

Tortillas (“Wraps”) con Harinas Compuestas de Trigo y Yuca

Por

Cristina Alicea Matos

Tesis sometida como requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
en
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
Recinto Universitario de Mayagüez
Facultad de Ciencias Agrícolas
2018

Aprobada por:

Fernando Pérez Muñoz, Ph.D
Presidente del comité graduado

Fecha

Rosa N. Chávez-Jáuregui, Ph.D
Miembro del comité graduado

Fecha

José A. Dumas Rodríguez, Ph.D
Miembro del comité graduado

Fecha

Fernando Pérez Muñoz, Ph.D
Coordinador del Programa CITA

Fecha

Silvestre Colón Ramírez, Ph.D
Representante de la Escuela Graduada

Fecha

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a Dios, por brindarme la fuerza necesaria para seguir adelante día a día.

A mis padres y tía, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación.

A mi novio Ramón González, por ser una parte muy importante en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, por tu paciencia y sobre todo por tu amor incondicional. Por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación.

A la Dra. Mildred Chaparro por creer en mí cómo estudiante y cómo profesional. Ha sido y sigue siendo, una inspiración y un ejemplo a seguir durante mi carrera universitaria.

Sra. Magaly Zapata por darme la confianza de trabajar como ayudante de cátedra en el Departamento de Biología. Por toda tu paciencia, y todas tus enseñanzas.

Al Dr. Fernando Pérez bajo cuya dirección se llevó a cabo el siguiente proyecto. Gracias por sus consejos y su guía.

Al Dr. José Dumas gracias por ser un maestro, por toda la paciencia para conmigo. Fue un honor para mí tener la oportunidad de aprender de usted.

A la Dra. Rosa Chávez por su disposición y por aceptar formar parte de mi comité graduado.

A la profesora Aixa Rivera, le agradezco por los consejos, la confianza para ser su estudiante por jornal y por la colaboración en el préstamo de algunos equipos.

A Elvin Ronda, gracias por siempre brindarme siempre tu ayuda incondicional.

A mi amiga Leanora Y. Grin, por siempre dispuesta brindar de tu tiempo para ayudarme, no sólo a mí sino a todos mis compañeros. Por tu entrega y dedicación al programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

A aquellos que fueron parte de este largo caminar, gracias. De una manera u otra todos han aportado su granito de arena.

Abstract

There is local concern about the huge importation of food, including cereal flours such as wheat, and its implication to Puerto Rico's food security. This research proposes the use of cassava flour as a partial substitution of wheat flour for the production of tortillas. The effect on product characteristics of adding cassava flour and additives to the formulation was studied to evaluate its effect on the characteristics of the product, against tortillas made with 100% wheat flour in its formulation. The addition of xanthan gum, glycerol, and gluten helped improve the qualities of tortillas with cassava flour, promoting a softer product with better elasticity. The treatment with was added gluten protein, along with xanthan gum and glycerol, showed qualities more similar to commercial control; requiring less force to be punctured and being more elastic when performing texture tests. The addition of the hydrocolloid glycerol in the formulations helped reduce the force required to penetrate the tortilla, resulting in a more manageable tortilla. On the other hand, when estimating the glycemic index of the resulting product, it was found that tortillas with cassava flour in their formulation have a glycemic index of 21.45, followed by 21.66 for the HYXG treatment. The treatment with the lowest glycemic index value was the treatment to which gluten was added, in addition to glycerol and xanthan gum with an average of 17.76. Color analysis proved to be significant for some treatments, however, these differences proved not to be considerable when compared to the control. It is feasible to implement a partial substitution of cassava flour for the tortilla formulation made from wheat flour. According to the results, the tortilla with partial replacement of cassava flour, which contains additives such as glycerol and xanthan gum, showed humidity closer to commercial control. This indicates that the product is a soft one and does not have the susceptibility to break when the consumer handles it.

Resumen

Existe preocupación local acerca de la enorme importación alimentos, incluyendo harinas de cereales como el trigo, y su implicación en la seguridad alimentaria de Puerto Rico. Esta investigación propone la utilización de la harina de yuca como sustitución parcial de la harina de trigo para la elaboración de tortillas. Se evaluó el efecto de la adición de harina de yuca y incorporar aditivos a la formulación sobre las características del producto, contra tortillas con 100% harina de trigo en su formulación. El añadir goma xantán, glicerol, y gluten ayudó a mejorar las cualidades de la tortilla con harina de yuca promoviendo un producto más suave con mejor elasticidad. El tratamiento al que se le añadió proteína de gluten, junto a la goma xantán y glicerol, mostró cualidades más parecidas al control comercial; requiriendo menor fuerza para ser perforado y siendo más elástico al realizársele pruebas de textura. La adición del hidrocoloide glicerol en las formulaciones ayudó a disminuir la fuerza requerida para penetrar la tortilla, promoviendo que la tortilla fuese más manejable. Por otro lado, al estimar el índice glicémico del producto resultante, se encontró que las tortillas con harina de yuca en su formulación poseen un índice glicémico de 21.45, seguido por 21.66 en el tratamiento HYXG. El tratamiento con valor de índice glicémico más bajo fue el tratamiento al que se le añadió gluten, además del glicerol y la goma xantán con un promedio de 17.76. El análisis de color demostró ser significativo para algunos tratamientos, sin embargo, estas diferencias demostraron no ser considerables al ser comparadas con el control. Es viable implementar una sustitución parcial harina de yuca a la formulación de tortilla realizada a base de harina de trigo. Según los resultados, la tortilla con sustitución parcial de harina de yuca, que contiene aditivos como glicerol y goma xantán, mostró humedad más cercana al control comercial. Esto indica que el producto es uno suave y no tiene la susceptibilidad a quebrarse cuando el consumidor lo maneje.

Derechos de Autor Reservados ©

Cristina Alicea Matos

2018

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Yuca.....	4
Harinas Compuestas	7
Tortillas (“Wraps”).....	12
Goma Xantán.....	14
Glicerol.....	15
Índice glicémico	16
MATERIALES Y MÉTODOS	18
Materiales	18
Preparación Harina de Yuca.....	18
Mezcla de Harinas	21
Elaboración de Tortillas	22
Diseño experimental.....	23
Primer experimento	24
Tercer experimento	26
Análisis de las Muestras	27
pH	27
Actividad de Agua (A_w).....	27
Textura	28
Color	29
Humedad.....	30

Índice glicémico.....	30
Análisis de glucosa total (TG).....	32
Medida de Azúcares por medio de HPLC	32
ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
Análisis pH y Actividad de Agua.....	33
pH	35
Color	36
Determinación de la variable HUE.....	38
Determinación de la variable CROMA	40
Análisis de fuerza y elasticidad	41
Índice Glicémico estimado in vitro.....	47
Conclusiones	51
Recomendaciones.....	53
BIBLIOGRAFÍA	54
APENDICE.....	62

Lista de Figuras

Figura 1. Variedad de yuca CM3311.	18
Figura 2. Diagrama de elaboración de harina de yuca.	19
Figura 3. Pelado de la yuca.	20
Figura 4. Lascas de yuca.	20
Figura 5. Lascas de yuca luego de un periodo de secado de 4.5 horas a 71°C.	21
Figura 6. Harina de yuca cernida en tamiz #45.	21
Figura 7. Masa, tortillas cortadas y producto final.	22
Figura 8. Prueba de compresión de las tortillas.	28
Figura 9. Implemento para prueba de elasticidad.	29

Lista de Tablas.

Tabla 1. Formulaciones de las harinas compuestas.	22
Tabla 2. Niveles de goma xantán y glicerol utilizados.	25
Tabla 3. Formulaci3n de tratamientos considerados en el tercer experimento.	26
Tabla 4. Abreviaci3n de tratamientos	27
Tabla 5. Configuraci3n y m3todo de extensibilidad.	28
Tabla 6. Par3metros medidos en la prueba de extensibilidad.	29
Tabla 7. Porcentaje de sustituci3n de harina de trigo con harina de yuca.	33
Tabla 8. Valores de pH para tratamientos evaluados.	35
Tabla 9. Evaluaci3n de color: par3metro L.	37
Tabla 10. Evaluaci3n de color: par3metro HUE	38
Tabla 11. Evaluaci3n de color: par3metro CROMA	40
Tabla 12. Intervalos de confianza para la prueba de penetraci3n.	41
Tabla 13. Intervalos de confianza para la prueba de elasticidad.	45
Tabla 14. Intervalos de confianza fuerza y distancia (P y E).	46
Tabla 15. Resultados an3lisis de 3ndice glic3mico in vitro.	50

Lista de Apéndices

Apéndice A. Análisis de Varianza – Fuerza P.	62
Apéndice B. Análisis de Varianza – Distancia P.	64
Apéndice C. Análisis de Varianza - Fuerza E.	66
Apéndice D. Análisis de Varianza - Distancia E.	68
Apéndice E. Fotos de tortillas por sustitución de harina.	70
Apéndice F. Ejemplos de Mohos en Tortillas.	72

INTRODUCCIÓN

El movimiento a nivel mundial hacia un estilo de vida saludable ha llevado a una creciente demanda de alimentos convenientes, frescos, libres de aditivos, con un alto valor nutricional, incluyendo propiedades antioxidantes, y libres de radicales, para ser consumidos en el hogar y en los servicios de comida (Artés et al., 2009). El aumento de la preocupación por la salud de los consumidores, la disminución de tiempos de preparación de alimentos y el aumento del poder adquisitivo se han combinado recientemente para aumentar la demanda de frutas y verduras mínimamente procesadas (Baldwin et al., 1995).

Más del 30% de los alimentos en Estados Unidos, disponibles a nivel minorista y de consumo, se pierde consumida, y la proporción de la pérdida es aún mayor para las frutas y vegetales frescos (Karst, 2014). Esto se debe a que las frutas y vegetales son reservas de nutrientes lo que las hace focos ideales para ser colonizados por microorganismos, por tanto, se encuentran entre los productos más difíciles de producir y mantener. Con el constante crecimiento de la población y el aumento de personas que no tienen los recursos para alimentarse resulta alarmante que una cantidad tan alta de alimentos no sea consumida. La pérdida de calidad pos-cosecha es principalmente una función de factores tales como respiración, progreso del comienzo de la maduración (fruta climatérica), pérdida de agua (transpiración), decoloración enzimática de las superficies de corte, deterioro (microbiano), daño por senescencia y daño mecánico durante la preparación, envío, manipulación y procesamiento (Marrero & Kader, 2006). A pesar de que la infección y el deterioro microbiano pueden suceder en cualquier momento durante el desarrollo continuo de la fruta o vegetal, el periodo de mayor susceptibilidad a deterioro es durante la maduración y senescencia (Barth et al., 2010). Al momento de la maduración y durante el proceso de manejo antes del almacenamiento y distribución, es importante minimizar heridas y magulladuras, y desechar todo el producto dañado o enfermo (Barth et al., 2010).

Es por esta razón que se busca el desarrollo de nuevas alternativas con la capacidad de extender el largo de vida de productos por medio de la transformación de estos. La ciencia necesita enfocar y aunar sus esfuerzos para desarrollar nuevas tecnologías que ayuden, no sólo a extender la vida útil de productos frescos, sino a desarrollar nuevas alternativas para

transformar aquellos cuyo largo de vida sea corto; previniendo el daño antes de que sea demasiado tarde. Una fruta o vegetal fresco tiene un tiempo de vida más largo mientras se encuentra entero, pero al momento de procesarlo ligeramente, dígase pelarlo y trozarlo, este largo de vida se reduce. En el caso de las raíces y tubérculos, su vida útil es sumamente corta una vez cosechados porque comienzan su proceso de descomposición una vez extraídos de la tierra. Este proceso se acelera si el producto no se mantiene en condiciones adecuadas. En el caso de una raíz como lo es la yuca, el producto comienza a mostrar signos de descomposición tan pronto como a las 24 horas luego de la cosecha debido a su alto contenido de humedad. Una alternativa para prevenir esta descomposición es remover el agua presente y convertir el producto en harina.

Existe preocupación local acerca de la enorme importación alimentos, incluyendo harinas de cereales como el trigo, y su implicación en la seguridad alimentaria del país. También hay interés por promover la utilización de fuentes locales de harina para la sustitución total o parcial de la harina de trigo en diversos alimentos y otras aplicaciones industriales (Eriksson et al., 2014).

La agricultura en Puerto Rico ha ido en descenso a través de los años y es necesario buscar alternativas para incentivar la producción de manera que nuestro abasto local de alimentos se fomente y crezca. Las raíces y tubérculos que se producen en Puerto Rico incluyen la yuca, malanga, yautía, ñame, batata y apio. La producción de estos cultivos es realizada mayormente por pequeños agricultores que tienen que competir con productos importados que pueden igualarse en calidad, sin embargo, tienen un menor precio.

Las raíces de yuca son altamente perecederas y, por tal razón, no pueden ser almacenadas frescas por más de algunos días luego de la cosecha (Oluwole *et al.*, 2004). Ante esto, es necesario desarrollar productos mínimamente procesados o elaborados a base del cultivo que sean alternativas fáciles y de rápida preparación, además de ser versátiles en la cocina.

Existe una creciente demanda por alimentos con alto valor nutritivo que sean adecuados para los requerimientos de la población; lo que hace necesario la búsqueda de nuevas alternativas que permitan satisfacer estos requerimientos (Benítez et al., 2008). Entre tales esfuerzos se cuenta el uso de harinas compuestas (mezclas de harina de trigo y alguna otra fuente) para la panificación debido a razones económicas, sociales y de salud (Eduardo

et al., 2013). Según mencionado por Eleazu y colaboradores (2014), una fuente alternativa de harina que pueda ser utilizada para producir pan, que sea similar o mejor que el pan producido con harina de trigo, será un avance bienvenido.

El desarrollo local de productos de valor añadido a base de yuca pudiera representar una alternativa rentable que fomentaría la producción a través de todo el año; reduciendo la competencia con productos traídos del exterior. Esto reduciría la dependencia en las importaciones de trigo y aumentaría los medios de subsistencia de los agricultores locales (Eriksson et al., 2014). La posibilidad de utilizar tubérculos ricos en almidón en los alimentos, en vez de harina de trigo, depende de las propiedades químicas y físicas de la materia prima utilizada (Eriksson et al., 2014).

Considerando todo lo anterior, el objetivo de esta investigación es desarrollar un producto de panificación tipo Tortilla (“Wrap”) donde se sustituya parcialmente la cantidad de harina de trigo por harina de yuca. Se espera que el nuevo producto mantenga las características de elasticidad, color, textura al comparar con productos de harina de trigo disponibles en el mercado, pero con un sabor característico de la yuca. En base al objetivo principal surgen los siguientes objetivos secundarios.

- Evaluar el efecto del contenido de la harina de yuca sobre las características físico-químicas de las tortillas de yuca.
- Evaluación del efecto de aditivos que sobre las características del producto.
- Evaluar el largo de vida del producto en términos de textura, color y humedad a lo largo de un periodo de 21 días.
- Estimar el índice glicémico del producto resultante.

REVISIÓN DE LITERATURA

Yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) fue domesticada hace unos 5000 años y cultivada extensivamente desde entonces en zonas tropicales y subtropicales del continente americano (Ceballos, 2002). A pesar de que no se conoce la ubicación exacta, se cree que se originó al este de Brasil. Los primeros viajeros europeos reconocieron rápidamente las virtudes de este cultivo y lo distribuyeron por las colonias que los países europeos tenían en África y Asia (Ceballos, 2002). La yuca se siembra hoy en 92 países donde alimenta a más de 500 millones de personas (Alarcón & Dufour, 1998).

La planta es un arbusto perenne que pertenece a la familia *Euphorbiaceae*. Es monoica (ambos sexos se presentan en la misma planta), de ramificación simpodial, y con variaciones en la altura que oscilan entre 1 y 5m, aunque la altura máxima generalmente no excede los 3m (Ceballos & De la Cruz, 2002). La yuca posee ventajas importantes como cultivo agrícola, adicionales al valor económico, como tolerancia a la sequía, capacidad de producirse en suelos degradados, resistencia a plagas y suelos ácidos. Estas características le proveen la capacidad de desarrollarse en una variedad de suelos y ambientes; lo que resulta beneficioso para sus productores. (Ceballos, 2002; Anyanwu et al., 2015)

Tanto las raíces como las hojas de la yuca pueden ser consumidas por animales y seres humanos, pero el principal valor económico de la yuca proviene de sus raíces. La raíz de la yuca, por ser el órgano de almacenamiento de energía, tiene diversos usos en la alimentación humana, animal y en la extracción de almidones (Ceballos & De la Cruz, 2002).

La raíz de yuca es larga y cónica, y se compone de tres tejidos: el periderma (cascarilla), el parénquima cortical (corteza) y el parénquima interior (pulpa). Las variedades comerciales pueden ser de 5 a 10 cm de diámetro en la parte superior y 50 a 80 cm de largo. La pulpa puede ser blanca o amarillenta, pero firme, homogénea y con un cordón leñoso que corre a lo largo del eje de la raíz. Esta pulpa está rodeada por una cáscara desprendible (corteza) de aproximadamente 1mm de espesor con textura áspera y de color marrón en el exterior (cascarilla) (Anyanwu et al., 2015).

