

**EFFECTO DEL ALMIDÓN DE YUCA MODIFICADO CON α - AMILASA
DEL *Bacillus Licheniformis*, EN LAS PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS,
BROMATOLÓGICAS, FÍSICAS Y SENSORIALES DEL DIABOLÍN**



IRIS LEIDY SOTO VEGA

**UNIVERSIDAD DE CORDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SEDE BERÁSTEGUI**

2016

**EFFECTO DEL ALMIDÓN DE YUCA MODIFICADO CON α -AMILASA
DEL *Bacillus Licheniformis*, EN LAS PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS,
BROMATOLÓGICAS, FÍSICAS Y SENSORIALES DEL DIABOLÍN**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera de Alimentos

IRIS LEIDY SOTO VEGA

Director

DEIVIS LUJÁN RHENALS, Ing. PhD.

Codirector

JAIRO SALCEDO MENDOZA, Ing. PhD.

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SEDE BERÁSTEGUI**

2016

El jurado calificador del trabajo no será responsable de las ideas emitidas por los autores
(Artículo 46, acuerdo N° 006 de mayo 29 de 1979, Consejo Directivo).

Nota de aceptación

Firma Jurado
RICARDO ANDRADE PIZARRO, PhD.
Docente-Investigador
Ingeniería de Alimentos-UNICÓRDOBA

Firma Jurado
EVERALDO MONTES MONTES, PhD.
Docente-Investigador
Ingeniería de Alimentos-UNICÓRDOBA

Berástegui, junio de 2016

DEDICATORIA

Mami... esto va pa ti!!! ...Con Dios de aliado, has sido mi mayor fuente de energía, mi mayor combustible, mi mayor inspiración... has sido mi incentivo por el cual me levanto pero también me desvelo, para lograr lo que anhelo. A tu lado he aprendido que:

“El triunfo exitoso lleno de maravillas y prodigios es en la vida el mayor fruto de los esfuerzos, adquiridos por la inmensa fe divina y la viva esperanza que indican y muestran como un <<medidor interno>>, vivamente que se va logrando...”

AGRADECIMIENTOS

A mi **Conductor Celestial**, por *“Tu Palabra ser lámpara a mis pies y luz en mi camino (Salmos 119:105)”*.

A mi **“heroína sin igual”**, definitivamente mejor viente no me pudo concebir; eres el semáforo cuando el tráfico me agobia y eres adrenalina cuando la pasión me invade. Ser yo hoy, te lo debo entero a ti; Caramba madre! ...para ti el ¡gracias! Se queda corto.

A mi **“July y Toñin”**, los hermanitos sin comparación; cuando pienso en escribir para ustedes, la felicidad me invade e inevitablemente las lágrimas de emoción, solo me dejan expresar que los amo con el alma; que han sido, son y serán mi motivación para lograr las metas que la vida me permita cumplir. **Merzo**, la hermanita de corazón, gracias mi loquita favorita por ser parte de los motivos de mis sonrisas.

A mi fascinante **“profe Deivis”**, porque sin duda alguna, usted afianza el predicho sobre: *“Los buenos maestros educan para una profesión, mientras que los maestros fascinantes educan para la vida”* así como aquello que: *“Los buenos maestros son temporales, mientras que los maestros fascinantes son inolvidables”* ...Más que el director de mi trabajo de grado, es mi maestro sin igual, la persona de la cual llevo conocimientos, cariño, apoyo, amistad y sin duda grandes lecciones de vida; siempre recordaré que *“así como necesitamos frenos para conducir, en un escrito necesitamos más puntos y comas de la que uno espera”* La gratitud que le tengo es infinita.

Mi profe **Jairo Salcedo**, por abrirme n-simas puertas que me condujeran a moldear lo que profesionalmente anhelaba y permitirme descubrir habilidades que incluso desconocía.

A mi Familia **PADES: Gean**, porque convertir esas “piedras” en un “deleitable diabolín” fue sin duda nuestra mayor hazaña. **Dina**, mi maestra de modificación personalizada. Mis magnetillos: **Heidy, Julio, Yessica**, a quienes mi grado de agradecimiento y afecto es proporcional al número de gránulos que atravesó la malla N°100. **Carlitos**, mi colaborador multifuncional en todo momento, no hubo favor que no estuviste al tanto. **Hermides**, el camarógrafo oficial; **Karesilla**, por demostrarme que una “auténtica alma de curiosa” solo se manifiesta cuando existe quien aguante la intensidad de esas ocurrencias a su máxima expresión; por un “barrido de frecuencias” tu comportamiento reológico sometido a un esfuerzo constante (denominado: Iris), mostró un $G' > G$ para todos los casos. **J. Figueroa**,

Manuel, Marthy, Ana, Kathe, Angie, Sergio, Lichi, J. Aguirre, Eduardo, Daniel, ustedes también fueron piezas importantes.

Profe Guillermo Martínez, un ANOVA sobre usted expresaría que tuvo influencia significativa en este trabajo, ¡Gracias!

Profe Ramiro Torres, su colaboración, disposición y asesorías fueron importantísimas para culminar esta fase; enormemente agradecida.

Mis excepcionales jurados: **Ricardo Andrade y Everaldo Montes**, ustedes hacen parte de la fase decisiva de consolidar lo que llevo años anhelando... Gracias por creer conmigo.

Alejo! mi proveedor oficial de Base de datos y “Cohelo empedernido” (no te gustará el denominador), pero así fuiste las n-simas ocasiones que lo necesité.

Finalmente, debo agregar que lo que hoy se consolida en este escrito, fue el resultado de sumas de traspasos que hoy edifican un sueño convertido en realidad; pero sin duda el logro de mi “gran reto INGAL”, debe gracias a cada personita que me apoyaron mis causas; la lista es extensa, pero exaltaré a: **Ezequiel Perdomo**, mi “delegado exclusivo de “computadores para educar”, afianzar ese lema fue su especialidad. **Shindy, Chinin, Luchito, Pedro Gaviria, Jaime Paternina**, aun me pregunto: ¿Qué hubiese sido de mí sin tropezarlos? Recuerdo que esos pc, en muchas ocasiones pasaron más en mis manos que en las suyas. **Mitia Libia, Sra Exalia, Tia Migue, Sra Amilis, Sra Soraida**, sus hogares fueron de esos sitios en los que percibí amaneceres con ojos cargados de sueño y ojeras que expresaban el cansancio acumulado de esas tormentosas noches al estilo operaciones unitarias. Ni decir de mis compañeros de batalla: **Yenni, Licho, Andrés B., Angie, Juanchin, Lily, Dair, Yorle**, con los que comparto grandes anécdotas. Mis queridas señoras: **Ketty, Blanca, Katia, Lua**, fueron y son sin duda de los patrocinos sin condiciones en mi vida universitaria, ¡gracias! También cada persona que hizo parte de mi formación académica, mis maestros: **JOMABE, UNICÓRDOBA**, porque me brindaron conocimiento del cual hoy me siento dichosa y más que mis agradecimientos merecen mi reconocimiento; bien es cierto eso que I. Newton alguna vez dijo: “Si he podido ver más lejos que los demás, es porque me he soportado en los hombros de los gigantes”.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1. Diabolín.....	18
2.2. Almidón nativo de yuca	18
2.2.1. Retrogradación del almidón nativo de yuca	19
2.3. Almidón modificado de yuca	21
2.3.1. Modificación enzimática del almidón de yuca	22
2.4. Viscoelasticidad en masas de pan	24
2.5. Parámetros bromatológicos	25
2.6. Parámetros físicos	26
2.8. Evaluación sensorial.....	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Tipo de investigación	27
3.2. Localización	27
3.3. Materiales	27
3.4. Variables.....	29
3.4.1. Variables independientes	29
3.4.2. Variables dependientes	30
3.5. Procedimiento.....	30
3.5.1. Obtención de diabolines con sustitución de almidón nativo de yuca por almidón modificado enzimáticamente.....	30
3.5.2. Determinación de las propiedades viscoelásticas de la masa de diabolín en los tratamientos formulados con almidón nativo y sustituciones de almidón modificado	32
3.5.3. Caracterización bromatológica de los diabolines elaborados con almidón nativo y almidón modificado	32
3.5.4. Determinación de parámetros físicos: volumen específico, hinchamiento, porcentaje de pérdida de peso, pH, color y dureza de diabolín	33
3.5.5. Evaluación sensorial de los diabolines obtenidos en cada tratamiento, a través de una prueba de preferencia por escala hedónica.....	34

3.6. Diseño experimental.....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. Obtención de diabolines con sustituciones de almidón nativo por almidón modificado enzimáticamente.....	36
4.2. Determinación de las propiedades viscoelásticas de la masa de diabolín en los tratamientos formulados con almidón nativo y sustituciones por modificado.....	37
4.3. Caracterización bromatológica de los diabolines.....	40
4.4. Determinación de parámetros físicos	46
4.5. Evaluación sensorial, a través de una prueba de preferencia por escala hedónica.....	55
5. CONCLUSIONES	58
6. RECOMENDACIONES.....	60
7. BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fenómeno de la gelatinización y retrogradación del almidón nativo de yuca	20
Figura 2. Clasificación de las principales modificaciones de almidón	21
Figura 3. Etapas del proceso de elaboración de diabolín.	31
Figura 4. Diabolines obtenidos con todos los tratamientos evaluados: T1-25, T1-50, T2-25, T2- 50 y para el patrón T0.	37
Figura 5. Corte transversal de diabolines obtenidos con todos los tratamientos evaluados: T1-25, T1-50, T2-25, T2- 50 y para el patrón T0	37
Figura 6. Barrido de frecuencia en la masa de diabolín para el control (T0) y los tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 T2- 50.	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Formulación de diabolín	31
Tabla 2. Características de las unidades experimentales de diabolín para cada tratamiento	36
Tabla 3. Comparación de medias* para las interacciones de los factores en las frecuencias de transición de la masa de diabolín	40
Tabla 4. Valores promedio de los parámetros bromatológicos para el control y los tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 y T2-50.....	41
Tabla 5. Comparación de medias* para las interacciones de los factores en los parámetros de humedad, cenizas y proteína.	42
Tabla 6. Comparación de medias* para los factores: tipo de almidón y nivel de sustitución del parámetro grasa y carbohidrato.....	45
Tabla 7. Valores promedio de los parámetros físicos: volumen específico, hinchamiento, pérdida de peso, pH y dureza, determinados en el diabolín obtenido de los tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 y T2-50 y el control (T0).	47
Tabla 8. Valores promedio de las coordenadas del color instrumental determinadas en el diabolín obtenido de los tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 y T2-50 y el control (T0).....	47
Tabla 9. Interacciones entre factores para los parámetros: volumen específico, pH, hinchamiento y pérdida de peso determinados en diabolín.	48
Tabla 10. Comparación de medias* para las interacciones de los factores de las coordenadas del color instrumental	53
Tabla 11. Comparación de medias* para atributos sensoriales del diabolín de los tratamientos con sustitución de almidón modificado enzimáticamente y almidón nativo de yuca	55

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Sistema de color tridimensional CIELAB.....	73
Anexo B. Círculo cromático CIELAB.....	73
Anexo C. Propiedades estructurales y funcionales de almidón nativo de yuca y los dos tipos de almidón modificado enzimáticamente utilizados.	74
Anexo D. Microfotografía de los almidones: nativo de yuca y modificado enzimático	74
Anexo E. Reómetro Anton Paar, MCR 302	75
Anexo F. Composición de las materias primas del diabolín	76
Anexo G. Ficha técnica de almidón nativo de yuca de almidones de Sucre S.A.S.....	77
Anexo H. Montaje para la determinación de parámetros bromatológicos	75
Anexo I. Montaje para determinación de parámetros físicos	76
Anexo J. Análisis de textura y color instrumental	77
Anexo K. Fotografías del panel sensorial para diabolines	78
Anexo L. Formato de evaluación sensorial	79
Anexo M. Barridos de frecuencia de las masas de diabolín para los tratamientos con sustituciones de almidón modificado enzimáticamente y con almidón nativo de yuca.	80
Anexo N. ANOVA para las frecuencias de transición de la masa de diabolín con sustituciones de almidón modificado enzimáticamente.....	82
Anexo O. Tangente de pérdida de las masas de diabolín para los tratamientos con sustituciones de almidón modificado enzimáticamente y con almidón nativo de yuca	83
Anexo P. Supuestos para la varianza de parámetros bromatológicos sin transformación	84
Anexo Q. Supuestos según la transformación para los parámetros: humedad y grasa.	84
Anexo R. Interacciones de los parámetros transformados: humedad y grasa	84
Anexo S. ANOVA para los parámetros bromatológicos del diabolín con sustituciones de dos tipos de almidón modificado enzimáticamente	85
Anexo T. Requisitos fisicoquímicos para las galletas sin relleno (NTC 1241).....	85
Anexo U. Comparación de medias para control y tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 y T2-50.....	85

Anexo V. Composición nutricional del pan de queso	86
Anexo W. Prueba de validación (P-Valor) para los parámetros físicos evaluados en el diabolín con sustituciones de dos tipos de almidón modificado enzimáticamente.....	86
Anexo X. Prueba de validación (P-Valor) para los parámetros físicos transformados	86
Anexo Y. Interacciones para parámetros transformados	87
Anexo Z. ANOVA para parámetros físicos evaluados en el diabolín con sustituciones de dos tipos de almidón modificado enzimáticamente	87
Anexo AA. Comparación de medias entre patrón y los tratamientos para los parámetros físicos	88
Anexo BB. Validación del modelo y coeficiente de variación para atributos sensoriales del diabolín	89
Anexo CC. Análisis de varianza para atributos sensoriales del diabolín para los tratamientos con sustitución de los dos tipos de almidón modificado enzimáticamente y almidón nativo de yuca	89

RESUMEN

El diabolín es un producto alimenticio elaborado artesanalmente, carente de reportes científicos que evidencien adelantos en su tecnología, su principal ingrediente es el almidón nativo de yuca. Esta investigación evaluó el efecto del almidón de yuca modificado enzimáticamente con α -amilasa del *Bacillus licheniformis* en el comportamiento viscoelástico de la masa y las propiedades bromatológicas, físicas y sensoriales del diabolín. Se realizaron cuatro tratamientos con dos tipos de almidón modificado enzimáticamente: tipo 1 (63°C-40p/p-17,5 minutos) y tipo 2 (70°C-20p/p-20 minutos) con dos niveles de sustitución (25 y 50%) y un control (almidón nativo de yuca). Se estableció un DCA con estructura factorial 2x2 mediante el cual se estudió la masa del diabolín a partir del comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y pérdida (G''); en el producto final se determinaron los parámetros bromatológicos (humedad, cenizas, proteína, grasa), físicos (volumen específico, hinchamiento, pérdida de peso, pH, dureza, color), finalmente se evaluó la aceptación sensorial mediante una prueba hedónica de nueve puntos por medio de un diseño en bloques. Los factores presentaron efecto significativo en las variables estudiadas, principalmente la interacción entre éstos, es decir, el comportamiento del tipo de almidón fue diferente para cada nivel de sustitución evaluado. La masa mostró un comportamiento elástico ($\tan\delta < 1$) con ambos tipos de almidón. Con almidón tipo 2 se obtuvo mayor contenido de carbohidratos (78,24%), siendo igual en ambos niveles de sustitución, mientras que el contenido de humedad disminuyó a medida que aumentó el nivel de sustitución (3,92 y 3,56%); el color del diabolín fue más oscuro, principalmente con la sustitución del 50% ($L^*=68,83$), el volumen específico aumento de igual forma con ambos niveles de sustitución; la dureza disminuyó con el aumento del nivel de sustitución para ambos tipos de almidón. El diabolín control tuvo mejor aceptación sensorial: olor (6-7), color (7-8), sabor (6-7) y textura (6-7), con respecto a los tratamientos que sustituyeron almidón modificado; el diabolín con sustitución de almidón tipo 2 (25%) no fue aceptado por su textura (4,79) y tuvo poca aceptación por su color café oscuro (5,62). Con el empleo de almidón modificado enzimáticamente en una formulación de diabolín se conservaron las propiedades ideales de un diabolín tradicional, aumentando su contenido de carbohidratos, volumen específico y color, asimismo disminuyó su contenido de humedad y su dureza.

ABSTRACT

Diabolin is a hand-crafted foodstuff, lacking of scientific reports that demonstrate advances in its technology, its main ingredient is the native cassava starch. This research evaluated the effect of cassava starch enzymatically modified with α -amylase from *Bacillus licheniformis* in the mass viscoelastic behavior, and bromatological, physical and sensory properties of diabolin. Four treatments with two types of modified starch enzymatically: type 1 (63 ° C-40p / p-17.5 minutes) and type 2 (70 ° C-20p / p-20 minutes) with two levels of substitution (25 and 50%) and a control (native cassava starch) were performed. CRD was established with 2x2 factorial structure by which the mass of diabolin was studied from the behavior of the loss modulus (G'') and storage module (G'); in the final product bromatological parameters (moisture, ash, protein, fat), physical (specific volume, swelling, weight loss, pH, hardness, color), finally determined, sensory acceptance was also evaluated using a hedonic test nine points using a block design. The factors presented significant effect on the studied variables, mainly the interaction between them, therefore, the behavior of the starch was different for each level of substitution evaluated. The mass showed an elastic behavior ($\tan\delta < 1$) with both types of starch. Starchy type 2 increased carbohydrate content (78.24%) was obtained, being equal on both levels of substitution, while the moisture content decreased as increased the level of substitution (3.92 and 3.56%); diabolin color was darker, mainly with the substitution of 50% ($L^*=68.83$), the specific volume increased equally with both levels of substitution; the hardness decreased with increasing level of substitution for both types of starch. Diabolin control had better sensory acceptance: smell (6-7), color (7-8), taste (6-7) and texture (6-7) with respect to treatments that substituted modified starch; diabolin with the replacement of type 2 starch (25%) was not accepted by its texture (4.79) and had little acceptance for its dark brown color (5.62). With the use of enzymatically modified formulation starch diabolin the ideal properties of a traditional diabolin were preserved, increasing their carbohydrate content, specific volume and color also decreased moisture content and hardness.

1. INTRODUCCIÓN

El diabolín es un producto alimenticio tradicional de la región Caribe colombiana, con amplia trayectoria de consumo, especialmente en los departamentos de Córdoba y Sucre. El principal inconveniente con la fabricación y comercialización de estos productos viene dado por la forma en que son obtenidos y carencia de la estandarización del proceso, ya que las técnicas empleadas son artesanales, a cargo de pequeñas empresas familiares; en muchas ocasiones los patios de las casas constituyen el “área de producción” de este producto (Aguilera 2012). A pesar de la importancia cultural y ancestral que posee, los estudios asociados a la funcionalidad de sus ingredientes y las propiedades que éstos confieren, así como los cambios presentados durante su elaboración, no se han estudiado, ni existen reportes científicos que evidencien adelantos en su tecnología. La ausencia de tecnología para la producción de diabolines, es también común en otros productos a base de yuca y coexiste en otros países (Aplevicz y Demiate 2007).

En Colombia, los productos autóctonos derivados de materias primas tropicales, especialmente los obtenidos a base de almidón de yuca que reflejan la problemática expuesta, se destacan: pandebono, pan de queso, rosquita, pandero, casabe y diabolín; siendo la región Caribe la más representativa y diversa en este tipo de recetas (Aguilera 2012). El almidón nativo de yuca constituye el ingrediente de mayor proporción en el diabolín; la semejanza de las investigaciones adelantadas en otro tipo de productos horneados y panificados, reportan su empleo como alternativa para reemplazar la harina de trigo en proporciones considerables ($\leq 20\%$) (Milde et al. 2009). Sin embargo, el principal inconveniente del almidón nativo está asociado con la susceptibilidad a la retrogradación; cuyo proceso es inevitable y normalmente conduce a un deterioro de la

calidad de los alimentos que lo contengan (Bello et al. 2010 y Pycia et al. 2012). Los métodos de modificación (químicos, físicos y/o enzimáticos) varían las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones nativos (Pietrzyk et al. 2013).

Los almidones modificados son muy utilizados y atienden muchas limitaciones que presentan los almidones nativos, ya que forman redes mucho más estables y facilitan su uso en diversas ramas de la industria de alimentos (Singh et al. 2007; Kaur et al. 2012; Pietrzyk et al. 2013). Según Abbas et al. (2010), el empleo de almidones modificados en panificación ha disminuido las propiedades indeseables del almidón nativo que afectan la masa y la calidad del producto final, especialmente la textura. Las investigaciones sobre almidones modificados enzimáticamente indican que el empleo de éstos, con equivalentes significativos de dextrinas/maltodextrinas tienen un efecto positivo en la estabilización de la textura de productos panificados, evitando su envejecimiento prematuro (Gray, BeMiller 2003 y Gujral et al. 2003). Según Miyazaki et al. (2004), una adición de dextrina de bajo peso molecular para el pan de trigo, reduce la retrogradación del almidón; Durán et al. (2001), también encontraron que la presencia de almidones modificados (dextrinas) reduce la gelatinización del almidón y disminuye su entalpía de retrogradación. De esta manera, el uso de almidones modificados enzimáticamente favorece la textura del producto, mejora la estabilidad y calidad de productos de panadería sin gluten ya que reduce efectivamente la retrogradación del almidón en la matriz alimentaria que se adiciona (Witczak et al. 2009). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del almidón de yuca modificado enzimáticamente con α -amilasa del *Bacillus licheniformis* en el comportamiento viscoelástico de la masa y las propiedades bromatológicas, físicas y sensoriales del diabolín.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Diabolín

El diabolín es un producto típico y de amplia trayectoria de consumo en los departamentos de Córdoba y Sucre (Colombia); elaborado a partir de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Al igual que otros productos derivados de materias primas tropicales, no presenta un estándar de calidad establecido, ni existe una tecnología de producción; es desarrollado artesanalmente y posee características diferentes de una región a otra (Minim et al. 2000; López et al. 2012).

