. Por cada malla se determinó el peso retenido del salvado y luego se calculó el porcentaje de retención en relación al peso total de la muestra.

- **Capacidad de retención de agua (CRAg)**

Esta propiedad se determinó de acuerdo a la metodología sugerida por Chau *et al.* (1997). Inicialmente se pesaron 1,0000 g de muestra (triplicado) en tubos de centrífuga de 50 mL, se le adicionaron 10 mL de agua destilada y se agitó por 10 min; posteriormente se centrifugó a 3000 rpm durante 30 minutos, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se midió en cilindros graduados de 10 mL.

La CRAg se calculó mediante la siguiente fórmula: $\text{CRAg} = \text{mL de agua retenida} / \text{g de muestra}$.

- **Capacidad de retención de aceite (CRAc)**

Esta propiedad se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Chau *et al.* (1997). Inicialmente se pesaron 1,0000 g de muestra (triplicado) en tubos de centrífuga de 50 mL, se le adicionaron 10 mL de aceite de soya ($\rho = 0,92 \text{ g/mL}$) y se agitó por 10 min; posteriormente se centrifugó a 3000 rpm durante 30 minutos, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se midió en cilindros graduados de 10 mL.

La CRA se calculó mediante la siguiente fórmula: $\text{CRAc} = \text{mL de aceite retenido} / \text{g de muestra}$

II.2.3. Evaluación proximal y nutricional del salvado de arroz entero y estabilizado

Parámetro	Método
Humedad*	AACC (2000)
Cenizas*	AACC (2000)
Proteína cruda*	AACC (2000)
Grasa cruda*	AACC (2000)
Fibra dietética total*	Prosky <i>et al.</i> 1984 (AOAC 985.29)
Carbohidratos por diferencia	Irakli <i>et al.</i> (2015)
Almidón resistente*	Goñi <i>et al.</i> (1996).

Nota: * se realizaron por triplicado.

- **Humedad:** Se efectuó usando el método de desecación en estufa con circulación de aire. Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje.
- **Cenizas:** Se realizó usando el método de incineración al horno a 525 °C. Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje.
- **Grasa cruda:** Se efectuó usando el método de Soxhlet, por extracción con solvente éter de petróleo. Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje.
- **Proteína cruda:** Se determinó usando el método de Micro Kjeldahl, empleando el reactivo de selenio como catalizador y el factor de conversión (6,25). Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje.
- **Carbohidratos por diferencia:** Se obtuvieron por diferencia de 100-(% agua + % proteínas+ % cenizas +% lípidos).
- **Fibra dietética total:** Se fundamenta en efectuar la hidrólisis del almidón y la proteína en tres etapas consecutivas con la α -amilasa, amiloglucosidasa y proteasa. Los valores se corrigieron para cenizas y proteínas (N x 6.25). Los resultados se expresaron en porcentaje.

Procedimiento:

1) Fase I

Digestión

- Se pesó 1,0000 g de la muestra dentro de un beaker de 300 mL.
- Se agregaron 50 mL de buffer fosfato 0,08 M a pH 6,0.
- Se colocó un agitador magnético y agitó hasta dispersión completa.
- Se añadieron 100 μ L de la preparación de α -amilasa.

- Se taparon los beakers con papel aluminio.
- Se llevaron a baño maría a 100 °C x 30 min con agitación constante y se dejó enfriar.
- Se ajustó el pH de la solución a 7,5 ± 0,2 añadiendo 10 mL de NaOH 0,275 N. Para preparar esta solución se añadió 275 mL de NaOH 1,0 N en un balón aforado de un litro con 700 mL de agua destilada.
- Inmediatamente, se le adicionaron 100 µL de la solución de proteasa, suspendida en solución de buffer fosfato (50 mg de la enzima en 1 mL de buffer fosfato).
- Se taparon los beakers con papel de aluminio.
- Se incubaron a 60 °C x 30 min con agitación continua
- Se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Se ajustó el pH a 4,5 ± 0,2 adicionando 10 mL de HCl 0,325 N. Para preparar esta solución se agregó 325 mL de HCl 1,0 N en un balón aforado de un litro con 600 mL de agua destilada.
- Se añadió inmediatamente 300 µL de la enzima amiloglucosidasa.
- Se taparon los beakers con papel de aluminio.
- Se incubó nuevamente con agitación continua a 60 °C x 30 minutos.
- Se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Se le agregó 200 mL de alcohol al 95 % v/v precalentado a 60°C.
- Se taparon nuevamente los beakers con papel de aluminio.
- Se dejó en reposo a temperatura ambiente por 24 horas para permitir la precipitación completa de la solución.

2) Fase II

Filtración

- Se filtró el contenido de cada uno de los beakers en la unidad de filtración a través de los crisoles con celita ya pesados. Previamente a esta etapa, los crisoles se pesaron con la celita (colocando aproximadamente 0,5 g de celita, se llevó a la unidad de filtración, con el equipo en funcionamiento, se añadió etanol al 78 % para compactar la capa del agente filtrante y finalmente se colocó en estufa durante 24 h).
- Se lavó con tres volúmenes de 20 mL de etanol al 78 % (v/v), luego con dos volúmenes de 10 mL etanol al 95 % y, finalmente, con dos volúmenes de 10 mL de acetona.
- Se colocaron los crisoles en la estufa hasta el día siguiente.
- Se enfriaron en un desecador y pesar.
- Se analizaron el residuo de dos muestras y dos blancos para proteínas y cenizas, con el fin de hacer las correcciones pertinentes.

$$\%FDT = \frac{[PPR - PP - PPC]}{P_m} * 100$$

PPR = peso promedio del residuo

PP = peso promedio de proteínas corregidas

PC = peso promedio de cenizas corregidas

Pm = peso de la muestra.

- **Almidón resistente:** El método se fundamenta en que el almidón solubilizado y no resistente, es hidrolizado a glucosa por la acción combinada de α -amilasa y amiloglucosidasa (AMG) durante 16 horas a 37 °C. La reacción se termina mediante la adición de etanol o alcohol metilado industrial (IMS) y el almidón resistente (RS) se recupera como un precipitado mediante centrifugación. RS en el sedimento se disuelve en KOH 2M agitando vigorosamente en un baño de hielo-agua. Esta solución se neutraliza con tampón de acetato y el almidón se hidroliza cuantitativamente a la glucosa con AMG. La glucosa se mide con reactivo de glucosa oxidasa-peroxidasa (GoxPox), que es una medida del contenido de RS. Almidón no resistente (almidón solubilizado) se determina por el sobrenadante original y los lavados. Finalmente el contenido de glucosa se obtiene usando el reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOP/POD).

Procedimiento:

Etapas N° 01.

- Se pesó 0,1000 g (100 mg) de la muestra en tubos de ensayo o plásticos con tapón de rosca.
- Se les adicionó 10 mL de buffer KCl-HCl, 0,2 M; pH 1,5.
- Se mezcló bien y se agitó durante 30 minutos a 25 °C.
- Seguidamente se ajustó pH a 4,8, para esto se le añadió solución buffer de acetato de sodio (0,55 mL de 2 M de HCL y 0,3 mL de 0,4 M).
- Se le agregó a la muestra 0,2 mL (200 μ L) de solución de pepsina (1 g /10 mL de buffer HCl-KCl) (0,1 g/mL).
- Se incubaron las muestras a 40 °C por 1 h con agitación constante.
- Se dejó enfriar hasta temperatura ambiente (25 °C) por 25 minutos aproximadamente.

Etapas N° 02.

- Se adicionaron 9 mL de buffer Trismaleato 0,1 M pH 6,9.
- Se ajustó pH a 6,9 con soluciones de HCl y NaOH de concentraciones 2 M y 0,5 M.
- Seguidamente se añadió 1 mL de solución de amilasa.
- Se incubó por 16 horas a 37 °C con agitación constante.

Etapas N° 03.

- Se centrifugo a 5000 o 8000 rpm x 15 min (0-5 °C). Se descartó el sobrenadante.
- Se resuspendió el pellet con 10 mL de agua destilada. (1er lavado)
- Se centrifugó nuevamente y se descartó el sobrenadante.
- Se preparó un tubo de ensayo para el blanco de la enzima amiloglucosidasa.

- Se le agregó 3 mL de agua destilada.
- Se preparó la solución 4 M de KOH. (justo antes de ser agregada a los tubos de centrifuga con la muestra no importa la temperatura.)
- Se agregó al pellet anterior 3 mL de solución 4 M de KOH (recién preparada).
- Se agitó magnéticamente ½ h a temperatura ambiente.
- Se le adicionaron 5,5 mL de solución de HCl 2M.
- Se le agregaron 3 mL de buffer 0,4 M de acetato de sodio pH 4,75.
- Se ajustó el pH a 4,75 con soluciones de HCl y NaOH de concentraciones 2 M y 0,5 M.
- Se adicionó 4,5 mg de amiloglucosidasa a cada tubo de ensayo.
- Se incubó por 1 h a 40 °C con agitación constante.
- Se dejó atemperar los tubos por 15 min. (el tiempo es opcional)
- Finalmente se retiraron los magnetos de los tubos.

Etapa N° 04.

- Se centrifugó por 15 min a 8000 rpm.
- Se recogió el sobrenadante en un balón de 50 mL.
- Se lavó el pellet con 10 mL de agua destilada y centrifugó otra vez.
- Se le agregó el sobrenadante al balón.
- Se ajustó el volumen del balón a 50 mL con agua destilada.

Etapa N° 05.

Determinación del contenido de glucosa.

- Se preparó la solución reconstituida (Kit para determinar glucosa-método de Trinder).
- Se prepararon dos tubos de ensayo por cada balón de 50 mL y por cada punto de la curva patrón.
- Se extrajo de las soluciones en los balones de 50 mL alícuotas de 50 µL y se transfirieron a tubos de ensayo, para determinación de glucosa.
- Se le añadió la solución reconstituida a las muestras y a los puntos de la curva patrón
- Finalmente se incubó por 10 min a 37 ° C.

Etapa N° 06.

- Se midió la absorbancia de la curva patrón.
- Se midió la absorbancia de las muestras a 510 nm.

Cálculo del porcentaje de almidón resistente.

Se calculó según la fórmula:

$$\% \text{ Alm resistente total} = \frac{\mu\text{g glucosa liberada} * 0,9^c * 50 \text{ ml}^a}{0,05 \text{ ml}^b * 1000 * \text{mg muestra seca}} * 100$$

En donde:

a: volumen total de muestra.

b: volumen de la alícuota usada en la determinación.

c: factor de conversión de glucosa a glucano.

- **Digestibilidad *in vitro* del almidón:** La digestibilidad *in vitro* se determinó por el método reportado por Englyst *et al.* (1992) con modificaciones.

Procedimiento:

- Se preparó una solución enzimática para la digestión, dispersando 0,9 g de la enzima pancreática en 4 mL de agua destilada.
- Se centrifugó a 1,500 g por 10 min.
- Se mezcló el sobrenadante (5,4 mL) con 0,8 mL de amiloglucosidasa diluida [0,64 ml de amiloglucosidasa) diluido a 0,8 mL de agua destilada], y se le agregó seguidamente 0,2 mL de agua destilada.
- Se pesaron 100 mg de la muestra en tubos de 50 mL, por triplicado, y se agregaron a cada tubo 10 perlas de vidrio.
- Se agregaron a los tubos 2 mL de HCl (0,05 M) y 10 mg de pepsina, y se incubaron (37 ° C, 30 min) en un baño con agitación.
- Posteriormente, se agregó a cada tubo 4 mL de solución amortiguadora de acetato de sodio (0,5 M, pH = 5.2)
- Se agregó a cada tubo 1mL a la solución enzimática con pepsina a intervalos de 1 min.
- Seguidamente las mezclas se incubaron a 37 ° C en un baño de agua con agitación.
- Se tomaron alícuotas (100 mL) a intervalos de 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120 y 180 min y se mezclaron con etanol al 50% (1 mL).
- Estas soluciones se centrifugaron a 800 x g (10 min) y se procedió a determinar el contenido de glucosa hidrolizada del sobrenadante utilizando el ensayo de glucosa oxidasa/peroxidasa.

II.2.4. Evaluaciones físico-químicas del salvado entero y estabilizado

Los parámetros evaluados por triplicado en ambas muestras fueron los siguientes:

- **pH:** Según método de la AACC (2000). Se realizó preparando una suspensión de muestra en agua (1 g salvado: 10 mL de agua desionizada a 100 °C), en donde posteriormente se midió con un potenciómetro calibrado con una solución buffer de pH 4 y 7, a 25 °C.

- **Acidez titulable:** Según método N° 1787 descrito en la Norma COVENIN (1981) y se procedió a realizar de la siguiente manera: Se pesaran 5,0000 gramos de muestra molida y se introdujeron en una fiola de 250 mL donde se adicionaron 25 mL de alcohol 90 % neutralizado, se tapó y se dejó en reposo durante 24 horas. Posterior al reposo se extrajo una alícuota de 10 mL del líquido sobrenadante y finalmente se tituló con una solución de NaOH 0,05 N utilizando fenolftaleína como indicador. El contenido de acidez en la muestra se expresó en porcentaje en masa de ácido sulfúrico y se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{V * N * 0,049 * V1 * 100}{M * V2}$$

A = Porcentaje de acidez, expresado como ácido sulfúrico.

V = Volumen de hidróxido de sodio 0,05 N gastado en la titulación.

N = Normalidad del hidróxido de sodio.

V1 = Volumen del alcohol neutralizado.

V2 = Volumen de la alícuota a titular.

M = Masa de la muestra.

0,049 = Miliequivalentes de ácido sulfúrico.

- **Actividad del agua (a_w):** Según método descrito por Tortoe *et al.* (2009). El análisis de actividad de agua (a_w) de la muestras, se realizó utilizando una muestra de aproximadamente 2,000 gramos y se colocó en el equipo Richard y Labuza (1990).
- **Densidad:** Para la determinación de la densidad se empleó el método descrito por el Programa Nacional de Granos Andinos (Peralta *et al.*, 2011), procediéndose de la siguiente manera:
 - Se pesó un cilindro graduado de 100 mL.
 - Se pesó en el cilindro, un volumen de 100 mL de salvado.
 - Seguidamente se obtuvo el peso de 100 mL de salvado.

Para calcular el valor de la densidad de la muestra se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

$$Densidad = \frac{\text{Peso de 100 mL de gramos(g)}}{100 \text{ mL}}$$

II.2.5. Análisis microbiológicos del salvado entero y estabilizado

Se realizaron los contajes totales de unidades formadores de colonias por gramo (ufc/g) de aerobios mesófilos, hongos y coliformes totales.

- **Determinación y recuento de aerobios mesófilos:** Método en placa con películas secas rehidratables (Petrifilm®) de aerobios mesófilos descrito por la norma de acuerdo a la norma venezolana COVENIN (1997) método N° 3338.
- **Determinación y cuantificación de mohos:** Descrito por COVENIN (1990) método N° 1337.
- **Coliformes totales:** De acuerdo al método propuesto en COVENIN (1997) método N° 3276. Alimentos. Recuento de coliformes y *Escherichia coli*. Método en placa con películas secas rehidratables (Petrifilm®).

Procedimiento para la determinación y recuento:

La cuantificación se realizó según metodología descrita por Lagunes *et al.* (2007) y De Melo Pereira *et al* (2013), con algunas modificaciones:

- Se pesaron asépticamente 10 g de las muestras de salvado entero y estabilizado,
- Se colocaron en 90 ml de agua peptonada estéril al 0,1 %, para homogeneizarlo durante 2 minutos en un *stomacher*. A partir de esta dilución se realizaran diluciones seriadas en agua peptonada al 0,1 % hasta 10^{-7} .
- Luego cada dilución fue sembrada por triplicado en placas con películas secas rehidratables (Petrifilm®).
- Para la cuantificación de los diferentes microorganismos, se realizó un recuento en placas de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC/g muestra), mediante el empleo de un contador de colonias Quebec, siguiendo la normativa de recuento establecida por el APHA (1992).

II.2.6. Propiedades reológicas de la harina de trigo y salvado de arroz estabilizado

II.2.6.1. Amilogramas

Fundamento: Esta prueba se basó en medir gráficamente mediante el uso del equipo Rapid Visco Analyser (RVA) modelo Super 3D (Newport Scientific Instruments, Australia) para detectar los cambios de viscosidad de una suspensión de harina cuando estas ejercen resistencia al efecto cortante a medida que la temperatura de la suspensión aumenta o disminuye a una tasa constante de 1,5 °C por minuto. El perfil amilográfico se realizó en el Laboratorio de Calidad de Granos y Semillas de la Fundación DANAC en el Estado Yaracuy, con el uso del equipo Rapid Visco Analyser (RVA) siguiendo el método 61-02 de la AACC (2000).

Procedimiento:

- ✓ El procedimiento consistió inicialmente en establecer una relación masa y volumen de 3g de harina a 12% de humedad y 25 g de agua destilada. Haciendo la debida corrección a partir de la determinación de humedad (%) conforme al método de desecación por estufa N° 925.10 de la AOAC (1990). La masa de agua y harina equivalente corregida a 12 % se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$H = 88 \times P / 100 - M$$

$$A = 25 + (P - H)$$

Donde:

H= masa de harina corregida

P=Peso de muestra a 12 % de humedad

M=Contenido de humedad de la muestra (%)

A= Peso de muestra corregida

- ✓ Posteriormente se colocó la muestra y el agua en la cápsula del RVA y se sometieron a las siguientes condiciones operativas especificadas en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Condiciones operativas del equipo RVA

Tiempo (hh:mm:ss)	Variable	Valor
00:00:00	Temperatura	50°C
00:00:00	Velocidad	960 rpm
00:00:10	Velocidad	160 rpm
00:01:00	Temperatura	50°C
00:04:42	Temperatura	95°C
00:07:12	Temperatura	95°C
00:11:00	Temperatura	50°C

Fuente: AACC (2000)

- ✓ Finalmente los resultados obtenidos de las diferentes viscosidades del perfil: Pico, Media, Final, Breakdown (pico-media), Setback (final-pico) y Consistencia (final-media) se expresaron en cP; mientras que la temperatura de empaste fue expresada en grado celsius (°C).

II.2.7. Ensayos de panificación para la selección del porcentaje óptimo de adición de salvado estabilizado

Se realizaron inicialmente pruebas preliminares para determinar el nivel óptimo de adición de salvado de arroz estabilizado, así como el tamaño de partícula óptimo, esto con el propósito de minimizar el efecto adverso en la calidad sensorial de los panes a medida que se incrementaba proporcionalmente el porcentaje de salvado en la mezcla. En este sentido, se prepararon inicialmente tres formulaciones en donde los porcentajes de salvado incluidos en cada formulación fueron 10 %, 30 % y 40 % con tamaño de partícula fina (420µm, 250µm, < 250µm) respectivamente. Los cálculos de la cantidades de cada uno de los ingredientes para cada formulación, se efectuaron en función a la fórmula básica para la preparación de pan de molde partiendo con 100 % de harina de trigo y a fórmula propuesta por Irakli *et al.*, (2014) modificada de acuerdo a experiencias preliminares (**Cuadro 9**). Usándose como ingredientes principales la harina de trigo, salvado de arroz estabilizado, agua, sal y levadura.

Cuadro 9. Formula básica para preparar pan de molde

Ingrediente (% en base a 100 g de harina)	Pan control (%)	Pan 10 % SAE	Pan 30 % SAE	Pan 40 % SAE
Harina	100	100	100	100
Agua	60	60	60	60
Sal	2	2	2	2
Ácido ascórbico	1	1	1	1
Levadura	2	2	2	2
Leche en polvo	5	5	5	5
Azúcar	3	3	3	3
Salvado de arroz	0	10	30	40

SAE: salvado de arroz estabilizado

II.2.7.1. Procedimiento para la elaboración de los panes de molde

Los panes se procesaron empleando el método directo que es el procedimiento más común en Venezuela para el procesamiento de este tipo de producto, siguiendo el esquema para la preparación de panes tipo molde presentado en la **Figura 9**.

- ✓ El procesamiento se inició pesando todos los ingredientes indicados para cada formulación que contenía salvado (**Cuadro 9**), seguidamente en una batidora eléctrica Kitchen Aid Classic (Hobart USA) se adicionaron los ingredientes sólidos que se mezclaron homogéneamente por 3 minutos a velocidad 2, una vez obtenida una mezcla homogénea se agregó muy lentamente el agua dejándose mezclar aproximadamente por 4 minutos a velocidad de 2 y luego por 1 min a la velocidad de 4, hasta lograr que la masa se despegara totalmente de las paredes del bol.
- ✓ Posteriormente la masa obtenida se dejó reposar a temperatura ambiente por aproximadamente 60 min, esto con el fin de que culminara de formarse el gluten y obtener mejores características de elasticidad y extensibilidad, favoreciendo esto en que la masa sea más manejable debido a la retención de gas. Luego se realizó la división y pesado en este punto se dividió la masa en varias proporciones, cada una con un peso de 60 g con el fin de homogeneizar un mismo tamaño de los panes, inmediatamente se incorporó manualmente cada porción de masa en

molde engrasado de acero inoxidable en donde se les dio forma con el debido cuidado de no desgarrar la masa para evitar reducir el volumen de las migas, se dejó fermentar por 60 minutos a temperatura ambiente, y de inmediato se procedió a hornear en un horno convencional precalentado durante 30 minutos a una temperatura de 180 ° C por 20 minutos. Una vez finalizado el horneado, se esperó un período de 5 minutos, se desmoldaron y se colocaron en rejilla metálica para dejarlos enfriar a temperatura ambiente durante 2 horas.

- ✓ Finalmente se realizó una evaluación preliminar de aceptación conformado por un panel de 10 personas de diferentes sexos y edades conocedoras de la terminología de panes y de salvado de arroz, esto con el propósito de evaluar en planta piloto cuales de las muestras (10 %, 30 % y 40 % con SAE) presentaban las mejores características sensoriales en cuanto a color, olor, sabor, textura estructura de la miga y apariencia global. En base a esta evaluación se obtuvo que el 95 % de los encuestados coincidieron que el pan obtenido con 100 % harina de trigo más 30 % de SAE era la mejor miga en todas las características, resaltando un muy buen sabor, color, textura y apariencia en general. Por tal motivo los panes con 30 % de SAE fueron considerados como los definitivos y utilizados para realizar los diferentes análisis químicos, físicos, físico- químico, calidad y estabilidad en la presente investigación.
- ✓ Para la elaboración de los panes control (100 % HT), se siguió el mismo esquema propuesto para la preparación de los panes con SAE que se describe a continuación:



Figura 9. Esquema para la preparación de panes con salvado de arroz estabilizado

II.2.8. Perfil sensorial

- ✓ El estudio se realizó en el Ministerio del Poder Popular para la Industria y Comercio (MPPIC), ubicado en la Av. Urdaneta, edificio Central, piso 5. Caracas. El mismo, se efectuó 24 horas luego del procesamiento, mediante una prueba de aceptación con un panel no entrenado conformado por 68 personas entre estos 20 hombres y 48 mujeres de diferentes edades comprendidas entre 21 y 68 años que laboran en el referido Ministerio.

- ✓ La evaluación se inició explicando detalladamente en qué consistía la prueba y como se debía llenar la planilla consignada (**Anexo modelo de planilla evaluación sensorial**), de acuerdo a su percepción luego de la degustación del producto. Seguidamente se les suministró una rebanada de pan con formulación de salvado, y se les proporcionó agua potable a temperatura ambiente como medio de neutralización (o sustancia de arrastre). A los mismos se les solicitó, evaluar en la muestra los atributos sensoriales: color de la miga, el aroma, sabor, sensación al tragar y aceptabilidad global.
- ✓ Para medir el grado de aceptación de cada atributo de calidad se consideró con una puntuación de 1 (la más baja) a 9 (la más alta). Empleando para ello una escala hedónica estructurada verbal de nueve puntos, la cual se detalla a continuación:

Me gusta extremadamente -----	9 puntos
Me gusta mucho -----	8 puntos
Me gusta moderadamente -----	7 puntos
Me gusta ligeramente-----	6 puntos
Me es indiferente -----	5 puntos
Me disgusta ligeramente -----	4 puntos
Me disgusta moderadamente -----	3 puntos
Me disgusta mucho -----	2 puntos
Me disgusta extremadamente -----	1 punto

- ✓ El pan con salvado se consideró aceptable si sus puntuaciones medias en una escala hedónica estaban por encima de 5 (más aceptado).

II.2.9. Evaluaciones químicas del pan con harina de trigo (patrón) y pan con harina de trigo más salvado de trigo estabilizado.

La formulación elegida como la más aceptada por el panel, se consideró como la definitiva para efectuarle los análisis químicos, físico-químico y de calidad. Estos mismos análisis se realizaron igualmente a los panes con harina de trigo, en ambos casos por triplicado.

Los parámetros químicos realizados a las formulaciones fueron humedad, cenizas, proteína cruda, grasa cruda, fibra, almidón resistente y carbohidratos:

- **Humedad, cenizas, proteína cruda y grasa cruda:** Se llevaron a cabo de acuerdo a lo descrito en el punto II.2.3.
- **Fibra dietética total:** Se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento propuesto por Prosky *et al.* (1984) descrito en el punto II.2.3.
- **Almidón resistente:** Se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento propuesto por Goñi *et al.* (1996) descrito en el punto II.2.3.

II.10. Evaluaciones físico-químicas de los panes

Los parámetros a evaluar por triplicado fueron los siguientes:

- **pH y acidez titulable:** Se llevaron a cabo de acuerdo a lo descrito en el punto II.2.4.
- **Polifenoles:** Se determinaron de acuerdo a la metodología propuesta por Price and Butler (1977) usando para ello el reactivo de Folin-Ciocalteu, realizando previamente una curva patrón de ácido tánico en un rango de concentración de 0,02-0,20 mg / mL.

Preparación de la muestra:

- Se pesaron (por triplicado) en tubos para centrífuga 1 gr de muestra.
- Se añadió a cada tubo 25 mL de metanol.
- Se agitó durante 24 horas.