Las raíces pueden cosecharse a los 7 meses de plantado el cultivo y pueden permanecer en el suelo hasta 3 años (Alarcón & Dufour, 1998). Sin embargo, la primera y mejor cosecha tiene lugar entre los 9 y 12 meses de sembrada (Shigaki, 2016). A pesar de que es uno de los cultivos más importantes de los países tropicales fuera de ellos es muy poco conocida (Alarcón & Dufour, 1998).

La yuca, junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz, constituyen las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo (Ceballos, 2002). La producción mundial de yuca superó la marca de 30 millones de toneladas métricas (MTM) para el 1997 y ha ido aumentando a un ritmo de alrededor de 4.3% al año desde entonces (FAOSTAT, 2013; Anyanwu et al., 2015). La yuca es uno de los cultivos más importantes de África, y Nigeria es el principal productor a nivel mundial (Eleazu et al., 2014). Actualmente, Nigeria produce alrededor del 48 MTM de yuca anualmente basado en aproximadamente el 8% de las tierras cultivables, de las cuales 29 MTM se utiliza para consumo humano (FAOSTAT, 2013; Anyanwu et al., 2015).

Más de 800 millones de personas a escala mundial incluyen la yuca en su dieta regularmente. El consumo mundial de yuca como alimento (fresco o procesado) se concentra en los países en desarrollo. En África, el 70% de la producción de yuca se utiliza como alimento y su consumo per cápita en el África occidental es más de 120 kg por año (Anyanwu et al., 2015). La yuca o mandioca también ocupa un lugar prominente en las dietas de América Latina, especialmente en Brasil, donde la mezcla de harina de yuca con harina de trigo es obligatorio (Food and Agriculture Organizations of the United Nations, 2015). En América Latina y el Caribe, 35 a 40% de la producción de yuca se utiliza para el consumo humano (Anyanwu et al., 2015). En Puerto Rico la producción de yuca para el año 2009/10 reportaba unos 9,359 quintales a un costo de \$47.49/quintal según datos del Departamento de Agricultura. Sin embargo, para el año 2013/14 se reportó una reducción significativa y sólo hubo reporte de 7,880 quintales a un costo de \$32.78/quintal en cifras preliminares.

Según mencionado por Ceballos (2001), las raíces representan una buena fuente de hidratos de carbono y las hojas son una buena fuente de vitaminas, como Carotenos y Vitamina C, y minerales. La raíz de yuca es esencialmente una fuente de carbohidratos (Anyanwu et al., 2015). Típicamente, las raíces contienen 70% de agua, 24% de almidón, 2% de fibra, 1% de proteína, 3% de grasa, y trazas de minerales y azúcares (Ratnayake &

Jackson, 2003). Wang (2002) reporta que 100 g de raíz de yuca cruda contienen de 70 g de agua, 1.5 g de proteínas, 28 g de carbohidratos, 0.17 g de grasa, y trazas de otros minerales y vitaminas, y proveen 494 kJ de energía. Según mencionado por la investigación de Aparicio y colaboradores se ha reportado recientemente que la yuca tiene un contenido de almidones resistentes entre 50 y 196 g/kg (Aparicio et al., 2013).

Dado que el contenido de proteínas es bajo, para obtener una dieta balanceada con alto consumo de yuca se recomienda una complementación nutricional que proporcione un adecuado aporte en aminoácidos esenciales, o fuentes de proteínas ricas en aminoácidos limitantes (Benítez et al., 2008).

La yuca contiene un glicósido cianogénico llamado linamarina que, en presencia de enzimas (principalmente linamarasa) y medio ácido, se hidroliza y libera ácido cianhídrico (HCN) en cantidades que representan, desde una dosis inocua, hasta una tóxica y mortal. Todas las especies conocidas del género *Mahihot* contienen cianógenos (Wheatley et al., 2003). Las raíces “dulces” (bajo en HCN) se cultivan para propósitos alimenticios, mientras que variedades “amargas” (alto en HCN) se producen para otros usos industriales (Ratnayake & Jackson, 2003).

Las condiciones ambientales pueden afectar el contenido de cianógenos en la yuca, haciendo que un cultivar dulce se torne amargo al cultivarlo en una zona distinta. El contenido de cianógenos se concentra principalmente en la corteza de la raíz, pero puede ser encontrado menor cantidad en las hojas y tallo de la planta (Alarcón & Dufour, 1998).

Las raíces y hojas de la yuca pueden ser consumidas por humanos y animales, de maneras muy variadas (Ceballos, 2002). Las raíces frescas pueden ser peladas y consumidas fritas o hervidas, utilizadas para la elaboración de guisos. Para evitar deterioro temprano, y debido a su naturaleza voluminosa, la yuca generalmente se comercializa en forma procesada en una variedad de productos, incluyendo los chips, copos, cubos, pellets, etcétera, que son de gran demanda en el mercado de exportación (Anyanwu et al., 2015; Eleazu et al., 2014).

Además, las raíces pueden ser transformadas y convertidas en harina, o procesadas para obtener almidón. Su alto contenido de almidón la convierte en un importante producto de exportación para la producción de bioetanol, adhesivos, alimentos (productos de panificación, dextrina, dextrosa, glucosa, lactosa y sacarosa), bebidas, cosméticos y la industria textil (Anyanwu et al., 2015; Alarcón & Dufour, 1998).

Harinas Compuestas

La Real Academia Española define la harina como el polvo que resulta de la molienda del trigo o de otras semillas, así como de tubérculos y legumbres. La harina sin otro calificativo se entiende siempre como procedente del trigo. Cuando se trata de harina procedente de otros productos se debe indicar (harina de maíz, harina de cebada, etcétera) (Ruiz, 2011). Cuando la harina consiste del producto molido del trigo con harina de alguna otra fuente, se denomina harina compuesta. El término “harinas compuestas” fue creado en 1964 por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) cuando se reconoció la necesidad de buscar una solución al problema alimentario enfrentado por los países que no producen trigo (Elías, 1996). Hay dos clases de harinas compuestas. La de trigo diluida es una mezcla de harina de trigo con otras harinas (hasta en 40%), pudiéndose agregar otros componentes. La segunda clase de harinas compuestas no contienen trigo y se preparan mezclando cuatro partes de harina de tubérculos y una parte de harina de soya u otra proteína suplementaria (Elías, 1996). El uso de harinas compuestas para la elaboración de pan está ganando importancia a escala mundial debido a razones tanto económicas como nutricionales (Shittu et al., 2009).

De acuerdo con la FAO, la producción mundial de cereales en el 2014 alcanzó un nuevo récord de casi 2,535 millones de toneladas que incluían 725 millones de toneladas de trigo; con una cantidad similar estimada para el 2015 (Solah & Fenton, 2016). En Suramérica el principal productor de trigo es Argentina, seguido por Brasil. Según reportado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en su circular de junio 2017, la producción preliminar de harina de trigo para el año 2016/17 para Argentina y Brasil, los mayores productores en América del Sur, era 17.0 y 6.7 millones de toneladas métricas, respectivamente. En sus reportes preliminares para el año 2017/18 se espera una producción de 17.5 millones de toneladas métricas para Argentina y 5.6 para Brasil. La Unión Europea (UE-27) es ahora la mayor región productora de trigo del mundo, siendo Francia, Alemania, Reino Unido, Polonia, España e Italia los principales contribuyentes (Cracknell, 2016).

El trigo se utiliza principalmente para la producción de harina. Por harina de trigo se entiende el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum L.*, o trigo ramificado, *Triticum compactum Host.*, o combinaciones de ellos, por medio de

procedimientos de trituración o molienda, en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto (endospermo) se muele hasta darle un grado adecuado de finura (CODEX STAN 152-1985; Ruiz, 2011; Van Der Borgh et al., 2005). Es el principal grano alimenticio para consumo humano y en términos de producción total de granos se clasifica en segundo lugar sólo con maíz, con más de 975 millones de toneladas (Mt) producidas anualmente, gran parte de la cual se utiliza para la alimentación animal, y muy por delante del arroz, el trigo es el otro mayor (475 Mt al año) (Cracknell, 2016).

Según establecido por Wrigley (2016) el grano de trigo maduro está compuesto por hasta 85% de almidón, 3-4% de grasa (lípidos), 1-2% de harina blanca de la primera molienda, y un 8-15% de proteína. Además, el grano es una fuente significativa de micronutrientes, especialmente minerales y vitaminas B y E.

La harina de trigo se utiliza principalmente para productos de panificación y repostería. La mayoría de la harina se utiliza para la producción de pan, sin embargo, mezclada con ingredientes como agua, azúcar y huevos, resulta en productos variados que incluyen bizcochos, galletas y pastas. La aplicación particular que se dé a la harina es función de sus características físico-químicas; las cuales dependen de la variedad de trigo, la manera en que se cultivó, y el proceso de elaboración de la harina (Švec & Hrušková, 2009).

El almidón es el producto final de la fotosíntesis de las plantas y es uno de los biopolímeros renovables más abundantes en la Tierra (Vamadevan & Liu, 2016). Es la mayor fuente de carbohidratos de la dieta humana y se encuentra presente en muchas frutas, raíces y granos (Evans, 2016). Las fuentes principales son los granos de cereales (trigo, maíz, arroz y cebada), tubérculos (ejemplo, patata), raíces (yuca), y legumbres (por ejemplo, guisante, garbanzo y haba) (Vamadevan & Liu, 2016). Los almidones de los alimentos contribuyen a las características de viscosidad, textura, palatabilidad y consistencia de muchos alimentos (Evans, 2016). En el trigo, el almidón se encuentra formando estructuras compactas denominadas gránulos. Los dos mayores componentes de los almidones son la amilosa y la amilopectina (Vamadevan & Liu, 2016). En la mayoría de los almidones el 72-82% es amilopectina y el 18-33% es amilosa (Weber, 2008). El almidón y las proteínas son los que experimentan los cambios más dramáticos durante el proceso de preparación de pan (Rosell, 2016).

La amilosa y la amilopectina son dos polímeros de D-glucosa. La amilosa es un polímero lineal, ligeramente ramificado con un número pequeño de cadenas largas de glucano. La amilopectina es una molécula grande, altamente ramificada, y contiene muchas ramificaciones de cadenas cortas (Wang et al., 2015, Vamadevan & Liu, 2016).

Durante la molienda, los gránulos de almidón se rompen (almidón dañado); lo que afecta las propiedades de absorción y retención de agua del almidón. Además, la proporción de amilosa/amilopectina influye en la viscosidad, gelatinización y retrogradación de los productos; lo que afecta la textura final del producto elaborado (Eriksson et al., 2014). La retrogradación del almidón es un proceso en el cual las cadenas desagregadas de amilosa y amilopectina que se encuentran mezcladas en una pasta de almidón se re-asocian para formar estructuras más ordenadas (Wang et al., 2015). El resultado de la retrogradación es un aumento en la firmeza que puede ser observado en las propiedades reológicas (Weber, 2008).

Las propiedades reológicas se definen como propiedades mecánicas que dan como resultado la deformación y el flujo de material en presencia de una tensión que incluye dos propiedades básicas del sistema alimentario, a saber, el comportamiento del flujo (viscosidad) y la propiedad mecánica sólida (textura) (Li & Nie, 2016). La amilosa comienza a retrogradarse más rápidamente haciéndola responsable de los cambios a corto plazo como el aumento en firmeza inmediato del producto (Gudmundsson, 1994). La retrogradación de la amilosa determina la dureza inicial del gel de almidón, la viscosidad y la digestibilidad de los alimentos procesados (Wang et al., 2015). Los cambios en la amilopectina son responsables por la mayoría de la retrogradación, incluyendo los cambios reológicos y estructurales a largo plazo (Gudmundsson, 1994).

El gluten consiste en dos fracciones principales: gluteninas y gliadinas. Las gluteninas confieren fuerza y elasticidad, mientras que las gliadinas que imparten viscosidad a la masa (Rosell, 2016; Van Der Borgh et al., 2005). Cuando la harina de trigo es mezclada con agua, las proteínas del gluten se combinan para formar una matriz. Esta matriz de gluten determina características reológicas de la masa, tales como elasticidad, extensibilidad, resistencia al estiramiento, la tolerancia de mezcla, y la capacidad de retención de gas (Lazaridou et al., 2007). Estas propiedades visco-elásticas únicas de la harina de trigo la distinguen de harinas de otros granos (Cracknell, 2016).

La masa de harina de trigo se puede considerar como un material compuesto, en el cual el gluten forma una matriz continua y los gránulos de almidón actúan como partículas de relleno dentro de la matriz (Rodríguez et al., 2005). Una vez ocurre la hidratación y el mezclado, éste forma una red visco-elástica, fuerte y cohesiva que le permite a la masa de harina de trigo retener los gases producidos por la levadura en la fermentación y así producir un producto horneado ligero y con aire en su interior (Van Der Borghet et al., 2005).

De la harina de yuca seca o tostada, se fabrican productos comestibles como lo es casabe, mañoco y gari (Ruiz, 2011). El Instituto Nacional de Investigación de Tubérculos (National Root Crop Research Institute) reportó que valores más altos de carbohidratos estaban presentes en muestras de pan con harinas compuestas de yuca que en el pan de 100% trigo. El principal componente de la materia seca de la harina de yuca son los carbohidratos, donde un 64 a 72% corresponde a almidones, de los cuales el 20% es amilosa y 69% es amilopectina, existiendo pequeñas cantidades de sacarosa, maniqueosa y fructosa (Johnson & Raymond, 1965, Pochon et al., 2010).

Se ha encontrado que a medida que se aumenta la cantidad de harina de yuca, la masa se vuelve más densa y a la vez absorbe menos agua. Esto se atribuye a mayor contenido de carbohidratos de la harina de yuca en comparación con masas de 100% harina de trigo (Eleazu et al., 2014). Si hay mayor cantidad de carbohidratos en la masa será necesaria la modificación de las recetas en cuanto a proporción de agua; lo que implica cambios en la manejabilidad de las masas. Además, aumentar el contenido de la yuca en la mezcla ayuda a la aparición de retrogradación en el pan durante el enfriamiento y el almacenamiento, y resulta en pan menos elástico y difícil de masticar (Eriksson et al., 2014).

El reemplazo parcial de harina de trigo con harina de cultivos autóctonos, como la yuca, reducirá la importación de trigo de casi todos los países en desarrollo (Ciacco & D'appolonia, 1978). El uso de harinas de tubérculos en la industria de alimentos depende grandemente de los precios internacionales del trigo; si descienden, el potencial de sustitución es limitado a aquellos usos en que la harina de yuca ofrezca algunas ventajas funcionales específicas, o en algunas áreas remotas donde los costos de transportación de la harina de trigo sean altos (Wheatley et al., 2003).

En 2005, el Gobierno Federal de Nigeria ordenó el uso de harina compuesta de yuca y trigo para hornear; añadiendo mínimo de 10% de harina de yuca al trigo, así reducir el gasto

en la importación de trigo y encontrar un mayor uso de las raíces de yuca producidos en el país (Babajide, Adeboye & Shittu, 2014). La opción de poder sustituir la harina reduce en cierto grado la dependencia al trigo, que mayormente es importado, y de una vez aprovecha la producción local de tubérculos. En Puerto Rico se ha visto una reducción significativa en el cultivo de yuca durante los últimos años, debido a los altos costos de producción. Además de esto la industria de la yuca no puede competir, en costos, con los productos traídos del extranjero. El desarrollo de productos con sustitución parcial de harina de yuca representaría una oportunidad para la industria de panificación en Puerto Rico. De esta manera se pudiera reducir la importación de harina de trigo y se reemplazaría con un cultivo local, que a su vez promovería la producción de yuca en Puerto Rico.

Según se presenta en la investigación de Eleazu y colaboradores (2014), el remplazo por harina de yuca en un 30% produjo una hogaza de pan con características aceptables (dependiendo de la fuente de la harina y su calidad). Recientemente, el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) informó que se produjeron con éxito panes con 40% harina de yuca que tenía cualidades alimenticias similares a 100% de pan de harina de trigo (Eleazu et al., 2014). Sin embargo, mezclas que contenían harina de yuca causaron problemas de manejo de la masa durante el mezclado y procesamiento (Ciacco & D'apponia, 1978). La harina de yuca también ha sido usada para remplazo del 10% de harina de trigo en el pan, cubos de condimentos, fideos, y en la industria de adhesivo (dextrinas) (Anyanwu et al., 2015).

Aunque la diferencia no fue significativa en la investigación realizada por Eleazu y colaboradores (2014) el pan elaborado con 10% de yuca poseía mejor textura que las otras muestras de pan investigadas. En este estudio también se encontró que aquellos panes donde había sustitución de harina de trigo presentaron un daño microbiano más rápido debido a que la adición de yuca ocasiona un pH mayor.

