

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA TEXTURA Y EN LA MORFOLOGÍA DE  
AREPAS TIPO TELA Y REDONDA, CAUSADOS POR EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA PRODUCCIÓN Y EN EL ALMACENAMIENTO REFRIGERADO

JUAN SEBASTIÁN DUQUE MOSQUERA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
MEDELLÍN

2014

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA TEXTURA Y EN LA MORFOLOGÍA DE  
AREPAS TIPO TELA Y REDONDA, CAUSADOS POR EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA PRODUCCIÓN Y EN EL ALMACENAMIENTO REFRIGERADO

JUAN SEBASTIÁN DUQUE MOSQUERA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Directora

LINA MARÍA VÉLEZ ACOSTA

Magister en Desarrollo

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
MEDELLÍN

2014

NOTA DE ACEPTACION

---

---

---

---

---

Firma  
Nombre  
Presidente del jurado

---

Firma  
Nombre  
Presidente del jurado

---

Firma  
Nombre  
Presidente del jurado

Medellín, Abril de 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios la posibilidad de poder concluir con este proceso de formación académica.

A mi familia por su apoyo y su amor incondicional, ellos hicieron posible este sueño, han sido guía y apoyo durante toda mi vida y han sido determinantes para poder dar este importante paso.

A la facultad de Ingeniería Agroindustrial y a la Universidad Pontificia Bolivariana con todos sus docentes y personal que han hecho parte de mi proceso de formación como ingeniero y como persona. En especial al Director de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial Juan Carlos Palacio Piedrahíta, a mi directora de trabajo de grado Lina María Vélez Acosta y a los docentes Andrés Ríos Mesa y Robin Zuluaga que me han ayudado tanto en el desarrollo del presente trabajo. A todos los docentes de la facultad que han puesto a mi disposición su conocimiento, su paciencia y sus consejos.

A la empresa Mucharepa por abrirme sus puertas tan amablemente y facilitarme tanta y tan valiosa ayuda.

A mis compañeros y amigos, especialmente a Ana María Paniagua, Sergio Giraldo y Santiago Salazar con quienes crecí académicamente y como persona

## CONTENIDO

RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
OBJETIVOS .....	13
GENERAL .....	13
ESPECÍFICOS.....	13
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....	14
1.1. AREPA.....	14
1.1.1. Maíz.....	17
1.1.2. Agua.....	20
1.2. ANÁLISIS DE TEXTURA Y MORFOLOGÍA .....	21
1.2.1. Estudio de textura .....	21
1.2.2. Estudios de estructura.....	29
1.3. ESTADO DEL ARTE .....	30
1.3.1. Estudios realizados en masa de maíz-agua y en arepas.....	31
1.3.2. Estudios de textura en alimentos .....	33
1.3.3. Estudios sobre estructura en alimentos.....	33
1.4 PROCESO PRODUCTIVO DE LA AREPA .....	35
2. METODOLOGÍA.....	36
2.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
2.2 MÉTODOS .....	37
2.2.1 Recolección de información .....	37
2.2.2 Identificación y levantamiento del proceso productivo.....	37
2.2.3 Identificación de las pruebas a realizar .....	38
2.2.4 Recolección de muestras.....	39
2.2.5 Aplicación de Análisis de Perfil de Textura.....	40
2.2.6 Aplicación de pruebas de Corte.....	42
2.2.7 Análisis estructural de las muestras de masa y arepa.....	44
2.8. MODELO ESTADÍSTICO.....	46

3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	48
3.1	PROCESO PRODUCTIVO DE LA AREPA .....	48
3.1.1	Anotaciones del proceso.....	52
3.2	ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA) .....	53
3.3	PRUEBA DE CORTE .....	65
3.3.1	Resultados Corte Masa base para arepa .....	66
3.3.2	Resultados corte arepa redonda fresca.....	67
3.3.3	Resultados corte arepa tela fresca.....	69
3.4	ANÁLISIS DE ESTRUCTURA.....	71
3.4.1	Análisis de estructura de masa base para arepa.....	71
3.4.2	Análisis de estructura de arepa redonda fresca .....	73
3.4.3	Análisis de estructura de arepa tela fresca.....	76
4.	CONCLUSIONES .....	80
	BIBLIOGRAFÍA.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados TPA Masa.....	54
Tabla 2. Resultados TPA Arepa Redonda Fresca.....	56
Tabla 3. Resultados TPA Arepa Redonda Fresca Muestra A. ....	59
Tabla 4. Resultados TPA Arepa Redonda Fresca Muestra B. ....	60
Tabla 5. Resultados promedio TPA Muestras de Arepa tipo Tela Fresca. ....	61
Tabla 6. Resultados TPA Arepa Redonda Refrigerada.....	63
Tabla 7. Resultados TPA Arepa Tela Refrigerada. ....	64
Tabla 8. Resultados Corte Masa.....	66
Tabla 9. Resultados Corte Arepa Redonda.....	68
Tabla 10. Resultados Corte Arepa Tela. ....	69

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2. Recreación de la vida cotidiana indígena y la importancia del maíz como su principal sustento.....	15
Ilustración 4. Arepa antioqueña. ....	17
Ilustración 1. Estructura del maíz .....	19
Ilustración 5. Algunas pruebas instrumentales para medir propiedades de textura en alimentos.....	23
Ilustración 6. Esquema de las compresiones realizadas en la prueba TPA .....	27
Ilustración 7. Gráfica generada por un texturómetro al realizar prueba de TPA .....	28
Ilustración 9. Muestra de masa .....	39
Ilustración 10. Muestras de arepa tipo tela .....	40
Ilustración 11. Texturómetro con montaje para TPA .....	41
Ilustración 12. Texturómetro con montaje para prueba de corte .....	43
Ilustración 13. Estereoscopio digital Motic. ....	44
Ilustración 14. Derecha: Muestra transversal de arepa redonda.....	45
Ilustración 15. Cuchilla con la que se realizaron los cortes de las muestras para captura de imágenes en estereoscopio.....	46
Ilustración 8. Proceso productivo de la arepa.....	49
Ilustración 16. Resultados de TPA muestras de masa base para arepa. ....	55
Ilustración 17. Resultados de TPA muestras de arepa redonda fresca .....	58
Ilustración 18. Resultado de TPA muestras de Arepa Tela Fresca No. 1.....	59
Ilustración 19. Resultados de TPA muestras de Arepa Tela Fresca No. 2.....	61
Ilustración 20. Resultados de TPA muestras de arepa redonda refrigerada.....	64
Ilustración 21. Resultados de TPA muestras de arepa tela refrigerada. ....	65
Ilustración 22. Resultados de prueba de Corte muestra de masa base para arepa. ....	67
Ilustración 23. Resultados de prueba de Corte muestra de arepa redonda fresca. ....	68
Ilustración 24. Resultados de prueba de Corte muestra de arepa tela fresca. ....	70
Ilustración 25. Imagen de estereoscopio a 40X.Masa base de arepa. ....	72
Ilustración 26. Imagen de estereoscopio a 40X. Masa base de arepa con tinte.....	72
Ilustración 27. Imagen de estereoscopio, corte transversal de arepa redonda.....	74
Ilustración 28. Imagen de Estereoscopio.Corteza de arepa redonda.....	76
Ilustración 29. Imagen de estereoscopio, corte transversal de arepa tela.....	77
Ilustración 30. Imagen de Estereoscopio.Corteza de arepa tela.....	79