- Se filtró y recogió el extracto metanólico.
- El residuo sólido se colocó nuevamente en el tubo de centrifuga y se añadió 25 mL de metanol.
- Se agitó 1 hora y se repitió el procedimiento.
- Los extractos metanólicos se llevaron a balones de 100 mL y se guardaron en refrigeración

Para la cuantificación de compuestos fenólicos se procedió a realizar siguiendo los pasos:

- Se tomó 1 ml de cada extracto y se colocó en tubos de ensayo.
- Se añadió a cada tubo 2,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteau 10 %.
- Se adicionó un minuto después 2 mL de carbonato de sodio 7,5 %.
- Se colocaron los tubos de ensayo en oscuridad durante una hora.
- Se midió la densidad óptica a 720 nm y la concentración de los polifenoles totales se obtuvieron mediante una curva la calibración realizada previamente (**Figura 10**), para obtener los valores como % de ácido tánico /100 gramos de muestra.

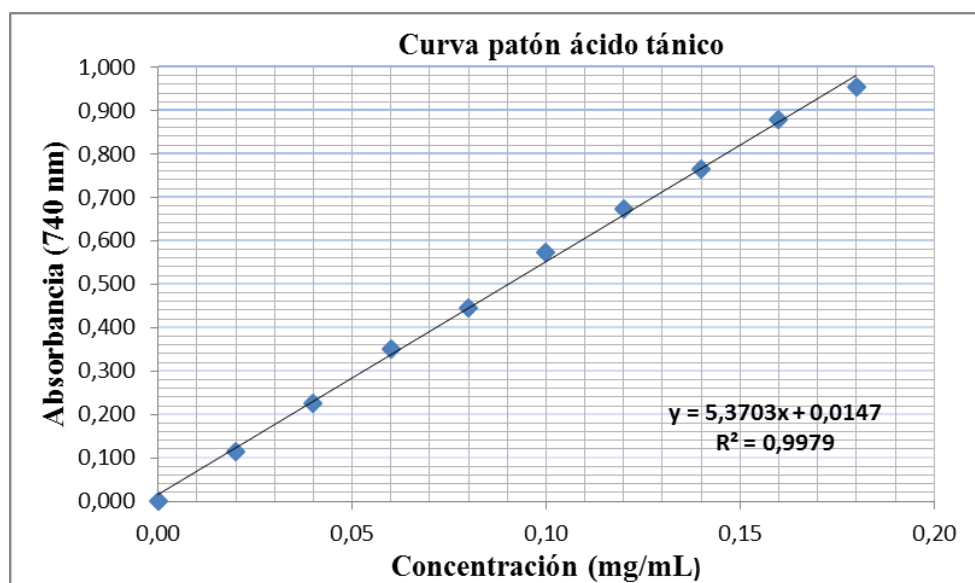


Figura 10. Curva patrón polifenoles (mg ácido tánico/mL)

II.11. Evaluación física de la calidad de los panes

Los parámetros de calidad panadera medidos fueron: peso, relación aspecto de la rebanada central, el volumen específico, color de la miga, la textura y la aceptación de la miga.

- **Peso:** Se llevó a cabo con la ayuda de una balanza manual.
- **Relación de aspecto de la rebanada central:** Se midió con una regla la altura y ancho de las piezas. La relación de aspecto se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$RA = \frac{\text{Ancho (cm)}}{\text{Largo (cm)}}$$

Color en la miga: El color se determinó por medio del colorímetro Macbeth Color-eye (OMH1-CE-2445-94) por el método descrito según el Hunter Lab. Manual (2001), calibrado con la placa blanca estándar, triestímulo de Hunter (HunterLab, Reston, D-25). Los parámetros de color se expresaron en el espacio de color $L^*a^*b^*$. En el sistema CIE LAB, el color es definido por tres coordenadas rectangulares L^* , a^* y b^* (**Figura 11**), siendo L^* la luminosidad con valores de 0 (totalmente negro) a 100 (blanco). El matiz (tonalidad) es dado por dos caracteres cromáticos, uno de ellos codificado por a^* con valores de -60(verde) y +60(rojo), el segundo carácter de matiz es el b^* el cual varía entre valores de -60 (azul) y +60 (amarillo).

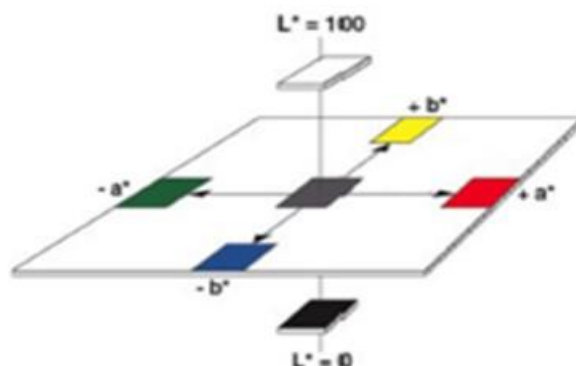
En donde:

L^* : Representa el índice de Luminosidad (100 = blanco y 0 = negro).

a^* : Índice de longitud de onda predominante, mide los colores de rojo (+) a verde (-) y el 0 es neutro.

b^* : Índice de longitud de onda predominante, mide los colores de amarillo (+) a azul (-) y 0 es neutro.

L^*/b^* : Indica el matiz de la harina cruda, intensidad del color amarillo. ΔE : Indica el cambio total del color, es decir, la variación total del color entre las muestras.



Fuente: Richard (2005).

Figura 11. Sistema de colores CIE LAB: L*a*b*

- **El índice de blanco (IB):** Representa la blancura total de la muestra y se calculó de acuerdo a ecuación usada por Chin *et al.*, (2003):

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

- **Índice de marrón (IM):** Se calculó según la fórmula indicada por Akisoe' *et al.* (2003):

$$IM = 100 - L *$$

- **Textura de la miga:**

Esta prueba de calidad, se realizó en el Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos de la Universidad Simón Bolívar (USB); empleando un texturómetro (**Figura 12**) modelo TA.XT. Plus (Texture Technologies Corp. New York, USA).



Figura 12. Texturómetro TA-XT. Plus

Procedimiento:

- ✓ Inicialmente el analizador de textura fue calibrado con una celda de carga de 10 kg y equipado con una sonda cilíndrica de 36 mm de diámetro y un plato de compresión circular P75 (75 mm).
- ✓ Seguidamente el equipo se programó para medir los parámetros de textura: dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. Para ello, se midió la fuerza de compresión a rebanadas de panes del centro de cada barra, todas ellas con un espesor de 10 mm, Para que la sonda pudiera detectar la superficie de prueba del texturómetro, el equipo se programó con los siguientes parámetros:
 - Porcentaje de compresión: 75 %.
 - Velocidad inicial o de pre-ensayo: 1 mm / s.
 - Velocidad de la prueba o ensayo: 1 mm / s.
 - Velocidad post- ensayo: 10 mm / s.
 - Unidad de fuerza utilizada: gramos.
- ✓ Posteriormente se prepararon las muestras de acuerdo al protocolo propuesto por Vargas y Haros (2010) con modificaciones, de la siguiente manera:

1. El análisis se llevó a cabo en 10 muestras de panes por cada formulación, se rebanaron descartando sus bordes, tomando un tamaño de muestra de 2 cm de espesor, 4 cm de ancho y 4 cm de alto.
2. Se colocó cada una de las muestras de pan en el centro de la base, asegurando que la muestra no quedará fuera de la sonda cilíndrica que es la que ejerce la compresión (**Figura 13**). Seguidamente cada muestra fue comprimida hasta un 50 % de su espesor original, dejando para ello transcurrir 5 segundos entre el final de la primera compresión y el inicio de la segunda.

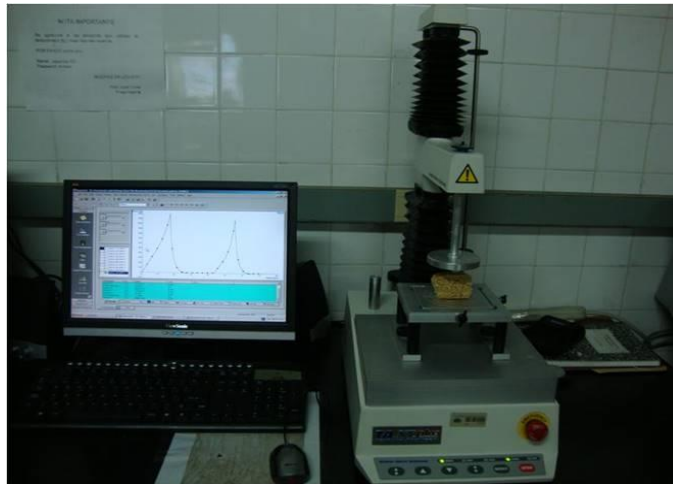


Figura 13. Pan en centro de la base para comprimir

II.12. Parámetros de calidad del producto durante el almacenamiento en anaquel

Luego del procesamiento de los panes con SAE se almacenaron en bolsas de polietileno y se sellaron con un equipo de sellado tipo impulse Sealer modelo Kinpakcon, se almacenaron a temperatura ambiente y se midieron por 4 días consecutivos los parámetros de calidad panadera en base a la pérdida de peso, humedad, pH, acidez y análisis microbiológicos.

- **Pérdida de peso:** Se efectuó con la ayuda de una balanza manual.
- **Humedad:** Se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito en el punto II.2.2.3.

- **pH y Acidez titulable:** se llevaron a cabo de acuerdo a lo descrito en el punto II.2.2.6.
- **Análisis microbiológicos:** Se realizaron los contajes totales de unidades formadores de colonias por gramo (ufc/g) de aerobios mesófilos, hongos y coliformes totales. Para ello, se llevaron a cabo de acuerdo a lo descrito en el punto II.2.5.

II.13. Análisis estadístico

- ✓ Los datos que se obtuvieron en cada tratamiento (triplicado) se organizaron en columnas y con la ayuda del programa **Statistica versión 10.2**, se procedió a realizar los análisis estadísticos.
- ✓ Todas las variables que cumplieron con los supuestos del análisis de varianza (normalidad de los errores, homogeneidad de la varianza de los errores, aditividad de los efectos e independencia de los errores), se les realizó un análisis de varianza con su posterior prueba de medias de mínima diferencias significativas (LSD).
- ✓ Las variables que no cumplieron con los supuestos mencionados, se les efectuó un análisis no paramétrico, empleándose específicamente la prueba de comparación múltiple de Kruskal y Wallis.
- ✓ En cuanto a los datos que se obtuvieron de la evaluación sensorial, se les efectuó un análisis estadístico, utilizando la prueba no paramétrica de Friedman y una prueba de aceptación de consumidores por atributos.

Capítulo III. Resultados y discusión

III.1. Estudio del salvado de arroz entero y estabilizado

III.1.1. Estabilización del salvado de arroz entero y estabilizado

La estabilización del salvado de arroz propuesta surtió efecto en la inactivación de la lipasa que pudo haber afectado al material durante el almacenamiento, aun en condiciones de frío. Tras repetidas sesiones de trabajo se pudo comprobar de manera física en cuanto a olor y sabor, que el salvado no presentaba alteraciones típicas de enranciamiento, tanto por oxidación como hidrólisis. Tampoco se evidenció compactación del material, lo cual permite inferir que no hubo salida del material graso de la estructura interna del salvado a la periferia del mismo.

La estandarización del proceso de estabilización en microonda, permitió obtener un tiempo óptimo de tres (3) minutos a razón de seis (6) sesiones de treinta (30) segundos cada una, destacando que cada dos (2) sesiones se realizaba una homogenización manual del salvado en proceso, con intervalos de quince (15) para efectuar dicha homogenización, comprobándose que en promedio se mantenía la temperatura deseada (90 °C). Cabe destacar que sesiones corridas de irradiación por 3 minutos, generaron olores y sabores característicos de la reacción de Maillard excesivos, además de que generaba colapso sobre las estructuras de las bandejas utilizadas para tal fin. El uso de ½ potencia del equipo, se obtuvo también tras verificar las temperaturas que el salvado alcanzaba y las condiciones o características con las cuales quedaba una vez transcurrido el proceso. Por ejemplo, una potencia de 100 %, era capaz en un minuto alcanzar 120 °C y generar olores y sabores desagradables.

Posterior al proceso de estabilización se procedió a hacer las pruebas específicas de granulometría y capacidad de retención de agua y aceite de los salvados a fin de estar preparados en cuanto al uso del mismo en las formulaciones a proponer.

III.1.2. Propiedades funcionales tecnológicas del salvado de arroz entero y estabilizado

Denominadas así por su asociación a los efectos deseables en los productos alimentarios. En lo relacionado a las propiedades tecnológicas del salvado de arroz como ingrediente clave para elaborar nuevos productos alimenticios, deben ser consideradas particularmente al momento que se desee formular y elaborar un producto horneado sustituido y/o adicionado con salvado, debido a que

propiedades tales como el tamaño de la partícula, la capacidad de retención de agua (CRAg) y capacidad de retención de aceite (CRAc) influyen significativamente en la calidad del producto terminado, bien sea en parámetros de calidad referidos a la humedad, peso, volumen específico, color de la corteza y/o parámetros sensoriales como el olor, sabor y textura (Majzoobi *et al.*, 2013).

III.1.2.1. Tamaño de la partícula (granulometría)

La granulometría es un indicador de los porcentajes de partículas con diferentes tamaños, contenidos en una harina (Rodríguez, 2007). En la **Figura 14**, se aprecia la granulometría obtenida en el salvado de arroz entero y estabilizado con tamices de mallas (mesh) y diferentes tamaños de orificios; N° 30 mesh (500 μ m), 40 mesh (420 μ m), 60 mesh (250 μ m) y > 60 mesh (< 250 μ m) respectivamente. En ambas muestras se observa que al usar tamiz con malla de mayor diámetro (500 μ m) el tamaño de la partícula obtenida es más grande, mientras que con la malla de menor diámetro (< 250 μ m) la partícula es la más fina de todas. Cabe destacar la importancia del tamaño de la partícula en la presente investigación, radica en permitir seleccionar una fracción de tamaño uniforme como característica de gran relevancia en la elaboración de pan tipo molde con salvado de arroz estabilizado, esto con el fin de reducir al mínimo los efectos adversos de adicionar salvado en la calidad de pan.

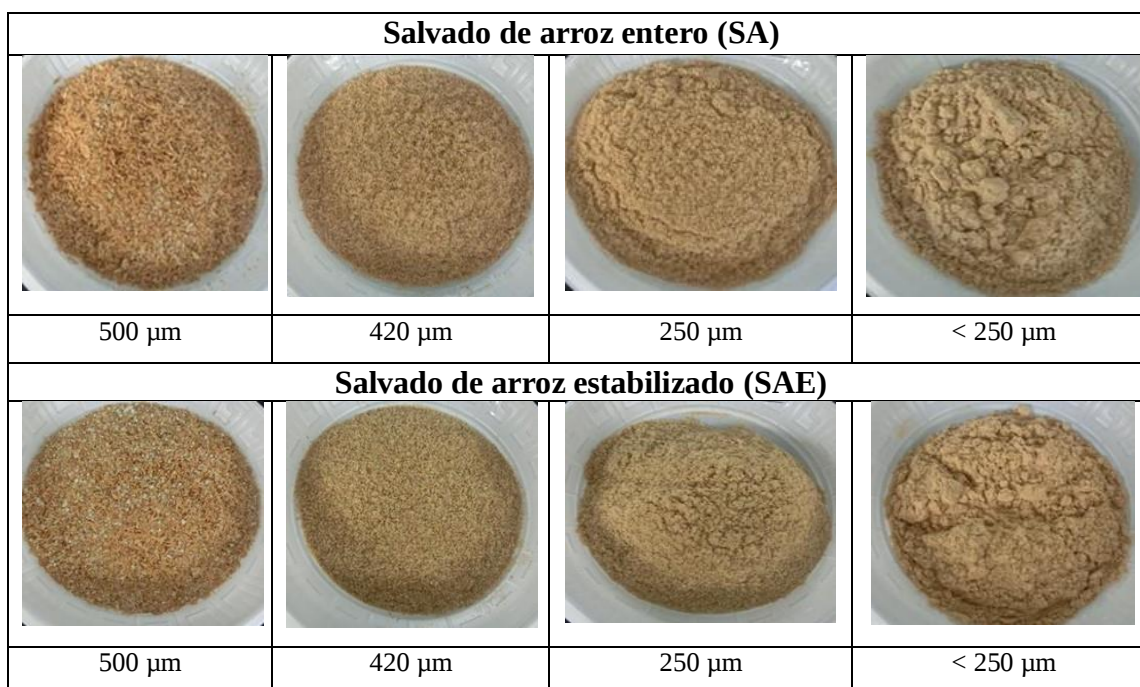


Figura 14. Tamaño de partículas en salvado de arroz entero y estabilizado

En el **Cuadro 10**, se reportan los resultados promedios del análisis de granulometría para el salvado de arroz entero y estabilizado. El análisis de varianza indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas muestras en lo referente al porcentaje de retención de partículas al tamizar con mallas de diferentes diámetros, apreciándose en general que el porcentaje de retención menos abundante, se corresponde principalmente al tamaño de partícula con 500 μm para un promedio de 37,15 % y 37,25 % que son las partículas de mayor tamaño. Mientras que el 62,85 % y 62,75 % restante está conformado por partículas de menor proporción en diámetro retenida en tamices 420 μm , 250 μm y < 250 μm , que son las fracciones más finas para ambas muestras. Estos resultados muestran que el proceso de tamizado fue óptimo, ya que en general el tamaño de partícula es principalmente fino.

Al comparar estos resultados con los presentados en otros estudios, se puede inferir que presentan un comportamiento diferente al señalado por Rodríguez (2007) con malla de 60 mesh quien obtuvo el porcentaje de retención más alto en el salvado de arroz sin estabilizar con un 32 % y en el salvado de arroz estabilizado con 30 %. No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación siguen la misma tendencia que los reportados por Pérez (2010) confirmado que mientras mayor sea el diámetro del tamaño de la malla, mayor es el porcentaje de retención y mayor diámetro de partícula, afirmando específicamente que salvado de trigo tamizado en malla de diámetro 500 μm , obtuvo el mayor porcentaje de retención de 27,06 % y el más bajo de 23,06 % con malla de 355 μm .

Cuadro 10. Granulometría del salvado de arroz entero y estabilizado

Muestra	Malla (mesh)	Diámetro partícula (μm)	% Retención	%Partículas de trabajo
Salvado de arroz entero (SA)	30	500	37,15 $\pm$ 0,23 ^a	62,85 $\pm$ 0,41
	40	420	17,85 $\pm$ 0,18 ^a	
	60	250	26,03 $\pm$ 0,32 ^a	
	>60	<250	18,97 $\pm$ 0,74 ^a	
Salvado de arroz estabilizado (SAE)	30	500	37,25 $\pm$ 2,22 ^a	62,75 $\pm$ 0,57
	40	420	18,32 $\pm$ 0,32 ^a	
	60	250	24,09 $\pm$ 2,92 ^a	
	>60	<250	20,34 $\pm$ 0,48 ^a	

Valores (promedios de 3 determinaciones $\pm$ desviación estándar) en una fila seguidos de una letra igual, indican que son estadísticamente iguales entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

De acuerdo a Rodríguez (2007) se ha clasificado el salvado en base al tamaño de las partículas en gruesas ($\geq 600 \mu\text{m}$), medianas ($< 600 \mu\text{m}$ y $\geq 425 \mu\text{m}$) y finas ($< 425 \mu\text{m}$). También, se ha informado que tamaños de partículas entre 50 a 500 μm , son ideales para ser incorporadas en las formulaciones de nuevos alimentos (Fuertes, 1998 citado por Matos-Chamorro y Chambilla-Mamami, 2010). Basado en la referida clasificación, se consideró que el tamaño de partículas ideales en esta investigación fueran de 420 μm , 250 μm y $< 250 \mu\text{m}$; es decir finas, las cuales se unieron y homogenizaron hasta lograr obtener muestras homogéneas para realizarles los análisis correspondientes que se citaran a continuación para el SA y SAE, descartándose la granulometría de 500 μm , debido a que se observó que eran muy gruesas, lo que probablemente podría incidir negativamente en la calidad del nuevo producto, al causar ruptura del gluten durante el formado, disminuir el volumen del pan una vez cocido, baja capacidad de atrapar CO_2 en la estructura, presencia de espacios vacío en el pan (defectos), además de dificultad de masticabilidad y molestias al tragar.

III.1.2.2. Capacidad de retención de agua (CRAg) y Capacidad de retención de aceite (CRAc)

En el **Cuadro 11**, se presentan los resultados promedio obtenidos referentes a la medición de la capacidad de retención de agua (mL/g) y capacidad de retención de aceite (mL/g) para el salvado de arroz entero y estabilizado. Al realizar el análisis de varianza se encontró diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, lo cual evidencia claramente que la técnica de estabilización en microondas generó cambios tanto en la CRAg como en CRAc. En este sentido, el SAE presentó la mayor capacidad de retención de agua y de aceite en comparación con el SA. Por lo tanto, el SAE presenta mejores características para utilizarse como ingrediente principal en el procesamiento de panes tipo molde. Teniendo presente todos los resultados indicados, puede inferirse que los panes a elaborar podrán tener mayor frescura, humectabilidad y textura durante un tiempo de vida de anaquel superior al de un pan solo de trigo.

Cuadro 11. Propiedades tecnológicas del salvado de arroz entero y estabilizado

Propiedades	SA	SAE
Capacidad de retención de agua (mL/g)	$1,80 \pm 0,46^a$	$3,19 \pm 0,43^b$
Capacidad de retención de aceite (mL/g)	$2,13 \pm 0,73^a$	$4,97 \pm 0,42^b$

Valores (promedios de 8 determinaciones $\pm$ desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

En general, los valores presentados anteriormente son inferiores a los conseguidos por Rodríguez (2007) en salvado con distintos tamaños de partículas, específicamente en salvado sin estabilizar y con grado de molienda más fina, se percibieron los valores más altos de CRAg y CRAc (3,31 mL/g y 2,69 mL/g), destacando principalmente que al incrementarse el tamaño de la partícula se favorecía aún más estas características. Con tendencia similar a los expuestos por Rafe *et al.* (2016) en salvado de arroz estabilizado mediante un proceso de extrusión y con un tamaño de partícula fina, quienes lograron mejorar la CRAg pero se disminuyó la CRAc al compararlo con salvado entero. Por su parte, Fadaei y Salehifar (2012) evaluaron estas mismas propiedades en salvado de arroz crudo y sin tamizar, reportándose también alta CRAg (8 mL/g) y CRAc (3,50 mL/g), resaltando que mientras mayor cantidad de unir agua y grasa tenga el salvado es más beneficioso en el procesamiento de productos horneados.

Las diferencias encontradas entre las bibliografías citadas y las obtenidas en la presente investigación, estas vinculadas directamente con el tamaño de partícula y el método de estabilización. Por lo cual es de relevancia resaltar en la preparación de pan, la capacidad de retención de agua, ya que juega un papel fundamental en los procesos de gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, formación de color y características de sabor (Sabanis *et al.*, 2009; Rosell *et al.*, 2010). Sin embargo, comparando la capacidad de retención de aceite obtenida en este estudio con respecto a la referida en harinas de tubérculos de mapuey, ñame y ocumo, son muy inferiores los obtenidos con respecto al salvado de arroz estabilizado, reportándose promedio de CRAc en ñame de 1,85 g/mL, ocumo de 1,99 g/mL y mapuey de 1,83 g/mL (García *et al.*, 2012).

Existe evidencia de la adición exitosa del SAE como un ingrediente en formulaciones panaderas por su efecto antioxidante para mejorar la estabilidad durante el almacenamiento de los alimentos, y por ende prolongar su vida útil (Nanua *et al.*, 2000; Pacheco *et al.*, 2009; Torres, 2009; Sairam *et al.*, 2011; Taghinia *et al.*, 2015), este efecto antioxidante posiblemente contribuya en prolongar la vida útil de los panes de molde en anaquel. Todo lo anterior denota, el especial interés en la factibilidad del salvado estabilizado como materia prima para fines agroindustriales.

III.1.2.3. Composición química del salvado de arroz entero y estabilizado en base seca

El **Cuadro 12**, presenta los resultados promedio obtenidos en base seca de la composición proximal para el salvado de arroz entero y estabilizado. Se aprecia que el componente mayoritario es el almidón resistente, seguido de la fibra alimentaria, con un buen balance en lípidos, proteínas, cenizas y aporte en energía. El análisis de varianza indicó diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, lo cual significa que la estabilización en microondas, tuvo un efecto positivo en preservar y concentrar la mayor proporción de nutrientes en el salvado estabilizado.

En lo que respecta al contenido de **humedad**, es uno de los parámetros analíticos más importantes a conocer en alimentos, frecuentemente sus valores se usan como índices de calidad y estabilidad durante el almacenamiento. Al efectuar el análisis de varianza se detectó que existen diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos (SA y SAE). Debido a esa significancia entre las muestras, se procedió a efectuar la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), la cual indicó que el SA fue el que presentó el mayor contenido promedio de humedad con 12,23 % y el SAE con el menor contenido de 5,38 %. El menor valor de humedad en el SAE, se explica debido a que al efectuar la estabilización con microondas al irradiar calor ocasiona una notable pérdida de dicho contenido en un 44 % con respecto al salvado entero.