En investigaciones que evaluaban el color se pudo observar que a medida que el porcentaje de harina de yuca y harina de ñame aumentó, la corteza del pan se oscureció bajo las mismas condiciones de proceso y horneado (Ciacco & D'apponia, 1978).

Tortillas (“Wraps”)

El pan es uno de los productos alimenticios más consumidos en el mundo (Babajide, Adeboye & Shittu, 2014). El primer pan producido fue probablemente la versión cocida de una pasta de grano, hecha de granos de cereal molido y agua (Collar, 2016). Aunque es imposible saber la fecha exacta en que se comenzó la producción de pan, se han encontrado artefactos que sugieren su producción para el siglo 18 antes de Cristo. Se cree que los primeros panes que se produjeron no tenían levaduras y que el descubrimiento de éstas fue de manera accidental donde la harina se contaminó con alguna levadura presente en el ambiente.

Los panes tipo ‘flatbread’ son los más antiguos y conocidos en todo el mundo. Se estima que más de 1.8 millones de personas usan este tipo de pan en las regiones de América Central, Europa del Sur, Escandinavia, África del Sur, Oriente Medio y parte de China (Garooni, 2004, Mohammadi et al., 2014). Alrededor del mundo, un gran número de tipos diferentes de flatbreads se confeccionan de diferentes mezclas de cereales (Rooney, 2016). Pita es el más antiguo de los tipos de pan conocido, lo que sugiere una gama de posibles países de origen alrededor del Mar Mediterráneo (Collar, 2016). El pan pita es un pan de trigo, que enrolla, es plana y redonda o de forma ovalada y, de tamaño variable (Collar, 2016).

Los descendientes de este pan primitivo todavía se hacen comúnmente en todo el mundo a partir de varios granos. Estos incluyen lavash (Irán y Turquía), sangak (Irán), tortilla (México), chapatti y roti (India) y pita (Oriente Medio) (Collar, 2016). Las tortillas son consideradas un tipo de flatbread tradicional de la cocina mexicana. Una tortilla es un pan plano, redondo, no fermentado, producido a partir de harina de trigo (*Triticum aestivum L.*) o maíz cocido con cal (CaO) (maíz - *Zea mays L.*) (Rooney, 2016). Las tortillas de harina de trigo y de maíz se originan en México, donde son consideradas el pan nacional y son consumidas con otros alimentos como habichuelas, carnes y vegetales (Rooney, 2016).

El hecho de que la yuca no sea una fuente de gluten representa un reto porque la red de gluten confiere propiedades elásticas y flexibles a la masa. Por tanto, es necesaria la utilización de otros componentes que le den las características de estructura y apariencia de la miga que el consumidor busca en productos horneados de panificación (Lazaridou et al.,

2007). La producción de pan con harina sin gluten se considera tecnológicamente crítico y los productos resultantes se perciben como de inferior calidad (Mohammadi et al., 2014).

Para contrarrestar la falta de una matriz de gluten se han utilizado varios aditivos, como hidrocoloides y glicerol, para imitar las propiedades del gluten (Sciarini et al., 2012). Para determinar la cantidad a añadirse se toman en cuenta propiedades al momento de manipular las masas. Es importante recalcar que el efecto de diferentes aditivos es altamente dependiente del material utilizado, la naturaleza y cantidad del aditivo utilizado, y la disponibilidad de agua; siendo muy difícil predecir el efecto real de cada aditivo en diferentes formulaciones (Sciarini et al., 2012). Se ha encontrado que, dependiendo del ingrediente a utilizar, se van a obtener resultados variados; la masa mejora en ciertas características, pero se afecta en otras.

Los hidrocoloides, tradicionalmente, se clasifican como polisacáridos y se agrupan según su fuente (Li & Nie, 2016). Entre las fuentes de éstos se encuentran origen vegetal, animal, microbiano, de algas o sintéticos. La razón principal para el extenso uso de los hidrocoloides en la industria de alimentos es su habilidad de ligarse con el agua y modificar las propiedades de los ingredientes en un alimento (Li & Nie, 2016). Estos se utilizan en productos horneados para aumentar la retención de humedad y para mejorar las propiedades visco-elásticas de la masa con el fin de mejorar el volumen del pan (Eduardo et al., 2013). Algunos hidrocoloides son utilizados para aumentar el contenido de fibra en algunos productos alimenticios (Li & Nie, 2016). Entre los hidrocoloides que han sido investigados para la fabricación de pan libre de gluten de buena calidad se incluyen hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), metilcelulosa (MC), carboximetilcelulosa (CMC), goma de psyllium, goma de algarroba, goma guar y xantán (Lazaridou et al., 2007). Los polisacáridos con alta afinidad por el agua, capaces de aumentar la viscosidad de la solución, aún a bajas concentraciones, usualmente son llamados gomas (Petri, 2015).

Las gomas son comúnmente utilizadas en la preparación comercial de tortillas de maíz. Se utilizan para enlazar el agua y retener humedad en la tortilla (Weber, 2008). Un problema con las tortillas es que el endurecimiento se produce después de la preparación, lo que aumenta la rigidez y afecta la palatabilidad (Román-Brito et al., 2007).

A mayor concentración de la goma, menos agua se pierde durante el almacenamiento (Weber, 2008). Los hidrocoloides forman una red entre ellos que no permite que el agua

migre tan fácilmente, lo que retrasa la retrogradación del almidón (Roman-Brito et al., 2007). Pueden prevenir que el borde de la tortilla se rompa y aumenta la fuerza de la masa, mientras que mejora la flexibilidad de la tortilla (Weber, 2008).

Goma Xantán

La goma xantán es un polímero extracelular producido por la bacteria *Xanthomonas campestris* (Petri, 2015). Según mencionado por Petri (2015), la importancia de la goma xantán recae mayormente en sus aplicaciones como espesante, estabilizador de emulsiones, aparte de su comportamiento pseudoplástico y su estabilidad térmica. Los efectos funcionales de los hidrocoloides se deben a su capacidad para modificar la reología de la masa o el batido (o manipulación) y mantener las cualidades de los productos horneados terminados (Shittu et al., 2009). La propiedad pseudo-plástica goma de xantán es importante durante la preparación de la masa, es decir, bombeo, amasado y estiramiento (Mohammadi et al., 2014). La goma xantán ha sido reportada como responsable de mejorar, volumen específico del pan y la suavidad de la miga cuando se incorpora en formulaciones compuestas de pan yuca y trigo (Shittu et al., 2009; Eduardo et al., 2014). Sin embargo, según Lazaridou y colaboradores (2007), los panes suplementados con goma xantán exhibieron el mayor aumento en firmeza comparados con panes sólo con harina de trigo; lo que es consistente con el gran descenso de valores de a_w observados para estas formulaciones durante el almacenamiento.

Con un aumento en la concentración de las gomas, la distancia que una tortilla se puede extender sin romperse se aumenta, significando esto que la extensibilidad de la tortilla se aumenta comparado con el control (Weber, 2008). La adición de gomas también reduce la fuerza necesaria para estirar la tortilla demostrando que la flexibilidad de la tortilla se aumenta (Román-Brito et al, 2007). Mas recientemente, el xantán ha sido añadido a productos horneados libre de gluten debido a la elasticidad que le provee a la masa (Petri, 2015).

En un estudio realizado por Shittu y colaboradores (2009) se evaluaron las propiedades viscoelásticas de masa y pan elaborado con 90% de harina de trigo y 10% de harina de yuca. En el estudio se encontró que la inclusión de goma xantán tuvo efectos significativos tanto en la aceptabilidad sensorial, extensibilidad de la masa, a la vez que se redujo el endurecimiento del pan durante el almacenamiento cuando se añadía 1% de dicha

goma a la formulación. Según Chinma et al. (2015), el añadir un 3% de goma xantán a pasteles de nuez acha-bambra resultó en propiedades físicas deseables (tales como densidad de masa, peso, volumen e índice de volumen) y propiedades sensoriales con una tasa de endurecimiento reducida. También, Tubari et al. (2008), informaron que la adición de goma de xantan mejoró el volumen de la torta de arroz en comparación con otros hidrocoloides (goma de guar, goma de algarroba y k-carragenano) (Chinma et al., 2015). Según Rosell et al. (2001), las gomas son capaces de modificar la gelatinización del almidón y retardar la retrogradación del almidón por interacción con componentes de almidón (amilosa y amilopectina) (Chinma et al., 2015). Sin embargo, también es importante tomar en consideración el nivel de goma que se le añade al producto porque pudiera tener efectos detrimentales en la formulación. En el estudio reportado por Shittu et al., (2009), se reportó que la incorporación de goma xantán al 2% podría haber dificultado la incorporación de gas, por lo tanto, reducir el volumen.

Glicerol

El glicerol es un líquido transparente, sin color y con consistencia de sirop que puede ser utilizado en productos de repostería para extender su largo de vida (Weber, 2008). Ha sido utilizado en ambos, productos de panificación y tortillas, aumentando la flexibilidad (Weber, 2008). El glicerol se comporta como un plastificante en productos de repostería, aumentando la flexibilidad durante el almacenamiento (Pouplin et al., 1999). El glicerol se enlaza al agua alrededor de las cadenas de almidón lo que estabiliza el gel, posiblemente retrasando la retrogradación y creando una estructura más homogénea y un producto más flexible (Clubbs et al., 2005). Como el glicerol se enlaza al agua, también mantiene el agua en la tortilla manteniendo la humedad a lo largo del tiempo (Clubbs et al., 2008). Por sí solo, el gluten tiene la habilidad de tener poco efecto en el largo de vida de una tortilla de maíz. Cuando se combina con otros aditivos, la calidad de las tortillas va a aumentar al igual que su largo de vida (Weber, 2008).

Según estudios realizados por Clubbs et al. (2005), añadir glicerol y sal resultó en productos más homogéneos y más suaves (redujo el esfuerzo y la tensión de rotura) a nivel micro estructural comparado con el control. Según reportado por Suhendro et al. (1995), el añadir glicerol (2-10% por peso de la masa) aumentó la estabilidad del producto promoviendo la suavidad y flexibilidad de las tortillas. Las investigaciones realizadas en tortillas de trigo

mostraron que cuando se trataban con glicerol al 4%, las tortillas se podían enrollar fácilmente 2 a 4 días más que el testigo (Suhendro et al., 1995). Por medio de la reducción de la actividad de agua, el glicerol extiende el largo de vida de la tortilla (Suhendro et al., 1995), además de proveer una mayor homogeneidad del sistema y una mejor flexibilidad sobre el control (Clubbs et al., 2005).

Índice glicémico

El índice glicémico es una conversión numérica a la respuesta que tiene un individuo promedio al consumir una cantidad de carbohidratos en un alimento de prueba comparado con su respuesta a la misma cantidad en un alimento control (Jenkins et al., 2007), que usualmente es el pan blanco (Saá Yago-Ayerdi, 2005). La respuesta glicémica se produce cuando la carga de glucosa en la sangre excede la velocidad a la que puede ser eliminado por el cuerpo, por lo que hay un exceso neto de glucosa y las concentraciones de glucosa en sangre aumentan (Monro & Mishra, 2009).

La respuesta glicémica depende no sólo de la cantidad de carbohidratos potencialmente disponibles consumidos, sino también de la rapidez con que se digiere, absorben y desechan por el cuerpo. Esto depende de una gran cantidad de factores, incluyendo la estructura de los alimentos y la influencia de otros componentes alimenticios que varían en importancia de alimento en alimento (Monro & Mishra, 2009). El consumo de un alimento tiene diferentes efectos en el cuerpo dependiendo de la naturaleza de sus componentes. La rapidez o capacidad que tiene un alimento para ser convertido en glucosa es un factor que se utiliza para establecer su índice glicémico. Aquellos alimentos que se transforman en glucosa más lentamente (bajo índice glicémico) pueden tener beneficios en el cuerpo, como un mejor control del azúcar en la sangre y prevención de enfermedades cardíacas.

El análisis por medio de digestión in vitro ha demostrado ser útil para medir la potencia glicémica relativa de los alimentos. La potencia relativa se mide a través de la determinación de fracciones que se clasifican como de almidón rápidamente digerido (RDS), lentamente digerido (SDS) y almidón resistente (RS). Además, el medir la cantidad de almidones resistentes (RS) y almidones lentamente disponibles (SDS) proporcionan una

explicación de los cambios en el impacto glicémico como resultado de la retrogradación de amilasa y retrogradación parcial de amilopectina, respectivamente (Monro & Mishra, 2009). Los valores de las fracciones de almidones digeridos in vitro, mencionados anteriormente, son dependientes del momento en el que se recogió la muestra en el proceso de digestión.

La división de las fracciones de almidón en el almidón rápidamente diferido (RDS), lentamente digerido (SDS) y resistente (RS) ha demostrado ser útil y es consistente con los procesos fisiológicos subyacentes a la respuesta glicémica (Monro & Mishra, 2009).

Siendo el análisis digestivo in vitro más preciso y económico que el análisis clínico, éste debe jugar un papel creciente en el desarrollo de alimentos para el control glicémico en un futuro cercano (Monro & Mishra, 2009).

Según reportado por Monro y Mishra (2009) las definiciones de las fracciones necesarias para el cálculo de las fracciones de almidón son como siguen:

- **Glucosa rápidamente disponible (Rapidly Available Glucose; RAG)** – Azúcares libres liberados dentro de los primeros 20 minutos de la digestión in vitro por la amilasa.
- **Glucosa lentamente disponible (Slowly available glucose; SAG)** – almidones digeridos luego de 20 minutos en la digestión de amilasa. La digestión lenta del almidón conduce a una carga de glucosa en la sangre que no excede la tasa de eliminación de glucosa, por lo tanto, es responsable de una pequeña respuesta glicémica. Un valor alto de SAG aunque está disponible no son carbohidratos altamente glicémicos. Contribuye a un índice glicémico bajo porque éste se calcula en base a los carbohidratos disponibles.

Los valores de RAG y SAG son importantes porque permiten ver la diferenciación de la digestibilidad de los carbohidratos presentes en los alimentos. Altos niveles de carbohidratos han sido asociados con productos de yuca, lo que aumenta la preocupación acerca del consumo en relación con la respuesta glicémica y la diabetes (Okafor et al., 2017). En la investigación realizada por Okafor et al. (2017), se evaluaron panes con sustitución de 0% hasta un 20% de harina de yuca y se encontró que la respuesta glicémica fue mayor en tratamientos con 0% de harina de yuca. Los resultados sugieren que la harina de yuca puede ser una buena adición para la elaboración de la masa de tortillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Los ingredientes utilizados para la elaboración de las tortillas de yuca/trigo (harina de trigo, aceite de maíz, sal, bicarbonato de sodio, gluten) se obtuvieron de supermercados locales en el área de Mayagüez. Los aditivos, goma xantán y glicerol, se obtuvieron de la compañía TIC Gums. La harina de yuca se preparó siguiendo el procedimiento descrito más adelante.

La determinación del índice glicémico se realizó en el Laboratorio Analítico Central de la Estación Experimental Agrícola en Río Piedras. Todos los demás experimentos y análisis se realizaron en las instalaciones del Centro de Innovación y Tecnología Agro-Industrial (CITAI), del Recinto Universitario de Mayagüez (RUM), siguiendo los procedimientos descritos más adelante.

Preparación Harina de Yuca

La yuca utilizada para la producción de harina fue obtenida en la Estación Experimental Agrícola de Corozal del RUM. Se seleccionaron yucas en buenas condiciones (con la menor cantidad de daños posibles en su exterior) de la variedad CM 3311 (tipo dulce) con 8 a 9 meses de sembrada, aproximadamente.



Figura 1. Variedad de yuca CM3311.

El área de trabajo, tablas de cortar, cuchillos, contenedores y otros utensilios y superficies en contacto con la yuca durante el procesamiento fueron lavados con una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm (Montero et al., 2008). Cabe señalar que el cloro sólo retrasa el deterioro microbiano y no presenta ningún efecto beneficioso en los trastornos bioquímicos y fisiológicos de los productos frescos (Bolin et al., 1977; Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003).

El proceso de elaboración de la harina de yuca aparece en la Figura 2.

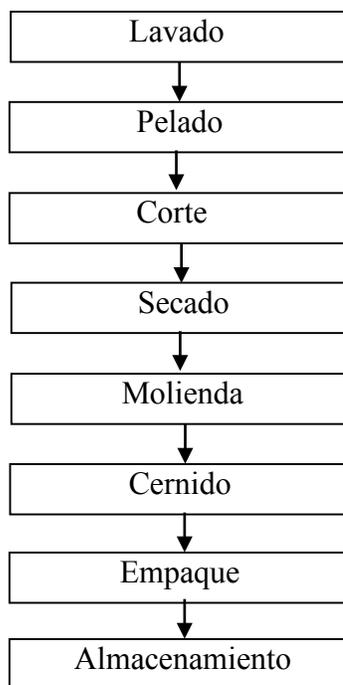


Figura 2. Diagrama de elaboración de harina de yuca.