## RESUMEN

Este proyecto tuvo como finalidad evaluar los cambios de textura y estructura asociados al tratamiento térmico y al almacenamiento en refrigeración de la arepa de maíz en dos espesores, presentaciones tela y redonda. Se consultaron fuentes primarias, empresas del área metropolitana de la ciudad de Medellín, para conocer las generalidades del proceso, se tomaron muestras de masa y de arepas de la empresa Mucharepa y se analizaron sus propiedades de textura y estructura en el laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Pontificia Bolivariana. Los test de textura seleccionados fueron perfil de textura (TPA) y corte/cizalla, para la estructura fue se empleó un estereoscopio con un aumento verdadero de 40X. Se realizaron pruebas de textura TPA a muestras de masa, arepa fresca y arepa refrigerada en una nevera común por un período de 10 días. Los resultados del TPA arrojaron un aumento en la dureza del 488%, aumentando el esfuerzo necesario para alcanzar una deformación del 50% desde 5.236g hasta 25.586g en el caso de la arepa tipo tela y de 20.710g para la arepa redonda, de igual manera se midió una disminución casi completa en las propiedades de adhesividad por formación de corteza. Las pruebas de corte presentaron un aumento en la dureza al cizallamiento del 682%. El análisis de las imágenes del estereoscopio permitió determinar la irregularidad de la matriz así como la distribución de espacios de aire y agua al interior de la masa cocida. De igual forma las imágenes capturadas permitieron determinar el espesor de la corteza que se forma en el proceso de horneado que para ambos tipos de arepa varió entre 200 y 500  $\mu\text{m}$ . Se concluyó que el espesor variable de la corteza es producto de un proceso irregular de cocción y de la irregularidad intrínseca de la matriz de masa de maíz. Los tratamientos térmicos influyen sobre la textura de la arepa, retirando humedad y aumentando dureza, disminuyendo adhesividad y alterando las propiedades reológicas.

Palabras clave: arepa, textura, TPA, morfología, dureza, prueba de corte.

## INTRODUCCIÓN

Entre los cambios que se producen al interior de una matriz alimentaria durante los procesos térmicos están: pérdida de humedad, cambio en el tamaño del producto, variación en la temperatura interna de la matriz de masa, desarrollo de la estructura interna y externa, transición en el color, entre otras características determinantes del producto (Yong *et al.*, 2002). Estos cambios son comunes en la mayoría de alimentos procesados, sin embargo algunas industrias, como en el caso de las que procesan alimentos tradicionales, desconocen las implicaciones de estos cambios lo que resulta ser un limitante para el desarrollo de nuevos productos, la mejora de procesos o la incursión en nuevos mercados así como un mejoramiento más técnico en la eficiencia de los procesos y por ende un mayor aprovechamiento de los recursos económicos.

En esta línea, la eficiencia y control de los procesos térmicos resulta de altísima importancia para una industria alimenticia, en el caso de empresas panificadoras, el gasto energético derivado de los tratamientos térmicos puede ascender al 50% del total del consumo energético de una planta (Patón, 2012). Así pues, la optimización de estos procesos supondría un ahorro considerable de recursos y una posible ventaja competitiva. Para el caso de industrias tradicionales, como la de la arepa, no se poseen datos tan precisos sobre el consumo energético pero dada la similitud de las operaciones, se puede extrapolar un comportamiento parecido en el que la energía supone un rubro considerable en los gastos de producción.

La importancia de estudios sobre productos alimenticios, no se limita a un potencial ahorro en el campo energético sino que aporta además conocimiento sobre las características físicas y los estándares del producto en cuestión, criterios fundamentales en la calidad y aceptación del mismo (Brookdale Consulting, 2013).

Así pues en el presente trabajo se estudian los aspectos de textura y estructura de arepas, alimento tradicional de la región antioqueña, en este caso tomando como muestra los productos de la empresa Mucharepa.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Evaluar los cambios en la textura y en la morfología de arepas tipo tela y redonda, causados por el tratamiento térmico en la producción y en el almacenamiento refrigerado.

### **ESPECÍFICOS**

- Identificar las condiciones de proceso de las arepas tipo redonda y tela en una empresa ubicada en la ciudad de Medellín.
- Determinar el efecto del tratamiento térmico sobre la microestructura de dos tipos de arepas.
- Establecer los efectos del tratamiento térmico sobre textura de los dos tipos de arepa.
- Evaluar el efecto del almacenamiento en refrigeración sobre la textura de las arepas.

## 1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se realiza una descripción de las materias primas del producto a estudiar así como del producto mismo, enmarcando sus principales características y se describe la importancia gastronómica y cultural de la arepa además de lo artesanal de su industria. Adicionalmente se presentan estudios que dan cuenta de investigaciones sobre textura y estructura en alimentos que han servido como base y referente para el presente trabajo.

### 1.1. AREPA

La arepa es un alimento tradicionalmente preparado a partir de masa de maíz molido o de harina de maíz precocida, se trata de un plato popular en las gastronomías de Colombia, Venezuela y Panamá (donde se conoce como tortilla o changa). Según Stefano, 2002, los orígenes de la arepa se remontan a la América precolombina donde formaba parte importante de la dieta de los indígenas, el cronista Galeotto Cei en su “Viaje y descripción de las Indias” realizado entre 1539 y 1553 describe la preparación de alimentos tipo arepa o tortilla por parte de los grupos aborígenes del territorio colombo-venezolano:

*“Hacen otra suerte de pan con el maíz a modo de tortillas, de un dedo de grueso, redondas y grandes como un plato a la francesa, o poco más o menos, y las ponen a cocer en una tortera sobre el fuego, untándola con grasa para que no se peguen, volteándolas hasta que estén cocidas por ambos lados y a esta clase llaman areppas y algunos fecteguas.” (Stefano, 2002).*

En la ilustración 2 se aprecia un mural ubicado en el Palacio Nacional de la ciudad de México donde se ve un grupo de indígenas dedicados a la agricultura del maíz y preparando toritillas a partir de éste.