Los ingredientes que constituyen el diabolín son: almidón nativo de yuca, queso rallado, huevo, leche, almidón agrio de yuca y sal; los cuales son mezclados, moldeados en forma esférica y sometidos a una etapa de horneado hasta adquirir una textura tostada (CIAT, 1982; Aristizábal et al. 2007); tales ingredientes aportan y/o cumplen una función tecnológica dentro de la matriz, generando un efecto deseable en las propiedades finales del producto. El almidón nativo de yuca, es el constituyente primario de la formulación del diabolín, representa la principal fuente de carbohidratos, actúa como agente texturizante y su función principal en los productos horneados, es absorber el agua y establecer la estructura del producto (Hoseney et al. 1993).

2.2. Almidón nativo de yuca

El almidón nativo de yuca también conocido como tapioca, es el componente principal de la raíces de yuca, puede representar hasta el 80% del peso seco de la raíz (Olomo y Ajibola 2003).

Los gránulos de almidón están formados por dos polímeros de glucosa: amilosa, que es lineal (17%) y amilopectina que es ramificada (83%) (Fretes 2010). Estos polímeros forman una estructura en capas alternadas de regiones amorfas y cristalinas de baja y alta densidad. Los polisacáridos del almidón están densamente empaquetados por medio de enlaces de hidrógeno (intra e inter moleculares) formando un estado policristalino que los hace insolubles en agua fría y frecuentemente resistentes a tratamientos químicos y enzimáticos. La cristalinidad es el resultado de la formación de hélices dobles entre las cadenas exteriores de amilopectina y las cadenas de amilosa. Las propiedades estructurales, contenido molecular y las propiedades funcionales, determinan la calidad del almidón e indican los propósitos de usos y la calidad de sus productos (Miyazaki et al. 2009; Zhu 2014).

En el sector panadero, el almidón de yuca se emplea para sustituir la harina de trigo, aspecto que ha constituido una serie de investigaciones científicas, dirigidas a generar alternativas de consumo para las personas intolerantes al gluten (Milde et al. 2009). Todos los alimentos que incluyen almidón en su formulación y sean sometidos a procesos con temperaturas superiores a la de gelatinización, sufren el fenómeno de la retrogradación, provocando que el producto se haga muy rígido y afecte su textura (Rodríguez 2014). No obstante, la gelatinización y la retrogradación son consideradas las más importantes en la calidad del pan, ya que conociendo estas características se puede controlar la textura de los productos y desarrollar panes con características únicas (Miyazaki et al. 2006).

2.2.1. Retrogradación del almidón nativo de yuca

Es el proceso que ocurre cuando el almidón gelatinizado se almacena a temperatura ambiente o inferiores a ésta; donde las moléculas de almidón gelatinizadas se aglomeran paulatinamente mediante enlaces de hidrógeno entre la amilosa, amilopectina, incrementándose la cristalinidad dentro del gel y generándose una estructura dura (Tinoco 2008). Durante la retrogradación, el almidón gelatinizado sufre transformaciones estructurales, que se evidencia en el cambio de un estado amorfo a un estado cristalino. Agus et al. (2001), señalan que el fenómeno de la retrogradación ocurre en dos etapas: la

rigidez y la cristalinidad de los geles; inicialmente se desarrolla la rigidez por la recristalización de la amilosa (proceso que ocurre durante las primeras 24 horas); en la segunda etapa, la cristalinidad se desarrolla lentamente por la amilopectina (ver figura 1).

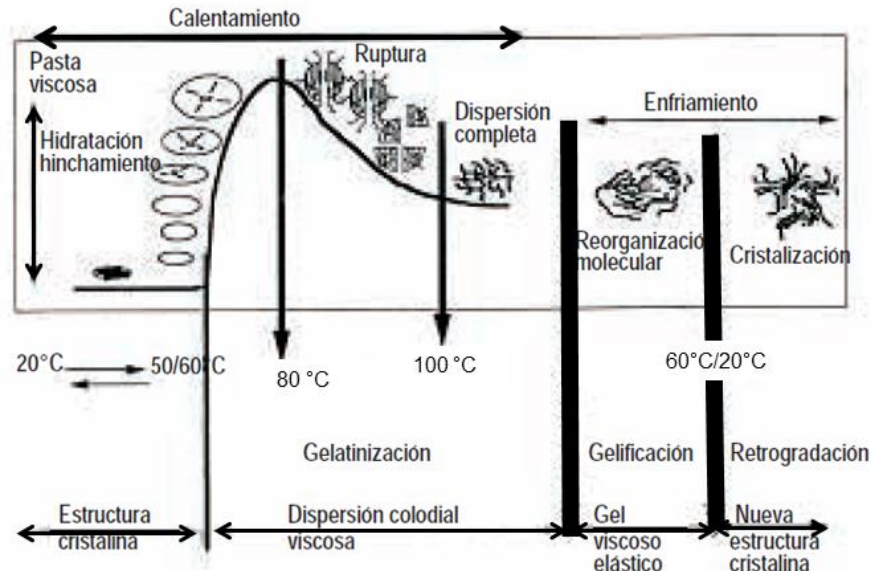


Figura 1. Fenómeno de la gelatinización y retrogradación del almidón nativo de yuca
Fuente: Aristizábal et al. 2007.

La retrogradación y la naturaleza de los cristales depende del origen del almidón, el contenido de amilosa, la temperatura de almacenamiento del producto y la presencia de otros ingredientes (Witczak et al. 2010). De esta manera, el proceso es acelerado en forma proporcional a las longitudes de las cadenas externas, primero la amilosa (según el contenido) y en segundo término la amilopectina (según la estructura). Sin embargo, aspectos como la hidrólisis parcial del almidón, tiene efectos inhibitorios en todo el sistema, con respecto a este tipo de reacción. Asimismo, la presencia de componentes diferentes al almidón, tales como las proteínas, lípidos y oligosacáridos (dextrinas, maltodextrinas) (Carrascal 2005).

De acuerdo a las investigaciones que se han desarrollado en el sector panadero, se ha evidenciado que la retrogradación del almidón tiene efectos sobre la textura y calidad de los productos panificados, reflejado en la pérdida de frescura (aumento de la dureza) durante el almacenamiento, factores ligados a los contenidos y reordenamiento de la amilosa y amilopectina presentes en el almidón (Miyazaki et al. 2006). Autores como: Sahlaström y Bråthen (1997), Defloor y Delcour (1999), Gujral et al. (2003), Miyazaki et

al. (2004) y Ahlborn et al. (2005) han estudiado la adición de aditivos para evitar cambios de textura no deseados del pan durante el almacenamiento; donde los almidones modificados tales como dextrinas de altos y bajos pesos moleculares y las α -amilasas, se destacan. Lo cual coincide con Gray et al. (2003), quienes afirman, que este tipo de aditivos retarda el endurecimiento del pan pero su mecanismo es ligeramente diferente.

2.3. Almidón modificado de yuca

A partir de las limitaciones del almidón nativo y como mecanismo de aumentar la utilidad de este polímero en las aplicaciones agroalimentarias, se ha generado la necesidad de producir almidones modificados (Aplevicz et al. 2007). Las técnicas de modificación usadas son: métodos físicos, químicos, enzimáticos y/o combinados (ver figura 2), la selección de la misma, es de acuerdo a las especificaciones técnicas y/o propiedades estructurales y funcionales que se desee modificar del gránulo de almidón nativo.

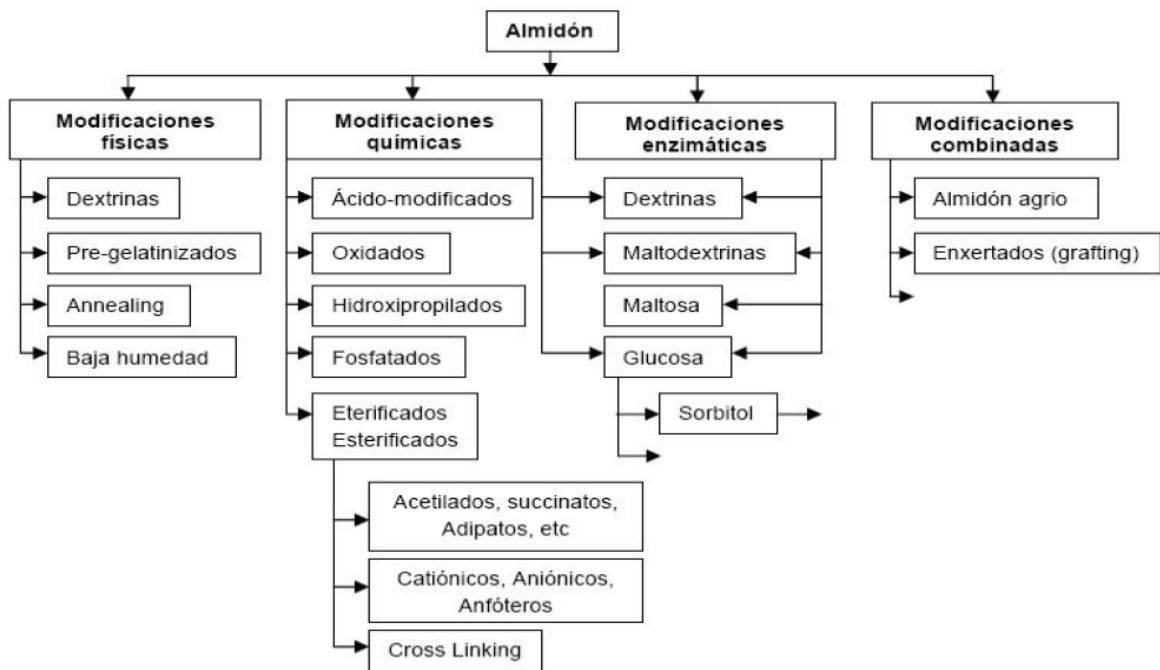


Figura 2. Clasificación de las principales modificaciones de almidón

Fuente: Carmona et al. 2007.

Entre las aplicaciones de almidones de yuca modificados en panificación, se tiene reportes de Aplevicz et al. (2007), quienes evaluaron las diferencias sobre el empleo de almidón nativo de yuca, almidón agrio de yuca, almidón oxidado con peróxido de

hidrógeno y almidón comercial modificado (Expandex® 160-003), experimentados en productos horneados (galletas y panes a base de almidón de yuca); obteniendo mejores resultados cuando se usó almidón oxidado en una formulación de pan de queso, ya que mostró mayor resistencia a la retrogradación. Miyazaki et al. (2006), reporta el uso de almidones modificados químicamente, señalando que estos juegan diferentes roles en la textura y calidad de las masas de pan. Entre éstos se encuentran los esterificados, eterificados y reticulados; los cuales han sido ampliamente utilizados para diversos alimentos preparados, tales como bocadillos, pan y pasteles, obteniendo mejoras en su calidad. También está el almidón acetilado, cuyos resultados mostraron mejora de la firmeza de la miga del pan durante el almacenamiento. El uso de almidones cerosos reticulados muestra retardos de la firmeza de la miga de pan, a pesar de su alto grado de reticulación. También el uso de los almidones hidroxipropilados lo muestran como efectivo para retardar el envejecimiento del pan por su lenta retrogradación de la amilopectina.

2.3.1. Modificación enzimática del almidón de yuca

La modificación enzimática o también denominada hidrólisis enzimática, consiste en la destrucción controlada de las cadenas poliméricas del almidón; a través de soluciones básicas, ácidas o catalizadas por enzimas. Las enzimas que hidrolizan el almidón se agrupan en dos grandes grupos: α -amilasa y β -glucoamilasa. Su uso dependerá de la especificidad de cada enzima con respecto al tipo de unión glucosídica y del producto que se vaya a obtener (Carrascal 2005). La hidrólisis enzimática de los gránulos de almidón se afecta por condiciones de proceso (concentración, pH, temperatura) (Hoover 2003; Tester 2006), tipo y condiciones de especificidad de reacción de la enzima, la estructura del gránulo, el tipo y tamaño del cristal, la relación amilosa/amilopectina, el peso molecular promedio de esta relación, la presencia de lípidos y proteínas (Carrascal 2005). Dichos aspectos van a influir en los productos que se obtengan y los cambios que genere en el gránulo (Montes, Salcedo, et al. 2008). Los cambios generados en el almidón granular, son dadas a las propiedades funcionales (temperatura de gelatinización, formación de gel, viscosidad de la pasta), y en cambios del peso molecular (Noda. 2004).

Las α -amilasas, son endoenzimas que actúan en cualquier punto de la cadena del almidón y lo degradan. Generan productos dependiendo la intensidad con la que se dé la hidrólisis, tales como: jarabes, glucosa, maltosa y dextrinas. Estos productos, son definidos según su equivalente de dextrosa (ED). Las dextrinas, son obtenidas con distintos grados de conversión, el cual se expresa mediante el ED, que corresponde al grado de conversión del almidón en maltodextrinas y glucosa (Díaz et al. 2004). En general, hidrolizados de almidón con ED inferior a 20 se denominan maltodextrinas/dextrinas y se componen de una mezcla de sacáridos, oligosacáridos y polisacáridos con amplia distribución en pesos moleculares, comercialmente se encuentran disponibles en polvos o soluciones concentradas; en cambio productos con ED mayores, se conocen como jarabes (Díaz et al. 2004). Una maltodextrina con un mismo valor de ED puede poseer diferentes propiedades inherentes a la composición molecular, tales como la higroscoposidad, fermentabilidad, viscosidad, poder edulcorante, capacidad de gelificación, osmolabilidad y absorción en el tracto gastrointestinal, por lo cual su aplicación requiere el conocimiento de tales parámetros (Marchal et al. 1999).

La modificación enzimática a partir del almidón de yuca, se ha utilizado tradicionalmente para alterar sus propiedades de solubilidad, viscosidad, y/o gelificación y de esta manera ampliar sus aplicaciones a nivel industrial (Wang, Wang 2001). Las investigaciones asociadas reportan que su uso está dado principalmente a la obtención de jarabes de glucosa, debido a los altos contenidos de almidón en la yuca (87,67%p, base seca), los que a su vez poseen amplia utilización en distintos sectores de la industria de alimentos (confitería, panadería, cervecería) (Díaz et al. 2015). Sin embargo, en el sector panadero hay reportes de estudios que señalan el empleo de dextrinas, las cuales constituyen un producto de la modificación enzimática y son consideradas un tipo de almidón modificado y/o un componente de éste.

2.3.1.1. Dextrinas

Son consideradas un tipo de almidón modificado que pueden obtenerse por tratamiento físico, químico o enzimático, que son obtenidas a partir de la desorganización granular, degradación polimérica, re-arreglos moleculares, oxidación o adición de grupos químicos, que dependerá del método de modificación a través del cual se obtengan (Carrascal 2005).

Todas las dextrinas pertenecen a un grupo grande y variado de polímeros de D-glucosa, desde las lineales, ramificadas, hasta compuestos cíclicos. Las dextrinas tienen un peso molecular menor que el del almidón nativo, son hidrosolubles y pueden retrogradar; tienen un mayor valor económico que el almidón nativo.

Los estudios adelantados sobre el empleo de dextrinas en panificación, se han orientado a evaluar los efectos que éstas tienen en el comportamiento reológico de la masa y la calidad del pan sin gluten, diversificando las sustituciones de las dextrinas empleadas, según distintos ED, a partir del cual, se ha encontrado mejoras en la textura del producto final; asimismo, señalan que maltodextrinas con ED entre 18 y 21.8% influyen positivamente en el volumen del pan y tienen una influencia beneficiosa sobre el endurecimiento de la miga durante el almacenaje; también se ha reportado que maltodextrinas con altos ED reducen la entalpía de recristalización de la amilopectina (Defloor et al. 1999; Witczak et al. 2009).

2.4. Viscoelasticidad en masas de pan

La viscoelasticidad describe el comportamiento reológico de los alimentos que incluyen en su composición una matriz sólida, más o menos elástica y una fase líquida que aporta un elemento viscoso a la estructura total (Norton et al. 2011). Las propiedades viscoelásticas en alimentos son ampliamente afectadas por la composición química, las condiciones de procesamiento y por los ingredientes añadidos (Karaman et al. 2012). El estudio de los perfiles reológicos de las masas en la industria de panificación obedece a la incidencia en la microestructura final de masa y panes; importante para la maquinabilidad de las masas y los productos que se pueden elaborar a partir de estas (Lazaridou y Biliaderis 2009; Rivera 2014). Los experimentos más comunes empleados, basados en la viscoelasticidad lineal para la caracterización de materiales son los siguientes: relajación de esfuerzos, ensayo de fluencia, recuperación elástica, experimentos dinámicos u oscilatorios (García 2008).

Los ensayos dinámicos u oscilatorios consisten en aplicar de forma oscilatoria, una pequeña deformación sobre el material viscoelástico y medir la amplitud de la respuesta del esfuerzo y del ángulo de fase (García 2008); permite determinar la proporción entre el componente elástico y viscoso (Steffe 1996). Dependiendo de la modalidad de ensayo

utilizado y atendiendo a la magnitud que se modifica es posible distinguir entre barridos de frecuencia y barridos de temperatura. El barrido de frecuencia mide las propiedades viscoelásticas macroscópicas de la masa y sus componentes; identificándose el módulo de almacenamiento (G') que determina el comportamiento elástico, el módulo de pérdida (G'') que describe el comportamiento viscoso del material analizado y el ángulo de fase ($\tan \delta$) que se calcula mediante la relación entre G'' y G' y es la medida de la contribución relativa de cada componente (Betancourt et al. 2014). Los barridos de frecuencia en su mayoría de aplicaciones, tienen la finalidad de comparar los efectos de varios ingredientes en un mismo tipo de alimento, ya que a partir de ellos se muestran los comportamientos elástico y viscoso de los materiales (Guerrero y Llerena 2015).

Miyazaki et al. (2004), en los estudios sobre la influencia de almidones hidrolizados con diferentes equivalentes de dextrosa en las propiedades reológicas de la masa de trigo señaló una reducción de los módulos de almacenamiento y de pérdida para los hidrolizados con ED en rangos de 3-11%. De igual forma, estudios evaluados en panes sin gluten que emplearon mezclas de almidones y harinas de yuca, arroz y trigo, señalan valores de G' mayores respecto a G'' para todos los casos; en efecto, valores de $\tan \delta$ inferiores a 1, indicando comportamiento más similar al de un sólido (Merino 2013). Torbica et al. (2010) y Sivaramakrishnan et al. (2004) también obtuvieron mayores valores de G' frente a los de G'' comprobando así que las masas sin gluten presentaban un comportamiento más similar al de un sólido; resultados similares se han encontrado en ensayos reológicos oscilatorios para las masas de harina de trigo (Merino et al. 2013) El comportamiento reológico de las masas es también condicionada por la distribución del tamaño de las partículas de las harinas o almidones empleados y por las relaciones que existe entre los niveles de proteínas, carbohidratos, lípidos y fibra presentes en éste (Belén et al. 2004).

2.5. Parámetros bromatológicos

La determinación de los parámetros bromatológicos (humedad, cenizas, grasa, proteína, fibra, carbohidratos) en panadería, constituye un aspecto de interés para establecer las factibilidades de uso de una harina y/o almidón de acuerdo a su funcionalidad y aporte

nutricional, ya que muchas propiedades son influenciadas por la composición química y las interacciones entre los componentes, cuyo efecto incide en su comportamiento durante el procesamiento y a su vez determinan las características del producto final (Salzar y Marcano 2011). De acuerdo a los estudios adelantados sobre algunos parámetros bromatológicos, se ha encontrado que el contenido de humedad de los productos horneados constituye una de las causas del endurecimiento del pan (Merino 2013). Rogers, et al. (1998) afirmaron que la retrogradación del almidón se incrementa cuando el contenido de humedad de los panes (panes sin gluten) es mayor. No obstante, la cantidad de proteína presente, podría interferir en la retrogradación del almidón y disminuir su velocidad, debido a su capacidad de retención de agua.

2.6. Parámetros físicos

El volumen específico, constituye un parámetro importante en productos panificados, indica la relación entre el contenido de sólidos y el aire existente en la fracción del producto horneado, cuando se hace variación de los constituyentes del producto (Esteller et al. 2005). Los factores que lo determinan son la cantidad de aire incorporado en la masa durante el mezclado y la expansión durante el horneado. Normalmente un producto de este tipo, con bajo volumen específico, presenta poco atractivo para los consumidores (Llorca 2008). La FAO establece valores de referencia del poder de expansión de los almidones de yuca, siendo estos de bajo poder expansión (3-9 mL/g), mediano (10-12 mL/g) y alto (13-18 mL/g) (Aristizábal et al. 2007).

El hinchamiento es un parámetro ligado a las propiedades de las galletas o productos de panadería que señala una alta expansión de la masa durante la etapa de horneado (Hadnadev et al. 2013). El porcentaje de pérdida de peso establece las diferencias entre el producto antes y después de horneado; lo cual tiene una correspondencia con la pérdida de agua durante la misma (Milde et al. 2009). El pH es un parámetro que permite determinar si un producto ha sufrido o no algún deterioro; ya sea de tipo físico, químico o microbiológico (Horwitz 1994). El color es un atributo importante en los productos horneados, que influye en las preferencias de consumo y se asocia a fallas en el

procesamiento cuando este no es el deseado; asimismo se relaciona con las propiedades fisicoquímicas, reológicas y texturales de estos (Barrett et al. 2010).