Para realizar el lavado y desinfección de la yuca fue necesario enjuagarla con agua para remover la tierra y partículas provenientes del suelo. Luego se lavó y desinfectó la yuca con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 200 ppm por 10 minutos. Una vez enjuagadas y desinfectadas se procedió a remover la cáscara manualmente con cuchillo y picador previamente desinfectados (Figura 3).



Figura 3. Pelado de la yuca.

Una vez peladas, se colocaron en agua para prevenir el contacto con el oxígeno del ambiente y evitar ennegrecimiento.

Las yucas peladas se cortaron en lascas de aproximadamente 2 mm de espesor usando un procesador de alimentos comercial (Robot Coupe modelo R6V) y se fueron pesadas en una balanza Mettler PC 16. Las lascas (Figura 5) se colocaron en bolsas de polietileno y almacenaron en el congelador a 4°C hasta el momento de deshidratado.



Figura 4. Lascas de yuca.

El secado se llevó a cabo en deshidratadores a una temperatura de 71 °C (167 °F) por 4.5 horas. Las lascas de yuca secas (Figura 5) se pasaron por un molino (Robot coupe R6 V) y la harina obtenida cernió (CSM Scientific modelo Sieve Shaker 18480) con un tamiz #45 (Figura 6). La proporción que no pasó por el tamiz fue procesada nuevamente hasta cumplir con el tamaño necesario.



Figura 5. Lascas de yuca luego de un periodo de secado de 4.5 horas a 71°C.



Figura 6. Harina de yuca cernida en tamiz #45.

Una vez cernida la harina se almacenó en el congelador a 4°C dentro de bolsas de polietileno para evitar cambios en la harina por razón de temperatura o contacto con el aire.

Mezcla de Harinas

Una vez preparada la harina de yuca se comenzó con la preparación de las tortillas. Para esto se pesaron las harinas en una balanza digital (Sartorius modelo ELT 601) y se prepararon las mezclas de harinas compuestas (trigo y yuca) con los porcentajes establecidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulaciones de las harinas compuestas.

Tratamiento	% Harina de yuca	% Harina trigo
Control	0	100
1	20	80
2	40	60
3	60	40
4	80	20

Elaboración de Tortillas

Para la elaboración de las masas se pesaron todos los ingredientes secos (harina, sal, polvo de hornear) y se pasaron por un cernidor para eliminar posibles grumos presentes. En otro recipiente se midió el agua necesaria para la formulación. Una vez hecho esto, se procedió a añadir el agua y el aceite a los ingredientes secos y se mezcló por un periodo de 3 a 5 minutos hasta obtener una masa homogénea. El mezclado permite la hidratación de los constituyentes de la harina y provee la energía necesaria para desarrollar la red de proteínas (Rosell, 2016).

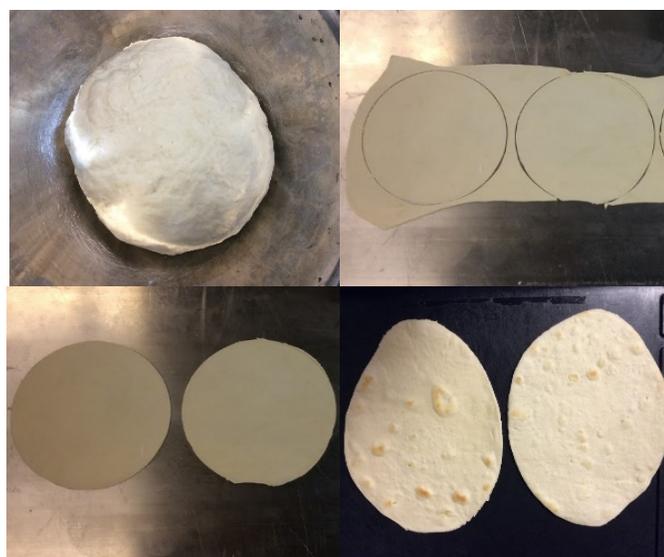


Figura 7. Masa, tortillas cortadas y producto final.

La masa se dejó reposar por 30 minutos cubierta con un papel húmedo para evitar que se secase. Transcurrido el tiempo (Figura 7), se procedió a estirar la masa y preparar las tortillas que se cocinaron a una temperatura de 177 °C (350 °F) durante 4 a 6 minutos (dependiendo de la formulación). En estudios preliminares, se determinó, que las plantillas con glicerol tardaban 4 minutos para cocinarse, seguidas por las que contenían goma xantán y gluten con 5 minutos y finalmente el grupo control con 6 minutos. El glicerol, al ser un alcohol, tiene una temperatura de fusión de 17.8 °C (64 °F), a la vez que es afín con el agua. Por lo tanto, al calentar el producto con glicerol, la temperatura de fusión de agua se reduce y evapora más rápidamente, llevando a cocinar el producto más rápidamente. Para identificar el fin de la cocción se observaba la formación de ampollas (“blisters”) color doradas. Luego de preparadas se dejaron enfriar completamente y se colocaron en bolsas de polietileno para almacenarlas a temperatura ambiente por un periodo de 14 días.

Diseño experimental

Esta investigación incluyó experimentación en tres etapas. En la primera etapa se evaluaron harinas compuestas con varios niveles (0 a 80 %) de sustitución de harina de trigo por la harina de yuca. La formulación con 20/80 (harina de trigo/harina de yuca) fue descartada en la primera etapa debido a que la masa no era manejable.

Para la segunda etapa se escogieron tres tratamientos (0/100, 20/80 y 60/40), basado en los resultados del primer experimento, para evaluar el efecto de la adición de goma xantán y glicerol en las características de la tortilla.

En la tercera etapa se escogió el tratamiento, que mostró mejor desempeño en el segundo experimento y se evaluó el efecto de adicionar gluten a la harina compuesta.

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y separación de medias utilizando LSD (Least Significant Difference) con el programa INFOSTAT.

Primer experimento

Utilizando un experimento en bloques completamente aleatorizado, se evaluaron cinco (5) tratamientos. Estos correspondieron a los diversos niveles de sustitución de la harina de trigo (0 %, 20 %, 40 %, 60 % y 80 %). Los bloques corresponden a cada uno de los cuatro días de muestreo (1, 7, 14 y 21). En cada corrida experimental se tomaron 5 muestras de tortillas cocidas, de cada tratamiento, por cada día de muestreo para su posterior evaluación. Estas fueron empacadas en bolsas de polietileno, identificadas y almacenadas a temperatura ambiente hasta el momento de evaluación. La evaluación consistió en la determinación de textura (elasticidad y penetración), color, pH, humedad, a_w durante el almacenamiento.

El cuarto día de muestreo, siendo el día 21, fue eliminado de experimentos subsiguientes. A los tratamientos no se le añadió ningún preservativo por lo que el crecimiento de hongos luego del día 14 era demasiado abundante, afectando humedad y demás características del producto.

El tratamiento con 40% de sustitución de harina de yuca fue eliminado de la experimentación, al igual que el que pretendía contener un 80% de harina de yuca. El de 80% no pudo ser evaluado ya que la masa no era manejable. Según un estudio realizado por Aparicio y colaboradores, el porcentaje de sustitución mayor con harina de trigo para que la muestra mantuviera características de consistencia y manejo deseadas fue 50:50 (Aparicio et al., 2013).

Los tratamientos que se escogieron para el segundo experimento lo fueron el de 0% de sustitución (control) y el nivel más bajo (20% de sustitución) y el más alto (60% de sustitución).

Para el experimento subsiguiente se decidió adicionar a la masa dos de los aditivos más comunes presentes en productos comerciales a diferentes niveles para evaluar su efecto en las características del producto. En este experimento se observó, que el día 7 y el día 14 no eran significativamente diferentes por lo que, en el segundo experimento, solamente se evaluarían los días 1 y 7.

Segundo experimento

El segundo experimento tuvo como objetivo utilizar aditivos (goma xantán y glicerol) en diferentes niveles para mejorar las características del producto final, con la idea de combinarlos posteriormente. Estos se añadieron en diferentes porcentajes (Tabla 2) y se evaluó su desempeño en términos de elasticidad, textura y color.

Tabla 2. Niveles de goma xantán y glicerol utilizados.

Formulación (% harina de yuca / % harina de trigo)	Aditivo	
	Goma Xantán	Glicerol
0 / 100	0.25%	2%
	0.50%	4%
	1.0%	6%
20 / 80	0.25%	2%
	0.50%	4%
	1.0%	6%
60 / 40	0.25%	2%
	0.50%	4%
	1.0%	6%

Los valores obtenidos de las pruebas de textura y elasticidad se observaron y compararon contra un producto control comercial. En base a los resultados se decidió que los niveles tuvieron mayor impacto en la textura y elasticidad fueron el nivel medio de goma xantán (0.5%) y el nivel medio de glicerol (4%). El tratamiento escogido fue el de 20% de sustitución de harina de trigo con harina de yuca debido a que sus valores eran los más semejantes al control comercial. Para el experimento final (tercer experimento) se combinó el tratamiento de 20% de harina de yuca/80% de harina de trigo con la combinación de goma xantán y glicerol. Adicional a esto se decidió añadir otro tratamiento al que además de la goma xantán y el glicerol se le añadiría gluten. La harina de yuca no contiene gluten por lo que se le añadió con el propósito de suplementar la masa con la proteína de gluten faltante y evaluar su efecto.

Tercer experimento

Para este experimento se usó la formulación de 20% harina de yuca y 80% de harina de trigo con 0.5 % de goma xantán y 4.0 % de glicerol basado en los resultados del segundo experimento. Este se comparó contra la formulación control (100% trigo) y una variación del mismo tratamiento en el que se añadió proteína de gluten comercial para compensar la cantidad perdida por el remplazo con harina de yuca (Tabla 3).

Tabla 3. Formulación de tratamientos considerados en el tercer experimento.

Ingredientes	Tratamiento		
	Control (g)	20/80 (X+Gly) (g)	20/80 (X+Gly+Glu) (g)
Harina de trigo	630	504	504
Harina de Yuca	0	126	126
Agua	295.3	354.9	354.9
Aceite	49.5	55.7	55.7
Sal	11.2	11.2	11.2
Polvo de Hornear	3.2	3.2	3.2
Goma Xantán	-	3.15	3.15
Glicerol	-	25.2	25.2
Gluten	-	-	12.6

El proceso de preparación, empaque y manejo de las tortillas fue el mismo que se utilizó en los experimentos anteriores. Las tortillas fueron almacenadas a temperatura ambiente por 14 días. Las evaluaciones de pH se realizaron a cada una de las masas crudas y una vez fueron cocidas. En cada corrida experimental se tomaron 5 muestras de tortillas cocidas, de cada tratamiento, por cada día de muestreo, por cada repetición, para su posterior evaluación. Las muestras se analizaron para textura, color, humedad y a_w , los días 1, 7 y 14.

Para propósito de referencia, la Tabla 4 resume la terminología por la que serán nombrados los tratamientos durante la experimentación.

Tabla 4. Abreviación de tratamientos

Tratamiento	Abreviatura
Control Comercial	CC
Control de laboratorio	Control
Harina de Yuca con goma xantán y glicerol	HYXG
Harina de yuca con goma xantán, glicerol y gluten	HYXGG

Análisis de las Muestras

pH

Para llevar a cabo las medidas de pH en la masa cruda y las tortillas cocidas se utilizó el potenciómetro (Sartorius Docu-pH Meter) debidamente calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4.0, 7.0 y 10.0 (Fisher Scientific). Se tomaron muestras de 10 gramos de la masa y se homogenizaron con 90 mL de agua destilada. Para llevar a cabo la medida de pH se introdujo el electrodo directamente a la muestra homogenizada y se realizaron las medidas por triplicado. Esta prueba también fue realizada a las tortillas una vez preparadas. El método utilizado fue el 02-52.01 de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 2015).

Actividad de Agua (A_w)

Para medir la actividad de agua de la masa cruda y las tortillas cocidas se utilizó un higrómetro Aqua LabCx-2[®] (AOAC,1999). Estas medidas fueron tomadas luego de preparada la masa, al igual que durante el tiempo de almacenamiento del producto cocido. Para tomar las medidas se colocaron las muestras en un plato de medición, cubriendo todo el fondo sin sobrepasar la mitad de la altura de éste. Para medir actividad de agua se realizaron tres repeticiones por muestra.

Textura

Para llevar a cabo la prueba de compresión de las tortillas se utilizó un texturómetro “Texture Technologies Analyzer-Stable Micro System Model TA-XT2”. La plantilla de metal de la plataforma de aluminio se utilizó para perforar cuatro agujeros para mantener la tortilla en su lugar. La tortilla se extendió y se rompió usando una sonda acrílica de 7/16 pulgadas de diámetro (TA-108N, Large Film Extensibility Rig + probe) con un borde plano para minimizar el corte o desgarro de la tortilla (Ribeiro, 2009). Se calibró el equipo con el estándar de 5 kg. Se cortaron pedazos de 3 pulgadas de diámetro y se colocaron en la torre de perforación (Figura 8). El cilindro de penetración se programó para aplicar compresión siendo el punto más alto de la gráfica la fuerza necesaria para romper la tortilla. Las condiciones de prueba fueron a una distancia de 10 mm a razón de 10 mm/seg.

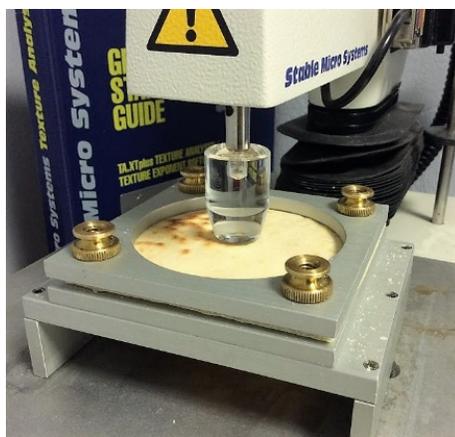


Figura 8. Prueba de compresión de las tortillas.

Tabla 5. Configuración y método de extensibilidad bidimensional para la prueba de compresión de las tortillas (Ribeiro, 2009).

Parámetros	Ajustes	
Modo de pre-prueba	Medir la fuerza en compresión: volver a empezar	
Parámetros	Velocidad pre-prueba	5 mm/s
	Velocidad de prueba	1 mm/s
	Velocidad post-prueba	5 mm/s
	Distancia	30 mm
	Tasa adquisición de datos	400 pps
	Load cell	5 kg
Comienzo de Prueba	Tipo	Auto
	Fuerza	0.05 N

Tabla 6. Parámetros medidos en la prueba de extensibilidad bidimensional (Ribeiro, 2009).

Parámetro	Unidades	Descripción
Módulo de deformación	N/mm	Pendiente de la curva
Dureza	N	Fuerza máxima
Trabajo	Nmm	Medida de la energía. Área bajo la curva hasta la ruptura
Distancia hasta ruptura	Mm	Medida de extensibilidad de la muestra

Para hacer la evaluación de elasticidad de las muestras de tortillas Figura 9 se utilizó la sonda TA-96BW (Larger + Wider TA-96B grips) para hacer la evaluación de elasticidad de las muestras de tortilla. Para comenzar se calibró el equipo con el estándar de 5 kg y se procedió a colocar tirillas de tortilla de 2.57 cm de ancho y 4.60 cm de largo.



Figura 9. Implemento para prueba de elasticidad.

Se realizaron un mínimo de 5 repeticiones por prueba y los resultados se reportaron como promedio de estas pruebas. Las pruebas de penetración y elasticidad se llevaron a cabo los días 1, 7 y 14.

Color

Para medir color se utilizó el colorímetro HunterLab MiniScan XE en la escala del sistema Hunter L, a y b (con iluminante D65 y ángulo de observación de 10°). El colorímetro se calibró previamente con platos estándares de porcelana negro y blanco. Se tomaron

muestras de 2x2x2 cm yuca. Se registraron las variables L, a y b; donde L representa luminosidad o claridad, con valores que van desde 0 para negro hasta 100 para blanco (Villamil, 2014). Para El parámetro “a” representa (-a = verde, a = rojo) y el parámetro “b” (-b = azul, b = amarillo) (Ruiz, 2011). Debido a que hay variación en el color de la superficie de las plantillas por la presencia de áreas más oscuras por el método de cocción, se tomaron medidas de color en triplicado para cada muestra. Los parámetros HUE y CHROMA se calculan utilizando las siguientes fórmulas: Ángulo HUE o tono de color [$H^{\circ} = \tan^{-1}(b/a)$] y croma o saturación del color $[(a^2 + b^2)]^{1/2}$ (Ruiz 2011).

Humedad

Para la determinación de humedad se utilizó el método establecido por la AOAC (1999). El contenido de humedad fue medido usando un horno de aire caliente a una temperatura de 105 °C. Los crisoles se colocaron en el horno al menos 24 horas previas a la prueba para asegurar que estuvieran completamente secos. Cada crisol fue pesado y se le añadieron 2.0 gramos de la muestra. Las muestras fueron colocadas en el horno por 18 a 24 horas hasta lograr un peso constante. El peso antes del secado y luego de secado fue utilizado para calcular el contenido de humedad. Este contenido fue calculado mediante diferencia en peso.