**Ilustración 1.** Recreación de la vida cotidiana indígena y la importancia del maíz como su principal sustento. Detalle, mural de Diego Rivera, 1945, en Palacio Nacional, ciudad de México. (Cervantes, 2006)

Cronistas como Pedro Cieza de León hacen referencia al consumo de arepas en lo que se denominó Provincia de Cartagena, lo que es hoy en día buena parte de la costa caribe colombiana (Cieza, 2005). Desde esas épocas hasta hoy la arepa se ha mantenido como un alimento importante en la gastronomía del territorio nacional, aproximadamente 450 años después de ser reportada por los cronistas españoles se cuentan en el territorio latinoamericano una enorme variedad de arepas, algunas son:

- *Arepa de mote*: elaborada con maíz al que no se le ha retirado el afrecho, en el producto final se puede observar aún esta parte del grano.

- *Arepa santandereana*: Elaborada con masa de maíz amarillo y ceniza, en el momento de la molienda se le adiciona chicharrón lo cual le da un sabor característico.
- *Arepa de chόcolo*: se elabora con mazorcas de maíz que aún están blandas o en proceso de maduración, conocidas como chόcolo, por esta razón la masa inicial tiene un elevado contenido de humedad. Tradicionalmente la masa se vierte en una hoja de plátano y se asa.
- *Arepa boyacense*: se prepara originalmente con maíz molido, el cual retiran de la palta dos o tres meses después de su cosecha para que esté bien seco. Mezclan con sal, mantequilla, clara de huevo o huevo batido, formando un amasijo que dejan secar y luego se prepara a la brasa (Viajar Por Boyacá, 2010).
- *Arepa de huevo*: elaborada con una masa homogénea de harina de maíz, agua y sal. Se hacen delgadas porciones que se fríen una vez, se sacan del aceite, se abren en un costado, se introduce un huevo crudo, y se vuelve a freír. Este tipo de arepa es típica de la región caribe colombiana (McCausland-Gallo, 2008)
- *Arepa antioqueña*: es la más básica de las arepas, se elabora con la masa maíz cocinado (preferiblemente blanco), puede o no tener sal. Esta arepa es la seleccionada para el presente estudio. En la Ilustración 4 se puede observar una arepa antioqueña.



**Ilustración 2.** Arepa antioqueña. (Autor)

Las arepas en la región antioqueña reemplazan al pan de trigo en el desayuno y son también importantes y típicas en el almuerzo o la cena (FAO, 1990).

En la región antioqueña, y en general en la Región Andina, el crecimiento del mercado de este producto ha obligado una tecnificación de los procesos asociados a su producción, sin embargo por la facilidad de su obtención y los bajos costos a éste asociado las arepas en general se han producido de manera tradicional, empírica y con tecnificación incipiente.

### **1.1.1. Maíz**

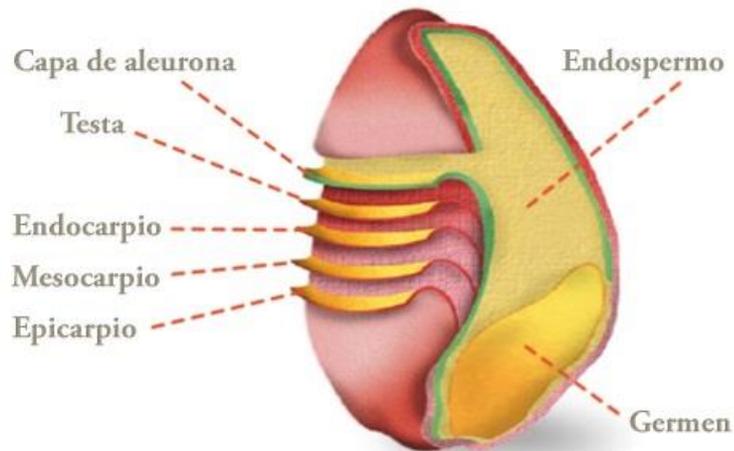
El maíz (*Zea mays*) es un cereal pertenece a la familia de las gramíneas, esta planta anual alta está dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta. Las panojas, que a menudo se presentan de a una por tallo, son las estructuras donde se desarrolla el grano, en un número variable de hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1 000 granos, que pesan entre 190 y 300 g por cada 1

000 granos. El peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El grano constituye aproximadamente el 42 por ciento del peso en seco de la planta. El maíz es a menudo de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él (FAO, 1993).

El maíz es un cereal nativo de América, cuyo centro original de domesticación fue Mesoamérica, en especial las zonas en las que se encuentran actualmente México y Guatemala donde se han encontrado tucas petrificadas de un tipo de maíz extinto cuya antigüedad se calcula en unos siete mil años (Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal CEFAC de la República Dominicana, 1998). El proceso de domesticación del maíz y sus antecesores puede datar alrededor de unos diez mil años donde además de las diversas prácticas de cultivo se dio una expansión del mismo que lo convirtió en la base gastronómica de los pueblos precolombinos en todo América y de paso en una parte fundamental de la cultura de estas civilizaciones lo cual se evidencia con los apartes que hacen referencia al maíz en textos como el Popol Vuh, las prácticas agrícolas de los pueblos andinos y las culturas Valdivia, Mapuche e Inca encontraron en el maíz un sustento para su alimentación, economía y un recurso cultural. Tras la conquista y colonización, los europeos exportaron el cereal a Europa durante los siglos XVI y XVII haciendo extensivo su cultivo por todo el mundo (Asturias, 2004).

En la actualidad gran cantidad del alimento proviene básicamente de siete especies de plantas gramíneas: trigo, avena, sorgo, arroz, cebada, centeno, y el maíz, siendo este último el segundo más importante y cultivado en el mundo. El maíz es el tercero en orden de importancia después del trigo y el arroz y con él se producen diferentes productos (almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios, combustible, entre otros) para la industria alimentaria y

no alimentaria (I.L.S.I. Argentina, 2006). En la Ilustración 1 se presenta la estructura del grano de maíz y se señalan sus principales partes.