Al comparar estos resultados con otros estudios se observan que estos son mayores a los reportados por Torres (2009), que obtuvo valores promedios en SA (8 %) y en SAE (2,97 %). Esto se explica en el caso del SAE debido a que previamente a la estabilización, le realizaron un tratamiento de secado en deshidratador de bandejas, lo que probablemente explica la diferencia. Por otra parte, Abdul-Hamid *et al.* (2007) reportaron contenidos más altos, al estabilizar en microondas salvado de arroz con diferentes tamaños de partículas obtuvieron valores promedios comprendidos entre 8,5% hasta 12,6 %. Con tendencia similar a los expuestos por Dos Santos *et al.* (2012) quienes realizaron tratamiento térmico en horno convencional obteniendo en salvado de arroz un 5,14 % y en microondas un 6,28 %, igualmente obtuvieron la mayor proporción de humedad en el salvado entero con 8,41 %. Destacando los mismos investigadores, la importancia que tiene un valor de humedad promedio del 5 % en salvado de arroz estabilizado, debido a que puede condicionarse en prolongar su vida útil durante el almacenamiento, con menos posibilidad de favorecerse el crecimiento microbiano y daños en atributos sensoriales como nutricionales. Es imperativo tener presente que el método de estabilización, la temperatura de proceso,

el tiempo de tratamiento térmico, tienen un efecto notable en reducir el contenido de humedad, todas estas condiciones son variables que influyen en la humedad final obtenida entre una investigación u otra.

Cuadro 12. Composición química del salvado de arroz entero y estabilizado (% base seca)

Componentes	SA	SAE
Humedad	12,23 ± 0,15 ^a	5,38 ± 0,23 ^b
Cenizas	9,31 ± 0,04 ^a	10,02 ± 0,03 ^b
Grasa cruda	16,54 ± 0,04 ^a	20,07 ± 0,03 ^b
Proteína cruda	11,67 ± 0,34 ^a	14,48 ± 0,03 ^b
Fibra dietética total	nd	23,02 ± 0,66
Carbohidratos totales	50,25 ± 0,00 ^a	50,04 ± 0,00 ^a
Almidón resistente	nd	36,10 ± 0,40
Energía (Kcal/100g)	396,54 ± 0,00 ^a	438,74 ± 0,00 ^b

SA: Salvado de arroz entero; SAE: Salvado de arroz estabilizado; nd: No determinado

Nota: Valores (promedios de 3 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

En relación a la proporción de **cenizas**, al efectuar el análisis de los supuestos de varianza, no se encontró homogeneidad entre las muestras, debido a esto no se realizó el análisis de varianza y se procedió a efectuar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para así verificar diferencias entre los tratamientos, confirmando la prueba diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos (SA y SAE). Debido a esa significancia, se procedió a efectuar la prueba de rango de medias, la cual indicó que el SAE fue el que presentó el mayor contenido de cenizas con 10,02 % y el SA con el menor contenido de 9,31 %. Los referidos contenidos son similares a los encontrados por Vargas y Haros (2010) en SAE con un promedio de 10,22 %, pero con una tendencia aproximada a los reportados por Dos Santos *et al.* (2012) en SAE estabilizado con microondas con promedio 6,98 % y SA con 8,13 %. Sin embargo, son superiores a los expuestos por Pacheco *et al.* (2009) quienes obtuvieron en SAE valores promedios de 8,50 %.

Cabe destacar que las variaciones en el contenido de minerales en fracciones de cenizas pudieran ser atribuidas a factores como variedad de cultivo, genéticas (híbridos), planes de fertilización, factores climáticos y edafológicos. El salvado de arroz que se utilizó en esta investigación, fue obtenido de un

cultivar de arroz MD248, derivado de un programa de mejoramiento genético de Fundación DANAC y proviene de un cruzamiento triple (Ávila *et al.*, 2014), lo que probablemente influyó en obtener contenidos altos en residuos minerales al compáralos con otros estudios.

En cuanto al contenido de **grasa cruda**, al efectuar el análisis de varianza se encontró que existen diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos (SA y SAE). Debido a esa significancia entre las muestras, se procedió a efectuar la prueba de mínima diferencia significativa (LSD), indicando que el SAE fue el que presentó el mayor contenido de 20,07 % y el SA con el menor contenido de 16,54 %. Este comportamiento en lo referido a la mayor proporción en grasa derivado en el SAE es similar al obtenido por Dos Santos *et al.* (2012) quienes realizaron tratamiento térmico en horno microondas obtuvieron un 20,05 % en el SAE y un 17,87 % en el SA. Igualmente a los reportados por Irakli *et al.* (2015) al estabilizar con microondas el SAE obtuvieron un 15,85 % de lípidos y a los expuestos por Pacheco *et al.* (2009) que detectaron en SAE un 18,20 %, mientras que Vargas y Haros (2010) reportaron contenido significativamente más bajo a los hallados en esta investigación en SAE tratado térmicamente en autoclave con un promedio de 17,70 %.

Las diferencias encontradas en el contenido de grasa pueden ser atribuidas a los genotipos de arroz, método de pulido y grado de molienda aplicado, en relación a este último punto se explica debido que durante la remoción del salvado se incorporan las capas de aleurona provenientes del pericarpio y germen que son ricas en lípidos. Siendo notable resaltar que mientras más gruesa sea el tamaño de la partícula obtenida del proceso de molienda del subproducto y más número de pases por pulido, mayor será la proporción en grasa y otros nutrientes (Kamal-Eldin *et al.*, 2009).

Con respecto a la fracción de **proteína cruda**, al realizar el análisis de varianza se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras del salvado, esta diferencia lo reafirma la prueba de medias de mínima diferencia significativa (LSD), agrupando al SAE con el mayor contenido en 14,48 % y al SA con la menor proporción en promedio de 11,67 %. En general, los contenidos de proteínas que aporta el salvado, son de gran importancia ya que las mismas son ricas en aminoácidos esenciales como la lisina y metionina disponibles (Pacheco y Peña, 2006). Por otra parte, estas macromoléculas en general desempeñan un gran número funciones metabólicas y reguladoras importantes en los humanos, por lo que su consumo es de vital importancia tanto para el crecimiento como en el mantenimiento de tejidos, síntesis de anticuerpos y hormonas, contribuyendo en los

procesos inmunitarios, así como en la mayoría de los procesos biológicos de los seres vivos (Guerra *et al.*, 2009; Rodríguez, 2010). No obstante, en la actualidad las dietas deficientes en proteína representan un serio problema, que podría disminuirse con la incorporación de proteínas de alto valor biológico en la dieta diaria, las cuales pueden ser encontradas en fuentes alternativas que generalmente son subutilizadas en Venezuela, como es el caso del salvado de arroz (Siso, 2009). Por otra parte, las proteínas del salvado desempeñan un papel fundamental cuando se mezclan con harinas de trigo para preparar panes de buena calidad, dado a que al hidratarse proporcionan propiedades viscoelásticas a la masa, cualidades que son necesarias para obtener productos con buenos balances en proteínas y apreciable textura (Pacheco *et al.*, 2009; Ameh *et al.*, 2013; Irakli *et al.*, 2015).

Al comparar estos resultados con otros estudios en general se evidencia que los promedios de este macronutriente son inferiores a los expuestos por Irakli *et al.* (2015) en SAE con microondas quienes obtuvieron un 15,83%, a los referidos por Dos Santos *et al.* (2012) quienes realizaron tratamiento térmico en horno microondas hallaron un 19,38 % en el SAE y un 16,61 % para SA. Con similares tendencias a los expuestos por Vargas y Haros (2010) señalando contenido promedio de 14,02 % para SAE. Aun cuando se evidencian claras diferencias entre los aportes en proteínas entre los investigaciones referidas y la presente investigación, lo resaltante a tener presente es que adicionar salvado de arroz estabilizado en formulaciones para preparar productos horneados, podría representar una excelente fuente de proteínas con alto valor biológico para mejorar la calidad nutricional de la harina de trigo, compensando las deficiencias de lisina aportadas por la harina de trigo, complementando así el producto final con proteínas de alto valor biológico provenientes del salvado de arroz estabilizado. Por otra parte, un aporte alto en contenido de proteína tiende a favorecer muy bien las condiciones de procesamiento en el desarrollo de la reacción de Maillard (Vargas y Haros, 2010). Sin embargo, se debe de tener presente que el proceso de tratamiento térmico usando altas temperaturas para conservar el salvado puede afectar las fracciones de proteínas y su calidad, esta disminución puede estar relacionada con una posible desnaturalización de dichas macromoléculas. Se ha experimentado efectivamente una disminución en el contenido de proteínas cuando el SA se estabiliza mediante un proceso de extrusión a temperatura de 130 °C / min (Rafe *et al.*, 2016).

En lo que respecta a la fracción de **fibra alimentaria o dietética total (TDF)**, representa uno de los componentes más importantes del salvado de arroz estabilizado, por sus efectos beneficiosos en la salud humana y valor agregado obtenido en la preparación de alimentos tipo horneados (Taghinia *et al.*, 2015;

Tavares *et al.*, 2016; Machálková *et al.*, 2017). Al realizar este análisis en el SAE se encontró un valor promedio de 23,02 %, siendo este valor superior al experimentado en otros estudios que emplearon el mismo método de estabilización como el reportado por Singh *et al.* (2013) con un 6,03 % de fibra cruda (FC) y a los hallados por Sairam *et al.* (2011) en salvado de arroz desgrasado en laboratorio y comparado con salvado comercial desgrasado, quienes obtuvieron promedio significativos de 13,3 % y 11,10 % respectivamente de TDF. Por su parte Siso (2009) y Torres (2009) obtuvieron igualmente promedio inferiores de 10,08 % de fibra detergente neutra para ambos casos.

Es de interés mencionar que tanto el cultivar, el método de análisis de fibra, la técnica de estabilización son factores determinantes en las variaciones de los contenidos obtenidos de fibra, lo que puede explicar las variantes entre la presente investigación y las citadas. Por su parte, Rafe *et al.* (2016) estabilizando salvado de arroz con método de extrusión y analizando por gravimetría la fibra obtuvieron un promedio superior al salvado de arroz estabilizado en estudio, señalando una proporción de 27 % en TDF. También a los encontrados por Pacheco *et al.* (2009) quienes reportaron promedio de 29,82 % de fibra total en salvado obtenido de mezclas de diversas variedades de cultivares, estabilizado por horno convencional y obtenida la fibra por gravimetría.

De acuerdo a Majzoobi *et al.* (2013) la granulometría de la muestra tiene un efecto notable en el contenido de fibra, señalando que en salvado de trigo con diversos tamaños de partículas (170, 280, 425 y 750 micras) han encontrado promedios de 2,20 % hasta 13,30 % de fibra, destacando que mientras mayor sea el tamaño de partícula mayor es el contenido obtenido en material fibroso. Sin embargo, en otros estudios se han indicado proporciones en fibra más altas al SAE estudiado, en este caso en particular Vallabha *et al.* (2015) encontraron contenido promedio de 24,5 % de TDF en salvado de arroz estabilizado con tratamiento enzimático por medio de alcalasa (0,013 μM / mg / min) para inactivar la lipasa y endoglucanasa (1,4 unidades / mg / min) para mejorar el contenido de fibra soluble, los investigadores atribuyen que el tratamiento enzimático tuvo efecto significativo en inactivar totalmente la lipasa e incidir positivamente en la hidrólisis de los carbohidratos complejos a moléculas más simples, favoreciendo esto en fomentar la fracción de fibra soluble, lo que probablemente explica la mayor proporción con respecto a la presente investigación.

En cuanto a la proporción de **almidón resistente (AR)**, es el componente mayoritario encontrado en el salvado estudiado aportando un 36,10 % de AR, siendo este valor muy superior al obtenido por Pacheco

y Peña (2006) de 2,20 %. Y a los reportados por Beloshapka *et al.* (2016) en salvado de arroz desgrasado con un 4,3 %. Esta variabilidad con relación a los otros estudios se atribuye inicialmente al proceso de irradiación con calor, además que el salvado experimentado estuvo almacenado previamente al análisis por 3 meses bajo congelación, lo que probablemente incidió en la retrogradación del almidón que puede estar presente en el salvado y por ende los valores obtenidos en el salvado en estudio sean superiores.

De acuerdo a otros ensayos inherentes a altos contenidos de AR, se ha indicado que los solventes usados en la digestión del almidón tienen un efecto notable y diverso para extraer el AR. En este sentido, muestras de salvado de trigo de diferentes cultivos evaluadas con la adición de cuatro disolventes diferentes, incluyendo acetona, etanol, acetato de etilo y 1-propanol, se encontraron promedios desde 0,86 % hasta 28,26 % de AR, destacándose la acetona con el mayor rendimiento y selectivo en el proceso de extracción (Gunenc *et al.*, 2013).

En relación al contenido de **carbohidratos totales**, los principales carbohidratos presentes en el SA son hemicelulosas (arabinosilanos), celulosas, β -glucanos y lignina (Mohd *et al.*, 2013; Gul *et al.*, 2015). Al realizar el análisis de los supuestos de varianza, no se encontró homogeneidad entre las muestras, debido a esto se procedió a efectuar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, confirmando dicha prueba que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos, ubicando al SA con una leve proporción de 50,25 % con respecto al SAE de 50,04 %. Al comparar estos valores con los obtenidos en otras investigaciones en donde también se estabilizó el salvado con irradiación de microondas, se observa un comportamiento con tendencia inferior al expuesto por Irakli *et al.* (2015) en SAE quienes reportaron un 60,63 %, a los referidos por Siso (2009) que obtuvo un 60,95 % en el SAE, pero con tendencia superior a señalados por Rosniyana *et al.* (2009) y a los descritos por Dos Santos *et al.* (2012) quienes indicaron promedios de 42,20 % y 28,21 % respectivamente. Estas diferencias entre los valores discutidos, radica principalmente por los contenidos de humedad, ceniza, grasa cruda y proteína derivados del análisis nutricional en cada trabajo citado.

En cuanto al contenido de **energía (Kcal/g)**, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos subproductos, reafirmando esta variabilidad la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), ubicando al SAE con el mayor aporte con 438,74 (Kcal / 100g) y el SA con el menor aporte calórico de 396,54 (Kcal / 100g). En general estos aportes son superiores que en otros trabajos como el

referido por Dos Santos *et al.* (2012) quienes compararon el aporte de energía de SA y SAE con microondas, señalando en SAE el mayor contenido con 447,21 (Kcal / 100g) y en SA con el valor más bajo de 423,19 (Kcal / 100g).

III.1.2.4. Evaluaciones físico-químicas del salvado entero y estabilizado

En el **Cuadro 13**, se presentan los resultados promedio de los parámetros físico-químicos para el salvado de arroz entero y estabilizado. Observándose para el SA en cuanto al pH, acidez, a_w , y densidad obtuvo los valores más altos en contraste con el SAE. Sin embargo, este comportamiento fue distinto en lo concerniente a la tonalidad, en el SAE se obtuvo los valores más altos en cuanto a^* , b , IM, esto se explica debido a que al someter el subproducto a tratamiento térmico con microondas se generan reacciones de pardeamiento no enzimáticos (degradación azúcares, aminoácidos, vitaminas, entre otros) ocurridos durante el proceso de estabilización. En relación al análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambas muestras, en lo referente al pH, acidez, a_w , y densidad. Igualmente se presentaron diferencias significativas en el color, específicamente en el índice de luminosidad (L^*), longitud de onda predominante (a^*), tonalidad (b^*), índice de brillo (IB) e índice de marrón (IM).

En el caso particular del **pH**, en cuanto al SA se ubicó con el mayor valor con un promedio de 6,43 y el SAE con el menor de 6,26. Al comparar estos resultados con estudios realizados en salvado estabilizado en microondas, se reportan valores más altos y muy cercanos a la neutralidad; como son los expuestos por Siso (2009) y Torres (2009) quienes encontraron valores de 6,94 y 6,95 respectivamente en SAE. De acuerdo a García *et al.* (2012) quienes estudiaron otras harinas obtenidas del procesamiento de ñame, ocumo y mapuey deshidratados a 60 ° C y 80 ° C obtuvieron valores muy similares al salvado estudiado, reportando promedios comprendidos entre 6,2 a 6,4.

Cabe destacar que el pH representa un indicador importante de la calidad, ya que se asocia a fermentaciones o uso de aditivos como el dióxido de azufre en el procesamiento de harinas a base de cereales (Pérez, 2001). En lo concerniente a los resultados obtenidos, se percibe claramente que las concentraciones de iones de hidronios en el SAE están relativamente más distantes a pH neutros. Los pH cercanos a la neutralidad son medios más favorables para el crecimiento de microorganismos y más susceptibles a daños por fermentaciones (Siso 2009). En este sentido, se puede inferir la posibilidad de

inhibirse o ser más lento el crecimiento de microorganismos y actividades enzimáticas durante el almacenamiento en el SAE, lo que pudiera incidir en lograr almacenarse por más tiempo el subproducto.

Cuadro 13. Parámetros físico-químicos del salvado de arroz entero y estabilizado

Parámetros	SA	SAE
pH	6,43 ± 0,01 ^a	6,26 ± 0,02 ^b
Acidez titulable (%)	0,54 ± 0,00 ^a	0,35 ± 0,00 ^b
a _w	0,67 ± 0,01 ^a	0,46 ± 0,03 ^b
Densidad (g/mL a 30°C)	0,28± 0,00 ^a	0,31± 0,00 ^b
L* (luminosidad)	69,27 ± 0,06 ^a	66,68 ± 0,03 ^b
a* (matiz +a=rojo; -b=verde)	5,38 ± 0,02 ^a	6,78 ± 0,01 ^b
b* (matiz +b=amarillo; -b=azul)	26,31± 0,09 ^a	29,48± 0,05 ^b
IB (índice de blanco)	59,18± 0,01 ^a	54,99± 0,01 ^b
IM (índice de marrón)	30,73± 0,06 ^a	33,31± 0,03 ^b

SA: Salvado de arroz entero; SAE: Salvado de arroz estabilizado

Nota: Valores (promedios de 3 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

La **acidez titulable**, este índice igualmente es de suma importancia en harinas y subproductos como el salvado estabilizado, ya que permite conocer su calidad y basado en ello poder proyectar posibles usos en formulaciones de alimentos (Torres, 2009). Se ha referido que valores bajos de acidez se asocian con harinas de buena calidad y valores altos de acidez con harinas de mala calidad o que han sufrido algún deterioro, ya sea de tipo físico, fisicoquímico, microbiológico o por un almacenamiento prolongado, su uso pueden influir negativamente en el sabor, color y estabilidad en productos terminados (Requena, 2003). En este mismo orden de ideas, en cuanto al parámetro de acidez se encontraron diferencias altamente significativas entre el SA que arrojó el mayor valor de 0,54 % y el SAE con el valor menor de 0,35 %, como era de esperarse el SAE con la menor proporción en ácido, esto atribuido al efecto que probablemente tuvo el tratamiento con calor suministrado por el microondas en destruir la actividad de la lipasa y en reducir la posible carga microbiológica. Al comparar estos resultados con otras investigaciones se refleja que son superiores a los determinados por Siso (2009) y Torres (2009) quienes encontraron valores de 0,022 % en ambos casos en SAE con la misma técnica de estabilización. Esto se explica probablemente a que el salvado en estudio se estabilizo 5 días luego de su

procesamiento, a diferencia que en los referidos por los investigadores se realizaron 2 días seguidos a su obtención. Los resultados obtenidos para el SAE permiten inferir que este presentará una calidad homogénea durante su almacenamiento.

La **actividad de agua (a_w)** en el SA y SAE, mostró una disminución del agua disponible al realizar la estabilización, encontrando que la a_w para el salvado crudo fue de 0,67 y para el salvado estabilizado el agua disponible disminuyó significativamente hasta un 0,46. Dicha disminución del referido parámetro se produce probablemente porque al aplicar el tratamiento térmico a la muestra, ocurre la evaporación del agua disponible para procesos metabólicos en microorganismos, reduciéndose considerablemente las posibilidades de que el salvado sufra deterioros microbiológicos, lo que pudiera contribuir en mejorar la estabilidad durante el almacenamiento. Los valores de actividad de agua encontrados para el SAE permiten interpretar que el material tendrá un tiempo de vida útil prolongado, siempre que se mantenga en condiciones ideales, además de ello, permite inferir que la actividad microbiana estará disminuida.

En lo que respecta a la **densidad**, se encontraron diferencias significativas entre las muestras, particularmente la densidad del SAE es superior con un valor promedio de 0,31 g / mL, en contraste con el SA que obtuvo la menor densidad promedio de 0,28 g / mL. Estas diferencias son importantes considerarlas desde un punto de vista industrial, ya que basado en la densidad del material, se puede inferir al momento de almacenar o envasar el salvado estabilizado a grandes escalas se va a requerir más espacio de volumen, ya que es una harina con mayor densidad y por ende ocupará más volumen que el salvado de arroz entero. Por lo tanto, es de suma importancia al momento de realizar un proceso de empaclado y almacenamiento, trabajar con valores de densidad, ya que se puede precisar la cantidad de material que realmente puede almacenarse en cualquier recinto, bien sea empaque o silo (Guzmán, 2011). Adicionalmente tener conocimiento en general de la densidad en harinas favorece en el manejo de las mismas, así como para el diseño de silos para su almacenamiento, carga, descarga, procesamiento y transporte (Pérez, 2001).

Los valores de densidad hallados en el SAE en estudio son inferiores a los descritos por Siso (2009) y Torres (2009) en harina de salvado de estabilizado, quienes obtuvieron promedios para ambos casos de 0,43 g / mL. Esto probablemente se explica dado a que la densidad tiene relación con el tamaño de partícula de las harinas; una mayor presencia de partículas finas se asocia con densidad más baja.

En cuanto al **color**, se encontraron diferencias significativas entre los valores promedios obtenidos en los índices de L*(0 negro y 100 blanco), a*(+a=rojo; -a=verde), b*(+b=amarillo; -b=azul), IB (blanco) y IM (marrón) en el SA y SAE (**Cuadro 13**).

La luminosidad (L*), en el SA presentó mayor valor de 69,27 respecto al SAE de 66,68; esto indica como era de esperarse que la muestra más blanca fue el salvado de arroz entero a diferencia del salvado estabilizado como se ha planteado con anterioridad el tratamiento térmico puede ejercer un efecto de oscurecimiento no enzimático como la reacción de Maillard, reflejándose en una tonalidad más oscura.

En cuanto a la longitud de onda predominante (a*) y el matiz (b*) se encontró que ambos subproductos obtuvieron valores positivos, siendo el SA el que presentó los valores más bajos de 5,38 y 26,31 en contraste con el SAE de 6,78 y 29,48 respectivamente, esto indica que el SAE siguen una mayor tendencia hacia el color rojo y amarillo. Esto se explica probablemente al contenido de antioxidantes naturales del salvado (Mohd *et al.*, 2013) que al tratarlos con calor se acentúan aún más estas tonalidades en pigmentos más oscuros. Este comportamiento es similar al presentado por Siso (2009) y Torres (2009) reportaron en ambos casos el efecto relevante de la cocción en el SAE fue aumentar la tonalidad amarilla y rojiza, pero con reducción en la luminosidad al compararlos con harinas compuestas de trigo y batata. Más recientemente, de acuerdo a Sung-Min *et al.* (2014) se ha descrito que, al aumentar gradualmente el tiempo de exposición de tratamiento térmico con microondas de 2 a 5 minutos, el SAE se torna aún más oscuro, con mayor tendencia al rojo y amarillo, con valores en los índices de color muy similares a la presente investigación.

Con relación a los índices de **blanco y marrón**, se encontraron diferencias significativas en donde el SA entero presentó el mayor índice de blancura y el menor índice de marrón al compararlo con el SAE que experimentó un comportamiento inverso con menor índice de blancura y mayor índice de marón. Esta tendencia de tonalidad más oscura en la harina estabilizada, es de suma importancia a considerar al momento de formular productos horneados, ya que puede permitir controlar los niveles óptimos a incorporar de salvado para así lograr obtener un producto con tonalidades más apetecibles, por tal motivo era necesario conocer estos parámetros en el salvado estabilizado previamente a las pruebas preliminares de formulaciones y panificación. Por su parte, Siso (2009) y Torres (2009) señalaron el mismo comportamiento en SAE con menor índice de blanco al compáralo con otras harinas de cereales,

lo que quiere decir que fue la muestra más oscura entre las harinas evaluadas como la obtenida en la presente investigación.

III.1.2.5. Análisis microbiológicos del salvado entero y estabilizado

Al analizar los resultados obtenidos del conteo de microorganismos (**Cuadro 14**), se aprecia claramente que el SAE presentó el menor recuento de aerobios mesófilos (UFC/g), coliformes y *E. coli* en contraste con el SA, lo cual significa que el tratamiento térmico aplicado al salvado de arroz efectivamente tuvo un efecto significativo en reducir la carga microbiana. Esto es un punto de mucho interés, ya que se comprueba que utilizar una técnica de tratamiento calórico, fácil y rápido como la irradiación con microondas se puede reducir la población microbiana, sin requerirse de altos costos. Sin embargo, es importante llamar la atención sobre la necesidad de establecer límites de tolerancia para la carga microbiana en salvado de arroz para el consumo humano para asegurar la calidad microbiológica, ya que no existe una legislación específica para este producto y una posible aplicación de la industria alimentaria venezolana.

Cuadro 14. Estudio de estabilidad microbiológica del salvado de arroz entero y salvado de arroz estabilizado a temperatura ambiente.

Microorganismo	SA	SAE
Aerobios mesófilos (UFC/g)	$6,6 \times 10^6$	$3,7 \times 10^5$
Mohos (UFC/g)	2×10^3	$1,4 \times 10^4$
Coliformes y <i>E. coli</i> (UFC/g)	<100	<10
<i>Staphylococcus spp</i> (UFC/g)	<10	<10

SA: Salvado de arroz entero; SAE: Salvado de arroz estabilizado

Este comportamiento en disminuir la carga microbiana en salvado de arroz, también ha sido afirmado en otros ensayos en donde se realizaron el recuento de bacterias y hongos en SAE con microondas, extrusión, vaporizado, pelatizado, señalándose que el tratamiento con microondas fue el más efectivo en disminuir las poblaciones de hongos y para el caso de recuentos en bacterias igualmente fue uno de los más efectivos, así como la técnica de pelatizado y parabolizado en donde para estos casos se obtuvieron las menores cargas bacterianas en comparación con la extrusión (Oliveira *et al.*, 2012).