Índice glicémico

El método utilizado para llevar a cabo la medida in vitro del índice glicémico fue tomado del método descrito por Englyst y colaboradores (1999). El protocolo fue modificado y ajustado al producto evaluado, en este caso las tortillas de harina compuesta de trigo y yuca.

Medidas in vitro de glucosa y fructosa libre

Para la identificación de glucosa y fructosa libre era necesario tener una muestra con menos de 0.6 g de carbohidratos. En este caso, evaluando la humedad del producto y la cantidad de carbohidratos estimada, se pesó 1.000 gramos de cada muestra. Las muestras se colocaron en tubos de centrífuga de propileno de 50.0mL, junto con 5mL de estándar interno de arabinosa, 20mL de agua y 5 “perlas de vidrio” para la agitación. Se procedió a tapar los tubos y a agitar vigorosamente con vortex. Luego de esto, los tubos se colocaron en un baño

de agua hirviendo por un periodo de 30 minutos. Se removieron los tubos y se agitaron vigorosamente con vortex para romper la muestra completamente. Los tubos se dejaron enfriar a 37 °C, luego de lo cual a cada uno de le añadió 0.30mL de la solución de invertasa, y se fueron colocados en un baño de agua con agitación a 37 °C por 30 minutos. Se tomó 1mL de cada muestra y se mezcló 1mL de etanol absoluto. Las muestras fueron agitadas mediante el uso de un vortex para detener la reacción y filtradas por jeringuilla usando una membrana de nilón de 0.45 µm. Las muestras fueron colocadas en tubos rotulados de HPLC. Las muestras fueron analizadas por HPLC, acoplado a un detector de índice de refracción y, utilizando una columna SugarPack. La fase móvil consistió de una solución acuosa de 0.0001M CaEDTA (que fue de-gasificada para prevenir posible presencia de gases que afectaran los análisis).

Análisis de glucosa rápidamente disponible (RAG), glucosa lentamente disponible (SAG)

Se pesó 1.000 gramos de cada muestra y se colocaron en tubos de centrifuga de propileno de 50mL. A cada muestra de se le añadió 5.00 mL de una solución de estándar interno de arabinosa (40 g arabinosa/L) y 10mL de solución fresca de pepsina-guar (5 g de pepsina y 5 g de goma guar por litro en 0.05 mol HCl/L) (pepsina, Sigma P-7000). Se taparon los tubos y se mezclaron usando un vortex. Los tubos se colocaron en un baño de agua 37 °C por 30 minutos (hidrólisis de proteínas por pepsina). Se añadieron 5mL de la solución de acetato de sodio (0.5 M) a cada uno de los tubos (para formar buffer 5.2). Se añadieron 5 perlas de vidrio a cada tubo, se taparon y se agitaron suavemente para dispersar el contenido. Los tubos fueron colocados en una incubadora a 37 °C con agitación constante usando un rotador “Top to End” por varios minutos.

Se removió un tubo de la incubadora y se le añadió la mezcla de enzimas. Se mezcló el contenido por inversión y se colocó nuevamente en la incubadora (tiempo cero). Luego de un minuto se repitió el procedimiento con el segundo tubo y se siguió repitiendo el proceso hasta completar la totalidad de los tubos; dejando un tiempo de un minuto entre cada uno de ellos.

Los tubos se removieron exactamente a los 20 minutos de añadirles la mezcla de enzimas. De cada tubo, se removió 1mL del contenido y se colocó en 2mL de etanol absoluto. Se agitó el contenido utilizando un vortex para detener la hidrólisis (G₂₀ o RAG). Una vez

detenida la hidrólisis se colocó el tubo en la incubadora nuevamente y se repitió el proceso con el resto de los tubos. Se dejaron las muestras 100 minutos adicionales.

Transcurrido el tiempo, se procedió a remover 1mL de la mezcla de cada tubo y se colocó en 1mL de etanol absoluto, agitando por vortex (G_{120} o SAG). Las muestras se centrifugaron por 30 minutos a 9000 rpm para prevenir que se tapara el filtro con el particulado en la solución. Luego, las muestras se pasaron por un filtro de jeringuilla de 0.45 μm y se colocaron en tubos de HPLC debidamente rotulados.

Análisis de glucosa total (TG)

Una vez recolectadas todas las porciones de G_{120} , se procedió a agitar vigorosamente lo que quedaba en el tubo mediante vortex. Se colocaron los tubos en baño de agua hirviendo por 30 minutos. Se removieron y mezclaron nuevamente por vortex, y se colocaron en agua con hielo por 15 minutos. Se añadieron 10mL de solución de 7 M KOH, se taparon y se mezcló, por inversión. Se aseguraron los tubos en un baño de agua con hielo y agitación por 30 minutos. Luego de transcurrido el tiempo se removió cada tubo individualmente y se sacó 1mL que fue transferido a 1mL de una solución de ácido acético 1 M. Se le añadieron 40 micro-litros de solución de amilogucosidasa (Novo Nordisk AMG L type LP, diluida en agua 1:7), se mezclaron y se colocaron los tubos en un baño de agua a 70 °C por 30 minutos, seguidos de 10 minutos en un baño de agua hirviendo. Se dejaron enfriar las mezclas a temperatura ambiente y se añadió 1mL de etanol absoluto a cada muestra. Esta fracción es la que contiene la porción de glucosa total. Se centrifugaron los tubos a 9000 rpm por 20 minutos para prevenir que se taparan los filtros. Las muestras se pasaron por un filtro de jeringuilla de 0.45 μm y se colocaron en tubos de HPLC.

Medida de Azúcares por medio de HPLC

El programa utilizado para la evaluación de azúcares fue Breeze Waters con la columna Sugar-Pak I (10 μm , 6.5mm X 300mm). Esta columna es una de intercambio iónico que posee la capacidad de separar componentes como monosacáridos, disacáridos, y alcoholes de bajo peso molecular. Una vez establecidos los parámetros del equipo (utilizando una solución 0.0001 M de CaEDTA con un flujo de 0.5 ml/min) se dejó estabilizar por un periodo de 24 horas. Una vez estabilizada la presión se procedió a calibrar el equipo con un estándar de 1 g glucosa y 0.5 g de fructosa en una solución de agua con ácido benzoico

saturado al 50 %. Para identificar la presencia de glucosa y fructosa en las muestras se encontró que el tiempo de elución de la glucosa es aproximadamente a los 9.80 minutos.

Las muestras de los diferentes tratamientos se colocaron en el auto-inyector. Para la porción de glucosa y fructosa libre se inyectaron 100 µl de muestra, mientras que para la porción de glucosa rápidamente disponible (RAG), glucosa lentamente disponible (SAG) y glucosa total (GT) se inyectaron 50µL.

Cálculos

Utilizando la investigación realizada por Englyst, et al. (1999), los valores de RAG, SAG, etc. se calcularon de la siguiente manera:

$$RAG = G_{20}$$

$$SAG = G_{120} - G_{20}$$

$$RDS = (G_{20} - FSG) * 0.9$$

$$SDS = (G_{120} - G_{20}) * 0.9$$

$$\text{Almidones totales} = (\text{Glucosa total} - FSG) * 0.9$$

$$\text{Almidones resistentes} = (\text{Glucosa total} - G_{120}) * 0.9$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis pH y Actividad de Agua.

Tabla 7. Porcentaje de sustitución de harina de trigo con harina de yuca, humedad y actividad de agua.

Tratamiento	% Harina de trigo	% Harina de yuca	Humedad %	a _w
CC	100	0	29.76 ^d	0.9333 ^a
Control	100	0	24.94 ^a	0.9325 ^a
HYXG	80	20	28.35 ^c	0.9218 ^b
HYXGG	80	20	27.24 ^b	0.9160 ^c
Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p ≤ 0.05).				

La humedad es un factor muy importante en un producto como las tortillas. El consumidor espera un producto suave, que tenga la capacidad de doblarse sin romperse. Por lo que mantener la humedad en la tortilla es un factor clave a la hora de decidir qué tipo de gomas o aditivos añadir a la formulación. En este caso se le añadió goma xantán y glicerol a la formulación para evaluar su efecto en las características del producto. A uno de los tratamientos también se le añadió gluten para compensar la falta de éste en la harina de gluten y ver cómo se afectaba el producto y evaluar su dureza.

El contenido de humedad en los tratamientos estuvo en un rango de 24 a 29 % de humedad. El tratamiento que presenta un porcentaje mayor de humedad es el CC con un 29.76%.

El CC presenta mayor humedad y por consiguiente mayor suavidad debido a que contiene una combinación de gomas, acondicionadores de masa y preservativos. En combinación estos aditivos logran un producto con mayor porcentaje de humedad y suavidad, pero que a la vez mantiene sus características por un tiempo más prolongado.

El segundo tratamiento con mayor humedad lo es el tratamiento HYXG, seguido por el HYXGG con 28.35% y 27.24%, respectivamente. Se observa que el tratamiento que presentó la menor humedad lo fue el tratamiento Control al que no se le añadió ningún aditivo. Algunos hidrocoloides (ej., goma guar, goma xantán, agar, pectina, etc.) absorben hasta 6 veces su peso en agua (Rosell et al., 2001). Según descrito por Rathod (2008) cuando la concentración de goma fue aumentada en las tortillas, la pérdida de agua fue menor. De igual manera, este comportamiento fue observado en el experimento. El glicerol sirve como un humectante, solvente y endulzante y puede ayudar a preservar alimentos (así como un agente anti endurecimiento en bizcocho) (Rathod, 2008). Las formulaciones que contenían xantán presentaron un contenido de agua mayor en comparación con aquellas que contenía carboxy-metil-celulosa en pan fresco y almacenado (Mohammadi et al., 2014).

En el tratamiento control, al que no se le añadió ningún tipo de aditivo, se observó mayor pérdida de humedad, en promedio con un 24.94%, siendo el menor contenido de humedad entre los tratamientos evaluados. Este resultado puede estar relacionado al fenómeno de retrogradación, donde se pierde parte del agua (sinéresis) debido a la interacción entre las cadenas de almidón (Román-Brito et al., 2007). Esta pérdida de humedad se refleja no sólo en la apariencia del producto, sino también en la textura de éste. Por lo que aquellos

tratamientos que contienen goma xantán y glicerol presentan un porcentaje mayor de humedad comparado con el control de laboratorio.

Todos los tratamientos son significativamente diferentes, pero con la adición de goma xantán y glicerol se logró aumentar el contenido de humedad en el producto.

Al observar la actividad de agua no se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos CC y Control, pero sí entre los tratamientos experimentales. Sin embargo, esta diferencia no es considerable. También se puede observar que la adición de gluten a uno de los tratamientos causó diferencia significativa en la actividad de agua de este tratamiento y el tratamiento que contenía solamente goma xantán y glicerol. Según reportado por Suhendro et al. (1995) el glicerol extiende el largo de vida útil de la tortilla, disminuyendo la actividad de agua. El tratamiento control presentó actividad de agua de 0.9325, mientras que los tratamientos a los que se le añadió glicerol reportaron valores de 0.9218 y 0.9160 para el tratamiento HYXG y HYXGG respectivamente. El tratamiento HYXG que sólo contenía goma xantán y glicerol demostró ser el tratamiento experimental que más se acercó al control comercial.

pH

Tabla 8. Valores de pH para tratamientos evaluados.

Tratamiento	Medias
CC	4.80 ^a
Control	6.49 ^b
HYXC	6.59 ^c
HYXGG	6.75 ^d
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)	

La Tabla 8 presenta el porcentaje de sustitución de harina de yuca, así como los resultados obtenidos de pH y actividad de agua de las tortillas. El pH fue significativamente diferente en todos los tratamientos mientras que la actividad de agua no mostró diferencia en los tratamientos con 20% de yuca y aditivos.

Como se puede observar el pH del CC se encontraba en 4.80, seguido por el Control con 6.49, la masa de HYXG y finalmente la masa HYXGG. La diferencia en pH que se

observa en el CC se debe a la gran cantidad de ingredientes, entre estos la presencia de preservativos que son los responsables por mantener el producto libre de crecimiento de hongos y microorganismos por un mayor tiempo. El ambiente ácido de las masas favorece a la formación del gluten y a lograr una masa más extensible, así como retrasa el desarrollo de microorganismos (Joaquín & Huamán, 2010). Este ambiente ayuda a extender el largo de vida útil.

Un control con 100% de harina de trigo fue preparado en el laboratorio para poder hacer una comparación objetiva entre éste y el resto de los tratamientos ya que el producto se preparó sin preservativos. Al observar los valores de pH entre el tratamiento control, el tratamiento HYXG, y el tratamiento con HYXGG, se observa que a pesar de que hay diferencia significativa entre estos, ésta diferencia no es tan amplia como contra el CC.

El pH establecido en la literatura para el valor de las masas debe estar en el rango de 4-6, pero el pH óptimo para la formulación de pan es 5. Sin embargo, como se observa en la Tabla 8 aún en el producto cocido se puede observar que los valores de pH se encuentran por encima de 6. A la formulación de tortillas con sustitución parcial de harina de yuca no se le añadieron enzimas, levaduras o preservativos que son los componentes responsables de llevar a cabo la fermentación de la masa, aumentar la acidez y por consiguiente bajar el pH.

Color

El color de un alimento es una característica muy importante a la hora de escoger un alimento o consumirlo. Los consumidores toman la apariencia de un producto en consideración como un criterio primario (Kays, 1999); se considera que el color tiene un rol clave en la selección de alimentos, la preferencia de alimentos y aceptabilidad, y puede influenciar los umbrales gustativos, la percepción de dulzura, y el agrado (Clydesdale, 1993; Rico et al., 2007). Cambios en color pueden significar que están ocurriendo reacciones en el producto que se pueden traducir en cambios en sabor, olor, o presencia de microorganismos.

Luminosidad (L)

Tabla 9. Evaluación de color: parámetro L.

Tratamiento	Día		
	1	7	14
CC	84.24 ^A _a	84.25 ^A _a	84.03 ^B _a
Control	84.15 ^A _a	84.68 ^A _b	84.98 ^C _b
HYXG	84.48 ^A _a	80.27 ^A _a	83.44 ^A _a
XYXGG	84.96 ^B _b	84.90 ^A _b	84.41 ^B _a

Valores con superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0.05$). Valores con subíndices diferentes en la misma fila son indicativos de diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo

Para realizar el análisis de color de midieron las variables L, a y b. La variable L, representa luminosidad, con valores que van desde 0 para negro hasta 100 para blanco, a indica la variación entre el verde (-a) y rojo (+a) y b representa cambios en color entre azul (-b) y amarillo (+b) (Villamil, 2014).

Para la evaluación de color se utilizaron plantillas diferentes cada semana, las cuales se prepararon en la misma tirada.

El crecimiento de hongos se comenzó a observar luego del día 7 de muestreo. El tratamiento que mostró mayor crecimiento fue el Control. En aquellos tratamientos donde se añadió harina de yuca a la formulación se observó menor crecimiento de hongos. Se observaron áreas con hongo color grisáceo oscuro, redondos, algodonosos y de menor tamaño que en el control. Sin embargo, es muy importante tomar en cuenta que el parámetro de Luminosidad se ve afectado por áreas en el producto que presenten un color más oscuro. (Apéndice F). Su crecimiento no estaba restringido a un área específica, se pudo observar crecimiento en diferentes áreas de las plantillas.

La Tabla 9 presenta los resultados obtenidos a lo largo de los diferentes días de muestreo. Superíndices diferentes en la misma columna indicarían que hay diferencia significativa entre los tratamientos. Los subíndices observados en la Tabla 9 representan si hay o no diferencia significativa entre los días de muestreo y se observan horizontalmente (por filas). El en producto comercial no se observó diferencia significativa entre los tres días de muestreo.

Al comparar el Control y el CC con las tortillas a las que se le añadió harina de yuca, se observó que el único tratamiento diferente fue el HYXGG y a pesar de que hay diferencia significativa, ésta no es considerable. En el día 7, no hubo diferencia significativa entre ninguno de los tratamientos y al día 14 el tratamiento Control y fue diferente a todos los tratamientos, al igual que el tratamiento HYXG. Sin embargo, la diferencia tampoco fue considerable.

En términos generales, al observar el análisis de varianza, se concluye que, hay diferencias significativas entre algunos tratamientos, más, sin embargo, las diferencias no son considerables. Los valores están sumamente cercanos unos a los otros.

El tiempo de almacenamiento y el crecimiento de hongo en el producto pueden haber sido los responsables de la diferencia entre los tratamientos que no se observó en los días 1 y 7.

Un factor que puede haber añadido variación a los resultados fue el método de cocción ya que no permitía preparar todo el producto a la misma vez y la temperatura no era homogénea en toda la superficie. Es por esto que, para futuras experimentaciones el uso de un método de cocción más homogéneo es recomendado.

Determinación de la variable HUE.