**Ilustración 3.** Estructura del maíz (Asociación Española de Fabricantes de Cereales)

Existen diferentes tipos de maíz, los cuales difieren en sus propiedades lo que les ha dado la aptitud para su aprovechamiento. Entre ellos están:

- Duros: el más conocido es el Cristalino Colorado utilizado en la molienda seca. Se utiliza en la fabricación de alimentos para animales y cereales.
- Dentados: Estos tipos de maíces son utilizados por la industria de molienda húmeda para la obtención de almidones, fructuosa y alcohol.
- Reventadores: corresponden a los maíces cuyo endospermo es vítreo, muy duro. En contacto con el calor, su endospermo se expande formando la "palomita" de maíz.
- Harinosos: son utilizados para el consumo inmediato y en la elaboración de comida con base de harina de maíz.

El maíz y los alimentos preparados a partir de éste como la arepa han formado parte de la tradición gastronómica antioqueña desde la época colonial, levantando los cimientos de la sociedad paisa (Escobar ,1941).

### 1.1.2. Agua

El agua es un compuesto esencial para la vida y uno de los principales constituyentes de los alimentos. La molécula de agua está formada por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. Físicamente el agua presenta una alta conductividad térmica comparada con otros líquidos de densidades similares, esto es de gran importancia para los procesos con alimentos. Los trabajos y estudios realizados por la ciencia indican que el agua puede estar presente en los alimentos bajo diferentes formas, de acuerdo con la estructura física y la composición química de los tejidos y productos alimenticios. En los alimentos líquidos las sustancias sólidas y sus moléculas y aun sus iones se encuentran disueltos o suspendidos dentro del agua rodeada de grandes proporciones de moléculas de agua por todas partes, por ello se dice que en tales condiciones el agua constituye lo que se ha llamado la fase continua, fase dispersante o fase disolvente, mientras que las sustancias en ella suspendidas o disueltas constituyen la fase discontinua, fase dispersa o fase disuelta. El agua en alimentos sólidos o semisólidos como la masa puede presentarse libre o ligada en los alimentos, de esto depende en gran medida la estabilidad de los mismos ya que la actividad acuosa (determinante en la forma en que los microorganismos pueden atacar a un alimento) depende del agua libre presente en el producto. El agua induce también la formación de enlaces hidrófobos o hidrofóbicos. Los compuestos orgánicos de los materiales biológicos y de los alimentos poseen radicales apolares que tienden a repeler el agua, por lo que su capacidad para unirse a ella y disolverse en ella es nula o muy baja (Ramírez, 2006).

La influencia del agua en la estructura y textura de los alimentos es bien conocida, así pues, en presencia de proteínas disueltas o almidones gelificados (como es el caso de la arepa), propiedades como la dureza, mascabilidad y recuperación van a crecer exponencialmente ante la disminución de humedad. Asimismo otras

propiedades como la adhesividad, cohesividad y elasticidad tienden a aumentar a medida que se incrementa la cantidad de agua presente el alimento (Shafiur et al., 2005).

En Colombia el maíz es el cereal que ocupa el segundo lugar en extensión sembrada en Colombia. El área sembrada en el país se encuentra dividido en dos tipos de maíz, el amarillo con el 66,8% y el blanco con el 33,2% de área cultivada. Las condiciones de ambos cultivos son iguales de tal forma que la distribución entre maíz amarillo y blanco varía acorde al mercado (Superintendencia de Industria y Comercio, 2011). Cabe resaltar que en 2013 el Ministerio de agricultura resalta el aumento en la producción de este grano que para ese año ascendió a 1'560.000 toneladas del cereal (Ministerio de Agricultura, 2014)

## **1.2. ANÁLISIS DE TEXTURA Y MORFOLOGÍA**

El entendimiento de la relación entre textura y estructura en un alimento es de suma importancia para la industria alimenticia y requiere, en muchos casos, un estudio multidisciplinario de los factores que se correlacionan en estos dos campos (Wikinson *et al.*, 2000). A continuación se presentan generalidades sobre los estudios de textura y estructura en alimentos así como su importancia en el campo alimenticio.

### **1.2.1. Estudio de textura**

Los alimentos son estructuras complejas, y más cuando son producto de mezclas y procesos en los que se involucran cambios fisicoquímicos y biológicos, sus análisis se pueden enfocar desde diferentes disciplinas y aspectos. Cuando se hace relación a las propiedades mecánicas de un alimento principalmente se

refiere a la estructura, el estado físico y la reología de éste. Así pues las propiedades mecánicas se pueden dividir en dos grupos: propiedades estructurales/geométricas y propiedades de fuerza (Kramer, 1973).

Para entender más los atributos de textura se debe hacer referencia al proceso mismo de la alimentación, una vez un alimento es mordido y comienza a ser masticado, se generan estímulos a nivel neuronal y se activa la acción motora. De esta forma se dan funciones coordinadas entre el sistema nervioso, los músculos de la mandíbula y la lengua. Adicionalmente, otras partes como los labios, las mejillas, las glándulas salivares y el paladar interactúan con el estímulo y se preparan para el acto de tragar. La lengua jugando un papel fundamental posiciona el alimento para ser masticado o en el caso de productos muy suaves, cumple con esta función presionándolos contra el paladar. La lengua, con ayuda de la saliva, empuja el bolo alimenticio hacia la parte trasera de la boca para tragar (Kramer, 1973). Las propiedades de textura influyen directamente en todo este proceso, definiendo el número de masticaciones, la facilidad con que la lengua realiza sus movimientos, y dependiendo del tipo de producto, determinando aceptación por parte del consumidor.

La textura compone las propiedades de fuerza de un alimento y puede ser entendida como una expresión de sus propiedades reológicas y junto con el sabor y la apariencia determina la aceptabilidad de un producto por parte de los consumidores. La caracterización de la textura de un alimento se realiza por medios sensoriales o instrumentales, siendo ventajoso el segundo medio en el sentido que permite cuantificar las medidas del primero (Freeman – 2010). En la Ilustración 5 se presentan algunas pruebas de texturas aplicadas a diferentes alimentos.



**Ilustración 4.** Algunas pruebas instrumentales para medir propiedades de textura en alimentos (Freeman, 2010). De izquierda a derecha se presentan pruebas de: Penetración, compresión, corte y tensión.