III.2. Selección de porcentaje de salvado a incorporar en la formulación de panes de molde.

Los resultados arrojados por un panel semi entrenado integrado por 10 personas para medir el grado de aceptación de los panes con niveles de incorporación de SAE de 10; 30 y 40 % indicó que los panes con mayor aceptación fueron los que contenían 30 % de SAE, seguidos estos por los panes con 10 % de incorporación, quedando en tercer lugar los de 40 %. De la evaluación se pudo obtener que los panelistas indicaban tener excesiva dificultad al masticar y tragar el pan con 40% SAE, además de indicar que la apariencia y condiciones de la miga no era agradable, también indicaron que el olor de este pan les era algo desagradable, lo cual puede asociarse generalmente a olores vegetales muy fuertes característicos de este tipo de material. Además, se pudo obtener información adicional de que el pan con 10% de incorporación presentaba una miga homogénea y una buena textura en mano y al ser masticado, sin embargo, la comparación de este con el pan de 30 % dejó por sentado una mayor aceptación en cuanto al atributo de sabor, el cual en este último era más perceptible, generaba curiosidad en el panelista, además de mantener características de homogeneidad de miga y buena textura al igual que el de 10 %. Por tal motivo el pan control y pan con 100 % harina de trigo más 30 % de SAE fueron considerados como los definitivos y utilizados para realizar los diferentes análisis químicos, físicos, físico-químico, calidad y estabilidad en la presente investigación.

III.3. Propiedades reológicas de las harinas y pruebas físico-químicas de las masas de trigo y harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.

En el **Cuadro 15**, se presenta el perfil amilográfico de la harina de trigo y la harina compuesta por 100 % harina de trigo más 30% de SAE, observándose que las harinas presentaron diferencias estadísticamente significativas para todas las variables amilográficas salvo la temperatura de empaste que no se evidenciaron diferencias notables entre ambas.

En cuanto a la **temperatura de empaste o inicial de gelatinización (TIG)**, es la fase de transición de un estado ordenado a uno desordenado del almidón (García *et al.*, 2012). En base a los resultados obtenidos, se encontró que la harina de trigo presentó la menor temperatura inicial de gelatinización a los 64,97 °C con respecto a la harina compuesta que exhibió la mayor TIG a los 65,35 °C. Lo cual permite inferir que la harina compuesta necesita mayor temperatura para desestabilizar sus moléculas en

el interior del gránulo de almidón. En este sentido, las temperaturas de gelatinización encontradas en las harinas estudiadas, son inferiores a las reportadas por Torres (2009) para harina de trigo (HT), harina de batata (HB), harina compuesta (HC) por trigo: batata: salvado de arroz estabilizado, quien encontró la menor temperatura en la HC con 71°C, seguida por la HB con 73,5 °C y 78,3 °C para la HT.

De acuerdo a Siso (2009), en harinas compuestas por trigo: yuca: SAE obtuvo que al incrementar el nivel de sustitución de SAE HT en niveles de 10 %, 15 % y 20 % aumentó progresivamente la temperatura de gelatinización en las harinas compuestas en 86,1°C; 87,3 °C; y 87,8 °C respectivamente. Estas diferencias entre nuestro estudio y los citados, puede ser atribuido al tipo de materias primas usadas en las formulaciones, no es lo mismo comportamiento obtenido en la harina al utilizar un subproducto de un cereal como es el caso del salvado, o harinas de raíces y tubérculos, los niveles de adición en las mezclas y los tratamientos calóricos a los que fueron sometidos dichos materiales.

Cuadro 15. Perfil amilográfico de la harina de trigo y harina compuesta por harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado.

Variables amilográficas	HT	HC: 100%HT+30%SAE
Temperatura inicial de gelatinización (°C)	64,97± 0,08 ^a	65,35± 0,48 ^a
Viscosidad pico (cP)	1626± 18,68 ^a	598,67± 8,33 ^b
Viscosidad media (cP)	879± 6,08 ^a	367± 7,94 ^b
Estabilidad (<i>breakdown</i>) (cP)	747± 14,80 ^a	231,67± 0,57 ^b
Viscosidad final (cP)	1672± 11,79 ^a	1202± 12,53 ^b
Consistencia (cP)	793± 8,89 ^a	835± 5,29 ^b
Asentamiento (<i>setback</i>) (cP)	46± 7,00 ^a	603,33± 4,72 ^b

HT: Harina de trigo refinada, HC: Harina compuesta; SAE: Salvado de arroz estabilizado

Nota: Valores (promedios de 3 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

En lo referente a la **viscosidad pico o máxima (cP)**, es una medida de la habilidad del grano de almidón al hincharse antes de la ruptura (Guzmán, 2011). Basado en los resultados obtenidos en las harinas presentaron amplias diferencias en esta característica reológica, en donde se encontró que el mayor pico de viscosidad corresponde a la harina de trigo con 1626 cP, mientras que la harina compuesta presentó el menor promedio de viscosidad pico con 598,67 cP. Esto significa que el almidón de la harina compuesta presenta una menor capacidad de hincharse antes de romperse y menor lixiviación de

amilosa a la suspensión con respecto al almidón de la harina de trigo que es más inestable. Dicho comportamiento puede atribuirse a que el salvado de arroz presenta granulometría muy diferente al de la harina de trigo, lo cual puede ocasionar que durante el hinchamiento de los gránulos de almidón, los mismos se vean afectados por la fracción fibrosa y se cree la ruptura de los mismos previo a que se complete su proceso natural de gelatinización.

Este mismo comportamiento fue obtenido por Siso (2009) en harinas compuestas por trigo: yuca: salvado de arroz en cantidades de 75:15:10; 60:25:15; 50:30:20, quien reportó valores picos de viscosidad en todas las harinas compuestas inferiores a las obtenidas únicamente con harina de trigo o harina de yuca, indicando que de las referidas harinas, la harina de yuca presentó el mayor pico de viscosidad, atribuyendo esta diferencia con respecto a las demás harinas a la gran capacidad del almidón de yuca de hincharse antes de romperse, traducándose esto en una asociación débil a nivel micelar y mayor lixiviación de amilosa al medio circundante. Sin embargo, por su parte Torres (2009) encontró que harinas compuestas por HT: HB: SAE analizadas y comparadas con harina de trigo y harina de batata, mostraron mayores picos de viscosidad en las harinas compuestas.

En cuanto a la **viscosidad media (cP)**, obtenida en la HT igualmente se exhibió con un mayor valor promedio de 879 cP con respecto a la harina compuesta que presentó el menor promedio de 367 cP, lo que denota basado en este resultado la particularidad de la HT para desarrollar mayor viscosidad. Dicho comportamiento se debe posiblemente a la incorporación del salvado que por la interacción de sus componentes, específicamente fibra y grasa con el almidón proveniente de la harina compuesta, impiden la completa ruptura del gránulo y, por ende, de la completa lixiviación de la amilosa (Siso, 2009). También es importante destacar que la fracción de almidones que pueda contener el salvado puede afectar significativamente el desarrollo de la viscosidad durante el proceso.

Estas viscosidades desarrolladas en las harinas de esta investigación son similares a las reportadas por Siso (2009) para harina de trigo (HT) harina de yuca (HY), y harinas compuestas por HT: HY: SAE, señalando que tanto las harinas HT como la HY presentaron los valores más altos de viscosidad a los 95°C en comparación de las demás harinas compuestas. Aunque en otros estudios se ha obtenido otro comportamiento distinto al nuestro, como es el expuesto por Torres (2009) quien evaluó harina de batata, harina de trigo y harinas compuestas (trigo, batata, salvado arroz estabilizado) en diferentes proporciones, reportó que todas las harinas compuestas exhibieron los mayores valores de viscosidad.

Esta discrepancia con respecto a la presente investigación puede ser debido probablemente al tamaño de partícula del SAE, ya que en la referida muestra se usaron tamaños de partículas finas con diferentes granulometrías, a diferencia que en el citado se usó un solo tamaño de partícula, también la mezcla de HT: HY: SAE, favoreció una mayor sinergia en la mezcla y por ende desarrollar mayor viscosidad a 90°C.

En relación a la **viscosidad final (cP)**, se corresponde a la viscosidad alcanzada luego de 30 minutos de cocción a 50°C (Guzmán, 2011). La viscosidad final obtenida luego de enfriarse la suspensión hasta 50°C, se enmarcó también en dos grupos diferentes, siendo la HT que exhibió el mayor valor con un promedio de 1672 cP con respecto a la harina compuesta de 1202 cP. Sin embargo, es de interés resaltar que hubo un incremento notable en la viscosidad final de la harina compuesta, con respecto a la viscosidad inicial que permite inferir la tendencia de los almidones a retrogradar. Este comportamiento es similar al encontrado por Torres (2009) en harinas compuestas por HT: HB: SAE comparadas con harina de trigo y harina de batata, señalando un incremento significativo de la viscosidad comparado con la HT y HB obtenidas por Brabender.

En lo referente a **estabilidad (*breakdown*) (cP)**, es la diferencia de viscosidad entre la viscosidad pico y la viscosidad al final del período de calentamiento (García *et al.*, 2012). De acuerdo a los resultados obtenidos para el caso de la HT presentó un valor notablemente superior de 747 cP con respecto a la harina compuesta de 231,67 cP, lo cual significa que la harina compuesta es más estable al calentamiento que la harina de trigo refinada. Por otra parte, esto se explica posiblemente a la interacción de los componentes de fibra y grasa aportada por el salvado de arroz, provocando posiblemente una mayor resistencia a la ruptura del almidón durante la cocción. Este mismo comportamiento fue presentado por González y Pérez (2003) quienes estudiaron la estabilidad en almidones de yuca nativos y calentados en microondas, señalando que el comportamiento de estabilidad en los gránulos de almidón se denota por la fragilidad de los gránulos frente a las fuerzas de corte generadas en el recipiente del amilógrafo o procesos de cocción. Estos autores mencionan que, esta afirmación puede ser evaluada a través del parámetro de estabilidad, ya que, mientras mayor sea su valor numérico, menor es la estabilidad frente a las fuerzas de corte generadas en el amilógrafo, es decir, mayor es la fragilidad de los gránulos de almidón bajo estas condiciones de calentamiento.

Finalmente, la **consistencia (cP) y retrogradación (cP)**. Para el caso de la consistencia se obtuvo que la harina compuesta es menos consistente al mostrar un valor relativamente mayor de 835 cP con respecto a la harina de trigo que exhibió el menor valor con 793 cP. En relación a los resultados obtenidos de la consistencia, la harina compuesta se puede considerar que presenta una tendencia mayor a la retrogradación (*setback*), además de que se ubica con el valor más alto de retrogradación de 603,33 cP al compararla con la HT con un valor mínimo de 46 cP. Por lo tanto, desde el punto de vista industrial, la harina de trigo compuesta presenta características idóneas para el procesamiento de productos horneados. Sin embargo, es importante mencionar que dado a la alta posibilidad de retrogradación en esta harina, este fenómeno podría influir en la calidad de los panes en mantenerse menos suaves durante el almacenamiento, ya que retrogradación se ha asociado con un aumento gradual del contenido de amilosa en panes almacenados por tiempos prolongados.

Estudios de Siso (2009) muestran en harinas compuestas comportamientos similares a la presente investigación en cuanto a la retrogradación de los almidones, señalándose que las harinas compuestas presentaron tendencia a la retrogradación y obtuvo productos horneados con un alto nivel de aceptación.

III.3.1. Evaluaciones físico-químicas de la masa compuesta por harina de trigo y harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.

En el **Cuadro 16**, se aprecian los resultados obtenidos de las características físico-químicas de la masa con harina de trigo y la masa compuesta por harina de trigo más 30 % SAE. El análisis de varianza indicó diferencias estadísticamente significativas entre ambas muestras, en lo referente a la humedad, el peso y el tiempo de fermentación. Lo cual indica que el salvado de arroz mezclado con harina de trigo afectó notablemente los valores de humedad y peso de la masa, mientras que el tiempo de fermentación en la masa con salvado disminuyó en contraste con la masa elaborada a partir de harina de trigo panadero.

En relación al contenido de **humedad**, al efectuar el análisis de varianza se encontró que existen diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos (masas). En donde la masa con SAE fue la que presentó la mayor variación en contenido promedio de humedad con 43,28 % en comparación con la masa a base únicamente de trigo con el menor contenido de 41,06 %. Estos valores son superiores a los reportados por Chagman y Huamán (2010) en masas obtenidas con una mezcla compuesta por

harina de trigo y harina de amaranto en cantidades de 5 %, 10 %, 15 % y 20 %, quienes reportan que a medida que incrementaron el porcentaje con harina de amaranto afectó significativamente en disminuir los contenidos de humedad desde 40,4 % hasta 39,6 % respectivamente. El resultado señalado por los referidos investigadores, no concuerda con las propiedades de los componentes que proporcionan fibra en retener humedad, a diferencia a presente estudio se comprobó el efecto del salvado en absorber agua y que se comprueba en incrementar paralelamente la humedad en la masa.

Cuadro 16. Características físico-química de la masa con harina de trigo y masa compuesta por harina de trigo más 30 % SAE.

Parámetros	Masa: 100% HT	Masa: 100% HT+ 30% SAE
Humedad	41,06 ± 0,22 ^a	43,28 ± 0,23 ^b
Peso de la masa (g)	508,80 ± 2,53 ^a	663,60 ± 1,98 ^b
Tiempo de fermentación de la masa (min)	75,00 ± 4,08 ^a	62,00 ± 2,82 ^b

HT: Harina de trigo refinada, SAE: Salvado de arroz estabilizado

Nota: Valores (promedios de 3 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

En cuanto al **peso de la masa**, el análisis de varianza indicó que el SAE también tuvo un efecto de variación significativo en el peso de la masa compuesta por harina de trigo más de salvado con un mayor promedio en peso de 663,60 g en comparación con la obtenida únicamente con harina de trigo que presentó el menor promedio de 508,80 g. Es decir, hubo un incremento de aproximadamente 1,30 veces más en la masa con salvado, lo cual es importante desde el punto de vista industrial, ya que esa diferencia representa un rendimiento notable que podría representar mayor ganancia de peso en el producto final, lo cual es deseable al momento de satisfacer las ganas de comer.

Con respecto al **tiempo de fermentación de la masa (min)**, la fermentación de la masa tiene efectos positivos en la producción de pan, debido a que al disminuirse el pH durante la fermentación se generan ácidos generados por la bacterias ácido lácticas, resultando esto en mayor retención de gas en la misma, favoreciendo particularmente en la activación de las proteasas y la formación del gluten, lo que permite lograr una masa más estable y por ende contribuir en una mejoría con respecto a la calidad del producto (Chagman y Huamán, 2010). Por otra parte, se ha informado que masas obtenidas adicionando alguna fuente de fibra, representan medios más propicios para una actividad óptima de la levadura, incidiendo

en mejorar el proceso de la fermentación de la masa y por el otro en mejorar la textura, el sabor, y prolongar la vida útil del producto (Kurek y Wyrwysz, 2015). Por tal motivo el tiempo de fermentación de la masa corresponde a un parámetro de suma importancia en la preparación de panes con SAE.

En base a los resultados obtenidos del ANOVA se detectó que el salvado de arroz estabilizado afectó significativamente el tiempo de fermentación, es decir; disminuyó el tiempo de dicho proceso de 75 min en la masa con harina de trigo a 62 min en la masa compuesta por HT y SAE. Tal efecto del salvado se puede ser atribuido al alto contenido de fibra y azúcares reductores, incidiendo por un lado en aumentar la capacidad de absorción de agua y por el otro en suministrar azúcares disponibles al inicio de la fermentación que favorecen a dicho proceso (Osorio y Galvis, 2009). En este mismo orden de ideas luego de la fermentación, la masa con salvado presentó mejores características en cuanto a color, olores y mayor volumen (**Figura 15**). Esto es de suma importancia en la industria panadera, ya que se van a generar condiciones idóneas para el crecimiento de la levadura, lo que va a incidir probablemente en mejorar la calidad del nuevo producto.



Figura 15. Características de las masas fermentadas

III.3.1.1. Ajuste final de formulación para la elaboración del pan de molde con harina de trigo y harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.

Para la elaboración del pan con salvado, se ensayaron previamente diversas formulaciones señalado anteriormente en el punto II.2.7. Luego de efectuar las pruebas preliminares de panificación se determinó que era necesario realizar ajustes en la formulación original, ya que se observó que al incrementar la adición de salvado, se necesitaba mayor cantidad de agua en la mezcla, lo que generó específicamente en la formulación con 30 % de SAE ajustar la cantidad de agua a adicionar, además por sugerencia del panel se disminuyó el porcentaje en sal, debido a que las migas se percibieron con sabor intenso a sal, lo que enmascaraba el sabor a nuez tostado aportado por salvado (**Cuadro 17**).

Cuadro 17. Fórmula definitiva para preparar pan de molde control y pan con 30 % de salvado.

Ingrediente (% en base a 100 g de harina)	Pan control (100% HT)	Pan 100% HT + 30% SAE
Harina	100	100
Agua	60	75
Sal	1	1
Ácido ascórbico	1	1
Levadura	2	2
Leche en polvo (descremada)	5	5
Azúcar	3	3
Salvado de arroz	0	30

HT: harina de trigo; SAE: salvado de arroz estabilizado

III.3.2. Evaluaciones del pan con harina de trigo (patrón) y pan con harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado.

III.3.2.1. Evaluaciones químicas (base seca).

En el **Cuadro 18**, se reportan los resultados promedio obtenidos en base seca de la composición proximal del pan elaborado con harina de trigo (patrón) y el pan a base de 100 % harina de trigo más

30 % de SAE. Se aprecia que el pan elaborado con harina de trigo y SAE presenta un mejor balance nutricional en base a los contenidos de cenizas, grasa cruda, proteína cruda y fibra alimentaria, disminuyéndose paulatinamente los carbohidratos y energía. Al realizar el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos panes para cada uno de los referidos componentes, lo cual significa que adicionar SAE en una proporción de 30 %, mejoró notablemente la proporción de nutrientes, con un menor aporte de carbohidratos y energía en comparación con el control.

De acuerdo a lo planteado por Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN): 226-88, establece en panes preparados con 10 % de salvado mínimo los siguientes parámetros contenidos de humedad: 38 % máximo, cenizas: 2,5 % máximo, proteína cruda: 8 % mínimo y fibra cruda: 1 % mínimo. Todos los parámetros del pan en estudio se encuentran por encima de lo establecido por la norma, esto se explica ya que en este caso se incorporó un 20 % más de salvado del indicado por dicha norma, lo que justifica una mayor proporción en los componentes nutricionales.

Al comparar los resultados obtenidos del pan con 30 % de salvado estabilizado con los presentados en otros estudios en donde se sustituyó parcialmente harina de trigo por niveles de SAE en un 30 % en la preparación de panes (Tuncel *et al.*, 2014; Irakli *et al.*, 2015), se percibe claramente que el pan en estudio presenta una mayor proporción en cuanto a los niveles de cenizas, grasa cruda, proteína cruda y fibra alimentaria, siendo de interés resaltar el efecto favorable de adicionar directamente a la formulación SAE con diferentes tamaños de partículas finas.

En lo que respecta al contenido de **humedad**, al efectuar el análisis de varianza se encontró que existen diferencias altamente significativas entre ambos tipos de panes, debido a esa significancia entre las muestras, se procedió a efectuar la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), la cual confirmó que el pan con SAE fue el que presentó el mayor promedio de humedad con 41,39 % y el pan control con el menor contenido de 37,43 %. La mayor proporción de humedad en el pan con SAE, como era lo esperado, se explica debido a que el salvado estabilizado como fuente de fibra principalmente insoluble tiene la propiedad de retener agua en su estructura (Fadaei y Salehifar, 2012), lo cual explica que al adicionarlo a la mezcla incidió en aumentar la humedad en el pan, lo cual es favorable debido a mejor calidad del producto en cuanto a más frescura (Bagheri y Mehdi, 2011) y por consiguiente probablemente en prolongarse la vida útil en anaquel.

Al comparar con otros estudios de panificación se observa que estos resultados son similares a los reportados por Tuncel *et al.* (2014) quienes en panes de molde con 100 % HT presentaron valores promedios en humedad de 38,81 % y más altos igualmente como en esta investigación en panes sustituidos con 10 % en SAE con promedio de 40,96 %. Y también a los expuestos por Pacheco *et al.* (2009) con 36,73 % en el pan patrón y los valores más altos en los panes sustituidos con 10 % SAE con 38,10 % de humedad. Todo lo anterior confirma que efectivamente el SAE tiene un efecto notable en aumentar proporcionalmente la humedad en el producto final, bien sea adicionándolo directamente a la mezcla como se efectuó en el presente estudio o sustituyendo parcialmente harina de trigo por salvado estabilizado como ya se indicó en los estudios citados anteriormente, siendo evidentemente el mayor aumento obtenido en humedad cuando se adiciona directamente el subproducto a la mezcla.

Cuadro 18. Evaluaciones químicas del pan patrón y pan con harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado (% base seca).

Componentes	Pan control (100 % HT)	Pan (100% HT+ 30% SAE)
Humedad	37,43 ± 0,24 ^a	41,39 ± 0,16 ^b
Cenizas	0,75 ± 0,04 ^a	3,31 ± 0,07 ^b
Grasa cruda	2,52 ± 0,03 ^a	6,33 ± 0,19 ^b
Proteína cruda	15,10 ± 0,04 ^a	15,45 ± 0,04 ^b
Carbohidratos totales	44,20± 0,00 ^a	33,52± 0,00 ^b
Fibra alimentaria	5,55 ± 0,55 ^a	9,22 ± 0,43 ^b
Almidón resistente	42,35 ± 5,25 ^a	39,50 ± 2,39 ^a
Energía (Kcal/100g)	260± 0,00 ^a	253± 0,00 ^b

HT: Harina de trigo refinada, SAE: Salvado de arroz estabilizado

Nota: Valores (promedios de 3 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

En cuanto a la proporción de **cenizas**, al efectuar el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre los panes, reafirmando esta variabilidad la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), la cual confirmó efectivamente diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos, arrojando que el pan con SAE fue el que presentó el mayor contenido de cenizas con 3,31 % y el pan control con el menor contenido de 0,75 %. Es decir, el nuevo pan presentó 4,41 veces más residuos de cenizas que el pan sin salvado. Siendo importante resaltar la contribución en cenizas del salvado de

arroz estabilizado al pan, lo que se traduce en un mayor aporte de minerales. Este comportamiento es similar al encontrado por Irakli *et al.* (2014) con valores de cenizas promedio desde 3,18 % hasta 3,96 % para el caso de panes tipo molde sustituidos con SAE en proporciones de 25 % y 30 % respectivamente, siendo el pan patrón igualmente como en este estudio el que obtuvo el valor más bajo de 1,55 %. Pero muy superiores a los resultados señalados en otras investigaciones en donde se sustituyó parcialmente harina de trigo (HT) por salvado de arroz estabilizado como es el reportado por Tuncel *et al.* (2014) con contenidos de 1,34 % y 2,27 % en panes a base trigo y sustituidos con 10 % SAE; a los expuestos por Pacheco *et al.* (2009) quienes obtuvieron valores promedios de 0,82 % en panes con 100% HT y 3,25% en panes sustituidos con 90 % HT y 10 % SAE. Esta variabilidad puede ser atribuida a que en esta investigación se adicionó directamente 30 % SAE a la formulación, lo que se refleja en un mayor contenido de sustancias inorgánicas.

En relación a la materia **grasa cruda**, al efectuar el análisis de varianza se encontró que existen diferencias altamente significativas entre el pan control y el pan con SAE. Debido a esa significancia entre las muestras, se procedió a efectuar la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), indicando que el pan con SAE fue el que presentó el mayor contenido en grasa de 6,33 % en contraste con el pan patrón con la menor proporción de 2,52 %. Es decir hubo un aporte adicional de un 2,51 veces más del contenido de grasa en el pan con SAE con respecto al patrón, como era lo esperado, esa mayor proporción se deriva únicamente del salvado añadido en la preparación, ya que en la formulación no se adicionó ningún otro ingrediente que proporcionara lípidos totales.

Este comportamiento en lo referido a la mayor proporción en grasa obtenida con el SAE en panes de molde es similar al presentado por Irakli *et al.* (2015) quienes sustituyendo en la formulación harina de trigo por 30 % de SAE obtuvieron un 6,17 % en el pan con SAE y de un 2,50 % en el pan patrón; a los reportados por Ameh *et al.* (2013) quienes adicionaron 5 %, 10 % y 15 % de salvado con tamaño de partícula fina por harina de trigo, obteniendo proporciones de 2,06 %, 2,69 % y 3,41 % de lípidos respectivamente, observándose también como en este estudio el menor contenido de grasa en el pan patrón con promedio de 1,57 %. A los expuestos por Pacheco *et al.* (2009) que sustituyendo 15 % de SAE por harina de trigo refinada obtuvieron un 3,25 % en panes, mientras que el patrón mostró el nivel promedio significativamente más bajo de 2,14 %. Como se observa claramente al comparar todos los análisis anteriores, al adicionar directamente salvado de arroz estabilizado a la formulación sin sustituir por harina de trigo para preparar pan como se realizó en este estudio, se logra mejorar más aun el valor

nutricional de lípidos en el producto final que si se sustituye harina de trigo por salvado. Este parámetro es de suma importancia en el almacenamiento y vida útil en anaquel, debido a su actividad antioxidante contribuyendo en prolongar por más tiempo las características de calidad en cuanto a mantener la humedad y frescura (Nanua *et al.*, 2000; Kim y Gobder; 2001; Sairam *et al.*, 2011).