El color se puede cuantificar instrumentalmente a través del espacio cromático CIELAB, cuyo sistema define un espacio en coordenadas rectangulares (L^* , a^* , b^*) y un conjunto de coordenadas cilíndricas (L^* , h^* , c^*) (Rojas 2012). La luminosidad o claridad (L) es el grado de claridad u oscurecimiento que posee el tono (matiz) del producto; está en una escala vertical que tiene como límites el blanco (parte superior, con un valor de 100) y el negro (parte inferior, con un valor de cero) (ver anexo A). El matiz (h) es como se percibe el color de un objeto: rojo, verde, amarillo, azul o con ciertas combinaciones de ellos; está relacionado con la longitud de onda dominante del espectro (Rojas 2012). La coordenada (a) muestra la tendencia del verde (-) al rojo (+) está ubicado en el eje x y la coordenada (b) representa la tendencia del azul (-) al amarillo (+) según el círculo cromático está en el eje y (ver anexo B). Las investigaciones desarrolladas en productos horneados señalan que la disminución de la luminosidad, es decir, el oscurecimiento de la corteza o parte interna se debe a la presencia de proteínas en las materias primas que junto con los hidratos de carbono durante el horneado generan la reacción de Maillard y caramelización (Merino 2013).

La dureza es un parámetro primario de la textura instrumental, que mide la fuerza máxima de rotura del producto (Chung et al. 2014). Según D'Appolonia y Morad (1981), la dureza de los productos horneados se asocia con el incremento en la cristalinidad del almidón.

2.8. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es un método subjetivo, fundamentado en el juicio de las personas que evalúan las propiedades organolépticas; es ampliamente utilizado para medir diversos atributos organolépticos de los alimentos, tales como la textura, color, olor, aroma, sabor, apariencia global. A pesar de la subjetividad del método, éste criterio es muy importante para la aceptación de un producto alimenticio (Szczesniak 1987). En los productos horneados se considera que un color tostado genera mayor atractivo visual por parte de los consumidores.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

La investigación desarrollada fue tipo experimental.

3.2. Localización

El estudio experimental fue realizado en la Planta Piloto de Operaciones Unitarias de la Universidad de Sucre, Mata de Caña, Sucre-Colombia; asimismo, en el laboratorio de Ingeniería Aplicada y en el área de experimentación del Grupo de Investigación: “Proceso y agroindustria de Vegetales (GIPAVE)” del Programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Córdoba (sede Berástegui), Ciénaga de Oro, Córdoba-Colombia.

3.3. Materiales

Se utilizó almidón nativo de yuca de la planta productora Almidones de Sucre S.A.S. (Corozal, Sucre). Los 2 tipos de almidón modificado fueron obtenidos previamente por el grupo de Investigación PADES; enmarcado en el proyecto investigativo: “Desarrollo de los cultivos de ñame y yuca en el departamento de Sucre” (financiado por Colciencias), los almidones modificados tenían variación en las condiciones de proceso (temperatura, concentración del almidón nativo de yuca como sustrato y tiempo de reacción). La hidrólisis del almidón fue realizada con la enzima comercial α -amilasa del *Bacillus licheniformis* (Novozyme®), con actividad enzimática de 129 KNU/g. estos almidones fueron seleccionados por sus propiedades estructurales (menor contenido de amilosa, lo que implica menor susceptibilidad a la retrogradación), funcionales (mayor poder de hinchamiento, mayor temperatura de gelatinización), mayores rendimientos (%p/p)

y equivalentes de dextrosa significativos (ver anexo C); también se tuvo en cuenta los cambios en la morfología del gránulo respecto al nativo, según la complejidad del ataque enzimático en la hidrólisis (ver anexo D); a través del cual se observó que los gránulos fueron degradados por su parte externa e interna, lo que garantiza que los gránulos de almidón puedan absorber agua e hincharse más fácilmente.

Las condiciones del proceso de modificación fueron: almidón tipo 1 (temperatura de 63°C, concentración del sustrato: [40 p/v]; tiempo de reacción: 17,5 minutos) y almidón tipo 2 (temperatura: 70°C, concentración de sustrato [20 p/v], tiempo de reacción: 20 minutos). La técnica para la modificación se aplicó según lo reportado por Montes et al. (2008); se prepararon 100 mL de solución buffer (citrato de sodio más ácido cítrico), con pH de 5,5; para formar una suspensión de almidón nativo de yuca al 20% y 40% p/v; cada solución fue sometida a calentamiento, a una temperatura de reacción de 70°C y 63°C respectivamente; con agitación constante de 600 rpm. Cuando la suspensión alcanzó la temperatura de trabajo se adicionaron 310µL de enzima (cantidad determinada por su actividad enzimática). El tiempo de reacción fue de 20 y 17,5 minutos para las dos suspensiones respectivamente. La enzima fue inactivada mediante ajustes del pH (=3), con una solución de ácido clorhídrico (2M). Luego, el pH fue reajustado a 6, empleando una solución de NaOH (2M). El almidón hidrolizado fue centrifugado a 4500 rpm por 5 minutos; finalmente, el almidón obtenido fue secado en un horno convencional (40-50°C), hasta una humedad promedio de 12%; con un tamaño de gránulo de 100-95 mesh (tamiz de malla 100) de acuerdo a Aristizábal et al. (2007) y Res. MERCOSUR No. 106/94. El almidón agrio fue de la marca comercial Levapan®, el queso costeño fue adquirido en el mercado público de Sincelejo (Sucre); la margarina, huevo, leche y sal fueron marcas comerciales reconocidas.

3.4. Variables

3.4.1. Variables independientes

➤ **Tipos de almidón:** definido por las condiciones de modificación:

- ✓ **Almidón tipo1:** Temperatura de reacción: 63°C; concentración de sustrato (almidón nativo de yuca) 40 p/v; tiempo de reacción: 17,5 minutos.
 - ✓ **Almidón tipo 2:** temperatura de reacción: 70°C; concentración de sustrato (almidón nativo de yuca): 20 p/v; tiempo de reacción: 20 minutos.
- **Nivel de sustitución:** de acuerdo al 43,46% del almidón presente en la formulación: 25% y 50%.

3.4.2. Variables dependientes

- ✓ Propiedades viscoelásticas de la masa: módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y tangente de pérdida [$\tan(\delta)$].
- ✓ Propiedades bromatológicas: humedad, grasa, proteínas, cenizas, carbohidratos.
- ✓ Propiedades físicas: volumen específico, hinchamiento, pH, pérdida de peso, color, dureza.
- ✓ Atributos sensoriales: olor, color, sabor, textura.

3.5. Procedimiento

3.5.1. Obtención de diabólicos con sustitución de almidón nativo de yuca por almidón modificado enzimáticamente.

Se aplicaron cuatro tratamientos para la obtención de diabolín: dos tratamientos con sustituciones del almidón tipo 1 (25 y 50%) que correspondió a T1-25 y T1-50 respectivamente y dos tratamientos con sustituciones de almidón tipo 2 (25 y 50%), es decir, T2-25 y T2-50 respectivamente: asimismo se tuvo un control que correspondió al empleo de 100% almidón nativo de yuca (T0). Para el testigo y todos los tratamientos se mantuvo constante los demás ingredientes de acuerdo a una formulación (ver tabla 1) y procedimiento (ver figura 3) definido por Soto (2015), basada en estudios previos que garantizaron una masa con consistencia adecuada para la manipulación durante el moldeado del producto e ingredientes que proporcionaron la funcionalidad tecnológica necesaria para un producto de calidad y características semejantes al diabolín comercial.

Tabla 1. Formulación de diabolín

Descripción	% p/p
Almidón nativo	43,46
Leche	30,79
Queso	18,58
Almidón agrio	3,10
Huevo	1,98
Margarina	1,55
Sal	0,54

Fuente: Soto (2015).

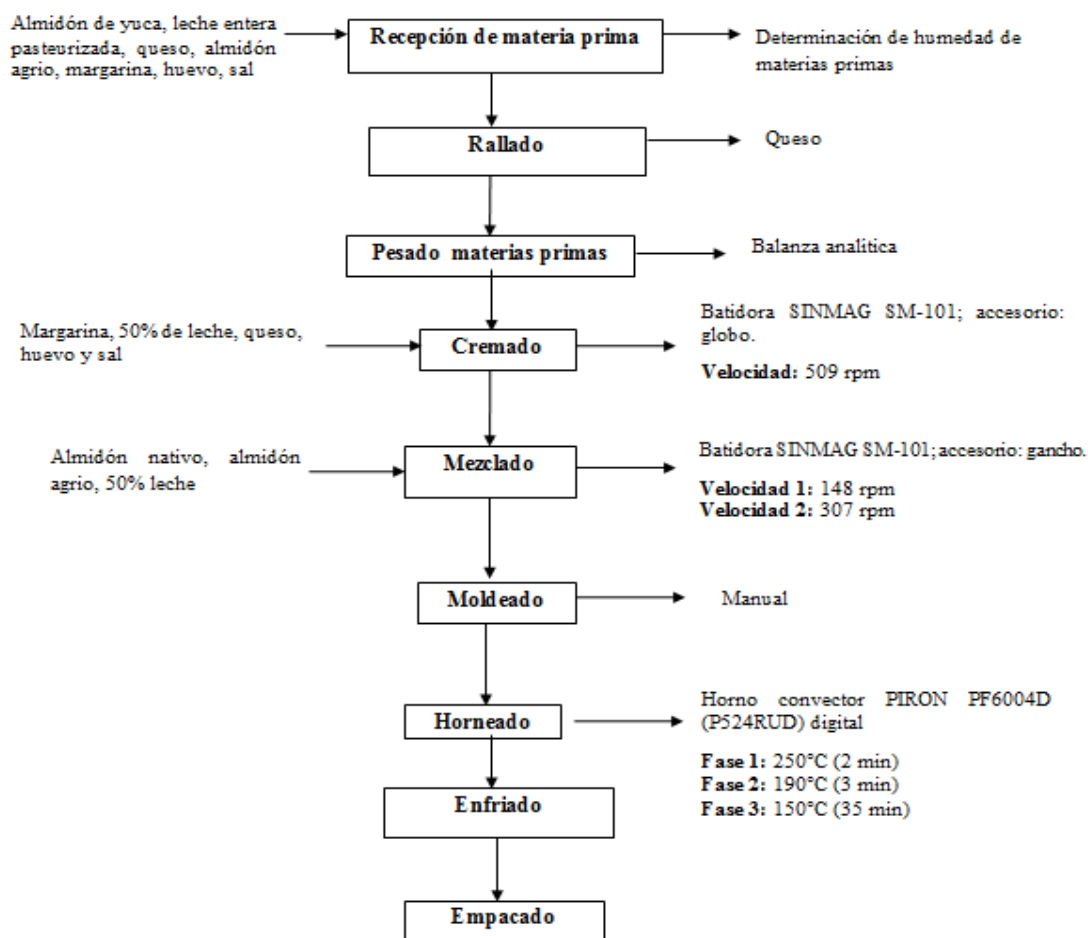


Figura 3. Etapas del proceso de elaboración de diabolín.

Fuente: Soto 2015.

3.5.2. Determinación de las propiedades viscoelásticas de la masa de diabolín en los tratamientos formulados con almidón nativo y sustituciones de almidón modificado

Se prepararon las muestras para todos los tratamientos (incluido el patrón), de acuerdo a la metodología descrita en el numeral 3.5.1. El comportamiento reológico se estudió mediante un reómetro (Anton Paar, MCR 302, Austria) en modo oscilatorio, equipado con una geometría de platos paralelos (ver Anexo E). Inicialmente se realizó una prueba de barrido de amplitud con un rango de 0-100%, a una frecuencia constante de 1 Hz y a una temperatura de 30°C; el cual tuvo la finalidad de asegurar que no se presenten cambios estructurales, debido a la aplicación de esfuerzos, durante las pruebas de barrido de frecuencia. A partir de dicho ensayo, se identificó la región viscoelástica lineal, según los resultados obtenidos, se utilizó una deformación constante de 5% para la prueba de barrido de frecuencia en un rango de 0,1-100 Hz a 30°C (Masure et al. 2016). Para cada valor de frecuencia oscilatoria seleccionado, se obtuvo un valor para el módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y tangente de pérdida ($\tan(\delta)$).

3.5.3. Caracterización bromatológica de los diabolines elaborados con almidón nativo y almidón modificado

Para la caracterización bromatológica de los diabolines de cada tratamiento, se tomó como referencia los métodos AOAC (2012): humedad (Método 925.10), extracto etéreo (Método 920.85), cenizas (Método 923.03), proteína cruda (Método 920.87). El contenido de fibra bruta se determinó teóricamente (ver ecuación 1), conociendo que las materias primas del diabolín son deficientes en esta propiedad; los anexos F y G muestran la composición y bromatológica de cada uno de los ingredientes, donde únicamente el almidón nativo y el almidón agrio de yuca reportan valores para este parámetro. El anexo H, muestra imágenes complementarias del análisis bromatológico.

$$\% \text{Fibra bruta} = \% \text{AD} * \% \text{FCA} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: %AD: suma del porcentaje del almidón (almidón nativo de yuca + almidón agrio de yuca) presente en la formulación del diabolín; %FCA: suma del porcentaje de fibra cruda en el almidón nativo de yuca y en el almidón agrio de yuca.

El porcentaje de carbohidratos totales se determinó por diferencia, según la ecuación 2.

$$\%CHO=[100-(\%Humedad+\%extracto\ etéreo+Proteína\ bruta+\%Cenizas+Fibra\ bruta)] \quad (\text{Ec. 2})$$

3.5.4. Determinación de parámetros físicos: volumen específico, hinchamiento, porcentaje de pérdida de peso, pH, color y dureza de diabolín

Se determinó el volumen específico del control y de todos los tratamientos a través de la técnica reportada por Pizzinatto et al. (1993). Consistió en pesar la muestra de diabolín horneado a temperatura ambiente y medirle el volumen aparente (mL), determinado por el desplazamiento de un volumen fijo de granos de arroz partido, contenidos en una probeta de 250 mL; de tal manera que la relación del volumen aparente (mL) y la masa (g), genera el volumen específico, como lo indica la ecuación 3.

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Volumen desplazado (mL)}}{\text{Peso del diabolín (g)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

El hinchamiento se determinó por la medición del diámetro antes y después de horneado el producto mediante un vernier en acero inoxidable (Truper®; mm y pulgadas) como lo indica la ecuación 4; quedando expresado como una relación porcentual (El-Dash, 1982).

$$\%Hinchamiento = \frac{(DAH-DDH)}{DAH} * 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde: DAH: diámetro antes de horneado (mm); DDH: diámetro después de horneado (mm)

El porcentaje de pérdida de peso (p/p), se determinó mediante la masa del diabolín, antes y después de horneado, lo cual tiene una correspondencia con la pérdida de agua durante el mismo (Milde et al. 2009). De igual forma, tales valores son reemplazados en la ecuación 5, y permite hallar los rendimientos de la producción de diabolines para todos los tratamientos.

$$\%pérdida\ de\ peso = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

El pH de las muestras de diabolín se determinó pesando 15 gramos de muestra (previamente triturada), con adición de 100 mL de agua destilada, con ayuda de una espátula se homogenizó la muestra y se midió el pH con un pHmetro Metrohm, swiss made, 827 lab (Vergara 2011).

La dureza se detrrminó con un analizador de textura EZ TEST de la firma Shimadzu Corporation, modelo: SM-500N-168, utilizando como accesorio de prueba un plato de compresión de 50 mm de diámetro; el cálculo de los parámetros evaluados se llevó a cabo a través del software RheoMeter Software Copyright 1997,98 (C); en todos los casos se dispuso la unidad experimental completa sobre el plato inferior y someterlo a la compresión respectiva. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente (28°C). La prueba utilizada fue una prueba de firmeza, se aplicó una compresión uniaxial hasta un 50% de su altura a la velocidad de 60 mm/min. A partir de los datos de fuerza vs tiempo, se calculó la dureza como la fuerza máxima. (AACC 1988).

El análisis de color para los diabolines, se midió con un colorímetro Colorflex EZ 45 (HunterLab®), cuyas muestras se trituraron utilizando un mortero y un pistilo de cerámica (Hasbún et al. 2009). Se analizaron las coordenadas L (luminosidad o claridad), h (matiz), coordenada a (verde a rojo) y b (azul a amarillo). En el anexo I y J, se muestran imágenes complementarias de los análisis físicos.

3.5.5. Evaluación sensorial de los diabolines obtenidos en cada tratamiento, a través de una prueba de preferencia por escala hedónica

La evaluación sensorial de los diabolines se hizo a través de una prueba de aceptación por escala hedónica estructurada de 9 puntos (1-me disgusta extremadamente hasta 9-me gusta extremadamente) (ver anexo K); para evaluar los atributos de olor, color, sabor y textura (Rodríguez 2014). La cual fue realizada por 53 consumidores habituales de diabolín, reclutados verbalmente, con edad entre 18 y 56 años, cuyo panel sensorial estaba conformado por estudiantes, profesores y trabajadores de la Universidad de Sucre y de la Universidad de Córdoba (Colombia). A cada panelista se le presentaron cinco muestras de diabolín (correspondientes a cada tratamiento), servidos en platos blancos codificados con

tres dígitos de forma aleatoria y un vaso de agua para limpiar el paladar entre muestras (ver anexo L).

3.6. Diseño experimental

Se implementó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, con estructura de tratamientos factorial 2x2; el primer factor fue el tipo de almidón, cuyos niveles fueron: tipo 1 y tipo 2; el segundo factor fue el nivel de sustitución, con dos niveles: 25% y 50%. Por fuera de la estructura factorial se dispuso de un patrón y/o control, el cual se comparó con los tratamientos de la estructura factorial. El análisis sensorial se realizó a través de un diseño en bloques completos al azar, bajo una estructura simple de tratamiento a una vía de clasificación; siendo los catadores el factor de bloqueo. Para la estructura factorial se implementó un análisis de varianza con pruebas horizontales de Tukey ($P < 0,05$), que permitió comparar la sustitución porcentual de almidón para cada tipo de almidón. el control se comparó con los demás tratamientos mediante una comparación de medias ($p < 0,05$), donde el tratamiento patrón constituía un tratamiento de la ANOVA, de esta forma se identificó si el testigo se comportó mejor que los tratamientos propuestos o viceversa. Para el análisis sensorial se utilizó un análisis de varianza a una vía, para un diseño en bloques al azar con pruebas de comparaciones múltiples de Tukey ($P < 0,05$). En todos los casos y para cada variable se realizó una validación del modelo (normalidad y homogeneidad de varianza). Todos los resultados se ilustraron con gráficos y/o tablas. Asimismo, se calcularon variables estadísticas como: promedio, coeficientes de variación y desviación estándar. Los resultados de la información recolectada fueron procesados mediante el software Statgraphics Centurion 16.1.15 (XVI) en una versión de prueba.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Obtención de diabólicos con sustituciones de almidón nativo por almidón modificado enzimáticamente

Se obtuvieron diabólicos para los tratamientos correspondientes a T1-25 (almidón tipo 1 y nivel de sustitución de 25%), T1-50 (almidón tipo 1 y nivel de sustitución: 50%), T2-25 (almidón tipo 2 y nivel de sustitución de 25%); T2-50 (almidón tipo 2 y nivel de sustitución: 50%) y para el control (100% almidón nativo de yuca). Se conservó la uniformidad de las muestras por tratamiento en cuanto a la forma esférica, masa (g) y diámetro (mm) de cada unidad experimental. En la tabla 2, se indican la masa antes y después de horneado y diámetro promedio de las unidades experimentales de cada tratamiento y el control. En general con los tratamientos se obtuvieron productos con características aceptables y semejantes a los diabólicos tradicionales (ver figura 4 y 5).

Tabla 2. Características de las unidades experimentales de diabólico para cada tratamiento

Tratamientos	Masa AH ¹ (g) ± DE*	Masa DH ² (g) ± DE	Diámetro (mm) ± DE
T0	5,00 ± 0,20	3,12 ± 0,05	29,07 ± 1,01
T1- 25	5,00 ± 0,20	3,21 ± 0,43	28,38 ± 1,05
T1- 50	5,00 ± 0,20	3,17 ± 0,48	28,38 ± 1,15
T2- 25	5,00 ± 0,20	3,40 ± 0,38	28,85 ± 1,33
T2- 50	5,00 ± 0,20	3,57 ± 0,52	29,42 ± 1,05

*DE: desviación estándar; ¹ Antes de horneado; ² Después de horneado.