La elasticidad es el uno de los parámetros más importantes del estado sólido, determina la textura de un alimento y es la respuesta del mismo a una fuerza externa, es decir, si éste recupera su forma y dimensiones originales o no al cesar un esfuerzo mecánico sobre sí (Montero, 2007).

La dureza, dependiente igualmente de la elasticidad de los cuerpos, consistente en la resistencia de los cuerpos a sufrir deformaciones permanentes como rayado, abrasión o penetración. Esta dureza se puede caracterizar mediante pruebas no destructivas o destructivas donde se aplica una carga a un penetrador sobre el material que se quiere caracterizar y se mide el tamaño de la huella hecha por el penetrador en los ensayos no destructivos o se puede cuantificar el esfuerzo necesario para penetrar la superficie del material para el caso de ensayos destructivos. El resultado son curvas características de la dureza de cada material analizado (Christar, 1994).

Además de la dureza y elasticidad, otros ensayos típicos que se aplican a materiales alimentarios cuando se estudia su textura son: flexión, compresión,

punzado y corte por cizalla. Con ellos se genera un perfil de la textura de un producto determinado (Metrotec, 2010).

Dentro de los instrumentos para el análisis de la textura de un alimento se encuentran penetrómetros, máquinas universales y texturómetros. Este último es el instrumento que mide la cantidad de fuerza requerida para deformar un objeto, en este caso una muestra de alimento, las deformaciones pueden ser compresión, corte, penetración, tensión, etc. Funciona desplazando un cabezal, cuya punta se puede variar, hacia la muestra que se busca analizar. La fuerza de tracción o compresión es medida por una celda de prueba que transmite la información al computador y la expresa numéricamente (Stable Microsystems, 2010).

- **Análisis de perfil de textura:**

El análisis de perfil de textura es conocido como TPA por sus siglas en inglés, Texture Profile Analysis.

El momento en el que se perciben las propiedades mecánicas de dureza, fragilidad y viscosidad de un alimento es el paso inicial de la digestión, morder y en las primeras masticaciones. En la masticación, que tarda hasta que el alimento está listo para ser tragado, se perciben las propiedades de gomosidad, masticabilidad y adhesividad, así como también las nombradas en la etapa anterior. Así mismo, las propiedades geométricas, las de sabor y las estructurales también son percibidas en estas etapas (Kramer, 1973).

Las propiedades texturales de un alimento determinadas de forma cuantitativa definen el perfil de textura de una muestra. Según Kramer (1973) estas propiedades se clasifican de la siguiente manera:

### **Propiedades primarias:**

- *Dureza:* es la fuerza requerida para comprimir una sustancia entre los molares o entre la lengua y el paladar hasta una determinada deformación. Sensorialmente se le puede atribuir a un alimento el carácter de suave, firme o duro.
- *Cohesividad:* grado en que puede ser deformado un material hasta su ruptura.
- *Viscosidad:* sensorialmente se define como la fuerza requerida para sorber o aspirar un líquido de una cuchara sobre la lengua. Con este criterio se puede decir que un alimento es ligero, aguado o espeso.
- *Elasticidad:* es la medida de la recuperación que tiene una muestra frente a una fuerza de deformación. Con esta propiedad se puede decir si un alimento es elástico o no.
- *Adhesividad:* es la fuerza requerida para remover un material que se adhiere a la boca (generalmente al paladar) durante su ingestión.

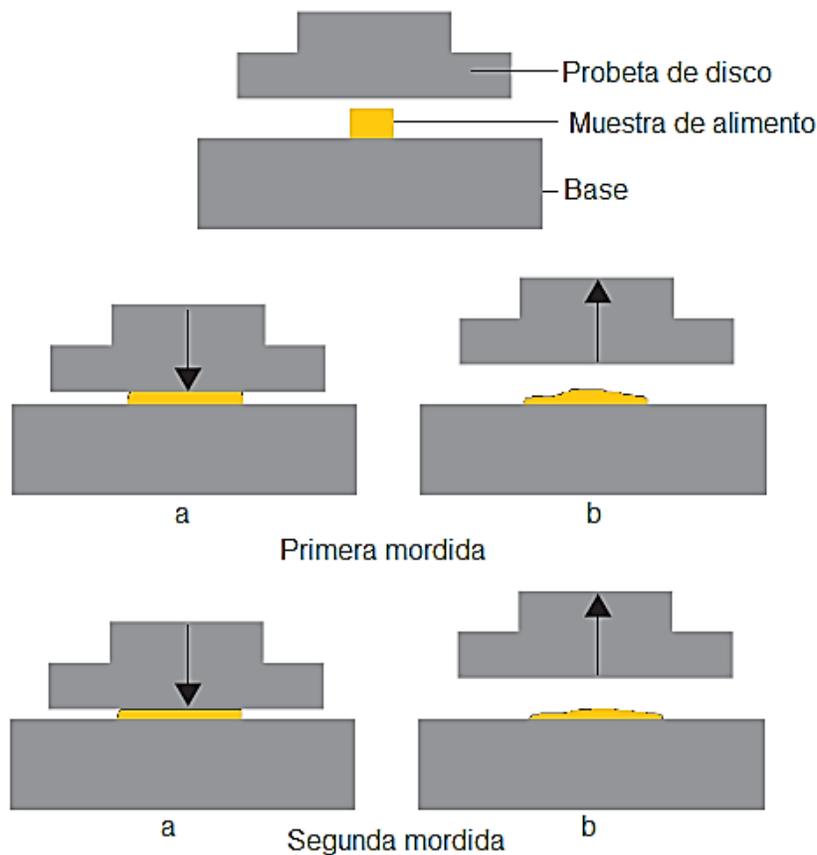
### **Propiedades secundarias:**

- *Fracturabilidad:* la fuerza necesaria para que una muestra se desmorone, agriete o se rompa. Una alta fracturabilidad es el resultado de una dureza alta y de una baja cohesividad. Esta propiedad permite definir el alimento como desmoronadizo, crujiente o frágil.

- *Mascabilidad o masticabilidad* cantidad de tiempo y número de masticaciones requeridas para que un alimento esté listo para ser ingerido. Es el producto de la combinación de dureza, lcohesividad y elasticidad. esta propiedad define un alimento como tierno, fibroso o duro.
- *Gomosidad*: energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de tal manera que su densidad permita que sea ingerido. Esta propiedad es el producto de un bajo grado de dureza y un alto grado de cohesividad. Con este criterio una muestra puede definirse como seca, harinosa, pastosa o gomosa.