Con respecto a la fracción de **proteína cruda**, al realizar el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los panes, esta diferencia lo reafirma la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), agrupando al pan con 30 % de SAE con el mayor contenido 15,45 % y al pan con 100 % HT con la menor proporción promedio de 15,10 %. Lo que permite inferir que la adición del salvado a la formulación, afecto paulatinamente el contenido proteico en los panes en 1,02 veces más. Siendo de interés destacar que el nuevo producto pudiera aportar un aminoácido esencial como es la lisina obtenida del subproducto añadido, ya que la harina de trigo es muy deficiente en el referido aminoácido (Pacheco y Peña, 2006).

Al comparar estos resultados con otros estudios en general se evidencia que el promedio de este macronutriente es superior al expuestos por Irakli *et al.* (2015) los cuales sustituyendo 30 % SAE por HT obtuvieron un promedio de 13,07 % en proteína, a los referidos por Tuncel *et al.* (2014) quienes sustituyendo 10 % SAE obtuvieron un promedio de 14,58% en el pan con salvado, a los expuestos por Ameh *et al.* (2013) señalando contenidos promedios similares entre el patrón con 11,04 % y panes con SAE con niveles de 5 %, 10 % y 15 % con fracciones promedio en proteína de 11,54 %, 11,78 % y 12,01 % respectivamente. Aunque también se han expuesto otros estudios con valores inferiores al de la presente investigación, como es el referido por Younas *et al.* (2011) siendo importante señalar para este caso en particular obtuvieron galletas sustituyendo parcialmente SAE en niveles de 5 %, 10 %, 15 % y 20 % por harina de trigo refinada, encontraron valores proteicos significativos en aumento de 11,08 %, 11,78 %, 12,56 % y 13,75 % respectivamente, lo cual confirma el efecto parcial y versatilidad de uso del salvado de arroz estabilizado.

En relación al contenido de **fibra alimentaria o fibra dietética total (TDF)**, el análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas entre el pan control y el pan con SAE. Debido a esa significancia entre las muestras, se procedió a efectuar la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), mostrando que el pan con SAE fue el que presentó el mayor contenido en fibra de 9,22 % en comparación con el pan sin salvado con la menor proporción de 5,55%. Es decir, hubo un aporte

adicional de 1,66 veces más fibra en el pan con SAE. Siendo de especial interés considerar en el pan con salvado representa un producto más nutritivo al compararlo con el pan sin salvado, favoreciendo en ser consumido fácilmente por diferentes personas (niños, deportistas, personas con problemas de peso, bajo regímenes especiales), siendo una alternativa de alimentación con un alto aporte en fibra alimentaria que puede contribuir en saciar rápidamente el apetito al ingerirlo.

En general se aprecia que los contenidos de fibra obtenidos son superiores a los hallados por otros investigadores quienes emplearon el mismo método de estabilización y procedimiento para la determinación de fibra, pero que se diferenciaron en que sustituyeron salvado por harina de trigo como es el expuesto por Irakli *et al.* (2015) en panes tipo molde sustituyeron 30 % de SAE por harina de trigo, reportando un promedio en este carbohidrato de 6,42 %. Los investigadores señalan que se logró en mejorar considerablemente dicho componente al compararlo con el pan control, adicionalmente a que el pan con salvado fue aceptable en términos de atributos sensoriales. A los presentados por Pacheco *et al.*, (2009) quienes obtuvieron un aumento de 2,15 % hasta 3,88 % en TDF en panes tipo molde sustituyendo parcialmente harina panadera por 5% y 10 % SAE. Igualmente, a los obtenidos por Haros y Vargas (2010) en panes de molde preparados con 10 % de salvado estabilizado con calor húmedo en autoclave obtuvieron un promedio en fibra total de 6,09 %.

Otros investigadores han referido que el tamaño de la partícula así como el porcentaje de sustitución con salvado de trigo (ST) por harina de trigo es uno de los factores más relevantes en la variación en general del contenido nutricional y muy específicamente en fibra (FDT), indicándose que adicionar ST en niveles de 5 %, 10 %, 15 % y 20 % con tamaños de partículas (170, 280, 425 y 750 micras) respectivamente en la preparación de panes tipo plano, se encontró que al aumentar progresivamente el nivel de sustitución y el tamaño de la partícula del salvado, los panes mostraron la mayor proporción en fibra desde 2,20 % hasta un 13 %. Destacándose que el mayor porcentaje referido en TDF fue con la sustitución de 20 % de ST y tamaño de partícula más gruesa de 750 micras (Majzoobi *et al.*, 2013). En este caso se explica que con tamaño de partícula para 750 micras y 20 % de salvado sea mayor la proporción de fibra que el pan en estudio, esto atribuido a que el salvado de trigo es una mejor fuente del macronutriente con 41,90 % FDT (Falcón *et al.*, 2009) con respecto al salvado de arroz estabilizado estudiado con 23,02 % FDT.

Es importante destacar que de acuerdo a valor de FDT encontrado en el pan con 30% salvado, puede representar entre un 10 a 35 % del valor de ingesta diario recomendado (IDR) para una dieta de 2000 Kcal/día, de acuerdo a lo referido internacional por la OMS / FAO (2003), este hecho representa gran relevancia, puesto que este nuevo producto (pan con salvado), aporta el beneficio de la FDT en comparación con el pan blanco.

En cuanto a la proporción de **almidón resistente (AR)**, al realizar el ANOVA no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos panes, confirmándolo así la prueba de mínima diferencia significativa (LSD), ubicando a las muestras en un mismo grupo y con el mayor contenido promedio de AR en el pan patrón con 42,35 % y la menor proporción en el pan de SAE con un 39,50 %. Aunque este comportamiento del nuevo pan con un menor contenido de AR, no era el esperado, basado en el alto porcentaje de almidón resistente aportado por el salvado estabilizado, esto posiblemente se atribuye a que inicialmente al proceso de irradiación con microondas al SAE, y por otro lado a que el salvado utilizado en este estudio estuvo inicialmente almacenado por un periodo de 3 meses bajo congelación, adicionalmente a este período previamente al análisis de las muestras de pan, estuvieron por aproximadamente 2 meses en conservación bajo congelación lo que probablemente incidió en la retrogradación del almidón, lo que explica dicha diferencia. Sin embargo, es de suma importancia destacar que este mismo comportamiento se ha encontrado en otros ensayos anteriores como el referido por Pacheco y Peña (2006) quienes agregaron SAE (5 %, 10 % y 15 %) como ingrediente principal en la preparación de arepas, observando que las muestras obtenidas con el subproducto presentaron el menor contenido de almidón resistente en contraste con las arepas sin salvado, destacando los investigadores que al incrementar el nivel de salvado se disminuyó significativamente el contenido de AR en el producto final.

Por otra parte, se ha indicado que técnicamente es posible incrementarse el contenido de AR en los alimentos modificando las condiciones del proceso tales como el pH, la temperatura de calentamiento, el tiempo, el número de ciclos de calentamiento y enfriamiento, congelación y descongelación, etcétera (Ugarte *et al.*, 2010). Estos factores pudieran explicar igualmente las diferencias encontradas en el nuevo pan con respecto al pan sin salvado.

En relación al contenido de **carbohidratos totales**, al efectuar el análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas entre ambos panes, siendo el pan patrón el que presentó la mayor proporción de 44,20 % con respecto al nuevo pan con la menor proporción de 33,52 %.

Al comparar estos valores con los obtenidos en otras investigaciones en donde también se agregó salvado estabilizado como ingrediente principal, se observan promedios de carbohidratos similares al de esta investigación como el expuesto por Pacheco *et al.* (2009) quienes reportaron en panes con SAE en niveles de 5 % y 10 % promedios en carbohidratos de 44,30 % y 43,03 % respectivamente, pero inferiores a los referidos por Ameh *et al.* (2013) que cuantificaron contenidos de 58,11 % y 55,59 % en panes de SAE con niveles de 10 % y 15 %, a los señalados por Irakli *et al.* (2015) quienes indicaron diferencias significativas al incrementar el nivel de SAE por HT desde un nivel de 10 % hasta 30 % en panes de molde con promedios de 81,44 % y 76,80 % respectivamente.

Estas diferencias entre las proporciones de carbohidratos entre los valores discutidos, radica principalmente por los contenidos de humedad, cenizas, grasa cruda y proteína derivados del análisis nutricional en los trabajos citados. Cabe destacar como punto de interés que, en esta investigación, se aprecia claramente que al incorporar el SAE se logra disminuir significativamente los carbohidratos por diferencia en el nuevo producto al compararlo con el pan únicamente de harina de trigo refinada.

En cuanto al contenido de **energía (Kcal/100g)**, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos subproductos, reafirmando esta variabilidad la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), ubicando al pan con 100 % HT con el mayor aporte de 260 (Kcal / 100g) y el pan con 30 % SAE con el menor aporte calórico de 253 (Kcal / 100g). En general, se aprecia que el pan estudiado aporta un menor valor calórico que el pan patrón, siendo a su vez de interés resaltar que el mayor aporte de energía en el pan estudiado, es por el alto contenido de grasa aportado por el SAE (20,07 %) siendo la referida grasa muy buena fuente de lípidos principalmente poliinsaturados (Dos Santos *et al.*, 2012) con un buen balance de ácidos grasos como el oleico, linoleico, linolénico, y palmítico; así como de antioxidantes naturales que representan una fuente importante de vitamina E (Pestana *et al.*, 2006). Basado en esto, se puede inferir que el pan objeto de estudio representa un alimento con un muy buen balance de lípidos totales y aporte de energía considerable para ser consumido fácilmente por la población humana.

II.3.2.2 Digestibilidad *in vitro* del almidón en el salvado de arroz estabilizado, pan patrón y pan con harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado.

Al analizar el grado de hidrólisis *in vitro* del almidón en el pan patrón, el pan con salvado de arroz estabilizado y el SAE durante 180 minutos (**Figura 16**), se observa que el pan con salvado presentó el mayor grado de digestibilidad con 20,13 % en comparación con el SAE y el pan patrón que presentaron la más baja digestibilidad con 19,18 % y 16,82 % respectivamente. Este resultado es atribuido inicialmente a la irradiación con calor del salvado, lo que posiblemente tuvo un efecto notable en contribuir en la digestibilidad del nuevo pan, siendo de interés también resaltar que el proceso de cocción en el referido pan, tuvo su aporte en hacer disponibles los almidones para mejorar la digestibilidad. Este mismo comportamiento, ha sido obtenido en pastas elaboradas con diversas fuentes de almidones obtenidas de harinas compuestas por plátano verde y topocho (Guzmán, 2011). El referido investigador destaca que obtuvo la mayor digestibilidad en las pastas obtenidas con harinas gelatinizadas y cocidas al compararlas con pastas elaboradas con harinas sin tratarlas térmicamente y sin cocción, resaltando el tratamiento térmico previo de las harinas, así como la cocción, los factores que incidieron en favorecer la digestibilidad. Sin embargo, de acuerdo a Pacheco *et al.* (2009) han señalado un comportamiento distinto al presentado en el presente estudio en panes de molde elaborados con SAE en proporciones de 0 % 5 % y 10 %, quienes hallaron que la muestra con el mayor contenido de SAE fue la que obtuvo la menor digestibilidad de todas.

Los resultados obtenidos en esta investigación son congruentes a los experimentados por Zamudio-Flores *et al.* (2015) quienes estudiaron la digestibilidad por 180 minutos en harinas obtenidas tres variedades de avena y a su vez compararon dicha digestibilidad con pan blanco comercial (control), señalando que a medida que se aumentó el tiempo de experimentación, aumento progresivamente la digestión, obteniéndose la mayor digestión en las harinas con respecto al pan blanco.

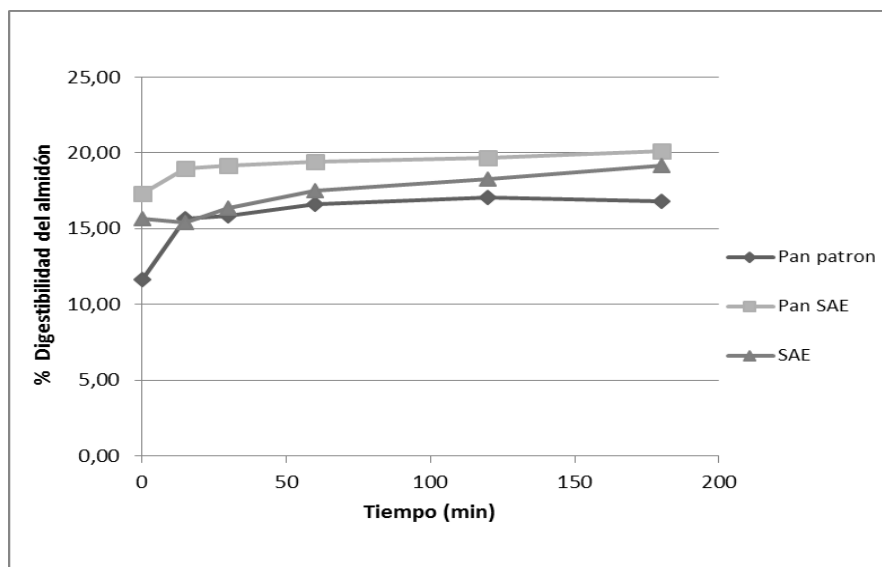


Figura 16. Digestibilidad *in vitro* del almidón del pan con harina de trigo (patrón), pan con harina de trigo más 30 % de salvado de arroz estabilizado y SAE

Por otra parte, se ha señalado que el proceso de hidrólisis puede estar relacionado con el tratamiento térmico, pero también se atribuye a la fuente del almidón, temperatura de almacenamiento, contenido de amilosa retrogradada (almidón resistente tipo III), grado de asociación molecular entre los componentes del almidón, grado de cristalinidad (Pacheco *et al.*, 2009; Cornejo *et al.*, 2015), además de la presencia de almidones resistentes a la digestión y la fibra alimentaria, como lo han expresado Pacheco y Peña (2006); y Pacheco *et al.* (2009).

III.3.2.3. Propiedades tecnológicas del pan con harina de trigo y pan con harina de trigo más salvado de arroz estabilizado.

En el **Cuadro 19**, se reportan los resultados promedios obtenidos en base seca de las propiedades tecnológicas de los panes procesados con harina de trigo (patrón) y los panes a base de 100 % harina de trigo más 30 % de SAE, se aprecia que el pan con SAE presenta mejor capacidad tanto en retención de agua como en retención de aceite al compararlo con el patrón, lo que resalta la importancia de usar harinas compuestas por salvado en la preparación de productos panaderos. Al realizar el análisis de varianza se confirman diferencias estadísticamente significativas entre los panes en relación a la CRAg y CRAc. Sin embargo, específicamente en la capacidad de retener aceite se incrementó en 3,45 veces más dicha característica en el pan con SAE en contraste con el pan patrón. Este comportamiento es de

suma relevancia, debido a que el nuevo pan además de suministrar un buen balance de nutrientes, posiblemente también al ser ingerido podría tener un efecto positivo en individuos bajo regímenes especiales tales como: niños con problemas de mal nutrición, deportistas, y personas con patologías de hiperlipidemia, peso corporal, entre otras a fines, representando una alternativa de alimentación. Al comparar estos resultados con otros productos horneados elaborados con SAE, se puede acotar que dichos contenidos son inferiores al encontrados en panes sustituidos desde 5 % hasta 20 % con salvado de arroz entero, en donde se reportaron contenidos en CRagua desde 6,58 mL/g hasta 7,2 mL / g (Bagheri y Mehdi, 2011). Y a los obtenidos en panes con harina de okara al 10 % con 7,3 mL / g (Hernández *et al.*, 2013).

Cuadro 19. Propiedades tecnológicas del pan patrón y pan con harina de trigo más 30 % salvado de arroz estabilizado

Propiedades	Pan control (100 % HT)	Pan (100% HT+ 30% SAE)
Capacidad de retención de agua (mL/g)	2,98 ± 0,80 ^a	3,30 ± 0,39 ^a
Capacidad de retención de aceite (mL/g)	1,08 ± 0,85 ^a	3,73 ± 0,52 ^b

HT: Harina de trigo; SAE: Salvado de arroz estabilizado

Valores (promedios de 8 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

II.3.2.4. Evaluaciones físico-químicas de los panes

En cuanto al análisis del **pH** y la **acidez titulable**, al realizar el análisis de varianza en lo concerniente al pH se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el pan control y el pan con SAE (**Cuadro 20**), observándose un ligero incremento del pH en el pan con SAE con respecto al control, lo cual significa que la adición de 30 % en SAE modificó el pH del nuevo producto, mientras que la acidez titulable presentó un comportamiento contrario a este, es decir no se encontraron diferencias significativas en ambos productos, siendo preciso mencionar que el análisis del referido parámetro y del pH fueron realizados 3 horas luego del procesamiento de los panes, descartándose así la posibilidad de cambios fisicoquímicos o microbiológicos que pudieran afectar a las migas, lo que permite inferir que los ingredientes usados en la preparación fueron de buena calidad.

Los resultados obtenidos en este trabajo son muy similares a los reportados en la literatura, como es el caso de Chagman y Huamán (2010) quienes prepararon panes con harina de amaranto en niveles desde 0 % hasta 20 %, señalando que los promedios de pH, así como de acidez titulable no presentaron variaciones significativas en los diferentes panes con respecto al patrón. También a los encontrados por Torres (2009) en ponquecitos elaborados con una mezcla de harina trigo: batata: SAE, quien reportó que hubo cambios significativos en los valores promedios en el pH, pero al igual como en este estudio la adición con 20 % de salvado de arroz estabilizado mezclado con harina de batata y trigo, no afectó la acidez en contraste con el ponquecito únicamente de harina de trigo refinada. La determinación de pH y acidez titulable son parámetros importantes de la calidad en un nuevo producto, ya que permiten verificar si éstos han sufrido algún tipo de deterioro bien sea fisicoquímico o microbiológico.

Cuadro 20. Características físico-químicas del pan con harina de trigo y pan con harina de trigo más 30 % de salvado de arroz estabilizado

Parámetro	Pan control (100 % HT)	Pan (100% HT+ 30% SAE)
pH	4,98± 0,01 ^a	5,74± 0,01 ^b
Acidez titulable (%)	0,06± 0,01 ^a	0,07± 0,00 ^a
Polifenoles (% ácido tánico)	0,084± ± 0,01 ^a	0,512± 0,02 ^b

HT: Harina de trigo; SAE: Salvado de arroz estabilizado

Valores (promedios de 8 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

En lo referente al contenido de **polifenoles (% de ácido tánico)**, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos productos, destacándose el pan con SAE con el mayor aporte en contenido promedio de 0,512 % en comparación con el patrón que presentó el menor promedio de 0,084 %. Es decir, la adición del SAE en proporción de un 30 % en la formulación incrementó alrededor de 6,10 veces más su contenido en polifenoles en comparación con el control. Estos contenidos son similares a los presentados en otros estudios en donde se prepararon panes con salvado de arroz estabilizado en horno en proporciones de 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 %, señalando que a medida que se incrementó la proporción de salvado, se favoreció proporcionalmente el contenido de polifenoles en los nuevos panes (Irakli *et al.*, 2015).

El contenido en polifenoles es de suma importancia, debido a su propiedad antioxidante y gran habilidad para capturar radicales libres, asociándose estas características en atenuar las probabilidades en riesgos de enfermedades tales como la enfermedad cardiovascular, el envejecimiento, el cáncer y la enfermedad de Alzheimer.

III.3.2.5. Evaluación de la calidad de los panes elaborados con harina de trigo y harina de trigo más 30% de salvado de arroz estabilizado.

Los parámetros tecnológicos tales como: peso, aspecto de la rebanada central, color de la miga, textura y estructura de la miga representan parámetros físicos de suma importancia en el sector panadero en cuanto a precisar la calidad tecnológica del producto final.

En el **Cuadro 21**, se aprecian los resultados obtenidos del análisis de los parámetros físicos de la calidad del pan con harina de trigo y pan con harina de trigo más 30% salvado de arroz estabilizado. El análisis de varianza indicó diferencias estadísticamente significativas entre ambas muestras, en lo referente al peso, al aspecto de la rebanada central, el color, el índice de blancura (IB) y el índice de marrón (IM). Debido a esa significancia se efectuó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), confirmando diferencias altamente significativas entre ambos tratamientos agrupándolos en grupos con diferentes valores promedios positivos.

Cuadro 21. Características físicas de la calidad del pan patrón y pan con harina de trigo más 30 % de salvado de arroz estabilizado

Parámetros	Pan control (100 % HT)	Pan (100% HT+ 30% SAE)
Peso (g)	56,16 ± 1,10 ^a	66,39 ± 0,21 ^b
Aspecto de la rebanada central (A/L)	0,32 ± 0,01 ^a	0,41 ± 0,01 ^b
L* (luminosidad)	82,89 ± 0,00 ^a	73,39 ± 0,01 ^b
a* (matiz +a=rojo; -b=verde)	2,42 ± 0,01 ^a	5,73 ± 0,01 ^b
b* (matiz +b=amarillo; -b=azul)	24,14 ± 0,01 ^a	25,89 ± 0,03 ^b
IB (índice de blanco)	70,31 ± 0,01 ^a	62,43 ± 0,01 ^b
IM (índice de marrón)	17,11 ± 0,00 ^a	26,61 ± 0,02 ^b

HT: Harina de trigo refinada, SAE: Salvado de arroz estabilizado; A: Ancho; L: largo.

Nota: Valores (promedios de 3 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

En cuanto al **peso**, se encontró que al adicionar SAE tuvo un efecto de variación significativo en el peso del nuevo producto, observándose que el peso del pan a base de salvado es mayor con 66,39 g en comparación con el patrón que obtuvo el menor con 56,16 g. Esto se explica debido al efecto funcional que tiene el salvado como fuente de fibra para retener agua en su estructura. Este comportamiento en incrementarse el peso al adicionar salvado, es similar al encontrado por Torres (2009) reportando que al sustituir harina de trigo por una mezcla compuesta por harina de batata (40 %) y SAE (20 %) en la preparación de ponquecitos, quien logró incrementar el peso del nuevo ponquecito aproximadamente en un 50 % más al compararlo con el elaborado únicamente con harina refinada.

Con respecto al **aspecto de la rebanada central**, se obtuvo un efecto significativo en cuanto a la relación de largo y ancho de la miga al compararlo con el control (**Cuadro 21**). Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Vargas y Haros (2010), quienes encontraron un efecto de disminución notable en el aspecto de la rebanada central en panes preparados con 10 % de salvado de arroz estabilizado con respecto al pan control. En general, es evidente la diferencia entre el estudio citado y el presente, la cual puede ser atribuido a que previo al procesamiento del pan en estudio, se llevaron a cabo pruebas preliminares de panificación que permitieron precisar muy bien ciertos puntos de control durante el procesamiento de las muestras como fue el mezclado, el tiempo de reposo, la desgasificación y el moldeado, lo que posiblemente influyó en favorecer la calidad tecnológica. Por otra parte, este efecto también pudiera ser atribuido a que al adicionar salvado con tamaños de partículas finas en la formulación que no interfirieron en la formación del gluten y la retención CO₂ en la formación de la masa, contribuyendo en obtener un pan de mejor calidad en cuanto al aspecto de la rebanada central con respecto al pan patrón.

En lo relacionado al **color**, esta característica representa una medida de calidad clave en los productos de la panificación ya que contribuye con la textura, el aroma, además que permite al consumidor en base a la tonalidad y otras apariencias en decidir sobre la aceptación o no de un determinado alimento (Esteller y Lannes, 2008). El desarrollo del color de la corteza en un producto panificado se lleva a cabo durante el proceso de horneado, debido a la reacción de Maillard que ocurre entre los aminoácidos y la caramelización de los azúcares reductores, mientras que el desarrollo de color en la miga es el resultado de los diferentes matices de colores de los ingredientes y sus interacciones (Vargas y Haros, 2010). En relación a la tonalidad que se consigue en la corteza del pan al adicionar salvado de arroz en un 30 %, es más oscura y uniforme al que se obtiene con el pan únicamente con harina de trigo (**Figura 17**).



Figura 17. Color de la corteza de los panes

Los resultados obtenidos en lo referente al color de las muestras que se muestran en el **Cuadro 21**, se aprecia primeramente que el valor de luminosidad fue significativamente mayor de 82,89 en la muestra control con respecto al nuevo producto que obtuvo una medición de 73.39, lo cual indica una tonalidad más oscura en la miga del pan con SAE, como era lo esperado atribuido este efecto a la estabilización del subproducto y al contenido tanto de polifenoles como de azúcares reductores que aporta el salvado de arroz contribuyendo en un mayor oscurecimiento. En relación a la longitud de onda predominante (a^*) y el matiz (b^*), se encontró que ambas muestras obtuvieron valores positivos, pero estadísticamente diferentes entre sí, en la miga sin salvado se obtuvieron valores promedio de 2,42 y 24,14 que son más bajos en contraste con las obtenidas al adicionar SAE de 5,73 y 25,89 respectivamente, esto indica que el pan con SAE sigue una mayor tendencia de tonalidad hacia el color rojo y amarillo con respecto al control.

Estos resultados siguen una misma tendencia a los resultados presentados por Irakli *et al*, (2015) quienes reportaron que los valores de L^* , a^* y b^* fueron significativamente diferentes en panes elaborados sustituyendo harina de trigo por 30 % de SAE con respecto a los obtenidos únicamente con harina de trigo refinada, mencionando que la muestra con SAE al igual como en este estudio también presentaron valores de luminosidad más bajos en contraste con el control, siendo el nuevo producto más oscuro y con tendencia más hacia el tono rojo y el amarillo. Por otra parte, Vargas y Haros (2010) demostraron igualmente la influencia positiva del SAE en el color de panes tipo molde procesados adicionando 10 % de SAE por harina refinada de trigo, el color de las migas mostró ser más oscuro, con

un mayor matiz hacia el rojo y el amarillo, estas tonalidades atribuidas por los investigadores a los pigmentos aportados por el salvado estabilizado. Cabe destacar específicamente que mientras mayor sea el porcentaje incluido de SAE en la formulación, en general las tonalidades serán más oscuras en el producto final, lo que puede interferir negativamente en la calidad global del producto terminado (Irakli *et al.*, 2015). En este mismo orden de ideas, se ha evaluado el efecto del salvado de arroz tostado y añadido en niveles de 10 % y 15 % en la preparación de panes, encontrándose diferencias de color entre las referidas muestras con respecto al control, en donde la muestra con 15 % de SAE presentó el menor valor de luminosidad, lo que permitió demostrar que el SAE causa un efecto notable en la tonalidad del alimento (Taghinia *et al.*, 2015). Los mismos investigadores atribuyen que una alta capacidad de absorción de agua del SAE se asocia con un menor valor de luminosidad, debido a que durante el proceso de horneado el subproducto retiene parte de la humedad, lo que a su vez evita la pérdida de agua durante la cocción, lo que explica la variabilidad en el valor de luminosidad.