Tabla 10. Evaluación de color: parámetro HUE

Tratamiento	Día		
	1	7	14
CC	85.37 ^A _A	85.30 ^A _A	84.82 ^A _A
Control	86.37 ^B _A	86.49 ^{BC} _{AB}	86.72 ^B _B
HYXG	86.71 ^C _A	86.36 ^B _B	86.34 ^B _B
XYXGG	86.93 ^C _A	86.65 ^C _B	86.83 ^B _{AB}
Valores con superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0.05$). Valores con subíndices diferentes en la misma fila son indicativos de diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo			

El parámetro HUE es uno adimensional que evalúa la tonalidad. Este parámetro correlaciona el parámetro a* y b*. Los superíndices (Tabla 10) representan diferencia entre

los tratamientos por columna. En el caso de los superíndices, representan si hay diferencia entre los tratamientos según cada día de muestreo y se observan de manera vertical (columna).

Para calcular el valor de HUE

Al día 1 los tratamientos con sustitución parcial de harina de yuca no mostraron diferencia significativa entre ellos, pero si hay diferencia al comparar con el control comercial y el control de laboratorio.

Al día 14, no se observó diferencia significativa entre los tratamientos experimentales, el único tratamiento que mostró diferencia significativa fue el control comercial. Sin embargo, al observar los valores se entiende que esta diferencia a pesar de ser significativa no es considerable. Nuevamente la presencia de hongo en el producto por la falta de preservativos es un factor que pudo haber afectado los resultados al día 14 que es donde había mayor presencia de hongo.

Para los días de muestreo (subíndices/fila) no se observó diferencia significativa para el control comercial. En el producto XYXG se observa diferencia significativa el día 1, pero no hay diferencia significativa entre el día 7 y 14. En el tratamiento control, el día 1 y el día 14 son significativamente diferentes. En todos los tratamientos experimentales se encontró que los días 7 y 14 no mostraron diferencia significativa entre ellos, pero sí demostraron diferencias al ser comparados con el día 1.

Las plantillas preparadas con sustitución parcial de harina de yuca presentaron diferencias significativas al compararlos con el Control Comercial. Sin embargo, cuando se comparan los valores obtenidos de los tratamientos experimentales preparados en el laboratorio, la diferencia es tan pequeña que no es considerable.

Además, se comprobó que la sustitución parcial de harina de yuca no afecta de manera considerable la tonalidad del producto.

Determinación de la variable CROMA

Tabla 11. Evaluación de color: parámetro CROMA

Tratamiento	Día		
	1	7	14
CC	19.20 ^A _{ab}	19.52 ^{AB} _b	18.46 ^A _a
Control	18.96 ^A _a	19.11 ^A _a	18.51 ^A _a
HYXG	20.03 ^B _a	20.71 ^C _b	20.50 ^B _{ab}
HYXGG	19.44 ^{AB} _a	20.06 ^B _b	19.75 ^B _{ab}

Valores con superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0.05$). Valores con subíndices diferentes en la misma fila son indicativos de diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a través del tiempo

El análisis de Croma representa la intensidad de un color o también puede entenderse como la saturación, cuan fuerte o débil. La Tabla 11 muestra los valores Croma para los tratamientos.

Al observar los datos se puede afirmar que existe un leve aumento en los valores de Croma al añadir harina de yuca a la formulación. Este aumento se observa en todos los días de muestreo al comparar con el CC y con el Control.

De los tratamientos a los que se le añadió harina de yuca el que presentó mayor valor de Croma fue el tratamiento HYXG seguido por HYXGG. El día 1 y 7 de muestreo fueron significativamente diferentes entre ellos, pero el día 14 no mostró diferencia significativa con los días 1 y 7.

Al observar los resultados encontró que al día 14 el control comercial y el control de laboratorio no mostraron diferencia significativa entre ellos, al igual que los dos tratamientos experimentales no mostraron diferencias entre ellos. Sin embargo, si se comparan los controles y los tratamientos experimentales sí hay diferencia significativa entre ellos.

Los datos, en general, demuestran que los dos tratamientos con sustitución parcial de harina de yuca presentaron niveles más altos de intensidad que aquellos que solamente contenían harina de trigo. Esta tendencia se puede observar a lo largo de los tres días de muestreo.

Análisis de fuerza y elasticidad

La textura es un factor de aceptabilidad sensorial importante para la aprobación de algunos alimentos por parte del consumidor (Rodríguez et al., 2005). Las pruebas de extensibilidad, punción y flexión se pueden utilizar para medir la textura de la tortilla de forma objetiva (Bejosano et al., 2005). La textura pertenece a los atributos organolépticos que determinan la palatabilidad de los alimentos (Li & Nie, 2016).

En pruebas preliminares se evaluó el efecto de adición de gomas, y glicerol en diferentes porcentajes con el fin de escoger aquellos que por sí solos mejoraran la tortilla en mayor cantidad y luego combinarlos entre sí. En el caso del gluten se probó un 2, 4 y 6% y en base a los resultados de textura se escogió 4% ya que se observó el mejor efecto en la dureza y elasticidad del producto. En el caso de la goma xantán se probó un 0.25, 0.5 y 1%, de los cuales se escogió el 0.5% combinado con 20% de harina de yuca. Los datos que representan el análisis de Fuerza E (elasticidad) y Fuerza P (fuerza de penetración) se presentan en las Tablas 1-2 y Figuras 1-2.

La textura de las tortillas de 100% de harina de trigo y tortillas con sustitución de 20% de harina de yuca fueron evaluadas en los días 1, 7 y 14. El cuarto día de muestreo que representaba el día 21 fue eliminado debido a que a la formulación de las tortillas no se les añadió preservativos y luego del día 14 había crecimiento excesivo de hongos. La presencia de hongos no sólo afecta la apariencia del producto sino el contenido de humedad. Por tanto, al verse afectada la humedad, el producto se endurece más rápido. Dos parámetros de textura fueron evaluados: uno de ellos siendo la fuerza necesaria para penetrar el producto y el otro la elasticidad de este. Cada parámetro se midió en gramos (g) para la fuerza y la distancia en milímetros (mm) durante varios días de muestreo.

Tabla 12. Intervalos de confianza para la prueba de penetración del producto evaluado.

Tratamiento	Fuerza P (g)	Distancia (mm)
CC	498.97±17.20 ^a	12.58±0.40 ^a
Control	1419.85±157.76 ^d	11.51±0.87 ^c
HYXG	1069.79±87.23 ^c	10.13±0.89 ^b
HYXGG	892.34±48.07 ^b	10.39±0.84 ^b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Según los resultados obtenidos y presentados en la Tabla 12, hay diferencia significativa entre los tratamientos. Esta diferencia varía dependiendo del día de muestreo por lo que hay interacción entre el día y el tratamiento. Justo después de la cocción, las tortillas son suaves a flexibles y pueden ser fácilmente dobladas sin romperse (Weber, 2008). Sin embargo, con el pasar del tiempo se fue observando cómo disminuía la suavidad de las tortillas.

Un producto de supermercado se evaluó para ser comparado con los tratamientos de laboratorio. Durante el tiempo en el que se evaluaron las tortillas se observó que el producto comercial fue el tratamiento que requirió menos fuerza para ser perforado. No mostró diferencia significativa en los diferentes días de muestreo y fue el que demostró menor variación en sus resultados, además de ser el que logró más distancia antes de romperse (mayor elasticidad).

A uno de los tratamientos experimentales con sustitución parcial de harina de yuca (20%) se le añadió un 10% de gluten para intentar igualar el contenido de éste en la harina de trigo. Esto con el propósito de evaluar sus efectos en la suavidad de la masa y compararlo con el tratamiento que sólo contenía goma xantán y glicerol. Ya que se añadió harina de yuca el contenido de gluten en la masa era menor. El gluten también tiene un efecto en la reología de la masa y su presencia o ausencia en menor cantidad causará que la masa sea menos manejable y homogénea, retenga menor cantidad de agua, por ende, sea más seca y a su vez muestre mayor dureza.

Luego del producto comercial, el tratamiento con 20% de sustitución de yuca al que se le añadió goma xantán, glicerol, y gluten fue el que demostró menor fuerza necesaria para ser traspasado, siendo el tercero en términos de elasticidad. De los tratamientos experimentales, éste fue el que presentó menor variación en sus datos, lo que lo acerca más a un producto comercial ya que mantiene logra características más uniformes en el producto. El próximo tratamiento fue el tratamiento con sustitución parcial sin gluten y finalmente el producto control, que fue el que requirió más fuerza, por tanto, era más duro.

En la Figura 10 se observa el comportamiento de los tratamientos a lo largo de los días de muestreo. Los tres tratamientos experimentales muestran comportamientos similares. Con el tiempo las tortillas comienzan a añejarse, pierden humedad, y van poniéndose más firmes; lo que hará que se rompa fácilmente y sea más difícil de doblar. En los días 1, 7 y 14,

los tratamientos no muestran diferencia significativa entre ellos, pero sí se puede observar que en los días 7 y 14 la fuerza necesaria para traspasar el producto se redujo en todos los tratamientos experimentales. Esta fuerza se reduce debido a que a pesar de que la tortilla de vuelve más dura, menos flexible y a la vez es más quebradiza, por lo que menor fuerza es necesaria para romper la tortilla.

Mohammadi et al. (2014), realizaron investigaciones con goma xantán y carboximetilcelulosa. En aquellos tratamientos en donde había presencia de estos aditivos hubo una disminución significativa en la firmeza de los panes frescos y almacenados. Además de esto, el autor encontró que, si se considera el efecto de añadir gomas, especialmente cuando aumenta la goma xantán, hay un aumento en el contenido de humedad, lo que resulta en menor firmeza de la miga. Los hidrocoloides afectan el nivel retrogradación en el pan, por medio de la limitación de difusión y pérdida de agua de la miga del pan, indicando que el control del contenido de agua y su movilidad pueden ser factores claves, encargados de controlar la firmeza de la miga en el pan (Mohammadi et al., 2014).

Gracias a la presencia de la goma xantán y el glicerol, se observa una reducción en la fuerza necesaria para traspasar el producto. Esto coincide con el aumento en el contenido de humedad y actividad de agua; lo que está de acuerdo con lo que reporta la literatura.

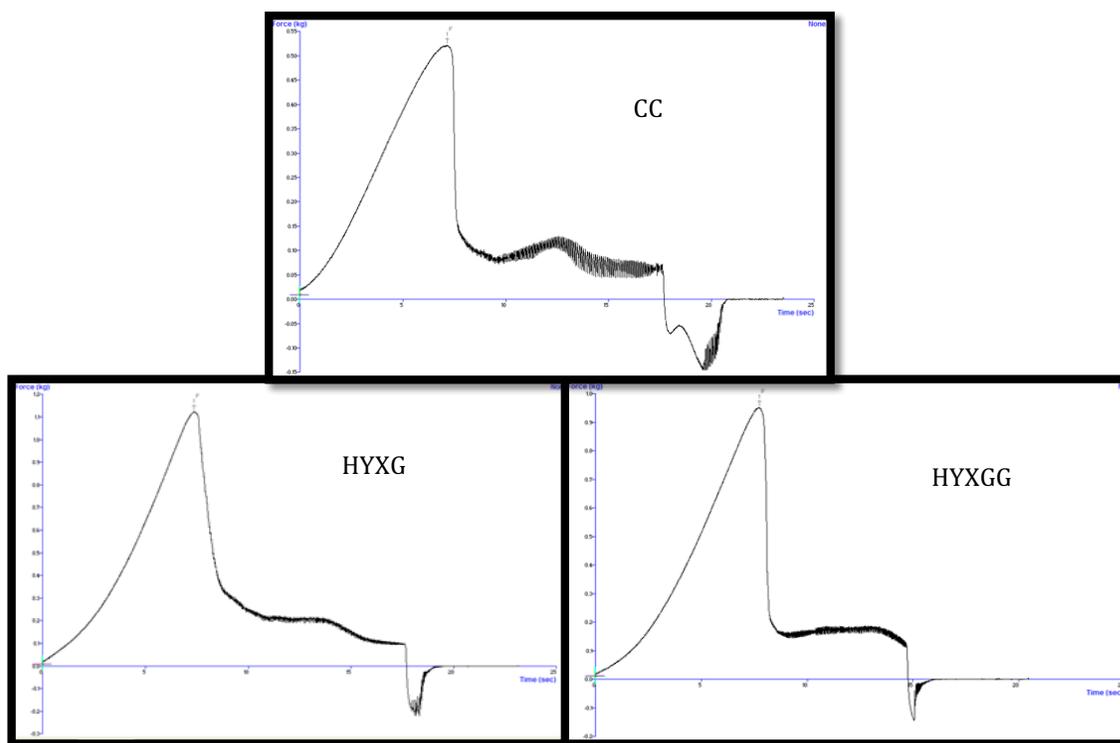


Figura 10. Gráfica de fuerza P ejercida sobre una tortilla de harina de trigo comercial.

En la Figura 10 se muestra la fuerza ejercida (g) en una tortilla de harina de trigo comercial, el tratamiento HYXG y una tortilla de HYXGG a través del tiempo (segundos). El punto más alto de la gráfica presenta la fuerza máxima ejercida para romper la tortilla ejerciéndole presión en el centro un pedazo de dicha tortilla. Todos los tratamientos presentaron comportamiento similar al ser graficados y todos fueron significativamente diferentes. La diferencia entre estos recae en la fuerza necesaria para romper cada tortilla y el tiempo (segundos) en el que se alcanza la fuerza máxima y ocurre el rompimiento. Por tanto, la gráfica demuestra un comportamiento similar, pero se va a deslizar más a la derecha o izquierda dependiendo del tratamiento. El control comercial requirió una fuerza de 498.97 g, seguido por el tratamiento con goma xantán, glicerol y gluten con 892.34 g, luego el tratamiento con 20% yuca goma xantán y glicerol con 1069.79 g y la tortilla control de laboratorio con 100% de harina de trigo que requirió una fuerza de 1419.85 g en promedio de los tres días de muestreo.

Tabla 13. Intervalos de confianza para la prueba de elasticidad del producto evaluado.

Tratamiento	Fuerza E (extensibilidad) (kg)	Distancia (mm)
	Medias	Medias
CC	661.37±15.30 ^a	20.92±0.52 ^a
Control	2062.92±230.30 ^d	16.06±0.56 ^c
HYXG	1736.12±99.05 ^c	19.79±0.55 ^b
HYXGG	1375.51±69.55 ^b	19.92±0.45 ^b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos de fuerza necesaria y distancia alcanzada al evaluar la elasticidad de los tratamientos. Al observar los resultados de la elasticidad se observa que nuevamente el producto de supermercado fue el que requirió menos fuerza y el alcanzó mayor distancia antes de romperse; seguido por el producto con 20 porciento de sustitución con yuca al que se le añadió goma xantán, glicerol y gluten. En tercer lugar, le sigue el producto con sustitución parcial y goma xantán y glicerol. Por último, el producto que demostró mayor fuerza y menor elasticidad fue el control de laboratorio (100% harina de trigo).

En esta prueba todos los tratamientos fueron significativamente diferentes en cuanto a la fuerza necesaria para estirar el producto hasta romperlo, pero en términos de distancia (mm) el tratamiento experimental con goma xantán, gluten y glicerol no mostró diferencia significativa al compararlo con el tratamiento que solo contenía goma xantán y glicerol. Aunque las fuerzas aplicadas fueron significativamente diferentes, y la presencia de gluten en uno de los tratamientos le da la capacidad de estirar un poco más, se puede observar que la presencia de la goma xantán y glicerol en la formulación es importante y sí provee al producto características deseadas. Logrando que el producto tenga la capacidad de extenderse más. Así se cumple el objetivo establecido de mejorar las características de elasticidad y dureza del producto.

Los resultados mostraron la misma tendencia que se observó para la medida de fuerza de penetración. La presencia de humedad, y componentes que ayuden a retener la humedad en la masa son claves para mantener un producto suave, que a su vez sea más elástico. La Figura 10 muestra el comportamiento de las tortillas en un día de muestreo. Sin embargo,

este comportamiento fue el mismo a lo largo de los tres días de muestreo (1, 7, 14) independientemente de su tratamiento. La diferencia entre las gráficas recae en el tiempo que le tomó a la tortilla romperse y la fuerza aplicada. La adición de hidrocoloides disminuyó la fuerza requerida para penetrar la tortilla, pero este parámetro fue aumentando ligeramente cuando el tiempo de almacenamiento aumentaba (Román-Brito et al., 2007).

Tabla 14. Intervalos de confianza para fuerza y distancia (P y E) para los tratamientos por día de muestreo.