Con el fin de evaluar cuantitativamente las propiedades mencionadas, un grupo investigativo de la General Foods Corporation Technical Center desarrolló una prueba que consiste en comprimir dos veces una muestra alimenticia del tamaño de un mordisco, movimiento que imita mecánicamente la acción de la mandíbula. Los resultados de fuerza de compresión y tiempo de la prueba generan una curva con parámetros de textura que presentan correlación con las evaluaciones sensoriales de los mismos parámetros. El instrumento empleado para realizar este tipo de pruebas es un texturómetro (Bourne, 2002).

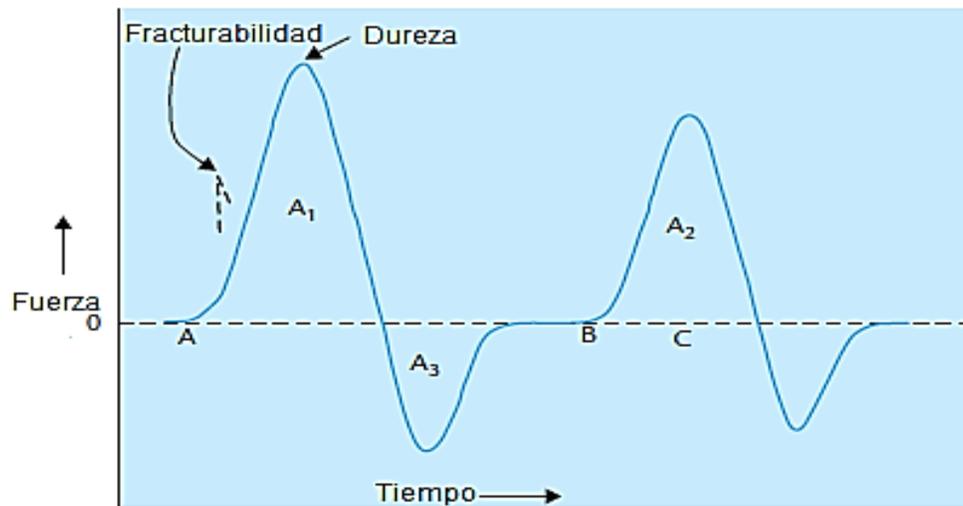
La siguiente Ilustración describe el principio de la prueba.



**Ilustración 5.** Esquema de las compresiones realizadas en la prueba TPA (Bourne, 2002).

Con el fin de imitar la acción mecánica bucal, la prueba suele realizarse con porcentajes de compresión altos (alrededor del 80%). En la siguiente figura se presenta la curva típica que arroja un texturómetro cuando se realiza una prueba de TPA a una muestra, la altura del pico de fuerza en la primera compresión se define como la dureza de la muestra. En la ilustración la letra A es el principio de la primera mordida (primera compresión) y B el principio de la segunda. La fracturabilidad se define como la fuerza en la que se da el quiebre significativo en la curva de la primera mordida, la razón entre las áreas de fuerza positivas de las compresiones se define como cohesividad ( $A1/A2$ ). La fuerza negativa de la primera mordida, que resulta ser la necesaria para separar los platos unidos por la

muestra, se define como adhesividad (A3). La altura que la muestra logra recuperar entre las dos compresiones se define como elasticidad.



**Ilustración 6.** Gráfica generada por un texturómetro al realizar prueba de TPA (Bourne, 2002)

Otros dos parámetros de textura se derivan del cálculo de los anteriores, así pues la gomosidad se define como el producto de la dureza por la cohesividad y la masticabilidad se define como el producto de la gomosidad por la elasticidad. (Bourne, 2002).

- **Análisis de resistencia al corte:**

Durante la masticación, los alimentos se ven sometidos a fuerzas de cizallamiento, entendido como el desplazamiento de unas capas de material sobre otras por acción de una fuerza que actúa tangencialmente a una superficie definida (Bourne, 2002).

La determinación del esfuerzo de cizalla o corte en un alimento se hace mediante el uso de sondas que descienden a medida que se mide el esfuerzo de cizallamiento, la más conocida es la llamada cuchilla Warner – Bratzler, ampliamente conocida para medir la ternura de la carne, aunque también útil en otro tipo de productos. El parámetro que se mide es la fuerza máxima de cizallamiento y refleja una evaluación sensorial de la ternura (Bourne, 2002).

La Warner-Bratzler consiste en una lámina metálica de aproximadamente 1mm de espesor provista de un orificio triangular de aproximadamente 25mm de lado, que actúa como cuchilla. La muestra se coloca atravesada y apoyada en la parte inferior del triángulo invertido y se fuerza su corte haciendo descender las barras a una velocidad determinada (Aguilera y De Dios, 2001).

El objetivo de esta prueba es determinar la ternura del producto final, proporcionando una tendencia del comportamiento de éste frente a la masticación, así como para determinar una aceptabilidad en la cocción final, es decir, si el tratamiento térmico aplicado ha sido suficiente o excesivo (Peñas, 2007).

### **1.2.2. Estudios de estructura**

Las propiedades estructurales/geométricas son aquellas que tratan la relación entre masa, volumen y área como son la densidad, el encogimiento y la porosidad, así como las que se refieren a la morfología, tales como el área superficial, la redondez y la esfericidad.

La porosidad hace referencia al volumen de espacio vacío o con aire contenido en un material o producto, afecta directamente las propiedades térmicas, mecánicas y de textura, de un producto (Ross, 2003). De esta manera la calidad y

aceptabilidad de un alimento estarán determinadas por su textura y su macroestructura, es decir, la distribución y densidad de sus partículas y su porosidad (Al Muhtaseb *et al.*, 2004). El análisis de estas estructuras puede realizarse con instrumentos de microscopía como un estereoscopio o un microscopio electrónico de barrido.

En los últimos años ha crecido sustancialmente el desarrollo de aplicaciones enfocadas a la tecnología de Visión por Computador, cuyo objetivo principal es proporcionar al sistema de las sensaciones realistas del mundo. Uno de los conceptos que caracteriza la Visión por Computador es la sensación tridimensional que se consigue mediante la obtención de imágenes estereoscópicas generadas por dos cámaras, las cuales adquieren dos imágenes distintas de la misma escena, con este fin se utilizan instrumentos como el estereoscopio (Hernández, 2011).