Otro trabajo en donde se demostrado igualmente la influencia del uso de salvado de arroz estabilizado en el color del producto final, es el presentado por Tuncel *et al.* (2015) en pan con salvado de trigo y salvado de arroz adicionando a la mezcla 2,5 %, 5 % y 10 % de SAE, señalando un comportamiento inverso al pan en estudio, señalando que el color de las migas fueron más claras en las muestras en donde se incluyó el salvado, pero con la misma tendencia en relación a un mayor matiz rojo y amarillo a medida que se incrementaron el porcentaje de sustitución.

Por otra parte, este comportamiento ha sido contrario al obtenido en otros trabajos como es el expuesto por Siso (2009) en panques elaborados con harina de trigo y una mezcla de harinas compuestas por 50:30:20 (harina de trigo: harina de batata: SAE), señalando que al agregar las referidas harinas no se obtuvieron cambios relevantes en la tonalidad de las migas, lo que permite inferir que los productos horneados con este tipo de harinas compuestas desarrollan un color muy similar al que proporciona la harina de trigo.

En relación a los índices de **blanco y marrón**, se encontraron diferencias significativas en donde el pan sin salvado presentó el mayor índice de blancura y el menor índice de marrón al compararlo con el pan adicionado con SAE que presentó un comportamiento inverso con menor índice de blancura y mayor índice de marrón (**Cuadro 21**). En relación a estos resultados al compararlos con los expuestos por Siso (2009) quien encontró un comportamiento distinto en panqués elaborados con mezclas de harinas compuestas por trigo, yuca y SAE, con los niveles de salvado en proporciones de 10 %, 15 % y 20 %

mostraron los valores más bajos en índice de marrón en los nuevos panques con respecto a los no sustituidos. Este comportamiento distinto entre esta investigación y la nuestra puede ser inferido a factores el porcentaje de incorporación de salvado, el grado de molienda, la temperatura y el tiempo de cocción que pudieran afectar los almidones y las proteínas que inducen a la formación de las migas e incidir en la tonalidad marrón (López y Giraldo, 2010).

Basado en todos los resultados expuestos previamente queda bien establecido la importancia del SAE como ingrediente principal en formulaciones de productos panaderos, ya que este mismo efecto no se obtiene con otros ingredientes como es el caso de ponquecitos elaborados incluyendo estevia como ingrediente principal en la formulación en niveles de 25 %, 50 % y 75 %, no se encontraron diferencias en el índice de marrón, la luminosidad y la intensidad de color a^* y b^* con respecto al control, es decir los nuevos ponquecitos fueron menos oscuros (Ahmad, 2016) .

En relación al **Perfil de Textura Instrumental (TPA)**, en el **Cuadro 22**, se muestran los atributos obtenidos del perfil de textura instrumental de los panes en cuanto a dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad, masticabilidad y gomosidad. Al realizar el ANOVA se detectó que al adicionar SAE, se obtienen diferencias estadísticamente significativas en el nuevo producto en cuanto a la dureza, elasticidad, adhesividad y gomosidad al compararlo con el pan únicamente con harina de trigo, lo que permite inferir que el SAE en una proporción de un 30 % en la formulación, produce un comportamiento distinto en la calidad del pan obtenidos con respecto al patrón. Sin embargo, en cuanto a la cohesividad y masticabilidad no se evidenciaron diferencias significativas entre ambos panes.

Para la interpretación de los resultados obtenidos en los atributos de textura se realizaron tomando en consideración inicialmente las siguientes definiciones:

- **Dureza:** Es la fuerza necesaria para alcanzar una deformación determinada en un alimento (Vargas y Haros, 2010). En relación a los resultados obtenidos, al efectuar el análisis de varianza se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre la media de la dureza del pan control y el pan con SAE, está diferencia así lo reafirma la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), siendo el nuevo pan el que presentó un valor ligeramente mayor en comparación con el pan control (**Cuadro 22**), lo cual permite inferir el efecto del salvado en incrementar paulatinamente la dureza, ya que probablemente se requiere de más fuerza para comprimir el pan con SAE entre los molares, esta ligera diferencia en relación a incrementarse la dureza puede ser atribuida a la fibra aportada por el salvado de

arroz estabilizado, ya que en productos horneados tales como panes formulados con SAE han mostrado similar comportamiento (Haros y Vargas, 2010; Tuncel *et al.*, 2014; Irakli *et al.*, 2015).

Tendencia similar fue encontrada por Torres (2009), en ponquecitos con harina de trigo y ponquecitos a base de harinas compuestas por una mezcla de trigo, yuca y salvado de arroz, siendo los ponquecitos elaborados con las harinas combinadas, los que obtuvieron mayores valores de dureza en comparación con el control. Este aumento de firmeza presentado en los nuevos productos elaborados con diferentes niveles de sustitución, es atribuido a la incorporación de fibra proveniente del salvado estabilizado.

Sin embargo, de acuerdo a Taghinia *et al.* (2015) atribuyen el efecto de la dureza también a otros factores, específicamente en panes formulados con SAE en niveles de 0 %, 5 %, 10 % y 15 %, quienes evaluaron la dureza 3 y 48 horas luego del procesamiento, reportando que las migas analizadas en las 3 primeras horas luego de la cocción eran menos rígidas que el control, esto posiblemente por el efecto de retención de agua que confiere el salvado, a diferencia que almacenándolas a temperatura ambiente por 48 horas todas presentaron valores de firmeza muy similares entre sí, atribuyendo este comportamiento a una posible retrogradación de la amilopectina y por ende envejecimiento del pan. Por otra parte, se ha indicado el efecto de adicionar del salvado de trigo en proporciones de 10 %, 15 % y 20 % en el procesamiento de panes, los cuales presentaron todos comportamientos distintos en la dureza, las migas más suaves fueron las sustituidas con 10% del referido salvado (Machálková *et al.*, 2017).

Cuadro 22. Perfil de textura instrumental (TPA) del pan patrón y pan con salvado de arroz estabilizado

Atributos	Pan control (100 % HT)	Pan (100% HT+ 30% SAE)
Dureza (g)	954,43 ± 365,36 ^a	1136,48 ± 208,96 ^b
Cohesividad (g)	0,62 ± 0,03 ^a	0,49 ± 66,60 ^a
Elasticidad	0,76 ± 0,02 ^a	0,66 ± 0,05 ^b
Adhesividad	-17,42 ± 13,48 ^a	-46,72 ± 66,60 ^b
Masticabilidad	454,17 ± 171,89 ^a	360,52 ± 72,38 ^a
Gomosidad	600,02 ± 229,26 ^a	548,10 ± 93,64 ^b

HT: Harina de trigo refinada, SAE: Salvado de arroz estabilizado

Nota: Valores (promedios de 3 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

- **Cohesividad:** Representa la fuerza con la que están unidas las partículas y el límite hasta el cual se puede deformar el producto antes de romperse (Martínez-Cervera *et al.*, 2014). En cuanto a los resultados obtenidos de la cohesividad, el análisis de varianza indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los panes, esto lo reafirma la prueba de Kruskal y Wallis, agrupando en un mismo grupo a ambos tipos de panes, observándose que el nuevo pan obtuvo un menor promedio en comparación con el control (**Cuadro 22**). Estos resultados permiten señalar que el pan preparado con SAE se desmoronará más fácilmente que el pan control, ya que probablemente existe una menor fuerza interna en la estructura de la miga. Lo anterior confirma el efecto evidente del salvado como ingrediente principal en la preparación de alimentos panificados. En este mismo orden de ideas se ha mencionado el papel clave que tienen los ingredientes adicionados a las formulaciones en la cohesividad, específicamente en ponquecitos elaborados con 0 %, 25 %, 50 %, y 75 % de estevia, se observó que las muestras con porcentaje cada vez mayor de estevia se desmoronarán más rápidamente que el control con 100 % de sacarosa (Ahmad, 2016).

Al comparar los resultados de cohesividad de la presente investigación con los referidos por otros investigadores en diversos productos horneados, se aprecia un comportamiento similar en los nuevos productos. En este sentido, Tuncel *et al.*, (2014) manifiestan que panes preparados sustituyendo SAE por harina de trigo en niveles de 2,5 %, 5 % y 10 %, obtuvieron valores de cohesividad en todos los casos inferiores al control, señalando además que a medida que se incrementó el porcentaje de salvado el valor promedio de cohesividad era menor. A los presentados por Rangel (2014) en brownies con harina de plátano y brownies comerciales, encontrando igualmente que adicionando harina de plátano verde no tuvo un efecto significativo en la cohesividad de las muestras, aunque los valores de cohesividad de brownies de plátano eran ligeramente inferiores al control. La pérdida de cohesividad en el producto podría explicarse debido al significativo contenido de grasa suministrada por el salvado de arroz a la harina de trigo (Siso, 2009).

-**Elasticidad:** Representa la capacidad de un material para recuperar su estado original tras su deformación (Vargas y Haros, 2010). Este parámetro mide cuanta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial (Martínez-Cervera *et al.*, 2014). Al efectuar el análisis de varianza se encontró que existen diferencias significativas entre ambos tratamientos. Debido a esa significancia entre las muestras, se procedió a efectuar la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), indicando que el pan con SAE fue el que presentó un valor promedio ligeramente menor con respecto al pan con

harina de trigo (**Cuadro 22**). Esta diferencia demuestra el efecto del SAE en el nuevo pan en cuanto a que necesitará más tiempo para que su estructura se recupere después de ser sometido a una compresión.

De acuerdo a Siso (2009), encontró que la sustitución de harina de trigo por harinas compuestas de trigo, yuca y salvado de arroz estabilizado disminuyó paulatinamente la elasticidad en los nuevos panqués obtenidos. Señalando que este comportamiento en la elasticidad puede ser un punto a favor en el proceso de empaque y transporte de este tipo de productos, ya que, generalmente, éstos se caracterizan por ser bastante suaves y, por ende, susceptibles a cambios de su forma original, sino son manejados adecuadamente.

Esta misma tendencia también ha sido reportada en otros trabajos en donde igualmente como en los panes estudiados, al adicionar SAE en diferentes niveles ha incidido en la elasticidad. Es este sentido, Tuncel *et al.* (2014), reportaron que la elasticidad en panes blancos sustituidos con SAE en cantidades de 0 %, 2,5 %, 5 % y 10 % se disminuyó entre un 15 % a 20 % a medida que se incrementó el porcentaje de sustitución de harina de trigo por el subproducto. De acuerdo a Vargas y Haros (2010) panes procesados con 10% de SAE, confirmando que la adición del salvado provocó una ligera disminución en la recuperación instantánea de la miga con respecto al control.

-Adhesividad: Se define como la fuerza requerida para retirar las migas de pan que se adhieren al paladar durante la masticación. Al realizar los análisis estadísticos de los datos obtenidos de adhesividad, se encontraron diferencias estadísticamente entre los panes, esta diferencia así lo reafirma la prueba de diferencia mínima significativa (LSD), indicando que en pan con SAE se incrementó la adhesividad en promedio de un 20 % más al compáralo con el control (**Cuadro 22**). Estos valores de adhesividad encontrados muestran que la incorporación del salvado de arroz estabilizado y con grado de molienda fina, modifican significativamente la distribución de la estructura de la miga posiblemente debido a la presencia de fibra del salvado. En general, este comportamiento es similar al encontrado por Tuncel *et al.* (2014) quienes hallaron una tendencia creciente de la adhesividad con la adición de salvado de arroz estabilizado (0 %, 2,5 %, 5 %, 10 %) en todos los tipos de pan. La adhesividad se incrementó en aproximadamente 15 % a 20 % en el pan que se sustituyó con 10 % SRB con respecto al control.

-Masticabilidad: Representa la energía requerida para desintegrar un alimento sólido o semisólido hasta que ésta listo para ser ingerido (Vargas y Haros, 2010). Al efectuar el análisis de los supuestos de varianza, no se encontró homogeneidad entre las muestras, debido a esto se procedió a efectuar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para así verificar diferencias entre los tratamientos, confirmando la prueba a posterior que no existen diferencias significativas entre ambos tipos de panes. Los resultados obtenidos en la determinación de masticabilidad, muestran que el pan con salvado presenta el menor valor promedio al compáralo con el control (**Cuadro 22**). Estos resultados, en general, se traducen en poder inferir el efecto favorable del subproducto en un menor requerimiento energético para masticar los panes elaborados a partir salvado estabilizado con molienda fina en comparación con los panes control.

Los resultados obtenidos en el pan con salvado son similares a los encontrados Rangel (2014) en brownies con harina de plátano verde que presentaron menores valores de masticabilidad que brownies comerciales. Aunque es importante destacar que este comportamiento fue contrario al reportado por Tuncel *et al.*, (2014) quienes obtuvieron un incremento de la masticabilidad a medida que se fomentó proporcionalmente el contenido de salvado estabilizado en panes blancos, incluso se obtuvieron promedios desde 30 % hasta un 40 % por encima del control. Estas diferencias encontradas en estas investigaciones con respecto al pan estudiado pueden atribuirse a la contribución de la fibra y almidón resistente en la formulación de los productos incidiendo positivamente en la masticabilidad.

-Gomosidad: Este atributo de textura representa la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido hasta que está listo para ser ingerido y es el producto de la dureza más la cohesividad (Vargas y Haros, 2010). El ANOVA indicó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, confirmando la prueba a posteriori de diferencia mínima significativa (LSD) que el SAE tuvo un efecto distinto en el nuevo producto con respecto al pan con harina de trigo. En el **Cuadro 22**, se aprecia una disminución de la gomosidad en el pan con salvado, es decir que al momento de degustar el nuevo producto se va a requerir menor energía de compresión para desintegrarlo, lo cual es un aspecto de calidad de gran interés a la hora de la aceptación del producto. Estos resultados tienen una tendencia similar al encontrado por Rangel (2014) quien igualmente en brownies con harina de plátano verde presentó menores valores de gomosidad que los brownies comerciales. Por otra parte, efecto contrario fue presentado por Siso (2009), quien evidencio un incremento de la gomosidad a medida que se aumentaban los niveles de sustitución de la harina de trigo por harina de yuca y salvado de arroz.

II.3.2.6. Aceptabilidad del pan con salvado de arroz estabilizado

Luego de la formulación y preparación de un nuevo producto alimenticio en donde se ha adicionado un ingrediente adicional, es de suma importancia saber el grado de aceptación por parte del consumidor por lo que se debe realizar una evaluación sensorial del producto. Por tal motivo, con el propósito de conocer el nivel de aceptación de los panes elaborados adicionando 30 % de SAE, se realizó una prueba sensorial con un panel de consumidores no entrenados conformado por 68 hombres y mujeres de diferentes edades y profesiones.

En el **Cuadro 23**, se presentan los resultados obtenidos de la aceptabilidad del pan con SAE correspondiente a los atributos sensoriales de color, aroma, sabor, sensación al tragar, textura y apariencia global. Al realizar la prueba no paramétrica de Friedman, se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el color, aroma, sabor, sensación al tragar, textura y apariencia global, lo cual indica que el panel tuvo el mismo grado de aceptación en cada uno de los atributos evaluados. Los promedios de las calificaciones obtenidos de aceptabilidad en el pan fueron altos, esto basado principalmente en que la muestra se consideró aceptable si sus puntuaciones medias en una escala hedónica se ubicaban por encima de 5 (más aceptados), obteniéndose puntuaciones de aceptación con un mínimo de 7,63 para sabor y la más alta de 8,03 para la apariencia global, siendo este último el mayor puntaje de aceptación en contraste con los demás atributos evaluados.

Cuadro 23. Aceptabilidad del pan con salvado de arroz estabilizado

Atributos sensoriales	Pan (100% HT+ 30% SAE)
Color	7,82 ± 1,02 ^a
Aroma	7,93± 1,17 ^a
Sabor	7,63± 1,31 ^a
Sensación al tragar	7,76 ± 0,96 ^a
Textura	7,96 ± 1,12 ^a
Apariencia global	8,03 ± 0,95 ^a

Media ± desviación estándar, n=68

Escala hedónica estructurada de 9 puntos, donde: 1=me disgusta extremadamente; 2=me disgusta mucho; 3=me disgusta moderadamente; 4=me disgusta ligeramente; 5=me es indiferente; 6=me gusta ligeramente; 7=me gusta moderadamente; 8=me gusta mucho; 9=me gusta extremadamente.

Por otra parte, al evaluar el pan en base al porcentaje de aceptación del panel por atributos y categorías en una escala hedónica estructurada de 1 al 9 (**Cuadro 24**), se aprecia para el sabor un 47,06 % del panel le gustó mucho. En cuanto al color a un 52,94 % de los consumidores les gustó mucho. Para el caso del aroma a un 41,18 % de los catadores le gustó mucho. En cuanto a la textura, los panelistas coincidieron que gusto extremadamente en un 38,24 %. En relación a la sensación al tragar con un 45,59 % coincidieron que gusto mucho y finalmente la apariencia global del pan a un 51,47 % del panel le gustó mucho.

Cuadro 24. Porcentaje de aceptación por atributos sensoriales del pan con salvado de arroz estabilizado en una escala hedónica estructurada de 1 al 9.

Atributos sensoriales	1	2	3	4	5	6	7	8	9
% sabor	-	1,47	1,47	1,47	-	7,35	20,59	47,06	20,59
% color	-	-	-	-	7,35	-	17,65	52,94	22,06
% aroma	-	-	1,47	-	1,47	10,29	10,29	41,18	35,29
% textura	-	-	-	1,47	1,47	8,82	14,71	35,29	38,24
% sensación al tragar	-	-	-	1,47	1,47	2,94	27,94	45,59	20,59
% apariencia global	-	-	-	-	4,41	1,47	11,76	51,47	30,88

En general, se observa gráficamente que el pan elaborado con salvado de arroz estabilizado exhibe una alta aceptabilidad por parte del panel (**Figura 18**). En promedio el 90 % de los panelistas ubicaron la muestra con la mayor frecuencia de aceptación en la escala me gusta moderadamente, me gusta mucho y me gusta extremadamente. Estos resultados permiten inferir el efecto favorable del salvado de arroz estabilizado con tamaño de partícula fina en mejorar la calidad sensorial del pan, esto atribuido a ciertas propiedades obtenidas del subproducto al estabilizarlo, como es el caso del sabor característico a nuez dulce, olor cereal cocido, color café y capacidad en retener agua, lo que probablemente incidió en la percepción sensorial del panel en relación a una mejor sensación al tragar, tonalidades suaves y frescura de la miga, lo que condujo a altos porcentajes de aceptación. Adicionalmente, es de interés resaltar que la prueba de degustación se realizó 24 horas luego de la cocción del producto, lo que también fue determinante en proporcionarles a los evaluadores migas más suaves, lo que podría relacionarse igualmente con una mejor percepción y aceptación. Entre los comentarios anexos como observaciones

por parte de los panelistas se destacaron buen color, sabor agradable, olor apetitoso y excelente frescura de las migas.

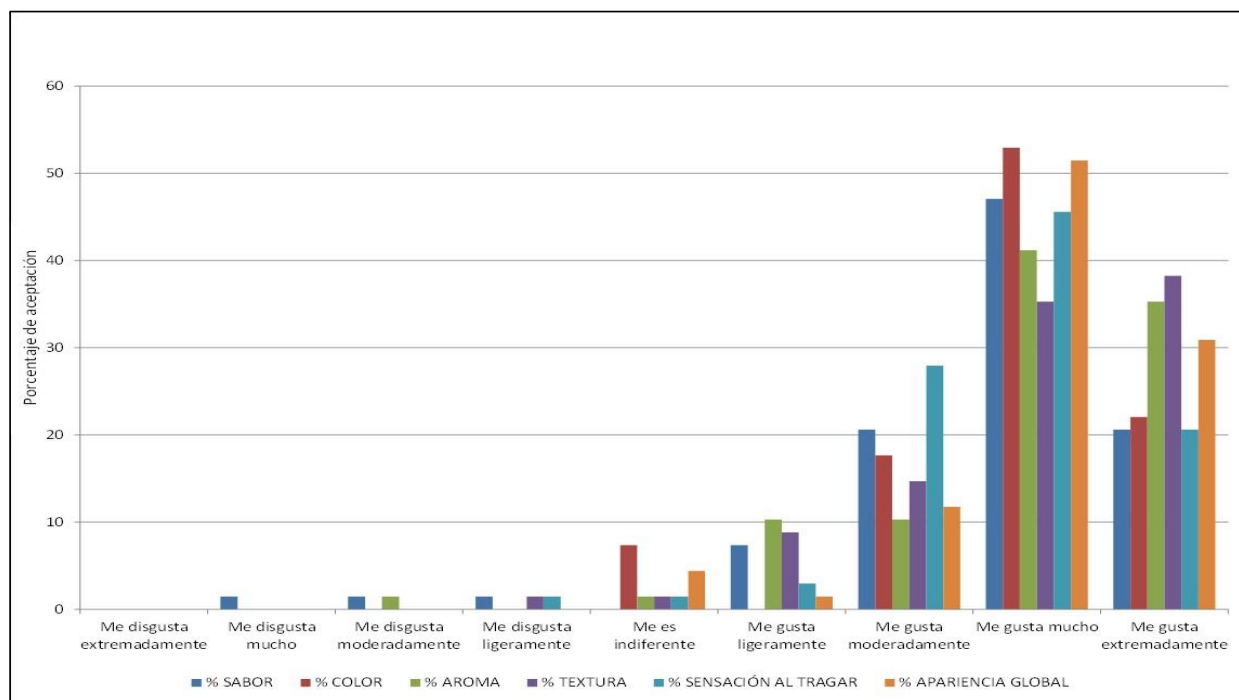


Figura 18. Representación gráfica del porcentaje de aceptación del pan con salvado de arroz estabilizado

Aunque ha existido mucha controversia en los últimos años por parte de la comunidad científica sobre el efecto positivo o negativo del salvado en las características sensoriales de productos panificados, ha quedado bien establecido un acuerdo generalizado en coincidir sobre su efecto favorable en la preparación de diversos productos de panadería (Bagheri y Mehdi, 2011; Majzoobi *et al.*, 2013; Irakli *et al.*, 2015; Rafe *et al.*, 2016; Machálková *et al.*, 2017). En este mismo orden de ideas, pruebas de evaluación sensorial realizadas en productos horneados han demostrado un efecto similar del salvado de arroz estabilizado al conseguido en este estudio, como es el expuesto por Taghinia *et al.* (2015) en panes con SAE en proporciones de 5 %, 10 % y 15 % por harina de trigo, lograron mejorar la calidad de los panes en términos de firmeza hasta un 10 % con la adición de salvado. Por su parte, Bagheri y Mehdi (2011) el sabor dulce del salvado de arroz estabilizado y capacidad de retener agua son características que contribuyen en mejorar la calidad sensorial en panes preparados adicionando salvado preferiblemente hasta de 10 % por harina de trigo.

De acuerdo a Irakli *et al.* (2015) se pueden obtener panes con un buen perfil sensorial al sustituir salvado de arroz estabilizado desde 5 % hasta 30 % por harina de trigo, quienes reportan una mejoría notable al incrementarse la proporción en salvado en términos de sabor y olor, aunque no se favoreció la textura y el color de las migas, los mismos investigadores destacan que al incrementarse el nivel de sustitución se puede afectar negativamente la aceptación, pero se mejora significativamente la composición nutricional. Otros investigadores citan que las variaciones en el color del producto pueden ser atribuidas al tipo de subproducto y al porcentaje agregado en la formulación, ya que panes procesados agregando salvado de trigo entero obtenido del procesamiento de diversas variedades de cultivares de trigo, encontraron que hasta un nivel máximo de 10 % de sustitución se puede mejorar la aceptación del producto, por encima del referido nivel, se afecta negativamente la calidad en general por las altas coloraciones aportadas del salvado a la masa (Machálková *et al.*, 2017).

De acuerdo a otros investigadores el tamaño de la partícula del salvado, tiene un efecto adverso en los atributos sensoriales en productos panaderos, señalando que tamaños de partículas superiores a 425 μm y porcentajes superiores al 15 % de salvado de trigo afectan negativamente el sabor, dureza y color del producto final (Majzoobi *et al.*, 2013). Aunque más recientemente se ha indicado que la mejoría de la calidad del producto final en productos incluyendo materiales con altos contenidos en fibra radica principalmente en el tamaño de la partícula, por lo cual el desafío al momento de su adición radica en considerar un tamaño que permita influir positivamente en la calidad sensorial (Hemdane *et al.*, 2016).

De igual forma se ha logrado diversificar el uso del salvado de arroz estabilizado en la preparación de barras energéticas sustituyendo 10 % y 20 % de SAE por harina de trigo. Señalándose que ambos productos, aun cuando se percibieron con tonalidades oscuras, fueron igualmente preferidos en todos los parámetros sensoriales de sabor, olor y apariencia total. Así mismo, por su parte, Sharif *et al.* (2009) se pueden preparar galletas con salvado de arroz estabilizado y desgrasado hasta un porcentaje máximo de 20% con buena aceptación en términos de color, sabor, textura, frescura, y apariencia global. Posteriormente, Younas *et al.* (2011) ratifican el efecto positivo de incorporar salvado de arroz estabilizado con calor hasta un promedio máximo de 20 % en la preparación de galletas, destacándose la aceptación del producto en cuanto a color y olor, aun cuando el producto se afectó negativamente el sabor y la dureza en contraste con el control. De acuerdo a Torres (2009) preparar ponquecitos con mezclas de harinas compuestas por harina trigo, harina de batata y añadiendo salvado de arroz

estabilizado hasta de un 20 %, ha resultado viable al mejorarse el valor nutricional del producto, sin afectar el sabor, el color y la esponjosidad al compararlo con ponquecitos sin salvado.