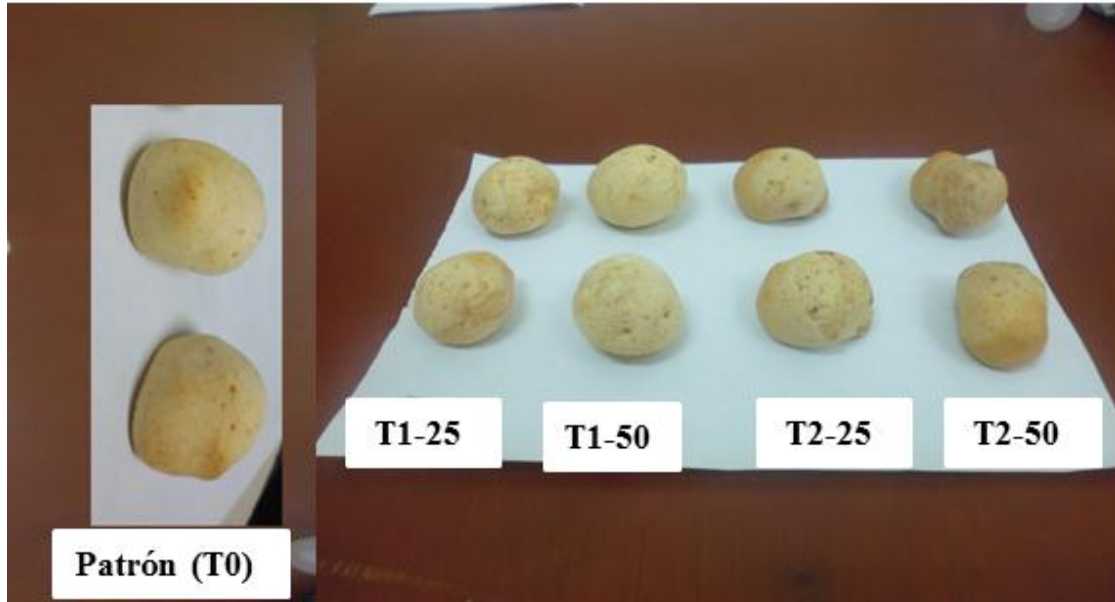


Figura 4. Diabolines obtenidos con todos los tratamientos evaluados: T1-25, T1-50, T2-25, T2-50 y para el patrón T0.

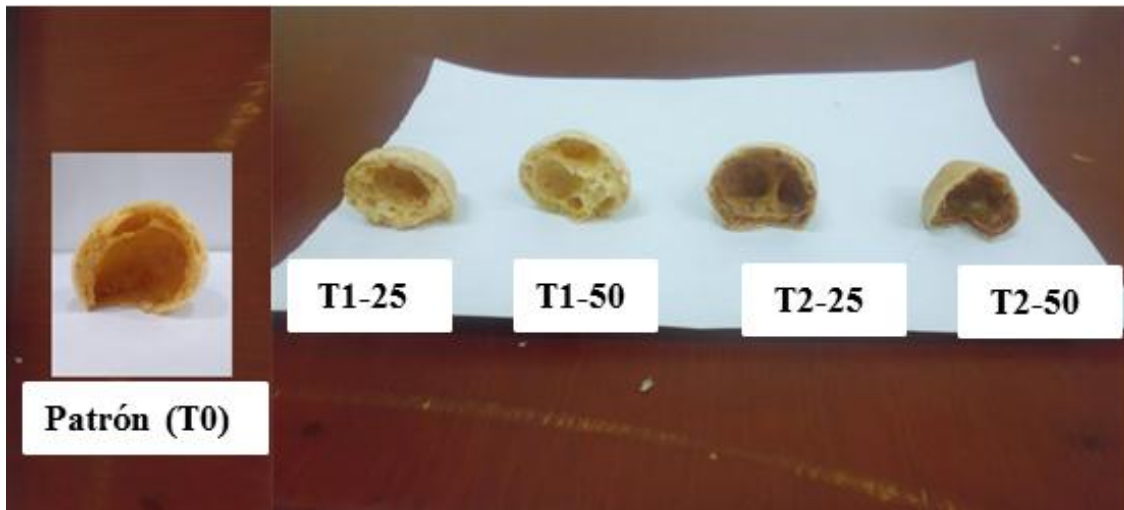


Figura 5. Corte transversal de diabolines obtenidos con todos los tratamientos evaluados: T1-25, T1-50, T2-25, T2-50 y para el patrón T0

4.2. Determinación de las propiedades viscoelásticas de la masa de diabolín en los tratamientos formulados con almidón nativo y sustituciones por modificado

Las curvas del comportamiento reológico de los módulos de almacenamiento (G') y pérdida (G'') para las masas de diabolín de todos los tratamientos incluido el patrón se ilustran en la figura 6. A través de ésta se observó que a frecuencias más altas, G' es

mayor que G'' ; indicando un comportamiento gomoso de la masa; aunque a frecuencias más bajas predominó el módulo viscoso, lo que se puede explicar por la movilidad generada en las cadenas poliméricas (Guerrero y Llerena 2015).

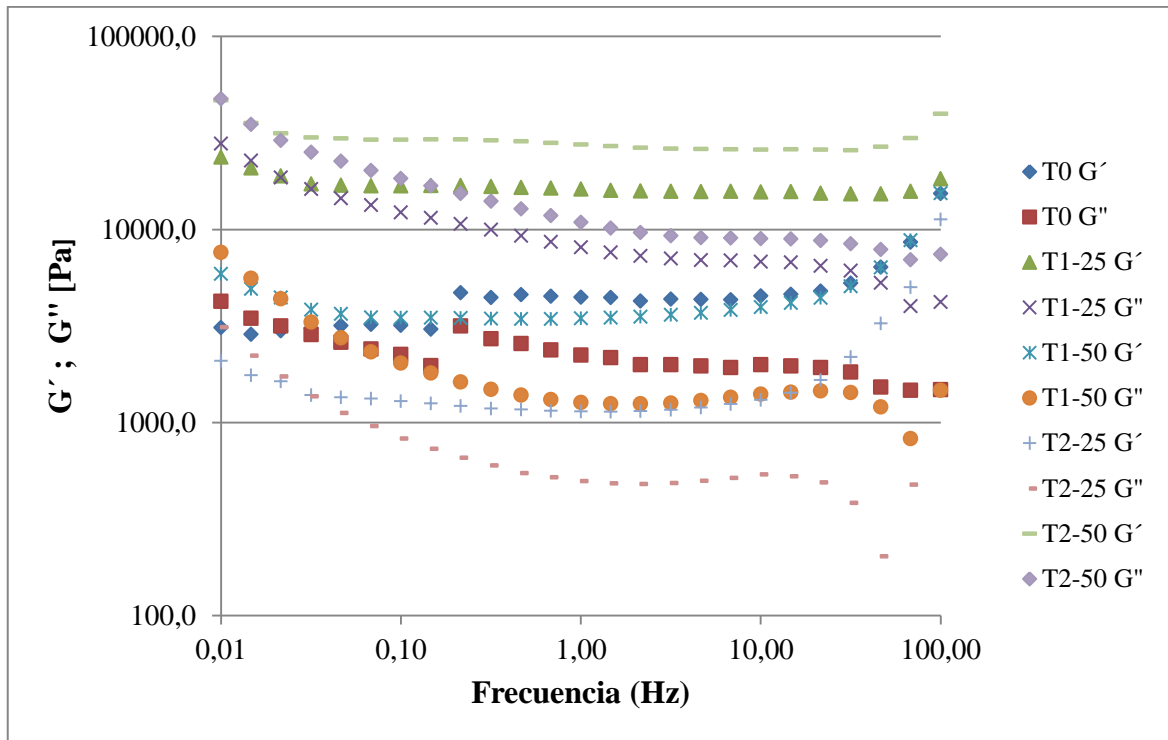


Figura 6. Barrido de frecuencia en la masa de diabolín para el control (T0) y los tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 T2- 50.

Según Menard (1999) y García (2008), la presencia de esta meseta o "plateau" es más evidente en polímeros de alto peso molecular. En la masa del diabolín este comportamiento fue más evidente en el control (almidón nativo de yuca) y en los tratamientos que emplearon almidón tipo 1 (T1-25 y T1-50), asimismo, fue menos evidente en las masas que emplearon almidón tipo 2, siendo este último el almidón con mayor cantidad de azúcares simples en su composición (%ED= 43,33%). Teniendo en cuenta el comportamiento de la curva del módulo G' se pudo observar que el tratamiento con almidón tipo 1 y el nivel de sustitución más bajo (25%) se obtuvo mayores valores para el módulo de almacenamiento; mientras que empleando almidón modificado tipo 2, los mayores valores de G' fueron con el nivel de sustitución más alto (50%). Lo cual indica que T1-25 y T2-50 presentaron mayor dominio del carácter elástico. De igual

manera, se evidenciaron mayores valores para el módulo de pérdida en el tratamiento T2-50; Betancourt et al. (2014), señala que este tipo de comportamiento indica la prevalencia de un comportamiento con prevalencia igual como líquido y sólido, lo cual genera mayor suavidad a la masa, lo cual favorece el manejo de la masa en la etapa de mezclado y moldeado del producto, haciendo que la masa sea más manipulable en el proceso de elaboración de los diabólicos.

Mediante la figura 6 (ver anexo M) también se pudo apreciar una zona de transición, en la cual se observó una inversión de los valores del módulo de almacenamiento y pérdida; al mismo tiempo se alcanzó un valor máximo para G'' , como consecuencia del aporte de energía, necesaria para producir un aumento en la movilidad de las moléculas que constituyen la masa (Guerrero y Llerena 2015). Según el ANOVA para el punto de transición en las frecuencias de cada tratamiento se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo N); es decir, el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución. Las frecuencias a la cual existió transición en las curvas para los tipos de almidón dependieron de los niveles de sustitución usados. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ señaló que existen diferencias significativas entre las sustituciones del 25% y 50% empleando almidón tipo 1 (ver tabla 3).

Mediante el ANOVA para todos los tratamientos (incluido el control), no se encontraron diferencias significativas entre las frecuencias de transición, lo cual indica que todas las masas de diabolín alcanzaron a la misma frecuencia el punto de transición en las curvas de los módulos de almacenamiento y pérdida. Para las frecuencias altas (ubicadas después de la frecuencia de transición), se observó que el módulo de almacenamiento G' fue mayor que el módulo de pérdida G'' , lo que indica una tangente de pérdida menor que la ($\tan \delta < 1$), señalando un comportamiento elástico para la masa de diabolín (Torbica et al. 2010). En el anexo O se muestra la gráfica de la tangente de pérdida para los tratamientos evaluados.

Tabla 3. Comparación de medias* para las interacciones de los factores en las frecuencias de transición de la masa de diabolón

	Tipo*Nivel	Frecuencia de transición
F2 en F1 (Tipo 1)¹	T1- 25	0,13 ± 0,03 ^b
	T1- 50	0,08 ± 0,00 ^a
	Tipo*Nivel	Frecuencia de transición
F2 en F1 (Tipo 2)²	T2- 25	0,10 ± 0,02 ^a
	T2- 50	0,12 ± 0,03 ^a

*Prueba de Tukey (P<0,05); a-b: letra igual indica no hay diferencias significativas entre medias de la columna (P <0,05). ¹ F2 en F1 (tipo 1): Factor 2 en factor 1, en el nivel tipo 1 y ²F2 en F1 (tipo 2): Factor 2 en factor 1 en nivel tipo 2. Nota: las letras de significancia están de acuerdo a los datos transformados.

4.3. Caracterización bromatológica de los diabolines

Los valores promedios y la desviación estándar de cada parámetro bromatológico para el control y los 4 tratamientos evaluados se muestran en la tabla 4. Se realizó la validación de los resultados de cada parámetro bromatológico a través de la prueba Shapiro Wilk (p<0,05) y la prueba de Barlett (p<0,05), ésta indicó un comportamiento normal y homogéneo en todos los parámetros, excepto para la humedad y grasa (ver anexo P). Por lo cual se hizo necesario hacer transformación de los datos mediante $Z = (1/(\text{humedad}^4))$ para humedad y $Z = ((1-\text{grasa}/100)^2)$ para grasa; en el anexo Q se muestra el cumplimiento de los supuestos de la varianza mediante las pruebas de Shapiro wilk (p<0,05) para ambos casos y de barlett (p<0,05) para la humedad y Levenne (p<0,1) para grasa; asimismo el anexo R señala la comparación de medias por Tukey (p<0,05) después de la transformación respectiva.

Tabla 4. Valores promedio de los parámetros bromatológicos para el control y los tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 y T2-50.

Tratamientos	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasa	CHO
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
T0	6,58 ± 0,10 ^c	3,18 ± 0,05 ^b	8,15 ± 0,08 ^b	8,50 ± 0,83 ^a	73,02 ± 0,96 ^b
T1- 25	5,74 ± 1,23 ^c	7,17 ± 0,63 ^a	8,29 ± 0,16 ^b	7,91 ± 0,07 ^a	70,33 ± 1,11 ^b
T1- 50	5,63 ± 0,41 ^c	2,91 ± 0,68 ^b	8,59 ± 0,13 ^a	9,10 ± 1,81 ^a	72,32 ± 2,16 ^b
T2- 25	3,92 ± 0,03 ^b	3,73 ± 0,69 ^b	7,92 ± 0,03 ^c	8,10 ± 2,18 ^a	78,45 ± 2,79 ^a
T2- 50	3,56 ± 0,06 ^a	3,91 ± 0,34 ^b	7,13 ± 0,03 ^d	7,93 ± 0,05 ^a	76,91 ± 0,37 ^a

Mediante el ANOVA para la humedad se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo S); lo cual señala que el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución en el diabolín. La humedad para el factor tipo de almidón dependió del nivel de sustitución usado. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ no indicó diferencias significativas entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 1, pero sí cuando se empleó almidón tipo 2 a un nivel de sustitución de 25% y 50% (ver tabla 5). A través de los resultados expuestos se pudo observar que los menores contenidos de humedad se obtienen cuando se emplea almidón tipo 2 en ambos niveles de sustitución: T2-25 (3,92%) y T2-50 (3,56%); el cual disminuyó cuando aumentó el nivel de sustitución con este mismo tipo de almidón. Este comportamiento también fue evidenciado cuando se empleó almidón tipo 1 en ambos niveles de sustitución: T1-25 (5,74%) y T1-50 (5,63) a medida que aumentó el nivel de sustitución disminuyó el contenido de humedad presente en el diabolín; sin embargo, la diferencia entre niveles para este último no fueron significativas estadísticamente. La pérdida de humedad se genera durante el horneado y puede estar relacionado con una menor capacidad de retención de agua del tipo de almidón.

Tabla 5. Comparación de medias* para las interacciones de los factores en los parámetros de humedad, cenizas y proteína.

		Tipo*Nivel	Humedad Media ± DE¹	Cenizas Media ± DE	Proteína Media ± DE
F2 en F1 (Tipo 1)³	T1-25		5,74 ± 1,23 ^a	7,17 ± 0,63 ^b	8,29 ± 0,16 ^b
	T1-50		5,63 ± 0,41 ^a	2,91 ± 0,68 ^a	8,59 ± 0,13 ^a
		Tipo*Nivel	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
F2 en F1 (Tipo 2)²	T2-25		3,92 ± 0,03 ^b	3,73 ± 0,69 ^a	7,92 ± 0,03 ^a
	T2-50		3,56 ± 0,06 ^a	3,91 ± 0,34 ^a	7,13 ± 0,03 ^b

*Prueba de Tukey (P<0,05); ¹DE: desviación estándar; a-b: letra igual indica no hay diferencias significativas entre medias de la columna (P <0,05). ²F2 en F1 (tipo 1): Factor 2 en factor 1, en el nivel tipo 1 y ³F2 en F1 (tipo 2): Factor 2 en factor 1 en nivel tipo 2. Nota: las letras de significancia están de acuerdo a los datos transformados.

Desde el punto de vista microbiológico, una baja humedad favorece la conservación a temperatura ambiente del producto, constituyendo un bajo espectro de proliferación de microorganismos (Bello et al. 2000). De igual forma, representa una ventaja en la vida útil y favorece las condiciones de almacenamiento (Esteller et al. 2005; Benítez et al. 2008). Por otro lado, una baja humedad permite lograr una textura sensorial deseada en productos de naturaleza seca y tostada como el diabolín, reflejado en lo crujiente que éste resulte (Velásquez et al. 2014).

Tomando de referencia la NTC 1241. Productos de molinería. Galletas (2007), como normativa colombiana vigente y la más acorde al producto en estudio (semejanza en las condiciones del proceso y naturaleza de la formulación), se observó que la humedad de los diabolines de todos los tratamientos cumplió los requisitos establecidos en la norma ($\leq 10\%$) (Ver anexo T). Asimismo, la humedad del diabolín está de acuerdo a lo reportado por Díaz et al. (2012), quienes determinaron humedad en galletas a base de almidón de yuca y pulpa de asaí, en un rango promedio de 4,19- 5,11%. Por otro lado, Mesías et al. (2010), reportó valores de humedad de 5,5% para galletas integrales tostadas. Aparicio (2002), también determinó humedad en rosquillas a base de maíz y sorgo nixtamalizado, para lo cual obtuvo una humedad en un rango de 2,92% a 3,40%.

Mediante la comparación de medias entre tratamientos incluyendo al control, a través de una prueba de Tukey ($p < 0,05$), se encontró que el mayor contenido de humedad la presentó el patrón (6,58%p/p) el cual no fue significativamente diferente de los tratamientos T1-25 y T1-50, pero sí con respecto a los demás (ver anexo U). Se pudo observar que todos los tratamientos que emplearon sustituciones del almidón modificado enzimáticamente con α -amilasa del *Bacillus licheniformis*, favorecieron los bajos contenidos de humedad en el diabolín con respecto a la formulación tradicional (100% almidón nativo de yuca). Cabe señalar que el mejor tratamiento para el parámetro de humedad se obtuvo con el empleo del almidón tipo 2 a un nivel de sustitución del 50% (T2-50), siendo éste el que menor contenido de humedad (3,56%) presentó.

Mediante el ANOVA para cenizas se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo S); es decir, el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución en el diabolín. El contenido de ceniza para el factor tipo de almidón dependió del nivel de sustitución usado. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ indicó diferencia significativa entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 1, pero no presentó diferencia significativa cuando se empleó almidón tipo 2 a un nivel de sustitución de 25% y 50% (ver tabla 4). Mediante los resultados se pudo observar que el empleo de almidón tipo 2 variando los niveles de sustitución no infirió sobre el contenido de ceniza determinado en el diabolín; mientras que con el almidón tipo 1 si se percibió diferencias de un nivel de sustitución a otro. De acuerdo a otras investigaciones desarrolladas en productos similares, el contenido de cenizas para el diabolín obtenido mediante los tratamientos evaluados es mayor para todos los caso; Bellosos et al. (2009), reportaron valores de 2,77g/100 g de muestra de galleta con sustituciones de harina de trigo por avena y yuca; de igual manera Palacios y Perales (2004), reportaron valores de 2,1%. La comparación de medias entre los tratamientos y el control (Tukey, $p < 0,05$) indicó diferencia significativa entre el control (3,18%p/p) y T1-25 (7,17p/p) y ninguna diferencia con respecto a los demás tratamientos (ver Anexo T). Según el mayor contenido

de cenizas (7,17%p/p), el mejor tratamiento fue T1-25, asociado a un mayor contenido de minerales y mayor aporte a la dieta nutricional (Horwitz 1994).

Según el ANOVA para proteína se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo S); es decir, el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución en el diabolín. El contenido de proteína para el tipo de almidón dependió del nivel de sustitución usado. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ señaló diferencia significativa entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 1, asimismo, cuando se empleó almidón tipo 2 con ambos niveles de sustitución (ver tabla 5). Se pudo observar que con el empleo de almidón tipo 2 disminuyó el contenido de proteínas siendo menor para el nivel de sustitución del 50% (7,13%); mientras tanto, cuando se empleó almidón tipo 1, el contenido de proteína presentó los mayores valores: T1-25 (8,29%) y T1-50 (8,59%); sin embargo, el menor valor se obtuvo con el nivel de sustitución de 25%. El contenido de proteína determinado en diabolín obtenido de los todos los tratamientos cumplió los requisitos mínimos que señala la NTC 1241 ($\geq 3\%$ p/p). Pero fue menor a lo reportado por Aparicio (2002), en rosquilla a base de sorgo nixtamizado (11,25% a 12,22%). De igual forma, estuvo por debajo del contenido presente en pan de queso (10,40%p/p) (ver anexo V). Aunque, estuvo de acuerdo con Belloso et al. (2009), quienes determinaron una cantidad de 8,08 g/100 g de galleta.

Por la comparación de medias entre el control y los tratamientos (Tukey, $< 0,05$), no se encontró diferencias significativas entre el patrón (8,15%p/p) y T1-25 (8,29%) pero sí con el resto de tratamientos (ver anexo U). El menor valor fue para T2-50 (7,13%p/p) y el mayor se obtuvo con T1-25 (8,59%p/p); siendo este último el mejor tratamiento, ya que hace un aporte significativo en la nutrición (Moncada et al. 2006).

De acuerdo al ANOVA para grasa, se encontró que el tipo de almidón y nivel de sustitución influyeron significativamente en este parámetro; sin interacción entre éstos (ver anexo R). Lo anterior indica que el contenido de grasa fue diferente cuando se varió el tipo de almidón; asimismo, la grasa es diferente para cada nivel de sustitución en el

diabolín. El análisis estadístico para cada factor, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$) señaló diferencia significativa cuando se empleó almidón tipo 1 y almidón tipo 2; de igual forma existe diferencia significativa entre el nivel de sustitución de 25% y 50% (ver tabla 6). Este comportamiento lo podría explicar la funcionalidad que desempeñan los almidones y/o dextrinas en panificación, en cuanto a la retención de grasa en el producto al cual sean adicionadas o en el que se hallen naturalmente (Díaz et al. 2004). Los contenidos de grasa en esta investigación fueron inferiores a los reportados por Beloso et al. (2009), quienes reportaron valores de 19,21% para galletas, así también, Palacios y Perales (2004) encontró 20,44% y Benítez et al, (2006) encontraron valores de 15,58 % de grasa también en galletas.