Tratamiento	Día	Fuerza P	Distancia P	Fuerza E	Distancia E
CC	1	477.82± 27.81	12.51±0.67	662.83±21.57	21.15±1.13
CC	7	473.29±19.47	12.27±0.66	650.16±22.12	20.32±1.08
CC	14	545.78±30.34	12.98±0.86	671.10±38.34	21.28±0.47
Control	1	1326.86±178.92	14.66±0.93	1484.14±184.60	16.84±1.34
Control	7	1209.09±135.45	9.93±0.43	1877.21±205.30	14.55±0.15
Control	14	1723.58±409.49	9.95±1.49	2827.41±420.38	16.79±0.58
HYXG	1	1326.75±136.24	14.1±0.68	1653.9±142.76	20.76±3.65
HYXG	7	871.03±110.09	8.33±0.33	1802.5±187.24	17.33±0.37
HYXG	14	1011.6±121.60	7.97±0.29	1752±213.47	21.28±0.13
HYXGG	1	1044.64±78.60	14.07±0.66	1153.66±69.36	19.63±0.49
HYXGG	7	797.29±49.72	9.05±0.35	1465.23±88.24	18.41±0.15
HYXGG	14	835.09±66.00	8.06±0.29	1507.62±120.40	21.72±0.17

Índice Glicémico estimado in vitro

El índice glicémico es la medida del efecto de un alimento en el contenido de glucosa en la sangre a lo largo del tiempo una vez es consumido. Esta medida varía dependiendo del individuo y un mismo alimento en dos personas no va a tener exactamente la misma respuesta. Hay factores que afectan esta respuesta del individuo, entre estos, el estado de salud de la persona en la que se le realiza la prueba.

Las pruebas de índice glicémico usualmente se obtienen de individuos que consumen alimentos específicos, a los que se les sacan muestras de sangre cada cierto tiempo para evaluar el contenido de glucosa. En este caso la prueba fue realizada in vitro; utilizando enzimas que fueron las encargadas de copiar el comportamiento que tendría la amilasa en el cuerpo rompiendo las azúcares a su forma más simple. Para tratar de emular el comportamiento en el cuerpo humano, se detuvo la prueba en diferentes tiempos y se sacaron muestras para ver cómo estaba respondiendo la enzima al alimento. Esto representa las diferentes etapas por las que pasaría el alimento en el cuerpo.

Normalmente los alimentos que son libres de gluten reclaman tener un índice glicémico más bajo ya que en la formulación del producto se sustituye la harina de trigo por otras harinas como de papa o arroz, que al contener otros almidones más complejos no causan picos de azúcar en la sangre tan pronunciados.

Basado en la investigación de Englyst et al. (1999) el valor del índice glicémico se resume en multiplicar el valor de RAG por una constante K que en la mayoría de los casos tiende a uno. En nuestro caso, para la comparación de las muestras esto es de poca relevancia debido a que la constante afecta a los valores de forma similar. Por tanto, se puede utilizar el valor de RAG como el valor de índice glicémico. Los datos de RAG que se muestran en la Tabla 15 están basados en una muestra de 100 gramos. Los valores estimados de índice glicémico se calcularon en base a una muestra de 50 gramos. Es por esto que el valor de índice glicémico corresponde a la mitad del RAG.

En los resultados se puede observar que hay diferencia entre los tratamientos, pero que el Control y el tratamiento HYXG no demostraron diferencia significativa. Estos resultados sugieren que la adición de harina de yuca como sustituto a la de harina de trigo no

afecta el índice glicémico del producto. El tratamiento al que se le añadió gluten mostró un valor de índice glicémico significativamente menor al compararlo con los otros dos tratamientos

Según la literatura una tortilla de harina de trigo con 50g posee un índice glicémico de 30. Experimentalmente según encontrado en esta investigación 50 gramos de la tortilla Control arrojó un índice glicémico de 21.45, seguido por 21.66 en el tratamiento HYXG. El tratamiento con valor de índice glicémico más bajo fue el tratamiento al que se le añadió gluten, además del glicerol y la goma xantán, con un promedio de 17.76. La diferencia observada entre los valores reportados en la literatura y los encontrados experimentalmente puede deberse a la metodología de la estimación del índice glicémico. Otro factor es la variabilidad natural que existe entre muestras de un mismo tipo de cereal, así como la temperatura que también tiene influencia en índice glicémico, debido a que promueve un mayor grado de gelatinización, aumentando la susceptibilidad a la α -amilasa (Vernaza-Leoro et al., 2010).

Como se observa en la Tabla 15 el valor de SAG (glucosa lentamente disponible) es mayor y significativamente diferente al tratamiento control y al tratamiento que contenía glicerol y goma xantán. Si un producto muestra un valor más alto de glucosa lentamente disponible, significa que el producto va a tener menos glucosa rápidamente disponible. Es por eso que la respuesta glicémica va a ser menor, si el producto libera la glucosa lentamente no va a causar un pico de azúcar tan pronunciado en la sangre. Estos resultados son contrarios a los esperados, donde los productos libres de gluten se alegan deben tener mayores de SAG, menores valores de RAG y por lo tanto una menor respuesta glicémica. La harina del tratamiento enriquecido con gluten (HYXGG) fue preparada por sustituir 10% de la harina de yuca por gluten. Esto se hizo para con la intención de igualar el contenido de gluten en el tratamiento de yuca con el esperado en la harina de trigo. Por lo tanto, en el tratamiento HYXGG la cantidad de yuca se redujo por 100 g de la formulación. Esto probablemente fue la razón por la que el tratamiento arrojó un valor de índice glicémico más bajo ya que no necesariamente el gluten tiene una respuesta glicémica mayor que la harina.

La fibra dietaria es otro componente de los alimentos que interviene con la digestión de los almidones. (Aparicio et al., 2013). Ha sido propuesta una clasificación nutricional de

fibra dietaria, que toma en consideración ambos: el componente cinético y cuán completa es la digestibilidad, por lo tanto, comprende fracciones rápidamente digeribles, lentamente digeribles e indigeribles o resistentes (Englyst, Kingman & Cummings (1992), Sáyago et al., 2005). El almidón resistente (RS), en parte, es un componente de los alimentos que disminuye el índice glicémico, ya que incluye materiales de la pared celular que aportan a la fibra dietaria y por tanto son incluidos como parte de esta (Aparicio et al., 2013). El maíz, la banana sin madurar y la yuca (en menor cantidad) contienen materiales de la pared celular de las plantas que incluyen la fibra dietaria (Aparicio-Saguilan et al., 2013). Almidón resistente (RS) está definido como la suma de los almidones, más la degradación de productos que no se absorben en el intestino delgado de individuos saludables (Saá Yago-Ayerdi, 2005).

Sáyago-Ayerdi y colaboradores (2005) realizaron una investigación donde se evaluaba la digestibilidad *in vitro* y el índice glicémico de una tortilla de maíz y habichuelas negras donde encontraron que hubo una disminución en los valores de almidón disponible de sus diferentes tratamientos, pero esta se hizo significativa luego de 48 horas. Según se menciona esto se atribuye a que durante el almacenamiento ocurre retrogradación de los almidones, lo que va a depender de la temperatura (a menor temperatura, más rápida la retrogradación). Esta investigación también encontró que en términos de almidones resistentes los valores iniciales se mantuvieron constantes durante 48 horas. Sin embargo, luego de 72 horas hubo un aumento de 1.3-1.6%. Por otro lado, en una investigación realizada por Aparicio-Saguilan y colaboradores (2013) se encontró que hubo un aumento en el contenido de almidones resistentes en muestras almacenadas por 24 horas, sin embargo, se observó que luego de 48 horas se alcanzaron valores constantes a diferencia de Sáyago-Ayerdi y colaboradores que reportaron que los valores constantes se lograron a las 72 horas. Esta diferencia puede estar relacionada al tipo de alimento evaluado.

En una investigación realizada por Vernaza-Leoro (2010) se encontró que productos que fueron extrudados demostraron un 50% de reducción en el índice glicémico al ser comparados con los valores del pan blanco. Esto puede ser considerado como una alternativa interesante a ser usada en cereales dirigidos a dietas que buscan controlar peso e índices glicémicos donde se busca una liberación de glucosa lenta.

Los altos valores de RAG y SAG en los tratamientos control y HYXGG sugieren menores valores de RS en comparación con el tratamiento HYXG. Este resultado,

contradictorio a los valores de índice glicémico, es indicativo de que el tratamiento HYXG es uno prometedor y amerita estudiarse profundamente, así como el efecto del tiempo de almacenamiento en el contenido de almidones.

Tabla 15. Resultados análisis de índice glicémico in vitro.

Tratamiento	FSF (fructosa libre)	FSG (Glucosa libre)	G₂₀ - RAG (Glucosa rápidamente disponible)	G₁₂₀ (Glucosa a 120 minutos)	SAG (Glucosa lentamente disponible)	Índice Glicémico
Control	0.03 ^a	0.15 ^a	42.91 ^b	61.39 ^{ab}	18.49 ^a	21.45 ^b
HYXG	0.05 ^a	0.21 ^a	43.31 ^b	59.29 ^a	15.98 ^a	21.66 ^b
HYXGG	0.06 ^b	0.17 ^a	35.52 ^a	62.90 ^b	27.38 ^b	17.76 ^a
Medias con una letra común en la misma columna, no son significativamente diferentes (p > 0.05). Resultados basados en una muestra de 100 gramos						

Conclusiones

Es viable implementar una sustitución parcial harina de yuca a la formulación de tortilla realizada a base de harina de trigo.

La tortilla con sustitución parcial de harina de yuca, que contiene aditivos como glicerol y goma xantán mostró humedad más cercana al control comercial. Lo que indica mayor suavidad y menor susceptibilidad a quiebre.

El pH del producto terminado en el control de laboratorio y los tratamientos experimentales presentaron valores cercanos (6.49-6.75) aunque significativamente diferentes al producto comercial que arrojó un valor de 4.80. Para alcanzar el pH óptimo establecido por la literatura sería necesario añadir un preservativo, responsable de bajar el valor de pH al rango 4-6 y desarrollar en mayor cantidad el gluten.

En términos generales para el parámetro L, se concluye que, hay diferencias significativas entre algunos tratamientos, más, sin embargo, las diferencias no son considerables. Los valores están sumamente cercanos unos a los otros.

Para el parámetro Hue se comprobó que la sustitución parcial de harina de yuca no afecta de manera considerable la tonalidad del producto. En términos del valor Croma, los datos, en general, demuestran que los dos tratamientos con sustitución parcial de harina de yuca presentaron niveles más altos de intensidad que aquellos que solamente contenían harina de trigo. Esta tendencia se puede observar a lo largo de los tres días de muestreo.

El añadir goma xantán, glicerol, y gluten ayudó a mejorar las cualidades de la tortilla promoviendo un producto más suave con mejor elasticidad.

El tratamiento al que se le añadió gluten fue el que se demostró cualidades más parecidas al control comercial requiriendo menor fuerza para ser perforado y siendo más elástico.

Según la literatura una tortilla de harina de trigo con 50g posee un índice glicémico de 30. Experimentalmente según encontrado en esta investigación 50 gramos de la tortilla Control arrojaron un índice glicémico de 21.45, seguido por 21.66 en el tratamiento HYXG. El tratamiento con valor de índice glicémico más bajo fue el tratamiento HYXGG con un promedio de 17.76.

En conclusión, es viable recomendar a la industria local de productos de panificación el empleo de una sustitución parcial de harina de yuca en sus formulaciones.

Recomendaciones

Implementar el uso de una prensa caliente, en conjunto con el horneado de la plantilla utilizando un horno de convección para así obtener un calentamiento uniforme, resultando en una cocción homogénea. De esta forma se puede establecer un tiempo de horneado específico por tratamiento.

Evaluar el efecto de aditivos en plantillas con un porcentaje de sustitución de 40% de harina de yuca.

Estudiar el efecto del gluten en el índice glicémico.

Experimentar con diferentes grosores para ver su efecto durante el tiempo de almacenamiento.

Realizar un análisis sensorial para evaluar características específicas del producto.

BIBLIOGRAFÍA

- AACC International. (2015). Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 02-52.01. Hydrogen-Ion Activity (pH) – Electrometric Method, 1939.
- Alarcón, M.F., Dufour, D. (1998). Tomo 1: Producción y recomendaciones. Almidón Agrio de Yuca en Colombia. Cali, Colombia.
- Anyanwu, C.N., Ibeto, C.N., Ezeoha, S.L., Ogbuagu, N.J. (2015). Sustainability of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) as industrial feedstock, energy and food crop in Nigeria. *Renewable Energy*, 81, 745-752.
- Aparicio-Saguilan, A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Islas-Hernández, J.J., Bello-Pérez, L.A. (2013). Tortilla added with unripe banana and cassava flours: chemical composition and starch digestibility. *Journal of Food*. 11, 90-95.
- Artés, F., Gómez, P., Aguayo, E., Escalona, V., Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology & Technology*, 51, 287–296.
- Babajide, J. M., Adeboye, A. S., Shittu, T. A., (2014). Effect of honey substitute for sugar on rheological properties of dough and some physical properties of cassava-wheat bread. *International Food Research Journal*. 21(5), 1869-1875.
- Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M. O., Baker, R.A. (1995). Edible Coatings for Lightly Processed Fruits and Vegetables. *Hortscience*, 30, 35-38.
- Barth, M., Hankinson, T., Zhuang, H., Breidt, F. (2010), Microbial Spoilage of Fruits and Vegetables. In *Compendium of the Microbiological Spoilage of Foods and Beverages Food Microbiology and Food Safety* (pp135-183).
- Bejosano, F., Joseph, S., Miranda-Lopez, R., Kelekci, N., Waniska, R. (2005). Rheological and Sensory Evaluation of Wheat Flour Tortillas During Storage. *Cereal Chem.* 82(3):256–263.
- Benítez, B., Archile, A., Rangel, L., Ferrer, K., Barboza, Y., Márquez, E. (2008). Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *Interciencia*, 33(1), 61-65.
- Bolin, H. R., Stafford, A. E., King, A. D. Jr., & Huxsoll, C. C. (1977). Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. *Journal of Food Science*, 42, 1319-1321.

- Buitrago A., J. A. (1990). La yuca en la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 446 p.
- Ceballos, H. (2002). La yuca en Colombia y el Mundo. En: H. Ceballos and B. Ospina (eds.) La Yuca en el Tercer Milenio. CIAT, Cali, Colombia p. 1-13.
- Ceballos, H. y De la Cruz, G.A. (2001). Taxonomía y Morfología de la Planta. En: H. Ceballos and B. Ospina (eds.) La Yuca en el Tercer Milenio. p. 17-33. CIAT, Cali, Colombia.
- Chinma, C.E., Ihekoronye, A.I., Mukoro, O.P., Eke, M.O. (2015). Effect of Xanthan Gum Addition on the Quality Characteristics of Nonwheat Cakes prepared from Acha and Bambara Nut Flour Blend. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39;150–156.
- Ciacco, C.F., D'apollonia, B.L. (1978). Baking studies with Cassava and Yam. II. Rheological and Baking studies of tuber-wheat flour blends. *Cereal Chemistry*, 55(4), 423-435.
- Clubbs, E.A., Vittadini, E., Shellhammer, T.H., Vodovotz, Y. (2005). Changes in the mechanical properties of corn tortillas due to the addition of glycerol and salt and selective high-pressure treatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 6: 304 – 309.
- Clydesdale, F. M. (1993). Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(1), 83-101.
- Collar, C. (2016). Bread: Types of Bread. *Encyclopedia of Food and Health*. (Vol. 1, pp. 500-507).
- Cracknell, R.L. (2016). Wheat: The Crop. In *Encyclopedia of Food and Health*. (Vol.5, pp. 478-485)
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico. 2016. Ingreso Bruto de la Agricultura de Puerto Rico. Comunicación personal con Agrónoma Laura Hernández.
- Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96, 295–303.
- Eduardo, M., Svanberg, U., Oliveira, J., Ahrné, L. (2013). Effect of Cassava Flour

Characteristics on Properties of Cassava-Wheat-Maize Composite Bread Types. *International Journal of Food Science*. 2013(5), 10 pages.

Eleazu, C., Eleazu, K., Aniedu, C., Amajor, J., Ikpeama, A., Ebenezer, I. (2014). Effect of Partial Replacement of Wheat Flour with High Quality Cassava Flour on the Chemical Composition, Antioxidant Activity, Sensory Quality, and Microbial Quality of Bread. *Preventive Nutrition and Food Science*, 19(2), 115-123.

Elías, L.G. (1996). Concepto y tecnologías para la elaboración y uso de harinas compuestas. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*. 121(2): 179-182.

Englyst, K.N., Englyst, H.N., Hudson, G.J., Cole, T.J., Cummings, J.H. (1999). Rapid available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. *American Journal of Clinical Nutrition*, **69**: 448-454

Eriksson, E., Koch, K., Tortoe, C., Akonor, P.T., Oduro-Yeboah, C. (2014). Evaluation of the Physical and Sensory Characteristics of Bread Produced from Three Varieties of Cassava and Wheat Composite Flours. *Food and Public Health*. 4(5), 214-222.

Evans, A. (2016). Resistant Starch and Health. In the *Encyclopedia of Food Grains*. (Vol. 2, pp. 230-235).

Food and Agriculture Organizations of the United Nations. Food Outlook, Biannual Report On Global Food Markets. (2015). Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-I4581E.pdf>

FAOSTAT. Online statistical database of the Food and Agriculture Organization. 2013. <http://faostat.fao.org> [Accesado 23.11.15].

Garooni, J., in: M.A. Azizi, M. Hojati (Eds.), *Flat Bread Technology*, Andishmand Publication, Tehran, 2004, 65- 75.