III.3.2.7. Estudios de estabilidad del pan con salvado de arroz estabilizado

Conservar el pan luego del horneado es una preocupación constante del panadero, porque este alimento representa un sustrato óptimo para el desarrollo de microorganismos. Las pruebas de estabilidad o vida útil tienen como propósito evaluar el comportamiento de un nuevo producto, durante un tiempo determinado a diferentes temperaturas, bien sea bajo refrigeración o a temperatura ambiente, entre otros (Gamboa *et al.*, 2008). Las pruebas relacionadas con la estabilidad, tales como humedad, pH, acidez y contajes de microorganismos son de gran importancia en este tipo de estudios, ya que por medio de estos parámetros se puede determinar cambios físicos-químicos y/o microbianos que determinan la calidad sensorial y de seguridad del producto, permitiendo así predecir el tiempo de vida útil, lo que favorece en por ende garantizar su consumo sin ningún tipo de riesgo al consumidor (Rangel, 2014). En este sentido, por tal motivo es imperativo evaluar la estabilidad del pan a base de salvado por 4 días consecutivos, ya que este tipo de producto es muy perecedero y aún más cuando en el procesamiento del mismo no se incluyó en la formulación ningún tipo de conservante antimicrobiano, además que el pan por conocimiento constituye, por su contenido en agua, carbohidratos, proteínas, sales minerales y vitaminas, un medio sólido idóneo para el desarrollo de numerosas especies de microorganismos.

III.3.2.7.1. Parámetros de calidad del pan con salvado de arroz estabilizado durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Cambios durante el almacenamiento en los parámetros de humedad, peso, pH y acidez titulable son indicadores que permiten determinar si un alimento ha sufrido alguna alteración de tipo bien sea enzimática o microbiológica. En tal sentido, determinar el tiempo de vida útil de un alimento es fundamental, ya que permite establecer el tiempo en que el mismo pueda consumirse sin que constituya un riesgo de la salud al consumidor (Rangel, 2014).

En el **Cuadro 25**, se presentan los valores promedios obtenidos durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente del pan a base de 30 % de SAE, observándose cambios significativos a medida que transcurrió el tiempo de experimentación en los parámetros de humedad, peso y acidez titulable, a excepción de la pérdida de peso que no hubo ningún cambio proporcional durante el estudio.

Cuadro 25. Cambios en las propiedades físico-químicas del pan con salvado de arroz durante el almacenamiento a temperatura ambiente

Parámetros	0	1	2	3	4
Humedad (%)	40,22± 0,15 ^a	37,81± 0,19 ^b	36,36± 0,31 ^c	35,71± 0,08 ^d	35,35± 0,27 ^d
Pérdida de peso (g)	63,27± 0,06 ^a	63,10± 0,17 ^a	63,07± 0,15 ^a	63,07± 0,12 ^a	63,03± 0,11 ^a
pH	5,74± 0,01 ^a	5,74± 0,01 ^a	5,72± 0,02 ^a	5,67± 0,01 ^b	5,64± 0,01 ^b
Acidez titulable (%)	0,07± 0,01 ^a	0,07± 0,01 ^a	0,08± 0,01 ^a	0,09± 0,01 ^b	0,11± 0,01 ^b

Nota: Valores (promedios de 3 determinaciones ± desviación estándar) en una fila seguidos de una letra diferente, indican que son estadísticamente diferentes entre sí a un nivel de $p \leq 0,05$.

En lo referente a la **humedad**, el análisis estadístico indicó diferencias altamente significativas entre cada uno de los días en anaquel, lo que confirma que hubo pérdida de humedad en el producto a medida que transcurrió el tiempo en almacenamiento. Aunque este comportamiento no era lo esperado, dado a que el salvado retiene la humedad en el producto, esto se explicaría por qué el pan se envolvió en bolsas de polietileno y sellados manualmente con un equipo de sellado tipo impulse Sealer modelo Kinpakcon, existiendo la posibilidad de no quedar totalmente herméticas y permitió la salida de humedad del producto. En este sentido, es importante tener muy presente las características del empaque a utilizar para preservar la calidad del producto, permitiendo de esta manera evitar y/o controlar variaciones indeseables en el contenido de humedad, la cual puede ser un factor de deterioro del alimento durante el almacenamiento.

En la **Figura 19**, se observa el comportamiento que se generó en la humedad del pan, en donde la variable en estudio disminuyó proporcionalmente a lo largo del período establecido (4días). Luego de iniciarse el almacenamiento se percibe claramente la pérdida de humedad y a medida que transcurrieron los días en las siguientes mediciones se obtenían valores más bajos, siendo específicamente en el día 4, en donde la humedad promedio es la más baja con 35,35 % con una variación de un 4,4 % con respecto a la humedad inicial del producto con 40,22 %. Este mismo comportamiento también ha sido reportado en otras investigaciones, cabe destacar como los expuestos por Siso (2009) quien encontró en panqués a base de una mezcla de harinas compuestas incluyendo 20 % de SAE almacenados por 3 días bajo refrigeración obtuvo pérdidas de humedad en el producto. La pérdida de humedad en un producto horneado durante el almacenamiento pueden estar relacionado con la retrogradación de los almidones

debido a una retrogradación de la amilosa a medida que transcurre en anaquel, hecho que pudo comprobarse con los resultados reológicos de este estudio.

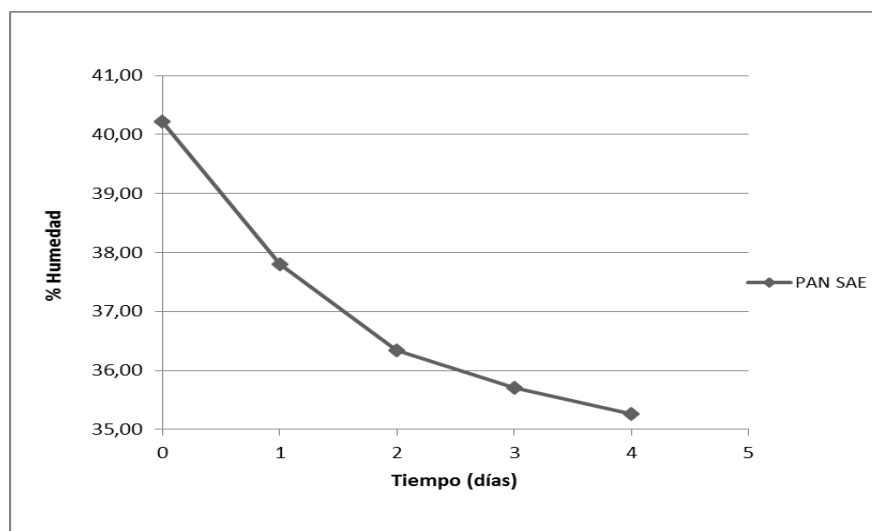


Figura 19. Cambios en la humedad del pan con salvado de arroz durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente

En lo que respecta a la **pérdida de peso**, no se evidenciaron cambios significativos en el producto, siendo únicamente entre el día 0 y 1, en donde se percibió una leve pérdida de peso desde 63,27 hasta 63,1g (**Figura 20**). Este parámetro es de suma relevancia a nivel industrial, debido a que el consumidor al adquirir un alimento empacado, lo ideal es que durante el tiempo que transcurra desde su compra hasta su consumo, no se experimenten pérdidas de peso. Todo lo anterior, permite inferir que se pueden conservar panes con 30 % de SAE almacenados en bolsas plásticas y selladas herméticamente por un periodo máximo de 4 días consecutivos, sin que se generen pérdidas considerables de su peso inicial.

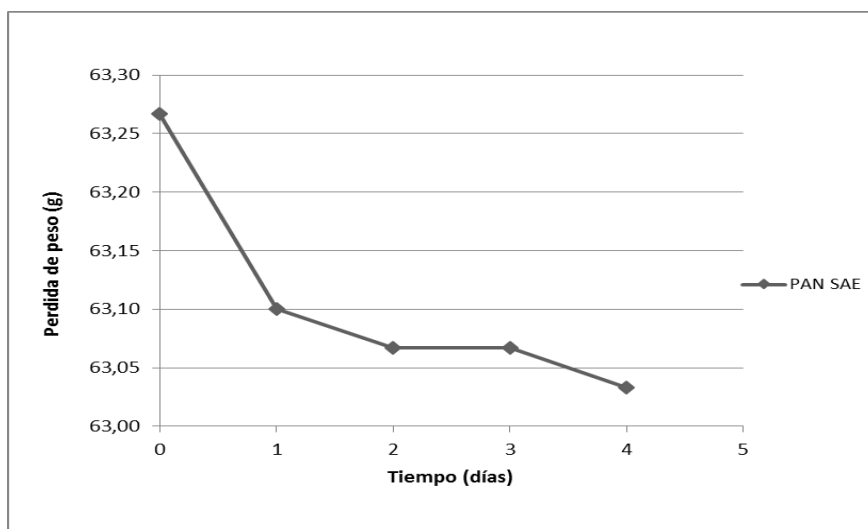


Figura 20 . Cambios en la pérdida de peso del pan con salvado de arroz durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente

En relación al **pH**, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el producto durante los 2 primeros días de experimentación (**Figura 21**), lo cual es un buen indicador dado a que se puede inferir que hay poca o casi nula actividad microbiana, considerándose el producto estable. Sin embargo, a partir del día 3 en almacenamiento, sí se experimentaron cambios proporcionales en donde los valores disminuyeron significativamente hasta un promedio de 5,64 en el último día; es decir un 20,13 % superior en comparación con el pH del día 0, lo cual es un indicador de la posible presencia de algún tipo de actividad microbiana.

Los resultados obtenidos concuerdan con los expuestos por Torres (2009). Igualmente, con tendencia similar a los expuestos por Rangel (2014) en brownies preparados con harina de plátano verde y almacenados por 22 días bajo las mismas condiciones de experimentación del pan en estudio, reportando una disminución significativa en los primeros 7 días de las concentraciones promedio en iones de hidrogeno. Sin embargo, ponquecitos preparados con la sustitución de 50 % de estevia por sacarosa en la formulación y almacenados por 8 días a temperatura ambiente, han presentado un comportamiento distinto al pan estudiado, debido a que no se generaron cambios significativos en el pH y la acidez titulable al agregar dicho ingrediente, lográndose conservar en óptima calidad por el lapso indicado dicho alimento (Ahmad, 2016).

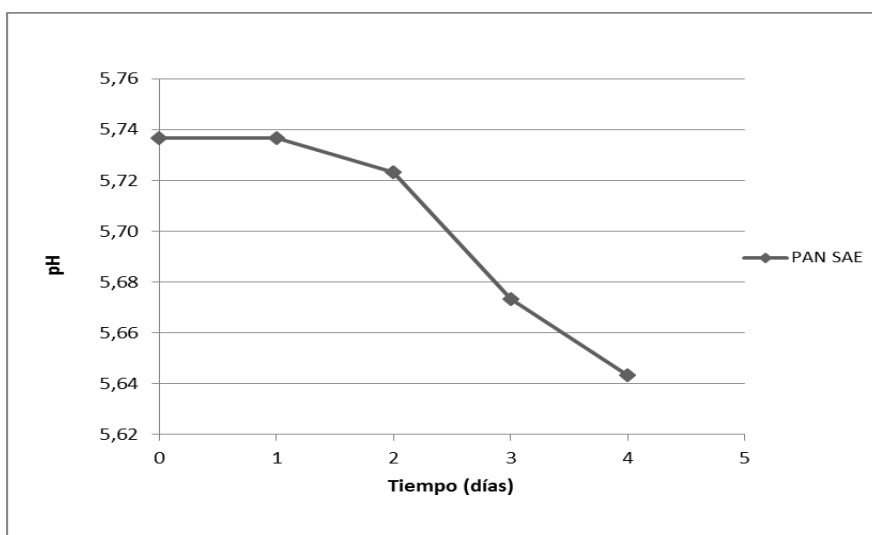


Figura 21. Cambios en el pH del pan con salvado de arroz durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente

En cuanto a la **acidez titulable**, no se observaron diferencias significativas en los 2 primeros días (**Figura 22**), a partir de esos días se incrementó significativamente hasta un máximo de 0,11 % para el día 4, representando dicho valor de acidez un 16,67 % superior al promedio obtenido al inicio con 0,07 %. Lo cual indica que en los últimos días en el pan aumentó la concentración de ácidos, probablemente debido al crecimiento de algún tipo de microorganismo y/o actividad enzimática que pudo afectar la calidad del producto.

Con relación a la acidez titulable obtenida en el pan estudiado al comparar con la literatura citada se encontró que otros investigadores obtuvieron un comportamiento opuesto al nuestro, en este sentido específicamente de acuerdo a Torres (2009) quien reporta que ponquecitos elaborados con una mezcla compuesta por harina trigo: batata: SAE, y almacenados por 3 días a temperatura ambiente no hubo cambios significativos en los valores de acidez a lo largo del periodo de almacenamiento. Sin embargo, de acuerdo a Siso (2009) panques elaborados con harina de trigo y diferentes harinas compuestas yuca: salvado de arroz estabilizado, 75:15:10, 60:25:15, 50:30:20. Encontró un comportamiento similar como el pan en estudio, al confirmar que la que estabilidad de los panqués durante tres días de almacenamiento bajo refrigeración, mostraron ligeros cambios en la acidez titulable y pH. Atribuyendo el investigador, estos resultados a la posible presencia de algún tipo de actividad microbiana que pudo afectar la calidad del producto final.

Por su parte Pilco *et al.* (2009) ratifican que efectivamente la presencia de mohos del género *Penicillium*, así como las levaduras afectan a corto plazo la conservación de panes a temperatura ambiente, esto podría explicar las variaciones del pH y la acidez en productos horneados. Los mismos investigadores señalan que adicionar conservadores naturales como el aceite de clavo en la formulación para preparar panes representa una opción viable en inhibir el crecimiento microbiano, lográndose conservar por más tiempo el producto en anaquel.

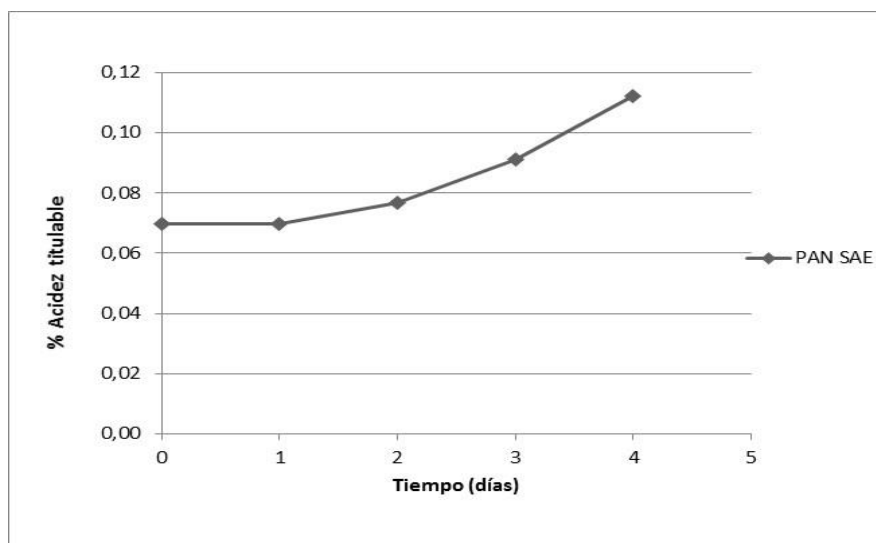


Figura 22. Cambios en la acidez titulable del pan con salvado de arroz durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente

III.3.7.2. Análisis microbiológicos del pan con salvado de arroz estabilizado

En el **Cuadro 26**, se presentan los resultados del estudio de estabilidad correspondiente a colonias de aerobios mesófilos, mohos, coliformes y *E. coli* durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente (30 °C). Al realizar el estudio de estabilidad, se observa que efectivamente hubo un incremento progresivo de aerobios mesófilos en el pan a partir del 2 día de almacenamiento que se acentuó paulatinamente dicho crecimiento a medida que transcurrió el tiempo de experimentación establecido. En cuanto al conteo de mohos, coliformes y *E. coli*, se mantuvieron los mismos conteos de cargas microbianas a lo largo del periodo de experimentación en anaquel.

Cuadro 26. Estudio de estabilidad microbiológica del pan con salvado de arroz estabilizado durante 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Microorganismo	0	1	2	3	4
Aerobios mesófilos (UFC/g)	5×10^1	5×10^1	2×10^2	$3,5 \times 10^2$	3×10^3
Mohos (UFC/g)	<10	<10	<10	<10	<10
Coliformes y <i>E. coli</i> (UFC/g)	<10	<10	<10	<10	<10

Al comparar los resultados anteriores con otros estudios de productos horneados como los señalados por Rangel (2014) en brownies con harina de plátano verde son similares a los contajes obtenidos durante los primeros 7 días de almacenamiento, destacándose contajes de 3×10^2 UFC / g para aerobios mesófilos, presentando resultados similares a los del pan con SAE tanto en mohos, como en coliformes y *E. coli* recuentos < 10 (UFC / g). Igualmente, con igual tendencia a los presentados por Ahmad (2016) en ponquecitos sustituidos en un 50 % de estevia por azúcar, quien evaluó durante 8 días en anaquel a temperatura ambiente, reportando un estimado de $4,62 \times 10^5$ UFC / g de aerobios mesófilos, en hongos y levaduras < 100 UFC / g, considerándose los ponquecitos higiénicamente aptos su comercialización, distribución y consumo. De acuerdo a Pacheco y Testa (2005) temperaturas de cocción de 250 °C reduce significativamente la carga microbiológica referente a mesófilos y mohos en panes tipo molde a base de harina de trigo y harina de plátano verde, dicho productos obtenidos se consideran de buena calidad sanitaria, debido a que los contajes se encontraron por debajo de los límites establecidos por la Norma COVENIN. Siendo de interés indicar que las variaciones en cargas microbianas entre los estudios expuestos y la presente investigación pueden ser atribuidas a las diferencias en el tiempo de almacenamiento, materiales de empaque y temperaturas de almacenamiento.

De acuerdo a la Norma COVENIN 226-88 para un pan establece un límite máximo en hongos de 1×10^3 UFC/ g, además considerando como base de referencia la Norma COVENIN 1483-2001 para galletas que establece como máximo permitido tanto para coliformes totales como para *Escherichia coli* de 1×10^2 UFC/g y aerobios mesófilos de 1×10^4 UFC/g. Basado en estos valores, el pan con SAE se encuentra dentro de los límites establecidos por las normas, por lo que se puede inferir que durante la preparación de los panes se mantuvieron buenas normas higiénicas y sanitarias, así como el uso de materias primas de óptima calidad y materiales de empaque. Es decir, se cumplió totalmente con las buenas prácticas de fabricación del nuevo producto. En cuanto al contaje de aerobios mesófilos, se observa que este va en aumento al pasar los días, hecho que es normal que suceda pues es indicativo de

que el producto puede comenzar a sufrir cambios desde el punto de vista microbiológico. Cabe destacar que este parámetro se determinó a fin de evaluar el proceso de elaboración del pan, no obstante, no es un parámetro que se mida según la normativa para evaluar la calidad del pan.

Teniendo presente todo lo expuesto en los trabajos citados y la Normas COVENIN 226-88 y 1483-2001, además de los indicadores de calidad analizados previamente tales como: humedad, pH y acidez titulable, se puede considerar que el pan estudiado podría considerarse un producto de calidad sanitaria, apto para su comercialización, distribución y consumo al menos por 4 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

IV.4.1. Conclusiones

- ✓ Se comprueba que es posible diversificar el uso del salvado de arroz estabilizado variedad MD248 con tamaños de partículas entre < 250 y $420\ \mu\text{m}$, a partir de su incorporación hasta un 30 % en formulaciones de pan de molde, con lo cual se logró optimizar el contenido nutricional y calidad sensorial de este tipo de productos horneados.
- ✓ La irradiación con microondas mostró ser un método efectivo para estabilizar el salvado de arroz, y con el cual se ha logrado mejorar la capacidad de retención de agua y aceite, reducir la carga microbiana inicial, conservar la calidad nutricional, aportar color, olor sabor y textura con respecto al salvado sin estabilizar.
- ✓ El salvado de arroz con una fracción granulométrica de 62,85 % (< 250 y $420\ \mu\text{m}$), es una excelente fuente de fibra, almidón resistente, cenizas, proteína cruda y grasa cruda. Cuando se incorpora a formulaciones como masas para panes genera propiedades tecnológicas ideales, características de productos horneados.
- ✓ Los panes a base de salvado fueron relativamente más oscuros, con una tendencia a presentar un mayor tamaño de la rebana central y del peso con respecto al pan control. La incorporación de 30 % de SAE tendió a incrementar ligeramente la dureza y adhesividad, pero contribuyó en disminuir significativamente la elasticidad, la masticabilidad y gomosidad del pan.
- ✓ Los panes con incorporación de 30 % de SAE consiguieron en general un 90 % de aceptación por parte de los panelistas que evaluaron en función a atributos de color, aroma, sabor, sensación al tragar, textura y apariencia global.
- ✓ El estudio de estabilidad físico-química y microbiológica de los panes con salvado durante 4 días a temperatura ambiente, indicó resultados aceptables y permitidos por las normas venezolanas como higiénicamente aptos para su comercialización, distribución y consumo.

IV.4.2. Recomendaciones

- ✓ Estudiar la estabilidad del salvado crudo y estabilizado durante el almacenamiento por un tiempo mínimo 6 meses a temperatura ambiente, refrigeración y congelación.
- ✓ Evaluar la solubilidad proteica y vitaminas en el salvado de arroz estabilizado.
- ✓ Realizar análisis de la composición de minerales tanto en la harina compuesta por harina de trigo y salvado como en el producto final.
- ✓ Usar en la preparación de pan conservantes naturales tales como el aceite esencial de clavo de olor y romero para prolongar la conservación del producto.
- ✓ Llevar a cabo investigaciones para evaluar la digestibilidad *in vivo* del almidón y de las proteínas del pan.
- ✓ Evaluar el efecto fisiológico del nuevo producto en colesterol, triglicéridos y glucemia en humanos.

IV.4.3 Referencias bibliográficas

- AACC (American Association of Cereal Chemist). 2000. American Association of Cereal Chemists International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 61-02. Determination of the Pasting Properties of Rice with the Rapid Visco Analyzer. USA.
- AACC (American Association of Cereal Chemist). 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, US. St. Paul Minnesota.
- AACC (American Association of Cereal Chemists). 2001. The Definition of dietary fiber. Cereal Foods World; 46:112-126.
- Abdul-Hamid, A.; R. Sulaiman; A. Osman; N. Saari. 2007. Preliminary study of the chemical composition of rice milling fractions. Journal of Food Composition and Analysis; 20:627-637.
- Abdul-Hamid, A.; Y. Luan. 2000. Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. Food Chemistry; 68:15-19.
- Ahmad, N. 2016. Formulación de ponquecitos con sustitución parcial de sacarosa por estevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) comercial. Tesis especial de grado. Instituto de ciencia y Tecnología. U.C.V. Caracas. Venezuela. 107 Pág.
- Akhter, M.; N. Afzal; Z. Halder; A. Raza. 2015. Inactivation of lipase enzyme by using chemicals to maximize rice bran shelf life and its edible oil recovery. Integrative Food, Nutrition and Metabolism; 2:166-170.
- Almeida-Alvarado, S.; T. Aguilar-López; D. Hervert-Hernández. 2014. La fibra y sus beneficios a la salud. Anales Venezolanos de Nutrición; 27:73-76.
- Alvis, A., L. Pérez; G. Arrazola. 2011. Elaboración de panes con agregado de harina de arroz integral y modelación de sus atributos sensoriales a través de la metodología de superficie de respuesta. Información Tecnológica; 22: 29-38.

- Ameh, M.; D. Gernanh; B. Igbabul. 2013. Physico-Chemical and sensory evaluation of wheat bread supplemented with stabilized undefatted Rice Bran. *Food and Nutrition Sciences*; 4:43-48.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Washington, DC. USA, 1300 p.
- Ávila, M.; J. Uribe; Y. Jayaro; J. Alezones; M. Romero; Y. Alejos; N. Clisanchez; W. López. 2014. Comparación de variables físicas, culinarias y amilográficas del cultivar de arroz (*Oryza sativa L.*) MD248 con dos cultivares comerciales de arroz en Venezuela. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*; 5: 070-088.
- Bagchi, T.; T. Adak; K. Chattopadhyay. 2014. Process standardization for rice bran stabilization and its' nutritive value. *Journal of Crop and Weed*; 10: 303-307.
- Bagdi, A.; B. Toth; R. Lorincz; S. Szendi, A. Gere; Z. Kokai; L. Sipos; S. Tomoskozi. 2016. Effect of aleurone-rich flour on composition, baking, textural, and sensory properties of bread. *LWT-Food Science and Technology*; 65:762-769.
- Bagheri, R.; S. Mehdi. 2011. The effect of adding rice bran fibre on wheat dough performance and bread quality. *World Applied Sciences Journal*; 14:121-125.
- Basulto, J.; M. Moñino; A. Farran; E. Baladia; M. Manera; P. Cervera; María Romero; F. Miret; I. Astiasarán; J. Bonany; V. Gelabert; J. Ballesteros; A. Martínez; A. Palou; J. Labrador; I. Marques-López; G. Russolillo; M. Alonso; F. Riquelme; I. Polanco; F. Rodríguez; N. Martínez. 2014. Nutrición Humana y Dietética. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*; 18: 100-115.
- Belderok, B. 2000. Developments in bread-making processes. Historical introduction. *Plant Foods for Human Nutrition*; 55:1-14.
- Beloshapka, A.; P. Buff; G. Fahey; K. Swanson. 2016. Compositional Analysis of Whole Grains, Processed Grains, Grain Co-Products, and Other Carbohydrate Sources with Applicability to Pet Animal Nutrition Foods; 5: 1-16.