Tabla 6. Comparación de medias* para los factores: tipo de almidón y nivel de sustitución del parámetro grasa y carbohidrato.

Tipo de almidón	Grasa Media	CHO Media
Tipo1	8,95 ^b	71,88 ^b
Tipo2	6,67 ^a	78,24 ^a
Nivel de sustitución	Media	Media
25%	6,66 ^a	74,95 ^a
50%	8,96 ^b	75,17 ^a

*Prueba de Tukey (95% confianza); a-b: letras distintas indican diferencias significativas entre medias de la columna ($P < 0,05$).

Mediante una comparación de medias (Tukey, $< 0,05$) entre el control y los tratamientos no se encontró diferencia significativa de éste con los demás tratamientos (ver Anexo U). Esto puede estar influenciado por la formulación que se estableció para el diabolín (ver tabla 3), la tiene un aporte fijo en todos los tratamientos y para el control, por lo cual estos resultados son esperados, sobretodo porque el almidón no tiene aporte significativo de grasa.

De acuerdo a la ecuación 1 se determinó un contenido de fibra bruta de 0,56% para todos los diabolines obtenidos en cada tratamiento y para el control. Siendo éste un valor constante, que se tomó como referencia para la determinación de carbohidratos presentes en el diabolín. Se pudo apreciar que éste valor se encontró por debajo de lo reportado por Beloso et al. (2009) para galletas a base de harina de yuca, avena y trigo (0,89 g/100 g de

galleta), sin embargo, este aumento se puede justificar por la presencia de avena en la formulación (Hoseney, 1991); Palacios y Perales (2004) reportaron valores de 4,39% y Benítez et al. (2006) encontró valores de 2,88% en galletas a base de harina de yuca y plasma de ovino.

Según el ANOVA para carbohidratos se encontró que solamente el tipo de almidón influyó significativamente en este parámetro (ver anexo S); esto significa que el contenido de carbohidratos fue diferente cuando se varió el tipo de almidón en la formulación de diabolín. El análisis estadístico para este factor mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$) señaló diferencia significativa cuando se empleó almidón tipo 1 y almidón tipo 2 (ver tabla 6). Donde los mayores valores se obtuvieron al emplear almidón tipo 2 (78,24%). Desde un punto de vista nutricional los altos contenidos de CHO determinados en diabolín para todos los tratamientos ($>70\%$) lo convierten en una fuente significativa de energía (Fennema 2000). Los contenidos de carbohidrato estuvieron cercanos a los reportados por Belloso et al. (2009), los cuales fueron de 66,18 g/100 g de galleta y 73,39 g/100 g de galleta; pero superiores a los reportados por Palacios y Perales (2004), quienes reportaron valores de 40,83% y Benítez et al. (2006) reportó valores de 68,66 g/100g de muestra. A partir de la comparación de medias entre el patrón ($73,02 \pm 0,96 \%$) y los tratamientos no se encontró diferencias significativas entre éste y los tratamientos T1-25 y T1-50; pero sí con los demás tratamientos (ver Anexo T). El menor y mayor contenido de CHO se obtuvo con T2-50 (70,33%p/p) y T2-25 (78,45%p/p) respectivamente.

4.4. Determinación de parámetros físicos

Los valores promedios y desviación estándar de cada parámetro físico para el control y los 4 tratamientos evaluados se muestran en la tabla 6 y 7. Se realizó la validación de los supuestos para cada parámetro: normalidad (a través de la prueba Shapiro Wilk ($p < 0,05$)) y homogeneidad (prueba de Barlett ($p < 0,05$)); éstas indicó un comportamiento normal y homogéneo para todos los casos, excepto para la luminosidad del color instrumental, el pH y pérdida de peso (ver anexo V). Por lo cual se hizo necesario hacer transformación de los datos: $Z = \sqrt{\text{Luminosidad}}$; $Z = \log(\text{pH})$ y $Z = \log(\text{Pérdida de peso})$. En el anexo X se indica el cumplimiento de los supuestos de la varianza después de la transformación, para

la normalidad se utilizó la prueba de Levene ($p < 0,1$) para luminosidad y pH mientras tanto, Shapiro wilk ($p < 0,05$) para la pérdida de peso; lo homogeneidad se evaluó mediante la prueba de Barlett ($p < 0,05$) para todos los casos. Asimismo el anexo Y indica la comparación de medias por Tukey ($p < 0,05$) después de la transformación respectiva.

Tabla 7. Valores promedio de los parámetros físicos: volumen específico, hinchamiento, pérdida de peso, pH y dureza, determinados en el diabolín obtenido de los tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 y T2-50 y el control (T0).

TTOS	V.E.	Hincham.	P. peso	pH	Dureza (N)
	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE
T0	3,47 \pm 0,02 d	21,97 \pm 2,13 b	38,48 \pm 0,10 a	5,25 \pm 0,10 c	93,97 \pm 0,64 a
T1- 25	3,64 \pm 0,02 c	27,28 \pm 1,30 b	39,99 \pm 0,21 b	5,61 \pm 0,02 a	47,69 \pm 1,02 b
T1- 50	3,90 \pm 0,11 b	38,64 \pm 4,72 a	38,56 \pm 0,38 a	5,63 \pm 0,01 a	38,08 \pm 0,19 c
T2- 25	4,70 \pm 0,07 a	40,10 \pm 4,03 a	40,67 \pm 0,42 b	5,48 \pm 0,01 b	29,19 \pm 1,26 d
T2- 50	3,92 \pm 0,11 b	41,40 \pm 1,35 a	38,80 \pm 0,55 a	5,33 \pm 0,08 c	16,27 \pm 0,18 e

DE: Desviación estándar; a-e: letras distintas indican diferencias significativas entre medias de la columna ($P < 0,05$).

Tabla 8. Valores promedio de las coordenadas del color instrumental determinadas en el diabolín obtenido de los tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 y T2-50 y el control (T0).

Tratamientos	Color			
	L* \pm DE	h* \pm DE	a* \pm DE	b* \pm DE
T0	69,83 \pm 0,00 ^b	72,80 \pm 0,01 ^a	11,07 \pm 0,01 ^e	35,77 \pm 0,01 ^b
T1- 25	69,69 \pm 0,00 ^c	72,72 \pm 0,01 ^b	11,51 \pm 0,01 ^c	36,98 \pm 0,01 ^a
T1- 50	70,64 \pm 0,00 ^a	72,70 \pm 0,02 ^b	11,13 \pm 0,01 ^d	35,73 \pm 0,02 ^c
T2- 25	60,56 \pm 0,01 ^d	68,39 \pm 0,03 ^c	13,89 \pm 0,02 ^b	35,06 \pm 0,03 ^d
T2- 50	58,83 \pm 0,01 ^e	68,15 \pm 0,03 ^d	14,05 \pm 0,01 ^a	35,04 \pm 0,02 ^d

DE: desviación estándar. a-e: letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos.

Mediante el ANOVA para volumen específico se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo Y); es decir, que el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ indicó diferencias

significativas entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 1; asimismo, cuando se empleó almidón tipo 2 con ambos niveles de sustitución (ver tabla 9).

Tabla 9. Interacciones entre factores para los parámetros: volumen específico, pH, hinchamiento y pérdida de peso determinados en diabolín.

	T*N	V.E Media ± DE¹	Hincham. Media ± DE	Pérdida Media ± DE	pH Media ± DE	Dureza Media ± DE
F2 en F1 (Tipo 1)³	T1-25	3,64 ± 0,02 ^a	27,28 ± 1,30 ^b	39,99 ± 0,21 ^b	5,61 ± 0,02 ^a	47,69 ± 1,02 ^a
	T1-50	3,90 ± 0,11 ^b	38,64 ± 4,72 ^a	38,56 ± 0,38 ^a	5,63 ± 0,01 ^a	38,08 ± 1,26 ^b
F2 en F1 (Tipo 2)²	T2-25	4,70 ± 0,07 ^a	40,10 ± 4,03 ^a	40,67 ± 0,42 ^a	5,48 ± 0,01 ^a	29,19 ± 0,19 ^a
	T2-50	3,92 ± 0,11 ^b	41,40 ± 1,35 ^a	38,80 ± 0,55 ^a	5,33 ± 0,08 ^b	16,27 ± 0,18 ^b

*Prueba de Tukey (P<0,05); ¹DE: desviación estándar; a-b: letra igual indica no hay diferencias significativas entre medias de la columna (P <0,05). ²F2 en F1 (tipo 1): Factor 2 en factor 1, en el nivel tipo 1 y ³F2 en F1 (tipo 2): Factor 2 en factor 1 en nivel tipo 2. Nota: las letras de significancia están de acuerdo a los datos transformados.

Se pudo observar que los mayores valores de volumen específico se obtuvieron empleando almidón tipo 2 para ambos niveles de sustitución: T2-25 (4,70 mL/g) y T2-50 (3,92 mL/g); el cual disminuyó cuando aumentó el nivel de sustitución con este mismo tipo de almidón. En el caso del empleo de almidón tipo 1 se observó que al aumentar el nivel de sustitución el volumen específico disminuyó: T1-25 (3,64 mL/g) y T1-50 (3,90 mL/g). Mayores valores del volumen específico con el empleo de almidón tipo 2 respecto al almidón tipo 1, puede estar influenciada por las diferentes condiciones de modificación a las que fueron sometidos cada tipo de almidón debido a los cambios a nivel estructural que se dieron en el gránulo. De acuerdo a Thirathumthavorn y Trisuth (2008), se encontró que un aumento del volumen específico en los panes adicionados de almidones modificados se asocia con la pérdida de cristalinidad durante el proceso de modificación. De esta manera se ha encontrado que el almidón nativo de yuca después de haber sido sometido a hidrólisis enzimática disminuye su cristalinidad, lo cual puede deberse a que además de la región amorfa haya existido una degradación proporcional de la

amilopectina (Thumporn, et al 2010). Asimismo, los equivalentes de dextrosa (ED) para cada tipo de almidón modificado enzimáticamente, podrían explicar el comportamiento del volumen específico en cada tratamiento; observándose que los mayores volúmenes específicos se obtuvieron con el tipo de almidón 2 (3,93 y 4,70 mL/g) que también corresponde al almidón con mayores ED (43,33%) (ver anexo C), lo cual está de acuerdo con Witczak et al. (2009); quienes evaluaron la adición de maltodextrinas (almidones hidrolizados) con distintos equivalentes de dextrosa en las propiedades reológicas y físicas (entre ellas el volumen específico), encontrando que las formulaciones de panes sin gluten adicionados de maltodextrinas con equivalentes de dextrosa de 15,3 y 21,8% causó un aumento en el volumen del pan desde 623 cm³ (control) a 807 cm³ (ED=21,8%). Mediante esto, se indicó que mayor presencia de carbohidratos de menor peso molecular (dextrinas/maltodextrinas) favorece el aumento del volumen del producto. Por otro lado, se comparó el volumen específico de todos los tratamientos con los valores de referencia establecidos por la FAO, se encontró que el almidón nativo de yuca y los dos tipos de almidones modificados enzimáticamente empleados para la obtención de diabólicos de esta investigación son de bajo poder de expansión (≤ 3 mL/g).

Mediante la comparación de medias entre tratamientos incluyendo al control, a través de una prueba de Tukey ($p < 0,05$), se encontró que el patrón presentó el menor valor este parámetro con respecto a los tratamientos (3,47 mL/g) y a su vez fue estadísticamente diferente de los demás tratamientos (ver anexo AA).

Según el ANOVA para el hinchamiento se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo); lo cual señala que el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución realizada a la formulación del diabólico. El hinchamiento para el tipo de almidón dependió del nivel de sustitución usado. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ indicó diferencias significativas entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 1; mientras tanto, empleando almidón tipo 2 a un nivel de sustitución de 25% y 50% no se encontró diferencias significativas (ver tabla 9). A partir del comportamiento de los resultados se observó mayores valores cuando se empleó almidón tipo 2 con respecto al uso de almidón tipo 1; notándose que el aumentar el nivel de

sustitución en un mismo tipo de almidón aumentó los valores del hinchamiento: T2-25 (40,10%) y T2-50 (41,40%). Este comportamiento fue similar al volumen específico y en general se atribuye a los factores que determinan este parámetro, dados por la cantidad de aire incorporado en la masa durante el mezclado y la expansión durante el horneado e indicando que una mayor fracción de aire en los productos se refleja en un mayor hinchamiento y menor contenido de sólidos del producto horneado (Loor 2008). De acuerdo a la comparación de medias del control con los tratamientos que emplearon almidón modificado se encontró que el tratamiento patrón presentó el menor hinchamiento (21,97%), el cual presentó diferencia significativa con todos los tratamientos, excepto T1-25 (ver anexo AA).

Por el ANOVA para la pérdida de peso se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo Y); es decir, que el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución realizado en la formulación del diabolín. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ indicó diferencias significativas entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 1; mientras tanto, empleando almidón tipo 2 a un nivel de sustitución de 25% y 50% no se encontró diferencias significativas (ver tabla 9). Según estos resultados se observó mayores valores cuando se empleó almidón tipo 2 con respecto al uso de almidón tipo 1; los cuales aumentaron para este último proporcional al nivel de sustitución. Sin embargo, para el almidón tipo 2, esta tendencia no fue significativa entre niveles de sustitución. Este parámetro está asociado con los resultados del volumen específico e hinchamiento del producto; de manera que a mayor pérdida de peso, la fracción de aire incorporada al producto será mayor (Loor 2008). Mediante la comparación de medias por Tukey ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos evaluados no se encontró diferencia significativa entre el control y T2-50, pero sí entre estos y el resto de tratamientos. El patrón presentó el menor porcentaje de pérdida de peso (38,48%). A través del ANOVA para el pH se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo Y); es decir, que el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución empleado. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ indicó diferencias

significativas entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 2; mientras tanto, empleando almidón tipo 1 a un nivel de sustitución de 25% y 50% no se encontró diferencia significativa (ver tabla 8). Los mayores valores para pH se obtuvieron con almidón tipo 1: T1-25 (5,48) y T1-50 (5,33); al aumentar el nivel de sustitución en éste, proporcionalmente aumentó el pH. Cuando se empleó almidón tipo 2 los valores de pH disminuyeron con el aumento del nivel de sustitución. En general, todos los tratamientos presentaron pH relativamente cercanos a la neutralidad que podría estar influenciado por la mezcla homogénea de los diversos componentes de las formulaciones de cada tratamiento. Estos valores están de acuerdo a lo reportado por la norma COVENIN (2001) para galletas, la cual indica que éste debe ser de 5,6; de manera semejante Beloso et al. (2009), reportaron pH de 6,61 para galletas de avena, harina de trigo y harina de yuca, a partir de lo cual señalan que este pH es favorable, ya que sumado a la baja humedad del producto (ver numeral 4,3) y las altas temperaturas de horneado, favorece las condiciones de almacenamiento y disminuye la proliferación de microorganismos, lo cual representa una ventaja para la conservación de la vida útil del diabolín. Por la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos evaluados no se encontró diferencia significativa con el tratamiento T2-50, pero sí con los demás tratamientos evaluados (ver anexo AA).

De acuerdo al ANOVA para la dureza se encontró una interacción significativa ($p < 0,05$) sobre este parámetro (ver anexo Z); es decir, que el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución empleado. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ indicó diferencias significativas entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 1; asimismo, empleando almidón tipo 2 con ambos niveles de sustitución (ver tabla 8). Los mayores valores de dureza (N) se obtuvieron empleando almidón tipo 1: T1-25 (47,69N) y T1-50 (38,07N); mientras tanto con el almidón tipo 2 se obtienen los menores valores para este parámetro. En ambos casos el aumento de la dureza es inversamente proporcional al aumento en el nivel de sustitución.

Los mayores valores de dureza se asocian con una mayor migración de masa del centro a la superficie del producto durante el horneado, lo cual genera un aumento del espesor de la corteza (López et al. 2012). Por otro lado, una menor dureza implica una menor fuerza aplicada en la deformación o rotura del alimento, lo que implica un menor esfuerzo durante la ingestión (masticación) del producto (Esteller et al. 2005). No obstante, un menor esfuerzo en la masticación será deseado, siempre que éste denote frescura y excelencia en la calidad del atributo (Szczeniak 2002, Hasbún et al. 2009). Sin embargo, una fractura fácil del producto estará ligada a la dureza adecuada para mantener la forma del producto durante el transporte (Hadnadev et al. 2013; Rodríguez 2014). De acuerdo a que los los tratamientos que presentaron menor dureza correspondieron a los tratamientos que emplearon almidón tipo 2, esto se explica con el proceso de modificación al que fue sometido este almidón, lo cual favoreció un mayor ED (43,33%) con respecto al almidón tipo 1; cuyo ED expresa un mayor contenido de maltodextrinas presentes en su composición (ver anexo C). Este comportamiento está de acuerdo a Witczak et al. (2010), quienes evaluaron los efectos de maltodextrinas con varios %ED en la masa y la calidad final del pan sin gluten durante el almacenaje (dos días); mediante el cual obtuvieron que el empleo de maltodextrinas con altos ED (18,0-21,8%) influyeron en la disminución del endurecimiento de la miga de pan durante el almacenaje, conservando una dureza semejante a la del tratamiento control (1,71 N), que correspondía a la dureza del pan en el día cero. Debido a que las maltodextrinas con más altos ED son un factor eficaz en la reducción de la entalpía de recristalización de la amilopectina y en efecto reducción de la dureza de la matriz alimentaria (Miyazaki et al 2004). Mediante la comparación de medias entre el control y los tratamientos (Tukey $<0,05$), se encontró diferencia significativa entre todos los tratamientos. Se pudo apreciar que el patrón presentó los mayores valores para la dureza (93,97 N).

Según el ANOVA para la luminosidad (L), el matiz (h) y las coordenadas (a) y (b) se encontró una interacción significativa ($p<0,05$) sobre estos parámetros (ver anexo Y); lo cual señala que el comportamiento del tipo de almidón es diferente para cada nivel de sustitución. El análisis estadístico para las interacciones de los factores según la prueba de Tukey, $p<0,05$ indicó diferencias significativas entre el nivel de sustitución de 25% y 50%

cuando se empleó almidón tipo 1; asimismo al emplear almidón tipo 2 a un nivel de sustitución de 25% y 50%. El análisis estadístico para las interacciones de los factores en el matiz (h), según la prueba de Tukey, $p < 0,05$ indicó diferencia significativa entre el nivel de sustitución de 25% y 50% cuando se empleó almidón tipo 2; mientras tanto, no presentó diferencias significativas al emplear almidón tipo 1 en ambos nivel de sustitución (ver tabla 9).

Tabla 10. Comparación de medias* para las interacciones de los factores de las coordenadas del color instrumental

Tipo*Nivel	COLOR				
	L*	h*	a*	b*	
	Media \pm DE ¹	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	
F2 en F1 (Tipo 1) ³	T1-25	69,69 \pm 0,00 ^b	72,72 \pm 0,00 ^a	11,51 \pm 0,01 ^a	36,98 \pm 0,01 ^a
	T1-50	70,64 \pm 0,01 ^a	72,70 \pm 0,02 ^a	11,13 \pm 0,01 ^b	35,73 \pm 0,03 ^b
Tipo*Nivel	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	
F2 en F1 (Tipo 2) ²	T2-25	60,56 \pm 0,01 ^a	68,39 \pm 0,03 ^a	13,89 \pm 0,02 ^b	35,06 \pm 0,03 ^a
	T2-50	68,83 \pm 0,01 ^b	68,15 \pm 0,03 ^b	14,05 \pm 1,35 ^a	35,04 \pm 0,02 ^a

*Prueba de Tukey ($P < 0,05$); ¹DE: desviación estándar; a-b: letra igual indica no hay diferencias significativas entre medias de la columna ($P < 0,05$). ²F2 en F1 (tipo 1): Factor 2 en factor 1, en el nivel tipo 1 y ³F2 en F1 (tipo 2): Factor 2 en factor 1 en nivel tipo 2. Nota: las letras de significancia para L están de acuerdo a los datos transformados.

Los mayores valores para L* se obtuvieron empleando almidón tipo 1; es decir, los diabolines obtenidos de estos tratamientos son más claros respecto a los diabolines obtenidos empleando almidón tipo 2. Se pudo apreciar que al aumento el nivel de sustitución empleando un mismo tipo de almidón aumentó los valores de L*. De acuerdo a la comparación de medias (Tukey $< 0,05$) entre el control y los tratamientos que emplearon almidón modificado enzimáticamente para la obtención de diabolín, se encontró que el tratamiento patrón con valor de L*=69,83 fue estadísticamente diferente de los demás tratamientos (ver anexo Z).

Los mayores valores del matiz se obtuvieron empleando almidón tipo 1, es decir reflejaron un color más claro; de igual forma se observó un descenso de h^* a medida que aumentó el nivel de sustitución, con ambos tipos de almidón. Esto indica que los tratamientos donde se empleó almidón tipo 1 presentaron tonalidades más puras que cuando se emplea almidón tipo 2; donde los diabolines obtenidos con sustituciones de este último se alejaron más del color amarillo y tomaron una tonalidad ligeramente café (pardo) (ver anexo B). Esto se puede explicar por la mayor presencia de azúcares simples (dextrinas, maltodextrinas) en el almidón tipo 2 %ED (43,33), el cual es superior al %ED del almidón tipo 1 (15,32) (ver anexo C). La presencia de dextrinas y/o azúcares simples en productos horneados en conjunto con las proteínas presentes en estos, generan reacciones de caramelización y maillard a temperaturas altas (horneado); donde sus efectos son percibidos mediante un color pardo del producto, el cual se incrementa según la cantidad de azúcares presentes (Esteller et al, 2005). De acuerdo a la comparación de medias (Tukey $<0,05$) entre el control y los tratamientos que emplearon almidón modificado enzimáticamente para la obtención de diabolín, se encontró que el tratamiento patrón con valor de $h^*=72,80$ fue el mayor valor y presentó diferencia significativa con los demás tratamientos (ver anexo Z).