Otro dispositivo empleado para observar y analizar la microestructura de alimentos es el microscopio electrónico de barrido (Scanning Electron Microscope), un dispositivo que utiliza un haz de electrones enfocados para generar una variedad de señales en la superficie de una muestra sólida. Las señales que se derivan de las interacciones electrones-muestra revelan información sobre morfología externa de la muestra como textura, composición, estructura cristalina, y orientación de los materiales que la componen (Stefanaki, 2008).

### **1.3. ESTADO DEL ARTE**

A continuación se presentan los estudios más relevantes encontrados en el campo de los alimentos cuya experimentación o resultados sirven de base para el presente trabajo.

### 1.3.1. Estudios realizados en masa de maíz-agua y en arepas

Existen diversas publicaciones que dan cuenta de la importancia de la arepa a nivel histórico-cultural y de su relevancia en los hábitos de consumo en varias regiones de Colombia y en otros países del mundo. Entre estas publicaciones está el de Rea (2005) que hace relación a la importancia de la arepa en la gastronomía de Venezuela. Existen también otro tipo de estudios que permiten ir más allá del análisis del consumo del alimento original, Martínez (2011) estudió sobre la potencialidad de incorporar pectinas de guayaba a formulaciones de arepas, los posibles beneficios del consumo de una arepa “funcional”. Así mismo, Corpas et al (2012) realizaron estudios microbiológicos en términos de conservación y empaque para arepas donde se evaluaron sustancias que permitieran reducir el recuento de mohos durante el almacenamiento. Sin embargo, sólo uno de los estudios encontrados en la búsqueda bibliográfica, aborda el análisis reológico de la masa de arepa, aunque éste estudio ni tienen en cuenta la influencia de los tratamientos térmicos en las características del alimento, su propósito consistió en entender el cambio en las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la masa de arepa elaborada a partir de cinco variedades de maíz de alta calidad (Marín *et al.*, 2013), en éste se reportó que la pendiente de la curva de compresión de las arepas estudiadas presentaba un comportamiento similar en todos los casos, esto sometiendo las muestras a un proceso de cocción sobre una plancha de asado.

Otras publicaciones dan cuenta de investigaciones sobre productos análogos o con características similares a la arepa, especialmente tortillas de maíz. Se resalta el estudio realizado por Wang *et al.* (2007), quienes investigaron sobre la estructura y textura de tortillas fabricadas diferentes tipos de maíz, contemplando la influencia del tamaño de las partículas de harina en la morfología del producto final. Se encontraron además numerosos estudios donde nuevamente sustancias con propiedades funcionales o subproductos de otras industrias se incorporan en

la formulación de tortillas con el fin de mejorar sus características, ejemplos de esto son los estudios de Aparicio et al (2013) y Vásquez *et al.*, (2013) que estudiaron la incorporación de harinas de banano y amaranto, respectivamente, a la masa de tortillas de maíz.

Un estudio elaborado en Sonora, México publicado en la Revista Biotecnia analiza los cambios de solubilidad de las proteínas de maíz durante el proceso de elaboración de la tortilla a diferentes tiempos de cocimiento, en él se resaltan que las principales proteínas presentes en el maíz, las cuales se solubilizan durante la cocción son las albúminas, globulinas y las prolaminas (Vásquez, 2010). Esta solubilidad es determinante en la formación de la estructura y en las propiedades reológicas de la masa de arepa.

En el caso de la masa de maíz, Rodríguez et al, (2005) sostienen que este material es una red de moléculas de almidón solubilizadas y gránulos de almidón dispersos, en una fase continua de agua libre, que sostiene los gránulos de almidón no gelatinizados, las piezas de endospermo y los lípidos. Esta masa presenta propiedades cohesivas y pocas propiedades elásticas. Señalan, además, que la masa de maíz es un material que alcanza su máxima cohesividad cuando los espacios entre las partículas se llenan de agua.

Las proteínas presentes en el maíz suelen presentar un peso molecular elevado el cual hace que en presencia de agua se presenten soluciones coloidales. Dada la afinidad de las proteínas por el agua suelen formar enlaces fuertes, sin embargo, ante agentes exteriores como el calor, se puede presentar floculación o coagulación (Harper, 2000).

### **1.3.2. Estudios de textura en alimentos**

En términos de textura son muchos los estudios realizados en alimentos. The hardness of food plays an important role in food selection behavior in rats (Sako *et Al.*, 2002) da cuenta de una realidad que se extrapola al plano de los instintos pues hasta los animales tienen en cuenta la textura de un alimento a la hora de elegirlo para su consumo.

La mayoría de los estudios de textura en alimentos utilizan equipos tipo texturómetros para realizar pruebas destructivas y no destructivas a las muestras.. La importancia de un estudio de la textura está, entre otros aspectos, en que permite cuantificar algunas de las características percibidas por los sentidos, que se suceden en el procesamiento oral de los alimentos: primer mordisco, masticar y mascar (son acciones diferentes), el tacto con la lengua, la transformación del alimento en bolo alimenticio, etc. (Chen, 2007). Algunos académicos señalan que el futuro de los estudios de los alimentos es el diseño de las estructuras para aumentar la palatabilidad y seguridad de los productos (Funami *et al.*, 2011).

Para la determinación de la textura utilizando texturómetro se utilizan diferentes funciones del equipo como el compresor de esfera, el penetrómetro y la medición de tracción, entre otros (Park, 2007). Así pues, estas serán pruebas importantes para determinar el perfil de textura del alimento a estudiar.

### **1.3.3. Estudios sobre estructura en alimentos**

Los alimentos sólidos están constituidos por una red de células de aire distribuida dentro de una matriz sólida. El estudio de esta matriz, su comportamiento y modelamiento ha permitido entender los modelos geométricos, sus alteraciones y

cómo afectan las características de los productos en términos de aceptabilidad y propiedades fisicoquímicas (Gueven *et al.*, 2011). Si bien existen diversos estudios en este campo, no se encontró en la bibliografía uno referente a un alimento tipo arepa de maíz.

Estudios como Geometric network simulation of high porosity foods (simulación de la red geométrica de alimentos con alta porosidad) de Gueven (2011), trazan modelos teórico matemáticos de alimentos sólidos que presentan alta porosidad y tienen en cuenta las dimensiones de las células de aire, el número de segmentos capilares por unidad de volumen y su localización, es decir, un modelo completo de la red que forma un producto alimenticio así como el efecto de los tratamientos de proceso como el secado, el horneado y la extrusión.