- Birt, D.; T. Boylston; S. Hendrich; J. Jay-Lin; J. Hollis; J. McClelland; S. Moore; G. Phillips; M. Rowling; K. Schalinske; P. Scott; E. Whitley. 2013. Resistant Starch: Promise for Improving Human Health. *Advances in Nutrición*; 4: 587-601.

- Cañas, Z.; A. Restrepo; M. Cortés. 2011. Vegetable products as source of dietary fiber in the food industry: A Review. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*; 64: 6023-6035.

- Caprita, R.; A. Caprita. 2011. Chemical methods for the determination of soluble and insoluble non-starch polysaccharides-review. *Scientific papers: animal Science and Biotechnologies*, 44:73-80.

- Chagman, G; J. Huamán. 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. *Revista de la Sociedad Química del Perú*; 76: 377-388.

- Chau, C.; K. Cheung, K. Wong. 1997. Functional properties of protein concentrate from three Chinese indigenous legume seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 45: 2500-2503.

- Codex Alimentarius. 2009. Informe de la 32ª. Reunión del comité del Codex sobre nutrición y alimentos para regímenes especiales. ALINORMA 09/32/26, Apéndice II. Roma (Italia). Comisión del Codex Alimentarius. Disponible en: file:///C:/Users/usuario/Downloads/al32_26s.pdf.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1988. Pan. 1ra Revisión. Norma 226-88. Caracas, Venezuela.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1990. Método para recuento de mohos y levaduras. 1ra Revisión. Norma 1337-1990. Caracas, Venezuela.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1997. Alimentos. Recuento de Aerobios. Método en placas con películas secas rehidratables (Petrifilm). Norma 3338-1997. Caracas, Venezuela.

- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 2001. Galletas (1^{ra} revisión). Norma 1483-2001. Caracas, Venezuela.
- Cornejo, F.; P. Caceres; C. Martínez-Villaluenga; C. Rosell; J. Frias. 2015. Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. *Food Chemistry*; 173: 298-304.
- COVENIN. 1981. Norma 1787. Alimentos. Productos de cereales y leguminosas. Determinación de acidez. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.
- De Melo G.; K. Texeira, R. Freitas. 2013. RDNA-based DGGE analysis and electron microscopic observation of cocoa beans to monitor microbial diversity and distribution during the fermentation process. *Food Research International*; 53: 482-486.
- Dhingra, D.; S. Chopra; D. Rai. 2012. Stabilization of raw rice bran using ohmic heating. *Agricultural Research*; 4: 392-398.
- Dos Santos, S.; P. Zaczuk; M. Carmago. 2012. Nutritional composition of rice bran submitted to different stabilization procedures. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*; 48:652-657.
- Edel, A.; C. Rosell. 2007. De tales harinas, tales panes. Editado en Córdoba, Argentina. 480 p.
- Englyst, H.; S. Kinman, J. Cummings. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*; 46: S33-S50.
- Escudero, E.; P. González. 2006. La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21:61-72.
- Esteller, M.; S. Lannes. 2008. Production and characterisation of sponge-dough bread using scaled rye. *Journal of Texture Studies*; 39: 56–67.
- Fadaei, V.; M. Salehifar. 2012. Some chemical and functional characteristics of dietary fiber from five fiber sources. *European Journal of Experimental Biology*; 2:525-528.

- Falcón, M.; J. Barrón; A. Romero; M. Salazar; M. Domínguez. 2009. Contenido de fibra dietaria en productos extruidos a base de salvado de trigo y harina de trigo integral. *Revista Ciencia, Tecnología y Salud*; 7: 9-12.
- Fedegro. 2016. Estadísticas Agropecuarias. Disponible en edición digital en <http://www.fedegro.org/produccion/Rubros.asp>.
- FEDNA (Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal). 2003. De composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos. 423p.
- Fernández-Muñoz, J.; S. Martín-Martínez; J. Díaz-Góngora; A. Calderón; H. Ortiz. 2008. Evaluación de las distribuciones de tamaño de partícula de harina de maíz nixtamalizado por medio de RVA. *Superficies y Vacío*; 21: 25-30.
- Friedman, M. 2013. Rice brans, rice bran oils, and rice hulls: Composition, food and industry uses, and bioactivities in humans, animals, and cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 61: 10626-10641.
- Gamboa, L.; M. González; E. Hurtado. 2008. Tiempo de vida útil de panquecas elaboradas a base de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) y zanahoria (*Daucus carota*). *Saber, Universidad de Oriente-Venezuela*; 2: 177-182.
- García, O.; R. Infante; C. Rivera. 2008. Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 21:25-30.
- García, A.; E. Pérez; R. Dávila. 2012. Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secado del ñame, ocumo y mapuey. *Agronomía Tropical*; 62: 51-67.
- Gil, Á.; 2010. Tratado de nutrición. Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Segunda ed., Madrid: Médica panamericana.
- Goni, I.; L. García-Dí; E. Manas; F. Saura Calixto. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*; 56: 445-449.

- González, Z.; E. Pérez. 2003. Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) pregelatinizados y calentados con microondas. *Acta Científica Venezolana*; 54: 127-137.
- GOP (Government of Pakistan). 2008. Economic Survey 2007-2008. Government of Pakistan, Economic Advisor Wing, Finance Division, Islamabad-Pakistan.
- Gray, J. 2006. La fibra dietética. Definición, análisis, fisiología y salud. Monograph Series International Life Sciences Institute. Bélgica, Europa. 35p.
- Guerra, M.; M. Hernández; M. López; M. Alfaro. 2009. Valores de referencia de proteínas de la población Venezolana. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*; 63: 278-292.
- Guevara, B.; A. Fernández. 2015. Estabilización del salvado de arroz: Tratamiento térmico por extrusión para inactivación enzimática (lipasas). *Revista Alimentos Hoy*; 23: 88-96.
- Gul, K.; B. Yousuf; A. Singh; P. Singh; A. Abas. 2015. Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food-A review. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*; 6:24-30.
- Gunenc, A.; H. Tavakoli; K. Seetharaman; P. Mayer. 2013. Stability and antioxidant activity of alkylresorcinols in breads enriched with hard and soft wheat brans. *Food Research International*; 51: 571-578.
- Guzmán, R. 2011. Estudio integral de dos variedades de musas (*musa spp*) I. elaboración de productos a base de harinas ii. producción de maltodextrinas y uso en microencapsulación de antioxidantes. Tesis Doctoral. Instituto de ciencia y Tecnología. U.C.V. Caracas Venezuela. 288 Pág.
- Hemdane, S.; J. Pieter; E. Dornez; J. Verspreet; J. Delcour; C. Courtin. 2016. Wheat (*Triticum aestivum* L.) Bran in Bread. *Institute of Food Technologists*; 15: 28-42.
- Hensperger, B.; W. Chuck; N. Barnhurst. 2002. Bread (1ª edición). Simon & Schuster Source.

- Hernández, M.; M. Pinzón; D. Carvajal. 2013. Uso de la harina de okara como sustituto parcial de la harina de trigo en un pan típico regional. *Alimentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*; 11: 43-50.
- Hugo, W.; M. Godiño. 2000. Tecnología de almacenamiento de granos de trigo. Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA. Montevideo-Uruguay. 132 p.
- Hunter Lab. Manual. 2001. Hunter Associates Laboratory Universal software version 3.8 ISO 9001 certified.
- INCAP, 2000. Cereales y sus subproductos. Disponible en <http://www.depadresahijos.org/INCAP/cereales.pdf>.
- Interredu, 2014. Obtenido del grano de arroz. Disponible en <http://www.interredu.com/grano-de-arroz.php>.
- Irakli, M.; D. Katsantonis; F. Kleisaris. 2015. Evaluation of quality attributes nutraceutical components and antioxidant potential of wheat bread substituted with rice bran. *Journal of Cereal Science*; 65:74-80.
- Javed, M.; S. Zahoor; S. Shafaat; I. Mehmooda; A. Gul; H. Rasheed; S. Bukhari; M. Nauman; I. Haq. 2011. Wheat bran as a brown gold: Nutritious value and its biotechnological applications. *African Journal of Microbiology Research*; 6:724-733.
- Jha; P.; V. Kudachikar; S. Kumar. Lipase inactivation in wheat germ by gamma irradiation. 2013. *Radiation Physics and Chemistry*; 86:136-139.
- Kamal-Eldin, A.; H. Nygaard; E. Bach; A. Maija; V. Piironen; H. Adlercreutz; K. Katina; K. Poutanen; P. Aman. 2009. Physical, microscopic and chemical characterisation of industrial rye and wheat brans from the Nordic countries. *Food & Nutrition*; 2:1-11.
- Kim, J.; J. Gogber. 2001. Oxidative stability and vitamin E levels increased in restructured beef roasts with added rice bran oil. *Journal of Food Quality*; 24: 17-26.

- Kurek, M; J, Wyrwysz. 2015. The Application of Dietary Fiber in Bread Products. *Journal Food Processing y Technogy*; 6: 1-5.
- Lagunes, G.; G. Loiseau; J. Paredes; M. Barel; J. Guiraud. 2007. Study on the micro flora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic. 2007. *International Journal Food Microbiology*; 114:124-30.
- Larios-Saldaña, A.; J. Porcayo-Calderón; H. Poggi-Varaldo. 2005. Obtención de una harina de pulido de arroz desengrasado con bajo contenido de fibra neutro detergente. *Interciencia*; 30: 29-32.
- Laurentin, A.; C. Edwards. 2013. Fiber: Resistant starch and oligosaccharides. In: Caballero B. (ed.) *Encyclopedia of Human Nutrition*, third edition, Volume 2, pp. 246-253. Waltham, MA: Academic Press.
- Lehtinen, O. 2012. Modifying Wheat Bran for Food Applications - Effect of Wet Milling and Enzymatic Treatment. Trabajo de grado. Universidad Metropolia de Ciencias Aplicadas. Finlandia. 63p.
- Lloyd, B.; T. Siebenmorgen.; K. Beers. 2000. Effects of commercial processing on antioxidants in rice bran. *Cereal Chemistry*; 77:551-555.
- López, G.; G. Rincón; F. Periago; M. Martínez; J. Ortuño. 1997. Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismos de acción en el tracto gastrointestinal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*; 47: 203-206.
- López, J.; G. Giraldo. 2010. Caracterización físico-química de harina de trigo, masa y pan. *Revista de Investigaciones de la Universidad de Quindío*; 20: 29-35.
- Machálková, L.; M. Janecková; L. Hrivna; Y. Dostálová; J. Hernández; E. Mrkvicová; T. Vyhnánek; V. Trojan. 2017. Impact of added colored wheat bran on bread quality. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*; 65: 99-104.

- Majzoobi, M.; A. Farahnaky; Z. Nematolhi; M. Hashemi; M. Ardakani. 2013. Effect of different levels and particle sizes of wheat bran on the quality of flat bread. *Journal of Agricultural Science and Technology*; 15:115-123.
- Malekian, F.; R. Rao; W. Prinyawiwatkul; W. Marshall, M. Windhauser; M. Ahmedna. 2000. Lipase and lipoxygenase activity, functionatity, and nutrient losses in rice bran during storage. *Bol. LSU AgCenter*, 870: 2-69.
- Martínez-Cervera, S.; A. Salvador; T. Sanz. 2014. Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: thermal, rheological, texture and acceptability properties. *Food Hydrocolloids*; 35: 1-8.
- Matos-Chamorro, A.; E. Chambilla-Mamani. 2010. Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencias y Tecnología de Alimentos*; 1: 5-17. Mesas, J.; M. Alegre, 2002. El pan y su proceso de elaboración. *Ciencias y Tecnología de Alimentos*; 3: 307-313.
- Mohd, N.; T. Ling; L. Su Peng. 2013. By-products of Rice Processing: An Overview of Health Benefits and Applications. *Journal Rice Research*; 1: 1-11.
- Morales-Ortega, A.; G. Niño-Medina; E. Carvajal-Millán; A. Gardea-Béjar; P. Torres-Chávez; Y. López-Franco; A. Rascón-Chu; J. Lizardi-Mendoza. 2013. Los arabinoxilanos ferulados de cereales. una revisión de sus características fisicoquímicas y capacidad gelificante. *Revista Fitotecnica Mexicana*; 36: 439-446.
- Mudgil, S. 2013. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*; 61:1-6.
- Najar, C.; J. Alvarez. 2007. Mejoras en el proceso productivo y modernización mediante sustitución y tecnologías limpias en un molino de arroz. *Industrial data*; 10: 22-32.
- Nanua, L.; J. McGregor; J. Godbert. 2000. Influence of high-oryzanol rice bran oil on the oxidative stability of whole milk powder. *Journal of Dairy Science*; 83: 2426-2431.

- Olagnero, G.; A. Abad; S. Bendersky; C. Genevois; L. Granzella; M. Montonati. 2007. Alimentos funcionales: Fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *Dieta* (B. Aires), 25: 20-32.
- Olive Li, Y.; A. Komarek. 2017. Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis, and applications. *Food Quality and Safety*; 1: 47-59.
- Oliveira, M.; P. Bassinello; V. Lobo; M. Rinaldi. 2012. Stability and microbiological quality of rice bran subjected to different heat treatments. *Ciencia e Tecnología de Alimentos*; 32: 725-732.
- OMS (Organización Mundial de la Salud)/FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2003. Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. Ginebra.
- Osorio, S.; J. Galvis. 2009. Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Revista Ingeniería e Investigación*; 29: 39-46.
- Ozdestan, O.; E. Tugce; A. Burcu. 2014. Phytosterols in rice bran and usage of rice bran in food industry. *Review Foodbalt*; 1: 24-27.
- Pacheco, E.; G. Testa. 2005. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. *Inverciencia*; 30: 300-304.
- Pacheco, E.; J. Peña. 2006. Efecto del salvado de arroz sobre parámetros químicos, físicos y sensoriales de arepas precocidas y congelados. *Revista de la Facultad de Agronomía*; 23: 234-245.
- Pacheco, E.; J. Peña; P. Jiménez. 2009. Efecto del salvado de arroz sobre las propiedades físico-químicas y sensoriales de panes de trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 26:583-598.
- Pacheco., E.; J. Peña; A. Ortiz. 2002. Composición Físico-Química del aceite y salvado de arroz estabilizado por calor. *Agronomía Tropical*; 52: 173-185.

- Parrado, J.; E. Miramontes; M. Jover; J. Gutiérrez; L. Terán; J. Bautista. 2006. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potential use as functional food. *Food Chemistry*; 98: 742-748.
- Patel, M.; S. Naik. 2004. Gamma-oryzanol from rice bran oil – A review. *Journal of Scientific and Industrial Research*; 63: 569-578.
- Peralta, E.; M. Villacrés. 2011. Conceptos y parámetros de calidad para el grano de amaranto (*Amaranthus spp*). Programa nacional de leguminosas y granos andinos. Quito, Ecuador.
- Pérez, E. 2001. Modificación de las propiedades funcionales de harinas y almidones extraídos de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) ocumo chino (*Colocasia esculenta*) y batata (*Ipomoea batata*) para su aprovechamiento en la formulación de alimentos horneados. Tesis Doctoral. Instituto de ciencia y Tecnología. U.C.V. Caracas Venezuela. 455 Pág.
- Pérez, L. 2010. Evaluación de las fracciones granulométricas de la harina de sorgo (*sorghum bicolor* (L.) Moench) para la elaboración de una pasta alimenticia. Tesis de Especialización en Ciencia y Tecnología de alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia. 50p.
- Pestana, V.; R. Zambiasi; C. Mendoca; M. Bruscatto; G. Ramis-Ramos. 2006. Influencia del procesado industrial sobre las características químico-físicas y contenido en lípidos y antioxidantes del salvado de arroz. *Grasas y aceites*; 60: 184-193.
- Pilco, S.; M. Quito; S. Quispe. 2009. Conservación de Pan Artesanal Ezequiel y Pan Superbueno Usando Aceite Esencial de Clavo de Olor (*Eugenia caryophyllus*). *Revista de Investigación Universitaria*; 1: 12-17.
- Plaza, M.; P. Llanos; M. Pelayo; B. Zugasti; A. Zuleta. 2013. Revisión actualizada de los hidratos de carbono. Su implicación en el tratamiento nutricional de la diabetes. *Nutrición*, 14:88-107.

- Prato, R. 2011. Estudio técnico económico para implementar la extracción de aceite vegetal del afrecho de arroz en las principales industrias molineras de arroz ubicadas en el estado Guárico. Tesis especial de grado. Facultad de Administración de Empresas, Universidad Nueva Esparta. Nueva Esparta. 105p.
- Price, M; L. Buttler, L. 1977. Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. *Journal of the Agricultural and Food Chemistry*; 25: 1268-1272.
- Prosky, L.; N. Asp; I. Furda; J. DeVries; T. Schweizer; B. Harland. 1984. Determination of total dietary fiber in foods, food products, and total diets: interlaboratory study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*; 67: 1044-1052.
- Rafe, A.; A. Sadeghian; S. Hoseini-Yazdi. 2016. Physicochemical, functional, and nutritional characteristics of stabilized rice bran from tarom cultivar. *Food Science & Nutrition*; 1: 1-8.
- Ramezanzadeh, F.; R. Rao; W. Prinyawiwatukul, W. Marshall; M. Windhauser. 2000. Effects of microwave heat, packaging, and storage temperature on fatty acid and proximate compositions in rice bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 48: 464-467.
- Ramos, F. 2013. Maíz, trigo y arroz. Universidad Autónoma de Nuevo León. Ediciones Monterrey, México. 85 p.
- Rangel, L. 2014. Desarrollo de mezcla para “brownies” a partir de harina de hartón común dirigidos a consumidores tradicionales y con regímenes especiales. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 132p.
- Requena, F. 2003. Efecto del grado de acetilación sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón de arroz (*Oryza sativa* L.), Tesis de grado. Facultad de Ciencia. Escuela de Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 123p.
- Richard, J; T. Labuza. 1990. Rapid determination of the water activity of some reference solutions, culture media and cheese using a new dew point apparatus. *Sciences des Aliments*; 10: 57-62.

- Richard, W. 2005. Seminario: “color y apariencia”. Hunter Associates Laboratory.
- Rodríguez, M. 2007. Determinación de la composición química y propiedades físicas y químicas del pulido de arroz (*Oryza sativa* L.). Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia- Chile. 41p.
- Rodríguez, P. 2010. Obtención de aislado proteico de amaranto (*Amaranthus spp.*) y harina de plátano (*Musa sp*) para la elaboración de una mezcla deshidratada para bebidas instantáneas. Tesis Doctoral. Instituto de ciencia y Tecnología. U.C.V. Caracas. Venezuela. 227 Pág.
- Rosell, C.; E. Santos; C. Collar. 2010. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab®. European Food Research and Technology; 231: 499-634.
- Rosniyana, A.; M. Hashifah; N. Shariffah. 2009. Nutritional content and storage stability of stabilized rice bran – MR 220. Journal of tropical agriculture and food science; 37: 163-170.
- Sabanis, D.; D. Lebesi; C. Tzia. 2009. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. Food Science and Technology; 42: 1380-1389.
- Sairam, S.; G. Krishna; A. Urooj. 2011. Physico-chemical characteristics of defatted rice bran and its utilization in a bakery product. Journal of Food Science and Technology; 48: 478-483.
- Salgado-Nava, A.; M. Jimenez-Munguía. 2012. Métodos de control de crecimiento microbiano en el pan. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos; 2: 160-172.
- Sardarodiyani, M.; E. Salehi. 2016. Bioactive phytochemicals in Rice Bran: processing and functional properties. International Journal of PharmTech Research; 9: 401-408.
- Sharif, M.; M. Masood; F. Anjum; H. Nawaz. 2009. Preparation of fiber and mineral enriched defatted rice bran supplemented cookies. Pakistan Journal Nutrition; 8: 571-577.
- Sharifa, M.; M. Butta; F. Muhammad; S. Hafiz. 2014. Rice bran: a functional ingredient Novel. Food Science and Nutrition; 54: 807-816.

- Sharma, R.; T. Srivastava; D. Saxena. 2015. Studies on Rice Bran and its benefits- A Review. International Journal of Engineering Research and Applications; 5: 107-112.
- Singh, P.; N. Yadav; P. Mishra; S. Sheikh. 2013. Utilization of rice bran for the development of value added Indian Sweet. International Journal of Agricultural and Food Science; 3: 76-79.
- Siso, K. 2009. Elaboración de panque con harina de trigo (*Triticum aestivum* L.), yuca (*Mahinohot esculenta* Crantz) y salvado estabilizado de arroz (*Oryza sativa* L.). Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 276p.
- Slavin, J.; V. Savarino; A. Paredes; G. Fotopoulos. 2009. A Review of the Role of Soluble Fiber in health with specific reference to wheat dextrin JL. Journal of International Medical Research; 37: 1-17.
- Suárez, G.; A. Schang. 2003. Salvado de arroz: valor nutritivo y uso potencial en alimentos parrilleros. Revista Argentina de Producción Animal; 23: 13-24.
- Sumantha, A.; P. Deepa; C. Sandhya; G. Szakacs; C. Soccol; A. Pandey. 2006. Rice Bran as a Substrate for Proteolytic Enzyme Production. Brazilian Archives of Biology and Technology; 49: 843-851.
- Sung-Min, K.; C. Hyun-Jung; L. Seung-Taik. 2014. Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. Journal of Cereal Science; 60: 243-248.
- Tadeo, J. 2010. Estabilización y usos potenciales del salvado de arroz Colombiano para su aprovechamiento industrial sin afectar su calidad nutricional y funcional. Disponible en: <http://207.239.251.110:8080/jspui/bitstream/11348/4684/2/salvadodearroz.pdf>.
- Taghinia, P; E. Ataye-Salehi; Z. Sheikholeslami. 2015. Impact of pretreated rice bran on wheat dough performance and barbari bread quality. Journal of Agricultural Science and Technology; 17:135-144.

- Tavares, B.; E. Da Silva, V. Da Silva; M. Junior; E. Ida; C. Damiani. 2016. Stability of gluten free sweet biscuit elaborated with rice bran, broken rice and okara. Food Science and Technology; 2: 296-303.
- Torres, J. 2009. Elaboración de panque con harina de trigo (*Triticum aestivum* L.), yuca (*Mahinohot esculenta* Crantz) y salvado estabilizado de arroz (*Oryza sativa* L.). Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 165p.
- Torres, V.; S. Beltrán; E. Castillo; B. Álvarez; M. Guerrero; M. Machuca. 2011. Procesos de panificación en la industria alimentaria. Higiene y Sanidad Ambiental; 11: 739-745.
- Tortoe, C.; P. Johnson; A. Nyarko. 2009. Effects of osmo-dehydration, blanching and semi-ripening on the viscoelastic, water activity and colorimetry properties of flour from three cultivars of plantain (*Musa* AAB). Innovative Food Science and Emerging Technologies; 10: 82-86.
- Tuncel, B.; N. Yılmaz; H. Kocabıyık; A. Uygur. 2014. The effect of infrared stabilized rice bran substitution on physicochemical and sensory properties of pan breads: Part I. Journal of Cereal Science; 59: 155-161.
- Tungland, B.; D. Meyer. 2002. Nondigestible oligo and polysaccharides (Dietary Fiber): Their physiology and role in human health and food. Institute of Food Technologists; 3:90-109.
- Ugarte, M.; M. Giraudo; R. Pavesi; H. Sánchez; C. Beaufort; J. Menéndez. 2010. Almidón resistente en los alimentos. Nutrición; 11: 48-55.
- Valencia, F.; M. Román. 2006. Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica; 13: 54-60.
- Vallabha, V.; T. Indira; A. Lakshmi; C. Radha; P. Tikku. 2015. Enzymatic process of rice bran: a stabilized functional food with nutraceuticals and nutrients. Journal of Food Science and Technology; 52: 8252-8259.

- Vargas, E.; M. Aguirre. 2011. El salvado de arroz: Procesos de estabilización y usos potenciales en la industria colombiana. Disponible en: <http://www.utadeo.edu.co/es/publicacion/libro/publicaciones/235/el-salvado-de-arroz-procesos-de-estabilizacion-y-usos>.
- Vargas, E.; M. Haros. 2010. Mejora nutricional del pan con salvado de arroz colombiano. Volumen 3. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá D.C-Colombia. 38p.
- Vargas, E.; M. Murillo. 1978. Composición química de subproductos de trigo y arroz y de granos de maíz y sorgo utilizados en Costa Rica. Agronomía Costa Rica; 2: 9-15.
- Westenbrink, S.; K. Brunt; Jan-Willem. Kamp. Dietary fibre: Challenges and use of food composition data. 2013. Food Chemistry, 140: 562-567.
- Younas, A.; M. Shahbaz; A. Ahmed; M. Randahawa. 2011. Effect of rice bran supplementation on cookie baking quality. Pakistan Journal of Agriculture Sciences; 48: 129-134.
- Zamudio-Flores, P.; J. Tirado-Gallegos; J. Monter-Miranda; A. Aparicio-Saguitán; J. Torruco-Uco; R. Salgado-Delgado; L. Bello-Monte. 2015. Digestibilidad in vitro y propiedades termicas, morfológicas y funcionales de harinas y almidones de avenas de diferentes variedades. Revista Mexicana de Ingeniería; 14: 81-97.
- Zapata, M.; E. Carrara; J. Funes. 2013. Evaluación del grado de satisfacción y determinación del contenido de fibra de un pan elaborado en base a harina de arroz integral. Diaeta (Buenos Aires); 31:5-19.