Los mayores valores para la coordenada a^* se obtuvieron empleando almidón tipo 2, según el círculo cromático (ver anexo B) los resultados señalaron un color café oscuro con tendencia al rojo a medida que aumentó el nivel de sustitución este valor se incrementa. Con respecto al almidón tipo 1 a medida que aumentó el nivel de sustitución, los valores de a^* disminuyeron, tomando un color café más claro. Los mayores valores para la coordenada b^* se obtuvieron empleando almidón tipo 1, especialmente con el nivel de sustitución más bajo, lo cual señala diabolines de color amarillo más puro, respecto al almidón tipo 2. Se muestra una relación inversa entre el nivel de sustitución y los valores de la coordenada para ambos tipos de almidón. Mediante la comparación de medias para el control y los tratamientos se encontró diferencias significativas entre tratamientos.

4.5. Evaluación sensorial, a través de una prueba de preferencia por escala hedónica

La comparación de medias y desviación estándar de las calificaciones asignadas por los panelistas, según el grado de aceptación del control y los tratamientos con sustituciones de almidón de yuca para la obtención de los diabolines, se expresan en la tabla 11. En el anexo BB se muestra la validación de los resultados para la normalidad y homogeneidad de la varianza para cada parámetro.

Tabla 11. Comparación de medias* para atributos sensoriales del diabolín de los tratamientos con sustitución de almidón modificado enzimáticamente y almidón nativo de yuca

Tratamientos	Olor	Color	Sabor	Textura
	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE
T0	6,45 \pm 2,01 ^a	7,15 \pm 1,29 ^a	6,60 \pm 1,75 ^a	6,89 \pm 1,89 ^a
T1- 25	5,76 \pm 1,88 ^a	6,36 \pm 1,55 ^{ac}	6,15 \pm 2,01 ^{ab}	5,89 \pm 2,07 ^b
T1- 50	6,09 \pm 1,67 ^a	6,77 \pm 1,61 ^{ab}	6,28 \pm 1,93 ^{ab}	6,36 \pm 1,97 ^{ab}
T2- 25	6,06 \pm 1,83 ^a	6,06 \pm 1,97 ^{bc}	5,62 \pm 2,11 ^b	4,79 \pm 2,30 ^c
T2- 50	6,45 \pm 1,55 ^a	5,83 \pm 1,90 ^c	5,77 \pm 2,30 ^{ab}	5,51 \pm 2,34 ^b

*Prueba de Tukey (95% confianza); a-c: letras distintas indican diferencias significativas entre medias de la columna (P <0,05).

El olor fue calificado entre cinco y siete (no me gusta ni me disgusta y me gusta moderadamente); mediante el ANOVA se encontró diferencias significativas entre catadores y ninguna diferencia entre tratamientos (ver anexo CC). Mediante la prueba de Tukey (P<0,05) no hay diferencia significativa entre los tratamientos y el control; es decir, el uso de almidón modificado y nativo con sustituciones de 25 y 50% en una formulación de diabolín no fue detectado sensorialmente. Esto puede estar asociado a que los ingredientes que constituyen la formulación del producto, que a su vez tienen efecto sobre el olor (queso, margarina), no fueron variados en la formulación, sino que permanecieron en proporciones fijas. Sin embargo, el almidón que fue la materia prima que se estuvo variando, según su composición y naturaleza inodora, explica la nula diferencia del olor entre los tratamientos evaluados (Aparicio 2002). Este resultado estuvo de acuerdo con Ziobro et al. (2012), quienes evaluaron sensorialmente unos panes con sustitución de

almidones modificados en su formulación y encontraron que los almidones no tuvieron efecto en el olor de producto.

El color de los diabólicos, obtuvo calificaciones entre cinco y ocho (no me gusta ni me disgusta y me gusta mucho). Mediante el análisis de varianza se encontró diferencias significativas entre catadores y entre tratamientos (ver anexo CC); a través de la prueba de Tukey ($P < 0,05$), los tratamientos que obtuvieron la mayor y menor calificación para el olor fueron T0 (7-8) y T2-50 (5-6) respectivamente. Esta prueba no mostró diferencias significativas entre los tratamientos T0, T1-25 y T1-50, pero sí entre éstos y el resto de tratamientos. De igual manera, T2-50 y T2-50 no mostraron diferencia estadísticamente significativa entre ellos; indicando que el variar el nivel de sustitución (25-50%) empleando un mismo tipo almidón (tipo 0 o tipo 2), el atributo de color no difiere sensorialmente. El tratamiento patrón (T0) obtuvo las mayores calificaciones del color respecto a los demás tratamientos, pero estadísticamente no difiere de los tratamientos T1-25 y T1-50 (ver tabla 12). El tratamiento T2-50 tuvo una aceptación baja, sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayoría de los alimentos tienen un color característico, cuando éste se desvía demasiado de lo esperado, el consumidor lo rechaza, por la predisposición y/o prejuicio que idealizan del sabor, aún sin éste haber sido ingerido; de hecho la población a la cual se dirigió el producto en su mayoría eran consumidores habituales del diabólico y cuentan con un prototipo esperado del producto. Cabe resaltar que este cambio de color en el tratamiento en cuestión, al igual que en la determinación de color instrumental viene dado por los azúcares presentes, lo cuales generan las reacciones de caramelización en el horneado e implica un cambio de color en el producto (Belloso et al. 2009).

El atributo de sabor muestra que todos los tratamientos se encuentran entre 5 y 7 (no me gusta ni me disgusta y me gusta moderadamente), de acuerdo a la evaluación asignada por los catadores. Mediante el ANOVA se encontró diferencias significativas entre catadores y ninguna diferencia entre tratamientos (ver anexo CC). Los tratamientos que obtuvieron la mayor y menor calificación para el sabor fueron T0 (6-7) y T2-25 (5-6) respectivamente. Mediante la prueba de Tukey, todos los tratamientos a excepción de T2-

25 son aceptados de igual manera por los panelistas (ver tabla 11). Los cambios de sabor en el diabolín pueden estar dados por la presencia de azúcares más simples, que genera un dulzor no característico en este tipo de productos.

La textura sensorial para todos los tratamientos fue calificada entre cuatro y siete (me disgusta levemente y me gusta moderadamente). Por medio del análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre catadores y entre tratamientos (ver anexo CC); de acuerdo a la comparación de medias (prueba de Tukey, $p < 0,05$) los tratamientos que obtuvieron la mayor y menor calificación para la textura fueron T0 (6-7) y T2-25 (4-5) respectivamente. Esta prueba no mostró diferencias significativas entre los tratamientos T0 y T1-50, pero sí entre éstos y el resto de tratamientos. También se puede observar, que los tratamientos que emplean almidón Tipo 1 (T1-25 y T1-50) no mostraron diferencia estadísticamente significativa entre ellos, al igual que los tratamientos que emplean almidón Tipo 2 (T2-25 y T2-50) son aceptados de igual manera por los panelistas; indicando que al variar los niveles de sustitución (25-50%) de un mismo tipo almidón (tipo 1 o tipo 2), el atributo de textura no se percibe diferente a través del criterio sensorial. Por su parte, el tratamiento patrón obtuvo mayor calificación de éste atributo, respecto a los demás tratamientos, aunque estadísticamente no presentó diferencia con el tratamiento T1-50 (ver tabla 13), lo que puede estar relacionado a la preferencia por diabolines con mayor dureza de parte de los consumidores, atributo característico del producto. En general, los resultados de la evaluación sensorial, mostraron que el tratamiento T0 (patrón), obtuvo los mayores rangos en todos los atributos evaluados: olor (6,45), color (7-8) sabor (6-7) y textura (6-7). Sin embargo, este tratamiento no presenta diferencias estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en ninguno de los atributos señalados con respecto a T1-50, por lo cual ambos tratamientos poseen la mayor aceptación sensorial, frente a los demás tratamientos. Mientras tanto, el tratamiento T2-25, presentó la menor calificación para los atributos: sabor (4-5), textura (5-6).

5. CONCLUSIONES

- El uso de almidón modificado de yuca enzimáticamente con α -amilasa del *Bacillus Licheniformis* bajo dos condiciones diferentes de hidrólisis: tipo 1 (63°C; 40%p/p; 17,5 minutos] y tipo 2 (temperatura de reacción: 70°C; concentración de sustrato: 20%p/p; tiempo de reacción: 20 minutos), para sustituir proporciones de almidón nativo de yuca en un 25% y 50%, permite la obtención de diabolines con características organolépticas deseables, aceptables y semejantes al diabolín tradicional.
- Sustituciones de 25 y 50% de almidón nativo de yuca por almidón modificado enzimáticamente con α -amilasa del *Bacillus licheniformis*, presenta mayores valores del módulo G' en un mismo rango de frecuencia; indicando mayor dominio del carácter elástico; es decir, su comportamiento tiende a ser como el de un material sólido; especialmente a las frecuencias más altas, el módulo elástico es mayor que el viscoso y a frecuencias más bajas el módulo elástico toma valores próximos al viscoso.
- Los parámetros bromatológicos del diabolín son mejorados con almidón modificado tipo 2 (70°C; 20%p/p; 20 minutos) con sustituciones desde 25 a 50%, por su alto contenido de hidratos de carbono (78,45% y 76,91%) y menor contenido de humedad (3,56%), que favorece su vida de anaquel y también faculta las propiedades crujientes del producto.
- El empleo de almidón modificado enzimáticamente en una formulación de diabolín aumenta el volumen específico, hinchamiento y la tonalidad del color, asimismo

disminuye su dureza, la luminosidad del color y el pH, principalmente con sustituciones del 50% del almidón modificado con mayor grado de hidrólisis.

- Las sustituciones de almidón modificado enzimáticamente con α -amilasa de *Bacillus licheniformis* en una formulación de diabolín, no generó cambios en el olor del producto; el sabor y la textura fueron aceptado de igual manera para todas las formulaciones, excepto cuando se emplea almidón modificado tipo 2 (70°C; 20%p/p; 20 minutos) con un nivel de sustitución del 25%, convirtiéndolo en el tratamiento de menor aceptación. Asimismo, el color disminuyó su aceptación a medida que aumentan las sustituciones de almidones modificado enzimáticamente. En general, se notó una mayor aceptación sensorial para el diabolín elaborado de la forma tradicional (empleando solo almidón nativo de yuca).

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Desarrollar estudios que demuestren la potencialidad del diabolín como un producto horneado carente de gluten (gluten free); alternativa para pacientes que padecen la enfermedad celiaca y/o afines (relacionadas a trastornos generados con la inclusión de gluten en la dieta); aspecto que hoy día es considerado de interés mundial y ha marcado tendencia en la generación de este tipo de alimentos.
- ✓ Evaluar el nivel de toxicidad que podrían generar la ingesta de diabolines con almidones modificados enzimáticamente y/o contraindicaciones que podría tener su consumo en algunas personas.
- ✓ Estudiar el comportamiento de la vida útil del diabolín con sustituciones de almidón de yuca modificado enzimáticamente, que permita evaluar los cambios que se presenten en sus propiedades bromatológicas, físicas y sensoriales.
- ✓ Establecer un análisis de costo-beneficio que permita evaluar la rentabilidad económica que tendría el empleo de almidón modificado enzimáticamente con α -amilasa del *Bacillus licheniformis* en una formulación de diabolín, frente al uso tradicional de almidón nativo de yuca.
- ✓ Determinar propiedades viscoelásticas de la masa del diabolín mediante un barrido de temperatura. Asimismo, determinar azúcares reductores, en el producto final.
- ✓ Emplear queso costeño con parámetros estándar, que permitan un mejor control de esta variable.

7. BIBLIOGRAFÍA

AACC. American Association of Cereal Chemists; 1988. Cereal Laboratory Methods No. 74-09. Amer. Ass. of Cereal Chem., St. Paul, Minnesota.

Abbas, K., Khalil, S. y Hussin, A. 2010. Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. Publicado en Revista: Journal of Agricultural Science. E-ISSN: 1916-9760 Vol. 2, No. 2. (En línea). <http://www.virtualpro.com/>. Acceso: 2 de mayo de 2016.

Aguilera, M. 2012. La yuca en el Caribe colombiano: De cultivo ancestral a agroindustrial. Núm. 158. Documento de trabajo sobre Economía Regional. Banco de la república. Centro de estudios económicos regionales (CEER), Cartagena. ISSN 1692-3715. (en línea), <http://www.banrep.gov.co/es/node/25497>. Acceso: 19 abril (2015).

Agus, T. y Morita, N. 2001. Influence of Acyl Chain Lengths in Mono- and Diacyl-sn-glycerophatidylcholine on gelatinización and retrogradation of starch. J. Agric Food Chem, 49 (10), 4688-4693.

Ahlborn, G., Pike, O., Hendrix, S., Hess, W. y Huber, C. 2005. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low-protein and glutenfree breads. Cereal Chemistry 82, 328–335.

AOAC Internacional. 2012. Official Methods of Analysis. AOAC International. Edición 19. Editorial Gaithersburg. MD, USA. Official Method. 3000p.

Aparicio, J. 2002. Evaluación de cinco proporciones de maíz y sorgo nixtamalizado en la elaboración de rosquillas a escala industrial. Trabajo de grado de pregrado de Ingeniería en Agroindustria en el Grado Académico de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana-Zamorano. Honduras.

Aplevicz, K. y Demiate, I. 2007. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 27(3): 478-484. Universidad e Estadual de Ponta Grossa. Brasil.

Aristizábal, J. y Sánchez, T. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, Boletín de servicios agrícolas de la FAO N° 163, ISBN 978-92-5-305677-4 (en línea), 2007. <http://www.fao.org/>. Acceso: 01 abril (2015).

Barrett, D., Beaulieu, J. y Shewfelt, R. 2010. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 50: 369 – 389.

Bello, L., Agama, E., Zamudio, P., Mendez, G. y Rodriguez, S. 2010. Effect of low and high acetylation degree in the morphological, physicochemical and structural characteristics of barley starch. *LWT Food Sci. Technol.* 43 (9), 1434e1440.

Belloso, G. y Velásquez E. 2009. Análisis nutricional de galletas elaboradas con trigo (*Triticum aestivum*), avena (avena sativa) y yuca (*manihot sculenta*). V Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica. VI Jornadas Científicas de Biomedicina y Biotecnología Molecular. [En línea]:<http://www.informatica.sip.ipn.mx/colmex/congresos/chiapas/cd/Alimentos%5CExtensos%5C478485.pdf> // Acceso: 19 de mayo de 2016.

Benítez, B.; Archile, A.; Rangel, L.; Ferrer, K.; Barboza, Y. y Márquez, E. 2008. Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *Revista Interciencia.* VOL. 33 N° 1. [En línea]: www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n1/art13.pdf // Acceso: 24 abril de 2016.

Betancourt, S., Ayala, A. y Ramírez, C. 2014. Efecto del proceso de fermentación con bacterias ácido lácticas sobre propiedades reológicas de masas de maíz QPM. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 17 (2): 503 - 511 . [En línea]: Acceso: 12 de abril de 2016.

Carmona, J. y Paternina, J. 2007. Evaluación de la modificación vía enzimática del almidón de ñame (*Dioscorea trifida*) utilizando-amilasa (Termamyl ® 120 I, tipo I) para sus posibles aplicaciones industriales. Tesis Biólogo con énfasis en Biotecnología, Universidad de Sucre, Sincelejo. (en línea): www.dspace.edu.co. Acceso: 12 de junio de 2015.

Carrascal, F. 2005. Obtención de dextrinas de alta solubilidad y mínima retrogradación a partir de almidón industrial de yuca. Tesis de pregrado de Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Chávez, A.; Romero, A. 2006. Diagnóstico de las condiciones microbiológicas y fisicoquímicas del queso costeño producido en el municipio de Sincé-Sucre (Colombia). Trabajo de grado de Pregrado Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Sucre, Sincelejo.

Chung, H. Cho, A. y Lim, S. 2014. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. LWT-Food Science and Technology, 57(1), 260-266.

CIAT. 1982. Cocinando con yuca. En Yuca boletín informativo. No. 10. Marzo, pp 4-6. CIAT. Cali, Colombia.

COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). (2001). Productos de cereales y leguminosas: Galletas. Norma 1785-81. Fondonorma. Caracas, Venezuela.

Díaz, R. y Hernández, M. 2012. Elaboración de galletas como alternativa para la soberanía alimentaria en la región amazónica colombiana. Vitae, vol. 19, núm. 1, pp. S273-S275. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. [En línea]: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914083> // Acceso: 07 abril de 2016.

Díaz, M., Filella, M. y Velázquez, M. 2004. Estudio de la modificación vía enzimática de almidón de yuca para la obtención de maltodextrinas Revista colombiana de biotecnología vol. IV N° 1.

Durán, E., Leon, A., Barber, B., Benedito de Barber, C., 2001. Effect of low molecular weight dextrans on gelatinization and retrogradation of starch. *Eur. Food Res. Technol.* 212, 203e207.

El-Dash, A; Camargo. y Díaz, N.1992. Fundamentos da tecnologia de panificação. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 349p. (Série Tecnologia Agroindustrial, 6).

Esteller, M. y Caetano, S. 2005. Parâmetros Complementares para Fixação de Identidade e Qualidade de Produtos Panificados. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Campinas)*. ISSN 1678457X. [En línea]: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v25n4/27654.pdf>
Acceso: 11 enero de 2016.

Esteller, M. y Lima , A. 2005. Lann es, S.C.S. Color measurement in hamburger buns with fat and sugar replacers. *LWT*.

Fennema, O. 2000. Química de los alimentos. Segunda edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. P. 1-1258.

Fretes, F. 2010. Mandioca una opción industrial. Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

García, J. 2008. Tema 3. Viscoelasticidad lineal, Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química. [En línea]: <http://ocw.ua.es/es/ingenieria-y-arquitectura/reologia-2006.html/> Acceso: 12 abril de 2016.

Gray, J. y BeMiller, J. 2003. Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2, 1–21.

Gujral, H., Haros, M. y Rosell, C. 2003. Starch hydrolyzing enzymes for retarding the staling of rice bread. *Cereal Chemistry* 80 (6), 750–754.

Guerrero, D. y Llerena, C. 2015. “Efecto del Tiempo de Germinación en las Características Reológicas de la Masa de Pan con Harina de Arroz Variedad INIAP XV”. Trabajo de grado de Ingeniería de Alimentos. Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador.

- Hadnadev, T., Torbica, A. y Hadnadev, M. 2013.** Influence of buckwheat flour and carboxymethyl cellulose on rheological behaviour and baking performance of gluten-free cookie dough. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1770-1781.
- Hasbún, J., Esquivel, P., Brenes, A. y Alfaro, I. 2009.** Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. *Agronomía Costarricense*; ISSN:0377-9424. (En línea): www.cia.ucr.ac.cr Acceso: 15 febrero de 2016.
- Hoover, R. y Zhou, Y. 2003.** In vitro e in vivo hidrólisis de almidones por α -amilasa y la formación de almidón resistente en las legumbres - una revisión. *Carbohydrate Polymers*, v 54, n.4, p. 401-417.
- Horwitz, W. 1994.** Official Method of Analysis of AOAC International. 15th Edition. AOAC International, Maryland, USA.
- Hoseney, C., Lineback, R. y Seib, A. 1983.** Role of starch in baked foods. *The Bakers Digest*, Chicago, v. 57, p. 65-70.
- HunterLab. 1998.** User's manual with universal software versions 3.5. Reston: HunterLab.
- Karaman, S; Yilmaz, M; Cankurt, H; Kayacier, A. y Sagdic, O. 2012.** Linear creep and recovery analysis of ketchup cheese mixtures using mechanical simulation models as a function of temperature and concentration. *Food Research International*, 48, 507–519..
- Kaur, B; Ariflin, F; Bhat, R; Karim, A. 2012.** Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloid*, 26, 398e404. (en línea); <http://www.sciencedirect.com/>. Acceso: 27 septiembre (2015).
- Lazaridou, A. y Biliaderis, C. 2009.** Gluten free doughs: Rheological properties, testing procedures- methods and potential problems. En: Gallagher, E., (Ed) *Gluten-free Food Science and Technology* (PP. 52-75) Wiley-Blackwell, Iowa, USA.
- Loor, A. 2008.** Desarrollo de un Manual de Operación para un Proceso de Galletas Crackers. Tesis de Pregrado de Ingeniería de Alimentos. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- López, J; Rodríguez, E. y Sepúlveda, J; 2012.** Evaluación de características físicas y texturales de pandebono. *Acta Agronómica*, vol. 61, núm. 3. pp. 273-281. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. (En línea). Acceso: 22 de marzo de 2016.

Magaña, E. Ramírez, B. Torres, P. Sánchez, D. y López, J. 2011. Efecto del contenido de proteína, grasa y levadura en las propiedades viscoelásticas de la masa y la calidad de pan tipo francés. *Revista Interciencia*. Vol. 36 N° 4.

Marchal, L., Jonkers, J., Francke, G. 1., Gooijer C. D. y Tramper, J. 1999. The effect of process conditions on the α -amylolytic hydrolysis of Amylopectin potato starch: an experimental design approach. *Biotechnology and Bioengineering*. 62: 348-357.