Gorny, J. R., Cifuentes, R. A., Hess-Pierce, B. H., & Kader, A. A. (2000). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size and storage regime. *Journal of Food Science*, 65, 541-544.

Gudmundsson, M. (1994). Retrogradation of starch and the role of its components. *Termochimica Acta*. 246: 329-341.

Hutkins, R. W. (ed) (2006) Bread Fermentation, in *Microbiology and Technology of Fermented Foods*, Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. doi: 10.1002/9780470277515.ch8

Jenkins, D., Jendall, C., Augustin, L., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., Jenkins, A.,

- Axelsen, M. (2007). Glycemic index: overview of implications in health and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 76, 266s-273S.
- Johnson, R.M., Raymond W.E. (1965). The chemical composition of some tropical food plants. *Tropical Science*. 7: 109–115.
- Kays, S.J. (1999). Preharvest factors affecting appearance. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 233-247.
- Karst, T. (2014). USDA estimates retail and consumer food loss. Retrieved December 9, 2014, from <http://www.thepacker.com/fruit-vegetable-news/USDA-estimates-retail-and-consumer-food-waste-246964951.html>
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou M., Belc, N., Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79 (2007), 1033–1047.
- Li, J-M., Nie, S-P. (2016). The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*. 53; 46-61.
- Marrero, A., Kader, A.A. (2006). Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 163–168.
- Mejia de Tafur, M.S. (2002). Fisiología de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En: H.Ceballos and B. Ospina (eds.) La Yuca en el Tercer Milenio. CIAT, Cali, Colombia p. 34-45.
- Mohammadi, M., Sadeghnia, N., Azizi, M.H., Neyestani, T.R., Mortazavian, A.M. (2014). Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20 (2014), 1812–1818.
- Monro, J., Mishra, S. (2009). Nutritional Value of Potatoes: Digestibility, Glycemic Index, and Glycemic Impact.
- Montero, M., Rojas, M., Martín, O. (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*, 50, 182-189.
- Official Methods of Analysis of the AOAC. Water Activity: 32.001-32.09, 16th Edition, 1999.
- Okafor, E.N., Erukainure, O.L., Ozumba, A.U., Adewale, C.O., Funmi O. Kayode, F.O.,

- Asieba, G.O., Adesegha, O.I. & Elemo, G.N. Cassava Flour Substitution Modulates Glycemic Responses and Glycemic Index of Wheat Breads in Apparent Healthy Volunteers. (2017). *Journal of Dietary Supplements*, 14 (4), 446-452
- Oluwole, O.B., Olatunji, O.O., Odunfa, S.A. (2004). A Process Technology for Conversion of Dried Cassava Chips into “Garri”. *Nigerian Food Journal*, 22, 65-77.
- Petri, D.F.S. (2015). Xanthan gum: A versatile biopolymer for biomedical and technological applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 1-13.
- Pochon, D.O., Koslowski, H.A., Picot, J.A., Navamuel, J.M. (2010). Efectos de la sustitución parcial de maíz por harina integral de mandioca sobre variables productivas de cerdos en crecimiento. *Revista veterinaria*. 21(1); 38-42.
- Rathod, J. (2008). Understanding the Origins of Stickiness in Wheat Flour Tortillas and Devising Strategies to Reduce It (Master’s dissertation). Recuperado de Rucore: Rutgers University Community Repository: <http://dx.doi.org/doi:10.7282/T3VQ330G>.
- Ratnayake, W.S., Jackson, D.S. (2003). Starch: Sources and Processing. In B., Caballero, P. Finglas, L. Trugo, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition) (pp.5567-5572).
- Ribeiro, F.A. (2009). Wheat Flour Tortilla: Quality Prediction and Study of Physical and Textural Changes During Storage. (Master’s thesis disertation) Retrieved from the Office of Graduate Studies of Texas A&M University. Accesed August 20, 2017.
- Rodríguez, E., Fernández, A., Ayala, A. (2005). Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. *Revista Ingeniería e Investigación*. 57, 72-78.
- Román-Brito, J.A., Agama-Acevedo, E., Méndez-Montealvo, G., Bello-Pérez, L.A. (2007). Textural Studies of Stored Corn Tortillas with Added Xanthan Gum. *Cereal Chemistry*. 84(5):502–505.
- Rooney, L.W., (2016). Tortillas. In the *Encyclopedia of Food Grains*. (Vol. 3, pp. 90-96).
- Rosell, C.M. (2016). Bread: Chemistry of Baking. In *Encyclopedia of Food and Health*. (Vol.1, pp. 484-489).
- Ruiz-Meneses, L. (2011). *Elaboración de pan fermentado a partir de harina de yuca*. (Disertación de maestría). Recuperado del Archivo de Tesis y Disertaciones de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Accesado 18 de octubre de 2015.

- Sáyago-Ayerdi, S.G., Tovar, J., Osorio-Díaz, P., Paredes-López, O., Bello-Pérez, L.A. (2005). In Vitro Starch Digestibility and Predicted Glycemic Index of Corn Tortilla, Black Beans, and Tortilla-Bean Mixture: Effect of Cold Storage. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 53, 1281-1285.
- Sciarini, L.S., Ribotta, P.D., León, A.E., Pérez, G.T. (2012). Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 111, 590–597.
- Shigaki, T. (2016). Cassava: The Nature and Uses. In *Encyclopedia of Food and Health*. (Vol. 1, pp. 686-693).
- Shittu, T.A., Aminu, R.A., Abulude, E.O. (2009). Functional effects of xanthan gum on composite cassava-wheat dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23(8), pp. 2254–2260.
- Solah, V.A., & Fenton, H.K. (2016). Wheat: Grain Structure of Wheat and Wheat-based Products. In *Encyclopedia of Food and Health*. (Vol.5, pp.470-477).
- Soliva-Fortuny R.C., Martín-Belloso O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends Food Science & Technology*, 14, 341–353.
- Solomos, T. (1997). Principles underlying modified atmosphere packaging. In R. C. Wiley (Ed.), *Minimally processed refrigerated fruits & vegetables* (pp. 183–225). New York: Chapman and Hall.
- Suhendro, E.L., Waniska, R.D., Rooney, L.W., Gomez, M.H. (1995). Effects of polyols on the processing and qualities of wheat tortilla. *Cereal Chem.* 72(1): 122-127.
- Švec, I., Hrušková, M. (2009). Modelling of Wheat, Flour and Bread Quality Parameters. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 40(2), 58–66.
- United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. *World Agricultural Production* [PDF document]. (2017). Retrieved from: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>
- Vamadevan, V., Liu, Q. (2016). Starch: Starch Architecture and Structure. In the *Encyclopedia of Food Grains*. (Vol. 2, pp. 105-116).
- Van Der Borcht, A., Goesaert, H., Veraverbeke, W.S., Delcour, J.A. (2005). Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved. *Journal of Cereal Science*, 41, 221-237.

- Varoquaux, P., & Wiley, R. C. (1997). Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In R. C. Wiley (Ed.), *Minimally processed refrigerated fruits & vegetables* (pp. 226-268). New York: Chapman and Hall.
- Vernaza-Leoro, M., Pedrosa-Silva, M., Kil-Chang, Y., Joy-Steel, C. (2010). Evaluation of the in vitro glycemic index of a fiber-rich extruded breakfast cereal produced with organic passion fruit fiber and corn flour. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*.30(4): 964-968
- Villamil, D. (2014). *Determinación del largo de vida útil de mezcla de frutas mínimamente procesadas*. (Disertación de maestría). Recuperado del Archivo de Tesis y Disertaciones de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Accesado 20 de octubre de 2014.
- Waghmare, R.B., Annapure, U.S. (2013). Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 147-153.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 14, 568-585.
- Wang W. Cassava production for industrial utilization in China, present and future perspective. In: Cassava research and development in Asia: exploring new opportunities for an ancient crop. 7th Regional Cassava Workshop, Bangkok, Thailand; October 28-November 1, 2002. p. 33-8.
- Weber, R.J. (2008). *Shelf Life Extension of Corn Tortillas* (master's thesis). Retrieved from Kansas State University database. Accessed August 1, 2017.
- Wheatley, C.C., Chuzel, G., Zakhia, N. (2003). Cassava: The Nature of the Tuber. In B., Caballero, P. Finglas, L. Trugo, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition) (pp. 964-969).
- Wheatley, C.C., Chuzel, G., Zakhia, N. (2003). Cassava: Uses as a Raw Material. In B., Caballero, P. Finglas, L. Trugo, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition) (pp. 969-974).

Wiley, R. C. (1997). Preservation methods for minimally processed refrigerated foods and vegetables. In R.C. Wiley (Ed.), *Minimally processed refrigerated fruits & vegetables* (pp 66-134). New York: Chapman and Hall.

Wrigley, C.W. (2016). Wheat: An Overview of the Grain That Provides ‘Our Daily Bread’. In the *Encyclopedia of Food Grains*. (Vol. 2, pp. 105-116).

APENDICE

Apéndice A. Análisis de Varianza – Control Comercial

Fuerza P

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
CC	Fuerza P	45	0.34	0.31	9.51

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	49466.74	2	24733.37	10.98	0.0001
Día	49466.74	2	24733.37	10.98	0.0001
Error	94594.83	42	2252.26		
Total	144061.58	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=34.97173

Error: 2252.2580 df: 42

Día	Means	n	S.E.
7	473.29	15	12.25 A
1	477.82	15	12.25 A
14	545.78	15	12.25 B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Distancia P

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
CC	Distancia P	45	0.05	0.01	10.49

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	3.87	2	1.94	1.11	0.3386
Día	3.87	2	1.94	1.11	0.3386
Error	73.18	42	1.74		
Total	77.05	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=0.97271

Error: 1.7424 df: 42

Día	Means	n	S.E.
7	12.27	15	0.34 A
1	12.51	15	0.34 A
14	12.98	15	0.34 A

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Fuerza E

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
CC	Fuerza E	45	0.03	0.00	7.76

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
------	----	----	----	---	---------

Model.	3337.78	2	1668.89	0.63	0.5358
Día	3337.78	2	1668.89	0.63	0.5358
Error	110680.63	42	2635.25		
Total	114018.41	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=37.82851

Error: 2635.2531 df: 42

Día	Means	n	S.E.
7	650.16	15	13.25 A
1	662.83	15	13.25 A
14	671.10	15	13.25 A

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Distancia E

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
CC	Distancia E	45	0.06	0.02	8.12

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	8.11	2	4.05	1.41	0.2566
Día	8.11	2	4.05	1.41	0.2566
Error	121.13	42	2.88		
Total	129.24	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=1.25146

Error: 2.8841 df: 42

Día	Means	n	S.E.
7	20.32	15	0.44 A
1	21.15	15	0.44 A
14	21.28	15	0.44 A

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Apéndice B. Análisis de Varianza – Control.

Fuerza P

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Control	Fuerza P	45	0.18	0.14	34.29

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	2179741.62	2	1089870.81	4.60	0.0156
Día	2179741.62	2	1089870.81	4.60	0.0156
Error	9953644.38	42	236991.53		
Total	12133386.00	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=358.73561

Error: 236991.5329 df: 42

Día	Means	n	S.E.	
7	1209.09	15	125.70	A
1	1326.86	15	125.70	A
14	1723.58	15	125.70	B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Distancia P

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Control	Distancia P	45	0.60	0.58	16.31

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	222.53	2	111.27	31.54	<0.0001
Día	222.53	2	111.27	31.54	<0.0001
Error	148.16	42	3.53		
Total	370.69	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=1.38404

Error: 3.5276 df: 42

Día	Means	n	S.E.	
7	9.93	15	0.48	A
14	9.95	15	0.48	A
1	14.66	15	0.48	B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Fuerza E

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Control	Fuerza E	45	0.55	0.53	25.42

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	14308832.54	2	7154416.27	26.02	<0.0001
Día	14308832.54	2	7154416.27	26.02	<0.0001
Error	11547016.48	42	274928.96		

Total 25855849.01 44

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=386.38328

Error: 274928.9637 df: 42

Día	Means	n	S.E.	
1	1484.14	15	135.38	A
7	1877.21	15	135.38	B
14	2827.41	15	135.38	C

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Distancia E

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
Control	Distancia E	45	0.34	0.31	9.52

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	51.16	2	25.58	10.94	0.0001
Día	51.16	2	25.58	10.94	0.0001
Error	98.20	42	2.34		
Total	149.35	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=1.12676

Error: 2.3380 df: 42

Día	Means	n	S.E.	
7	14.55	15	0.39	A
14	16.79	15	0.39	B
1	16.84	15	0.39	B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Apéndice C. Análisis de Varianza - XYXG

Fuerza P

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
HYXG	Fuerza P	45	0.44	0.41	20.78

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	1633797.93	2	816898.96	16.53	<0.0001
Día	1633797.93	2	816898.96	16.53	<0.0001
Error	2075590.06	42	49418.81		
Total	3709387.99	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=163.81521

Error: 49418.8109 df: 42

Día	Means	n	S.E.
7	871.03	15	57.40 A
14	1011.60	15	57.40 A
1	1326.75	15	57.40 B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Distancia P

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
HYXG	Distancia P	45	0.92	0.92	8.30

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	355.38	2	177.69	251.37	<0.0001
Día	355.38	2	177.69	251.37	<0.0001
Error	29.69	42	0.71		
Total	385.07	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=0.61956

Error: 0.7069 df: 42

Día	Means	n	S.E.
14	7.97	15	0.22 A
7	8.33	15	0.22 A
1	14.10	15	0.22 B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Fuerza E

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
HYXG	Fuerza E	45	0.04	0.00	19.09

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	171139.41	2	85569.71	0.78	0.4652
Día	171139.41	2	85569.71	0.78	0.4652
Error	4611026.73	42	109786.35		
Total	4782166.15	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=244.16435

Error: 109786.3508 df: 42

Día	Means	n	S.E.
1	1653.92	15	85.55 A
14	1751.97	15	85.55 A
7	1802.46	15	85.55 A

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Distancia E

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
HYXG	Distancia E	45	0.94	0.94	2.32

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	138.23	2	69.12	326.85	<0.0001
Día	138.23	2	69.12	326.85	<0.0001
Error	8.88	42	0.21		
Total	147.11	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=0.33886

Error: 0.2115 df: 42

Día	Means	n	S.E.
7	17.33	15	0.12 A
1	20.76	15	0.12 B
14	21.28	15	0.12 C

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Apéndice D. Análisis de Varianza – HYXGG

Fuerza P

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
HYXGG	Fuerza P	45	0.47	0.45	13.32

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	532633.62	2	266316.81	18.84	<0.0001
Día	532633.62	2	266316.81	18.84	<0.0001
Error	593701.15	42	14135.74		
Total	1126334.78	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=87.61276

Error: 14135.7417 df: 42

Día	Means	n	S.E.
7	797.29	15	30.70 A
14	835.09	15	30.70 A
1	1044.64	15	30.70 B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Distancia P

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
HYXGG	Distancia P	45	0.91	0.91	8.05

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	311.52	2	155.76	222.50	<0.0001
Día	311.52	2	155.76	222.50	<0.0001
Error	29.40	42	0.70		
Total	340.92	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=0.61655

Error: 0.7000 df: 42

Día	Means	n	S.E.
14	8.06	15	0.22 A
7	9.05	15	0.22 B
1	14.07	15	0.22 C

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Fuerza E

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
HYXGG	Fuerza E	45	0.48	0.45	12.48

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	1120827.12	2	560413.56	19.03	<0.0001
Día	1120827.12	2	560413.56	19.03	<0.0001

Error	1236787.85	42	29447.33
Total	2357614.96	44	

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=126.45355

Error: 29447.3297 df: 42

Día	Means	n	S.E.	
1	1153.66	15	44.31	A
7	1465.23	15	44.31	B
14	1507.62	15	44.31	B

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Distancia E

Tratamiento	Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
HYXGG	Distancia E	45	0.86	0.86	2.82

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	83.82	2	41.91	133.19	<0.0001
Día	83.82	2	41.91	133.19	<0.0001
Error	13.22	42	0.31		
Total	97.04	44			

Test:Fisher LSD Alpha:=0.05 LSD:=0.41337

Error: 0.3147 df: 42

Día	Means	n	S.E.	
7	18.41	15	0.14	A
1	19.63	15	0.14	B
14	21.72	15	0.14	C

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0.05$)

Apéndice E. Fotos de tortillas por sustitución de harina.



E1. Tortilla realizada con harina de trigo (Control)



E2. Tortilla realizada con harina de trigo (80%), harina de yuca (20%), goma Xantán y Glicerol.



E3. Tortilla realizada con harina de trigo (80%), harina de yuca (20%), goma Xantán, Glicerol y gluten.

Apéndice F. Ejemplos de Mohos en Tortillas.



F1. Hongos en Tortilla realizada con harina de trigo (Control)



F2. Hongos en Tortilla realizada con harina de trigo (80%), harina de yuca (20%)

goma Xantán y Glicerol.



F3. Hongo en Tortilla realizada con harina de trigo (80%), harina de yuca (20%), goma Xantán, Glicerol y gluten.