Masure, H., Fierens, E., y Delcour, J. 2016. Actual y prospectiva enfoques experimentales en la investigación de la elaboración del pan sin gluten. *Journal of cereal science*. Volumen 67, páginas 92111. [en línea]: <http://www.sciencedirect.com> Acceso: 6 enero de 2016.

MERCOSUR/GMC/RES. N° 106. (1994). Amidos Modificados. (en línea): http://www.mercosur.int/msweb/Normas/normas_web/Resoluciones/PT/94106.pdf Acceso: 18 de junio de 2015.

Merino, C. 2013. Mejora de la calidad de panes sin gluten a través de la mezcla de almidones y harinas. Área de Tecnología de los Alimentos, E.T.S. Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, Palencia, España.

Menard, K. 1999. *Dynamic Mechanical Analysis: A Practical Introduction*. (1st Ed.). United States of America: Editorial CRC Press, pp. 4, 29 – 31, 194.

Mesías, M.; López, N; Guerra, E. y García, B. 2010. Determinación de carboximetilisina en alimentos tostados y horneados. *ARS Pharmaceutica* ISSN: 0004-2927. Departamento de Nutrición y Bromatología. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada. [En línea]: <http://farmacia.ugr.es/ars> // Acceso: 01 mayo de 2016.

Milde, L., González, K., Valle, C. y Rybak, A. 2009. Pan de fécula de mandioca con leche. Comporta miento físico al adicionar un emulsionante. *Revista Ciencias y Tecnología*. Año 11 / N° 11 / 2009 / 4–8. [En línea]: // Acceso: 04 abril de 2016.

Minim, P; Machado, T; Canavesi, E. y Pirozi, R. 2000. Perfil sensorial e aceitabilidade de diferentes formulações de pão de queijo. *Ciênc. Tecnol. Aliment*. 20(2):154 - 159.

Mirsaeedghazi, H. Emam-Djomeh, Z. y Mousavi, S. 2008. Rheometric measurement of dough rheological characteristics and factors affecting it. *Int. J. Agri. Biol. Pakistan.* 10:112-119.

Miyazaki, M., Maeda, T. y Morita, N., 2004. Effect of various dextrin substitutions for wheat flour on dough properties and bread qualities. *Food Research International* 37, 59–65.

Miyazaki, M; Van Hung, P; Maeda, T; Morita, N; 2009. Almidones Modificados. (Spanish). *Industria Alimenticia*, 20(2), 24-25.

Miyazaki, M., Van Hung, P., Hung, Tomoko, M. y Naofumi, M. 2006. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. *Trends in Food Science & Technology* 17 (2006) 591e599. (En línea); 2006. <http://www.sciencedirect.com/>. Acceso: 20 mayo (2015).

Moncada, L. y Hernández, L. 2006. Retención de nutrientes en la cocción, freído y horneado de tres alimentos energéticos. *Revista de investigación. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.* Pp 179-187.

Montes, E. y Salcedo, J. 2008. Evaluación de las propiedades modificadas por vía enzimática del almidón de ñame (D. trifida) utilizando α -amilasa (termamyl® 120 I, tipo I). Publicado en la Revista: VITAE, de la facultad de química farmacéutica de Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. ISSN 0121-4004 Volumen 15 número 1, págs. 51-60 (en línea). <http://www.unad.edu.co/>. Acceso: 12 de junio de 2015.

Noda, T. 2004. Las propiedades fisicoquímicas del almidón parcialmente digerido de grano de trigo germinado. *Carbohydrate Polymers*, v. 56, n. 3, p. 271-277.

Norton, I; Spyropoulos, F. y Cox, P. 2011. *Practical Food Rheology - An Interpretive Approach.* (Norton, I; Spyropoulos, F; Cox, P. Eds.) (1st ed.). Blackwell Publishing Ltd.

NTC, 1241, Norma técnica Colombiana sobre Productos de molinería. Galletas. Pág. 1-13, Bogotá, Colombia (2007).

Olomo, V. y Ajibola, O. 2003. Processing factors affecting the yield and physico-chemical properties of starch from cassava chips and flour. *Starch–Stärke*, 55,476–481.

Palacios, R. y Perales, M. 2004. Elaboración de galletas enriquecidas con linaza (*Linum usitatissimum*). Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Maturín, Venezuela. 23Pp.

Pérez, A. y García, R. 2013. Evaluación del comportamiento reológico de dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum L*) acondicionada con mezcla de fibras comerciales. Trabajo de grado de Ingeniería de alimentos. Universidad Nacional abierta y a distancia Unad escuela de ciencias básicas tecnología e ingeniería. Duitama.

Pietrzyk, S., Juszczak, L., Fortuna, T., Krolikowska, K., 2013. Effect of complexation of starches oxidised with mineral elements on their rheological properties. Food Sci. Technol. Qual. 3 (88), 125e139.

Pizzinatto, A.; Magno, R.. y Campagnoli, F. 1993. Avaliação tecnológica de produtos derivados da farinha de trigo (pão, macarrão, biscoitos). Campinas: Centro de Tecnologia de Farinhas e Panificação; Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 54 p. (en línea): <http://www.ital.sp.gov.br/bj/artigos/html/busca/PDF/v12n1354a.pdf> Acceso: 18 septiembre de 2015.

Pycia, K., Juszczak, L., Galkowska, D. y Witczak, M., 2012. Physicochemical properties of starches obtained from Polish potato cultivars. Starch Stärke 64 (2), 105e114.

Rivera, J. 2014. Cambios microestructurales y reológicos de masas y panes sin gluten. Tesis de Maestría en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos. Universidad de Valladolid. Palencia, Campus de la Yutera. [En línea]: // Acceso: 02 de abril de 2016.

Rivero, M. 2011. Extracción y reología de β -glucanos de cebada y elaboración de masas de pan sin gluten enriquecidas con los extractos. Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos, Universidad de Valladolid, Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia).

Rodríguez, P. 2014. Elaboración de galletas sin gluten con mezclas de harina de arroz-almidón-proteína. Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos, Universidad de Valladolid, Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia).

Rojas, M. 2012. Estudio de las características fisicoquímicas de la yuca (*Manihot esculenta crantz*) y sus efectos en la calidad de hojuelas fritas para su procesamiento en la

empresa Pronal S.A. Trabajo de grado para tecnóloga química. Universidad Tecnológica de Pereira.

Sahlaström, S. y Bråthen, E., 1997. Effect of enzyme preparations for baking, mixing time and resting time on bread quality and bread staling. *Food Chemistry* 58, 75–80.

Singh, J., Kaur, L., McCarthy, O., 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food Hydrocolloids*; Elsevier Ltd. All rights reserved. ISSN: 0268-00510. doi: 1016. (en línea), 21; 1–22. <http://www.sciencedirect.com/>. Acceso: 27 Febrero (2016).

Soto, I. 2015. Estandarización a escala piloto del proceso de elaboración de diabólicos naturales, con variaciones de sabor y relleno. Universidad de Sucre (Sincelejo). Trabajo de práctica profesional de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Córdoba, Montería, sede Berástegui.

Steffe, J. 1996. Rheological methods in food process engineering. 2° Edition. Freeman Press 2807 Still Valley Dr. East Lansing, MI 48823 USA.

Szczesniak, A. 1987. Correlating sensory with instrumental texture measurements – an overview of recent developments. *Journal Texture Studies*. 15: 181-186.

Szczesniak, A. 2002. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference* 13:215-225.

Tabla de composición de los alimentos Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). [En línea]:

http://alimentoscolombianos.icbf.gov.co/alimentos_colombianos/consulta_alimento.asp/

Acceso: 19 de abril de 2016.

Tester, R; Qi, X. y Karkalas, J. 2006. La hidrólisis de almidones nativos con amilasas. *La alimentación animal Ciencia y Tecnología*, v. 130, n. 1-2, p. 39-54.

Thirathumthavorn, D. y Trisuth, T. 2008. Gelatinization and retrogradation properties of native and hydroxypropylated crosslinked tapioca starches with added sucrose and sodium chloride. *International Journal of Food Properties*, 11, 858e864.

Thumporn, U; Zaidulb, I. y Karim, A. 2010. Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. Food and bioproducts processing 88 47–54.

Tinoco, X. 2008. Efectos de aditivos mejoradores sobre la calidad organoleptica y tiempo de vida útil en la elaboración del pan de almidón de yuca. Trabajo de pregrado de Ingeniería de Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Torbica, A.; HadnaCev, M.; y Dapcevi, T. 2010. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. Food Hydrocolloids. [En línea]: www.elsevier.com/locate/foodhyd // Acceso: 19 abril de 2016.

Utrilla, R. y Hernández J. et al. 2014. La hidrólisis ácida del almidón de maíz nativo: Morfología, cristalinidad, propiedades reológicas y térmicas. Elsevier. 480 (En línea). <http://www.sciencedirect.com/>. Acceso: 18 de diciembre de 2015.

Velásquez, L.; Aredo, V. Caipo, Y. y Paredes, E. 2014. Optimización por diseño de mezclas de la aceptabilidad de una galleta enriquecida con quinua (*Chenopodium quinoa*), soya (*Glycine max*) y cacao (*Theobroma cacao L.*). Revista: Agroindustrial Science. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [En línea]: www.revistavirtualpro.com/ Acceso: 03 de mayo de 2016.

Vergara, P. 2011. Efecto de la adición de enzima transglutaminasa en el desarrollo de pan a base de harina de quínoa (*Chenopodium quino willd*). Tesis Ing. en Alimentos., Santiago, Chile, Universidad de Chile. 89 p.

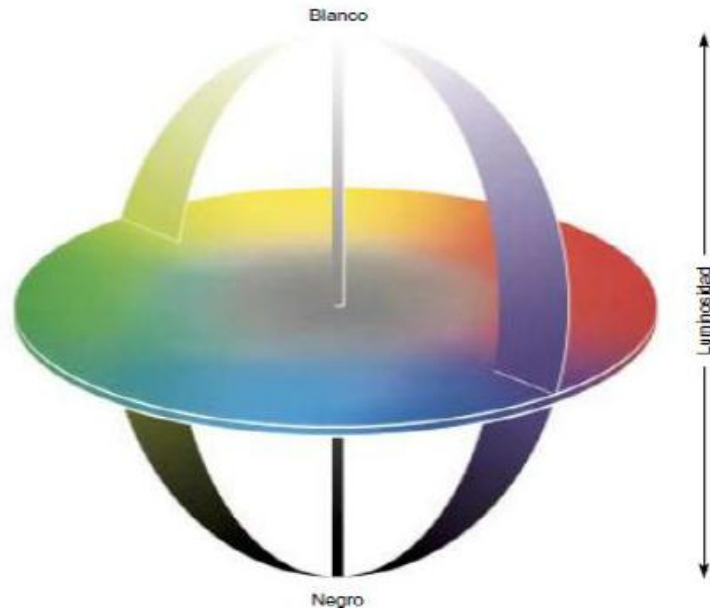
Wang, L. y Wang, Y. 2001. Structures and physicochemical properties of acid-thinned corn, potato, and rice starches. Starch/Starke, 53, 570–576.

Witczak, M., Korus, J., Ziobro, R. y Juszcak, L. 2010. The effects of maltodextrins on gluten-free dough and quality of bread. Journal of Food Engineering. 96258–265. [En línea]: www.elsevier.com/locate/jfoodeng. Acceso: 31 marzo de 2016.

Ziobro, R. Korus, J. Witczak, M y Juszcak, L. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. Food Hydrocolloids. doi:10.1016/j.foodhyd.2012.02.009. [En línea]: www.elsevier.com/locate/foodhyd // Acceso: 30 abril de 2016.

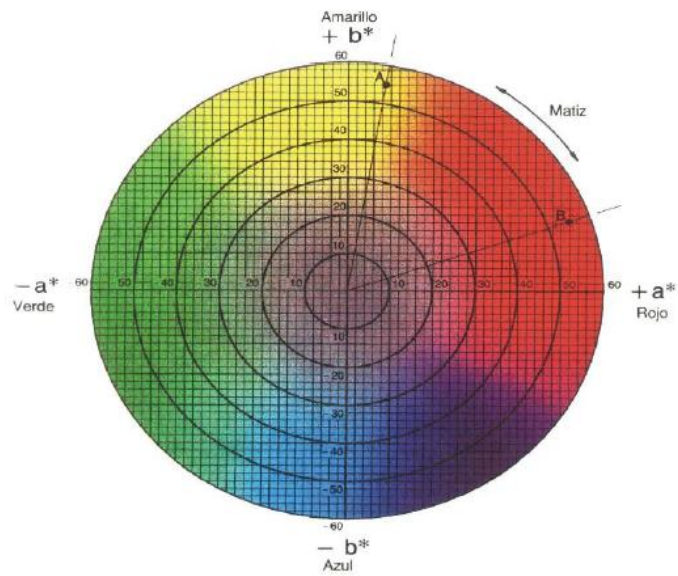
ANEXOS

Anexo A. Sistema de color tridimensional CIELAB



Fuente: Rojas 2012.

Anexo B. Círculo cromático CIELAB



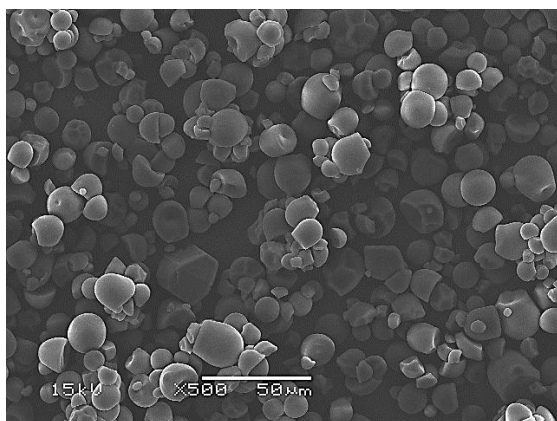
Fuente: Rojas 2012.

Anexo C. Propiedades estructurales y funcionales de almidón nativo de yuca y los dos tipos de almidón modificado enzimáticamente utilizados.

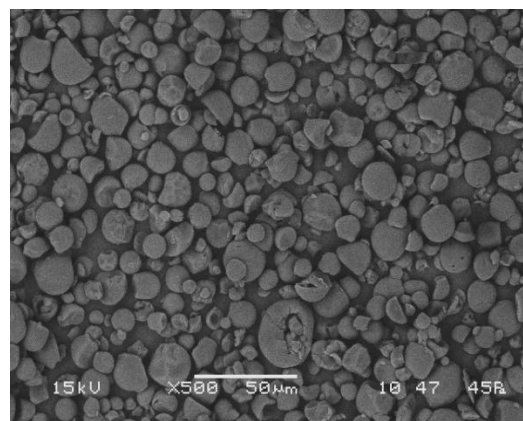
PROPIEDADES	TIPOS DE ALMIDÓN		
	Nativo	Tipo 1	Tipo 2
Contenido amilosa (%p/p)	19,46 ± 0,19	18,60 ± 0,17	16,79 ± 0,07
Rendimiento (%)	-	72,00 ± 1,12	54,50 ± 1,41
Poder hinchamiento	1,59 ± 0,03	1,60 ± 0,05	1,93 ± 0,09
Temperatura Gelatinización (°C)	67,43± 0,21	68,1± 0,14	72,75± 0,35
CRA*	65,49 ± 1,39	77,38 ± 0,37	110,35 ± 0,56
ISA*	3,48 ± 0,39	8,34 ± 0,23	21,46 ± 0,36
ED*	2,50 ± 1,10	15,32 ± 1,22	43,33 ± 0,45

*CRA: capacidad de retención de agua. *ISA: índice de Solubilidad en agua *ED: Equivalente de dextrosa determinado durante la hidrólisis enzimática.

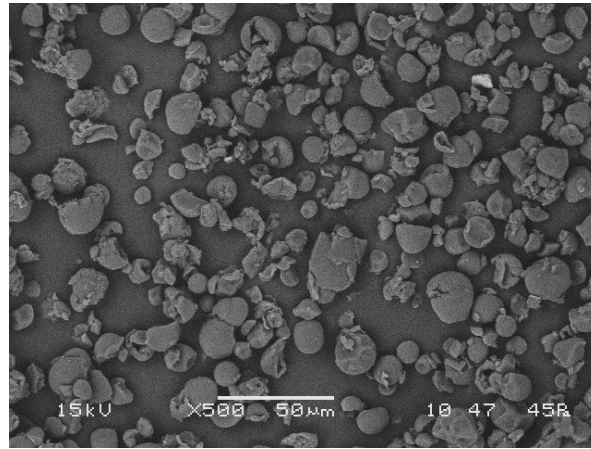
Anexo D. Microfotografía de los almidones: nativo de yuca y modificado enzimático



Nativo



Almidón tipo 1 (63°C-40p/p-17,5 minutos)



Almidón tipo 2 (70°C-20p/p-20 minutos)

Anexo E. Reómetro Anton Paar, MCR 302




Anexo F. Composición de las materias primas del diabolín

Parámetros	Leche entera	Queso	Margarina	Huevo	Al. Agrio	Sal
Humedad	89,5	42,7-35,7	15,50	74	11,80	NR
Proteínas	3,40	19-20	0,60	12,80	-	NR
Lípidos	3,1	19-26	81	11,50	-	NR
Carbohidratos						
Totales	3,2	NR	0,4	0,70	-	NR
Cenizas	0,7	NR	2,5	1	-	NR
Fibra total	NR	NR	NR	NR	NR	NR

* El contenido está dado por 100 g de parte comestible; NR: no reporta

Fuente: Tabla de composición de los alimentos. ICBF; Chávez et al. 2006 (Queso)

Anexo G. Ficha técnica de almidón nativo de yuca de almidones de Sucre S.A.S.

	ALMIDONES DE SUCRE S.A.S	
	FICHA TÉCNICA	
	Codigo: CCFR-013	
	Versión: 01	
PRODUCTO		
Almidón Natural de Yuca.		
MARCA		
INDUYUCA		
USOS		
En productos industriales, alimenticios o farmacéuticos, como excipiente, gelificante, texturizante, etc.		
PRESENTACIÓN		
En bultos de 25 kg, empaçado en bolsas de papel Kraft de 2 hojas.		
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS		
REQUISITOS	MÉTODO DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN
Humedad (% w/w)	NTC572	Máximo 13,5
Cenizas (% w/w)	NTC 2211	Maximo 0,12%
pH	NA	Mínimo 5,0 Máximo 8,0
Fibra (% w/w)	NA	Máximo 0,5
Aspecto	Inspección visual	Polvo fino
Color	Inspección visual	Blanco
Olor	Evaluación sensorial	Inoloro
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS		
Bacterias TPC(UFC/g)	NTC 4519	Max 50.000
Hongos/Levaduras (UFC/g)	NTC 4132	Max 1.000
Salmonella/25g	NTC 4574	Negativo
E. Coli (UFC/g)	NTC 4458	Negativo
coliformes (UFC/g)	NTC 4458	<150
MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO		
Se debe mantener en un lugar fresco, seco y bien ventilado. Los bultos deben almacenarse sobre estibas para protegerlos de la humedad, derrames y suciedad.		
Elaboró: MAYARÍ NUÑEZ	Aprobó: IVAN ZARATE A	
Cargo: Jefe Control Calidad	Cargo: Director de planta	
Fecha: 1 de Febrero de 2010	Fecha: 02 de Febrero de 2010	

Anexo H. Montaje para la determinación de parámetros bromatológicos



DETERMINACIÓN DE HUMEDAD



DETERMINACIÓN DE CENIZAS



DETERMINACIÓN DE GRASA



DIGESTION

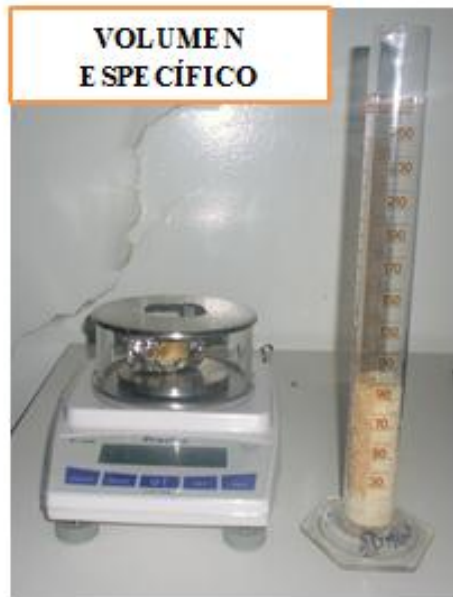
TITULACIÓN

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS



DESTILACION

Anexo I. Montaje para determinación de parámetros físicos



**VOLUMEN
ESPECÍFICO**



PÉRDIDA DE MASA



HINCHAMIENTO



pH

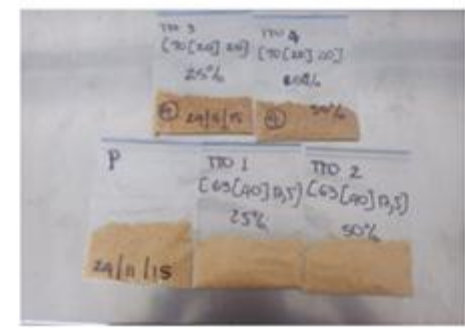
Anexo J. Análisis de textura y color instrumental



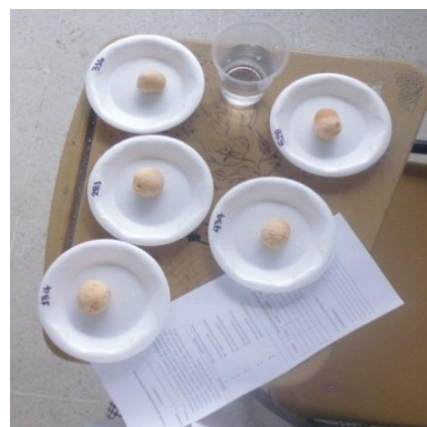
COLOR INSTRUMENTAL



Adecuación de la muestra



Anexo K. Fotografías del panel sensorial para diabólicos



a. Presentación de muestras a panelistas



b. Panel sensorial

Anexo L. Formato de evaluación sensorial

Nombre: _____ Escolaridad: _____ Fecha: _____
 Edad: _____ Lugar: _____

PRUEBA ESCALA HEDÓNICA VERBAL PARA DIABOLINES

Frente a usted se presentan 5 muestras de Diabolines. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le gusta o disgusta cada atributo respecto a cada una de las muestras, considerando el puntaje especificado para cada categoría. Escribiendo el número correspondiente frente al código de la muestra.

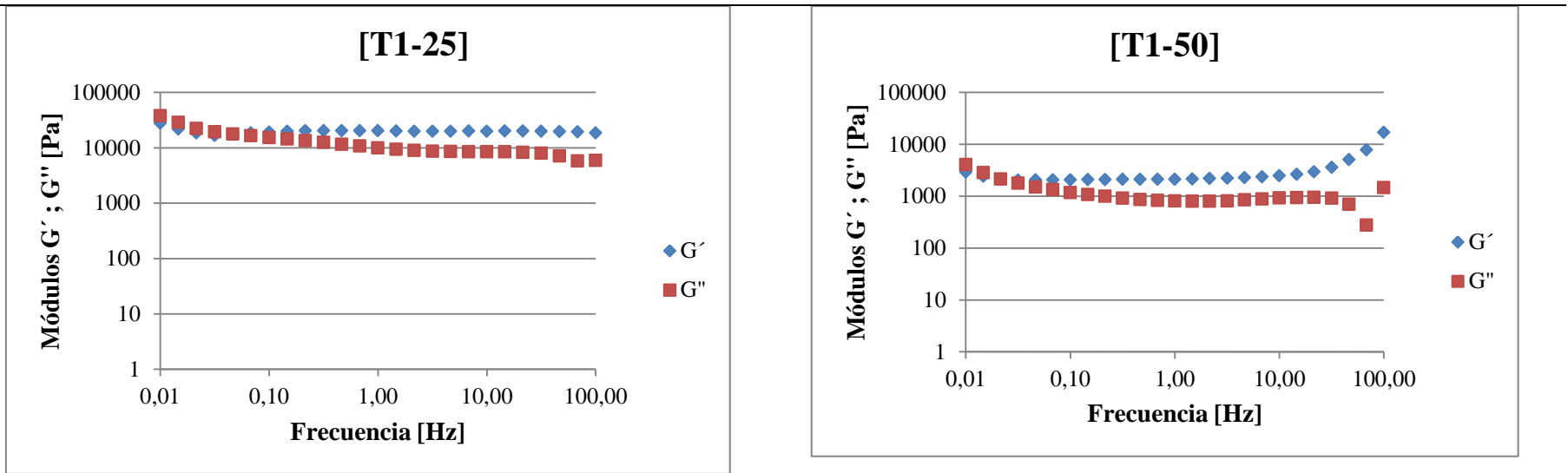
PUNTAJE	CATEGORIA
1	Me disgusta extremadamente
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta levemente
5	No me gusta ni me disgusta
6	Me gusta levemente
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta mucho
9	Me gusta extremadamente

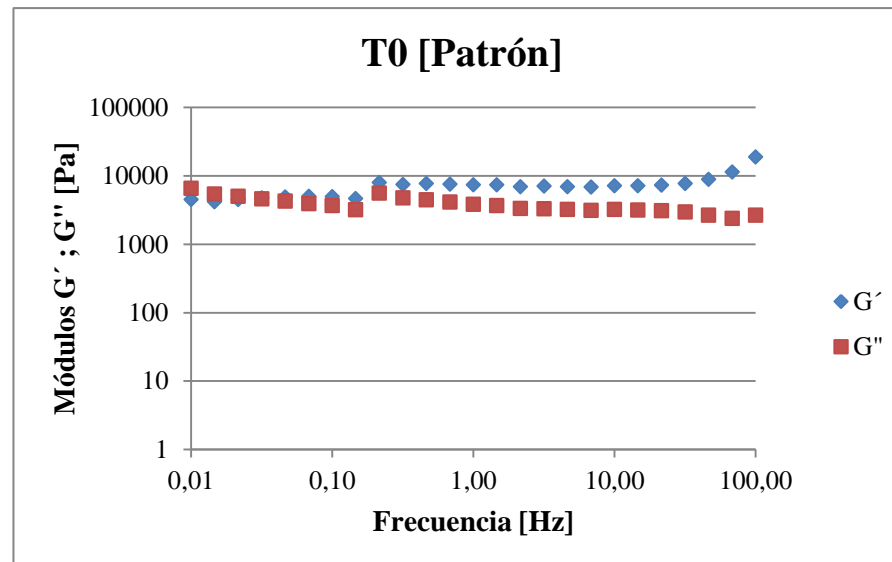
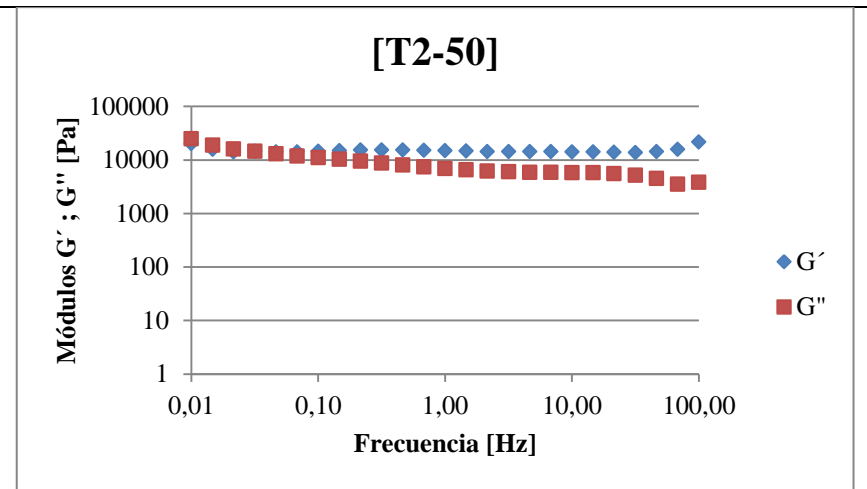
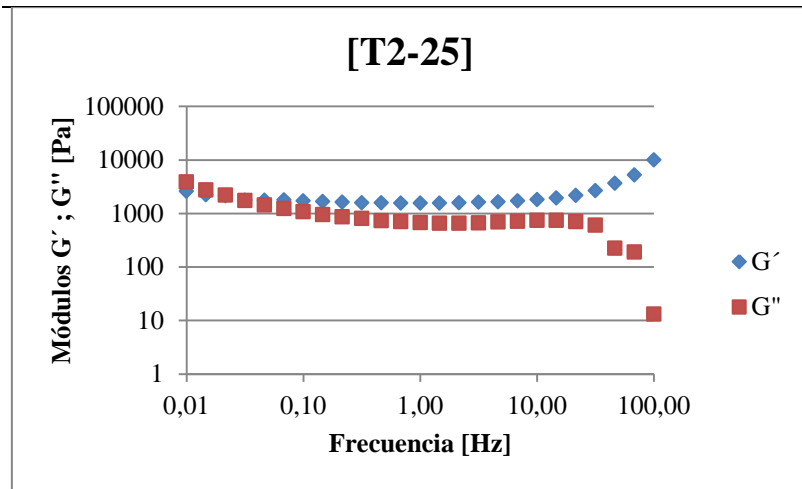
CÓDIGO	CALIFICACIÓN POR CADA ATRIBUTO			
	OLOR	COLOR	SABOR	TEXTURA

¡Gracias por su colaboración!

COMENTARIOS:

Anexo M. Barridos de frecuencia de las masas de diabolín para los tratamientos con sustituciones de almidón modificado enzimáticamente y con almidón nativo de yuca.





Anexo N. ANOVA para las frecuencias de transición de la masa de diabolín con sustituciones de almidón modificado enzimáticamente

FV	GL	Frecuencia
Tipo de almidón	1	8,33E-06NS
Nivel de Sustitución	1	0,001NS
Tipo*Nivel	1	0,004**
E.E.	8	0,003

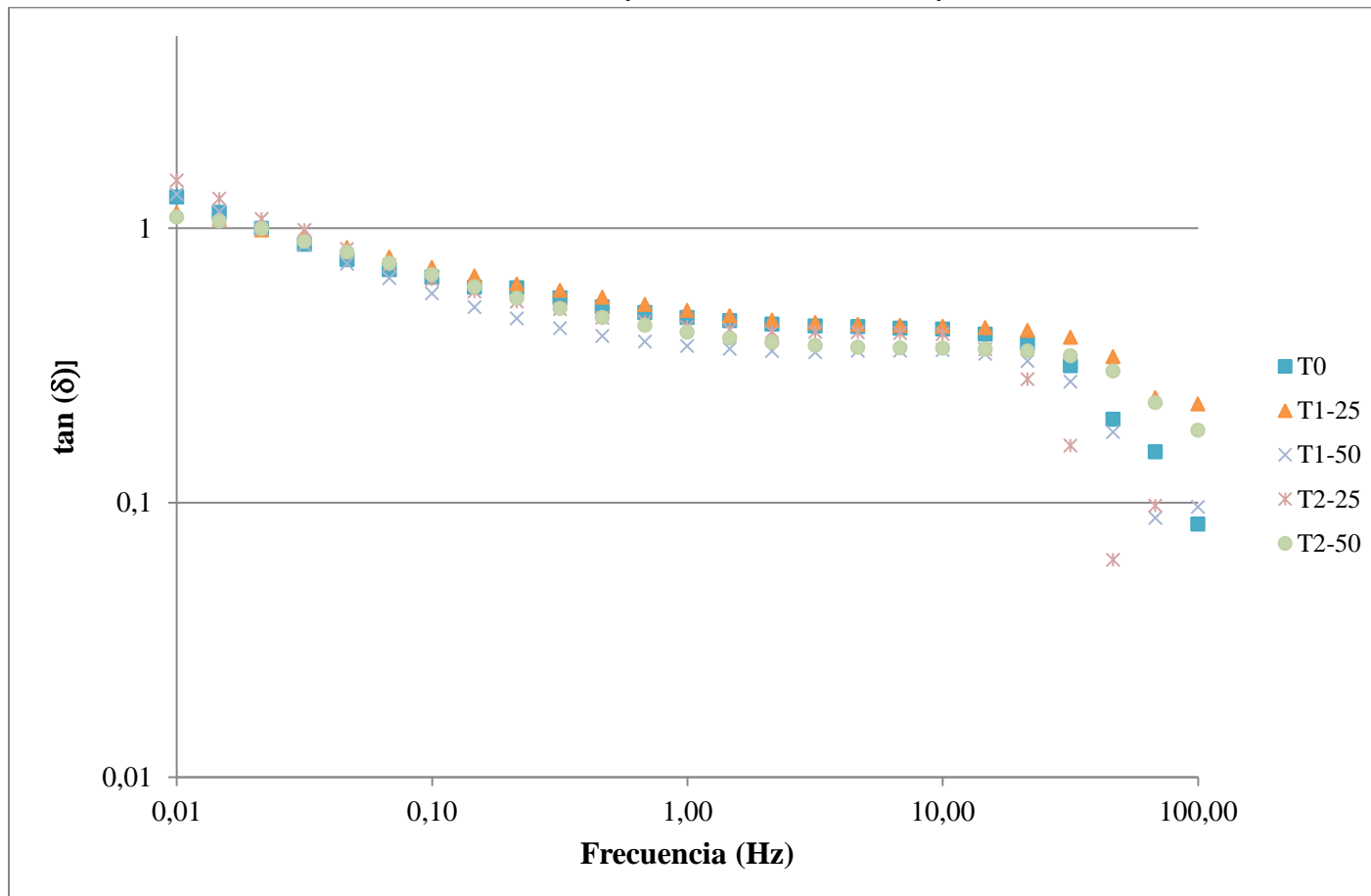
FV: fuente de variación; GL: grados de libertad.

ANOVA para las frecuencias de transición de la masa de diabolín con sustituciones de almidón modificado enzimáticamente

FV	GL	Pr<Fc
Tipo de almidón	1	0,87NS
Nivel de Sustitución	1	0,18NS
Tipo*Nivel	1	0,003**
E.E.	8	0,003

FV: fuente de variación; GL: grados de libertad. Nota: estos valores están basados en la transformación de los datos: $Z=(1-FREC)^2$.

Anexo O. Tangente de pérdida de las masas de diabolin para los tratamientos con sustituciones de almidón modificado enzimáticamente y con almidón nativo de yuca



Anexo P. Supuestos para la varianza de parámetros bromatológicos sin transformación

Prueba	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasa	CHO
Shapiro-Wilk	0,0143	0,1984	0,4054	0,0306	0,6512
Bartlett	0,0006	0,8225	0,1408	0,0003	0,1557
CV (%)	13,76	13,59	1,33	18,14	2,47

Anexo Q. Supuestos según la transformación para los parámetros: humedad y grasa.

Prueba	Humedad	Grasa
Shapiro-Wilk	0,56	0,03
Levenne	0,10	0,49
CV (%)	18,12	3,07

Anexo R. Interacciones de los parámetros transformados: humedad y grasa

	Tipo*Nivel	Humedad Media ± DE¹
F2 en F1 (Tipo 1)³	T1-25	0,00124 ± 1,23 ^a
	T1-50	0,001029 ± 0,41 ^a
	Tipo*Nivel	Media ± DE
F2 en F1 (Tipo 2)²	T2-25	0,00422 ± 0,03 ^b
	T2-50	0,00624 ± 0,06 ^a
Tipo de almidón		Grasa Media
Tipo1		0,83 ^b
Tipo2		0,87 ^a

Anexo S. ANOVA para los parámetros bromatológicos del diabolín con sustituciones de dos tipos de almidón modificado enzimáticamente

FV	GL	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasa	CHO
Tipo de almidón	1	11,35**	4,44 ^{NS}	2,50**	15,64 ^{NS}	121,22**
Nivel de Sustitución	1	0,17 ^{NS}	12,48**	0,18 ^{NS}	15,96 ^{NS}	0,14 ^{NS}
Tipo*Nivel	1	0,047 ^{NS}	14,74**	0,89**	0,14 ^{NS}	9,36 ^{NS}
E.E.	8	0,42	0,36	0,01	2,01	3,44

ANOVA de los parámetros transformados: humedad y grasa

FV	GL	Grasa	Humedad
Tipo de almidón	1	5,02E-05**	0,01**
Nivel de Sustitución	1	2,42E-06**	0,01**
Tipo*Nivel	1	3,74E-06 ^{NS}	0,00**
E.E.	8	2,66E-06	0,01

Anexo T. Requisitos fisicoquímicos para las galletas sin relleno (NTC 1241)

Requisitos 100g de muestra	Galletas sin rellenos	
	Mínimo	Máximo
Humedad	-	10,0
Proteína	3	-
Cenizas	-	-
Grasa	-	-

Anexo U. Comparación de medias para control y tratamientos: T1-25, T1-50, T2-25 y T2-50

Tratamientos	Humedad Media ± DE	Cenizas Media ± DE	Proteína Media ± DE	Grasa Media ± DE	CHO Media ± DE
T0	6,58 ± 0,10 ^c	3,18 ± 0,05 ^b	8,15 ± 0,08 ^b	8,50 ± 0,83 ^a	73,02 ± 0,96 ^b
T1- 25	5,74 ± 1,23 ^c	7,17 ± 0,63 ^a	8,29 ± 0,16 ^b	7,91 ± 0,07 ^a	70,33 ± 1,11 ^b
T1- 50	5,63 ± 0,41 ^c	2,91 ± 0,68 ^b	8,59 ± 0,13 ^a	9,10 ± 1,81 ^a	72,32 ± 2,16 ^b
T2- 25	3,92 ± 0,03 ^b	3,73 ± 0,69 ^b	7,92 ± 0,03 ^c	8,10 ± 2,18 ^a	78,45 ± 2,79 ^a

T2- 50	3,56 ± 0,06 ^a	3,91 ± 0,34 ^b	7,13 ± 0,03 ^d	7,93 ± 0,05 ^a	76,91 ± 0,37 ^a
--------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------

Anexo V. Composición nutricional del pan de queso

Parámetros	Composición (g)*
Humedad	32,50
Proteínas	10,40
Lípidos	7
CHO totales	46,60
Cenizas	3,5
Fibra total	-

* El contenido está dado por 100 g de parte comestible

Fuente: Tabla de composición de los alimentos. ICBF

Anexo W. Prueba de validación (P-Valor) para los parámetros físicos evaluados en el diabolín con sustituciones de dos tipos de almidón modificado enzimáticamente

Prueba	V.E	Dureza	pH	Hinchamiento	Pérdida	L	h	a	b
Shapiro-Wilk	0,92	0,25	0,03	0,65	0,01	0,00	0,42	0,73	0,47
Bartlett	0,27	0,05	0,01	0,27	0,01	0,00	0,32	0,70	0,39
CV (%)	2,09	2,50	0,74	8,79	0,94	0,01	0,03	0,09	0,06

Anexo X. Prueba de validación (P-Valor) para los parámetros físicos transformados

Prueba	Pérdida	L	pH
Shapiro-Wilk	0,661	0,04	0,027
Bartlett	0,354	-	-
Levenne	-	0,59	0,32
CV (%)	2,37	0,00	0,74

Anexo Y. Interacciones para parámetros transformados

	T*N	Pérdida	pH	L*
F2 en F1 (Tipo 1)³	T1-25	3,31 ^b	1,72 ^a	8,34 ^a
	T1-50	3,64 ^a	1,73 ^a	8,40 ^b
	T*N	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
F2 en F1 (Tipo 2)²	T2-25	3,69 ^a	1,70 ^a	7,78 ^a
	T2-50	3,72 ^a	1,67 ^b	7,67 ^b

Anexo Z. ANOVA para parámetros físicos evaluados en el diabolín con sustituciones de dos tipos de almidón modificado enzimáticamente

FV	GL	V. E	Dureza	pH	Hinchamiento	Perdida*	L*	h*	a*	b*
Tipo de almidón	1	0,88**	1218,87**	0,14**	181,97**	0,156**	328,65**	59,23**	21,15**	5,12**
Nivel de Sustitución	1	0,20**	380,81**	0,01NS	120,27**	0,108**	0,46**	0,05**	0,035**	1,20**
Tipo*Nivel	1	0,80**	8,17 ^{NS}	0,02NS	75,85**	0,072**	5,39**	0,03**	0,22**	1,14**
E.E.	8	0,01	0,67	0,00	10,49	0,058	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: para el parámetro de pérdida y L* se reportaron los valores del análisis de varianza según la transformación

Anexo AA. Comparación de medias entre patrón y los tratamientos para los parámetros físicos

Tratamientos	Volumen específico	Hinchamiento	Pérdida peso	pH	Dureza (N)
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
T0	3,47±0,02 ^d	21,97±2,13 ^b	38,48±0,10 ^a	5,25±0,10 ^c	93,97±0,64 ^a
T1-25	3,64±0,02 ^c	27,28±1,30 ^b	39,99±0,21 ^b	5,61±0,02 ^a	47,69±1,02 ^b
T1-50	3,90±0,11 ^b	38,64±4,72 ^a	38,56±0,38 ^a	5,63±0,01 ^a	38,08±0,19 ^c
T2-25	4,70±0,07 ^a	40,10±4,03 ^a	40,67±0,42 ^b	5,48±0,01 ^b	29,19±1,26 ^d
T2-50	3,92±0,11 ^b	41,40±1,35 ^a	38,80±0,55 ^a	5,33±0,08 ^c	16,27±0,18 ^e

Tratamientos	Color			
	L*	h	a*	b*
	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
T0	69,83 ± 0,00 b	72,80±0,01 a	11,07±0,01 e	35,77±0,01b
T1-25	69,69 ± 0,00 c	72,72± 0,01 b	11,51± 0,01 c	36,98± 0,01a
T1-50	70,64 ± 0,00 a	72,70± 0,02 b	11,13± 0,01 d	35,73±0,02c
T2- 25	60,56 ± 0,01 d	68,39± 0,03 c	13,89± 0,02 b	35,06± 0,03d
T2-50	58,83 ± 0,01 e	68,15± 0,03 d	14,05± 0,01a	35,04± 0,02d

Anexo BB. Validación del modelo y coeficiente de variación para atributos sensoriales del diabolín

PRUEBA	Olor	Color	Sabor	Textura
Shapiro-Wilk	0,001	0,032	0,545	0,341
Bartlett	0,382	0,023	0,362	0,453
CV (%)	24,530	23,460	29,820	30,600

Anexo CC. Análisis de varianza para atributos sensoriales del diabolín para los tratamientos con sustitución de los dos tipos de almidón modificado enzimáticamente y almidón nativo de yuca

FV	GL	Olor	Color	Sabor	Textura
Catadores	52	6,962 **	5,013 **	7,396 **	9,535 **
Tratamientos	4	4,647 ^{NS}	15,132 **	8,260 ^{NS}	33,953 **
E.E.	208	2,286	2,278	3,295	3,245