El método experimental para conocer la distribución de poros de la estructura es la técnica de porosimetría con mercurio, que consiste en aplicar diferentes niveles de presión a una muestra inmersa en mercurio para medir mediante las variaciones en esta presión los poros y entregar información como el tamaño y distribución de los poros, el volumen total de éstos, la densidad del esqueleto de la muestra y su densidad aparente y el área superficial específica de la muestra (Giesche, 2006).

El estudio de la distribución de poros mediante el uso de microscopía electrónica de barrido ha sido empleado por estudios en otras áreas como BIB-SEM Study of the pore space morphology in early mature Posidonia Shale from the Hills area, Germany. Klaver *et al.* (2012) donde se expresa que con este método es posible obtener imágenes que permiten analizar poros de menos de 10nm de diámetro equivalente y realizar una estimación cuantitativa de la porosidad.

Otros estudios sobre la estructura de los alimentos contemplan los cambios de encogimiento que se dan con los tratamientos térmicos como Determination of porosity change from shrinkage curves during drying of food material de Madiouli

*et al.* (2012), en el que se analizan los cambios morfológicos que sufre un alimento durante el proceso de secado. Estudios de este tipo son comunes en carnes donde la aceptabilidad está determinada por los cambios morfológicos y de textura que se dan durante los tratamientos térmicos.

#### **1.4 PROCESO PRODUCTIVO DE LA AREPA**

De entre las más de 20 variedades de arepa que se reportan a lo largo de Latinoamérica, la arepa antioqueña, propia de la región antioqueña es tal vez la de más sencilla preparación al usar, originalmente, como única materia prima el maíz cocido. Esta variedad es también más popular de la región y por ende, a raíz del crecimiento poblacional y la demanda alimenticia derivada del mismo, la producción de este producto pasó de ser artesanal a constituir una serie de pequeñas industrias que se han ido consolidando en el mercado, incorporando lentamente tecnología y demandando conocimiento que permita aumentar productividad y calidad de producto en un mercado creciente.

Las primeras industrias de arepas se originaron en municipios antioqueños como Yolombó y Amalfi, trasladándose luego al Área Metropolitana de Medellín (LeMaiss, 2014).

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. MATERIALES Y MÉTODOS

La masa de las arepas y las arepas fueron suministradas por la empresa Mucharepa, se hará relación a los equipos de la empresa utilizados en la fabricación de las arepas, ya que los materiales de este estudio fueron producidos utilizándolos:

- Tanque de cocción.
- Molinos tradicionales adaptados a motores eléctricos.
- Amasadora de brazo (equipo empleado en panificadoras).
- Laminadora de fabricación nacional (genera una lámina de masa y corta con troqueles de rodillo)
- Horno a gas con flautas y lámparas.
- Malla de enfriamiento.

Otros equipos utilizados para los análisis se encuentran en el Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la UPB, son:

- Nevera Haceb N420L SE.
- Texturómetro TA.XT PLUS y computador acoplado con software Exponent.
- Estereoscopio digital Motic.
- Cámara fotográfica FUJIFILM FINEPIX JX300.
- Bisturí para corte de arepas.
- Portaobjetos para microscopio.
- Tinte violeta de genciana.

Los programas utilizados para el manejo de los equipos y la elaboración del presente trabajo fueron:

- Exponent for XTPlus
- Motic Images Plus
- Helicon Focus
- Microsoft Office 2010 (Word y Excel)
- Mendeley Desktop 1.6

## **2.2 MÉTODOS**

### **2.2.1 Recolección de información**

A través de indagación en fuentes primarias y fuentes secundarias realizó el levantamiento de información que permitió identificar los aspectos relevantes del proceso de producción industrial de arepas tipo tela y redonda teniendo en cuenta las variables presentes en los tratamientos térmicos. Para las fuentes primarias se hicieron entrevistas con personas involucradas en el proceso de obtención de arepas de maíz y otros conocedores del tema. Para las fuentes secundarias se hizo uso de información publicada en las bases de datos y en la bibliografía disponible en el Sistema de Bibliotecas del Valle de Aburrá.

### **2.2.2 Identificación y levantamiento del proceso productivo**

Mediante visitas a la empresa Mucharepa de la ciudad de Medellín se identificaron las diferentes etapas productivas de la misma, teniendo en cuenta los equipos, insumos y variables involucradas en cada una de las operaciones para la producción de arepas tipo tela y arepas tipo redondas. Una vez identificado el

proceso se realizó seguimiento a tres lotes de estas dos variedades, de estos lotes la empresa Mucharepa proporcionó muestras de masa y producto terminado para el presente estudio.

### **2.2.3 Identificación de las pruebas a realizar**

Mediante la revisión bibliográfica y con los recursos disponibles en el laboratorio de Ingeniería Agroindustrial se seleccionaron los tests aplicables a las muestras, de este modo para textura se analizaron diferentes tipos de prueba teniendo en cuenta las probetas disponibles en el texturómetro TA.XT plus, su celda de carga y las posibilidades del software. Igualmente mediante consulta bibliográfica se determinó el tipo de imágenes que se deseaban captar de las muestras para que fuera posible correlacionar el análisis de imagen con los atributos de textura.

Pruebas seleccionadas para textura:

- TPA.
- Corte.

Estas pruebas permiten cuantificar la percepción de textura del consumidor en dos importantes aspectos: La mordida en el caso de la prueba de corte y la masticación en el TPA.

El aumento seleccionado para analizar las muestras en el estereoscopio fue 1X que en el caso del equipo disponible implica un aumento de 32/8X X 1.5X X1. En este aumento es posible observar la distribución y heterogeneidad de las partículas que componen la matriz alimenticia de la arepa, permitiendo que se distingan las capas de las costras.

#### 2.2.4 Recolección de muestras

Las muestras fueron tomadas en la empresa Mucharepa de la ciudad de Medellín, de tres lotes diferentes de cada una de las dos variedades a analizar.

**Muestras de masa:** se tomaron muestras de masa antes del ingreso a la máquina laminadora, esta masa también es comercializada por la Empresa, en la ilustración 9 se puede ver la masa utilizada para el estudio.



**Ilustración 7.** Muestra de masa

Lote de pruebas de textura: 05/02/2014.

Lote de captura de imágenes de estructura: 18/02/2014.

**Muestras de arepa:** la arepa es el producto final del proceso, la masa tras haber sido sometida al tratamiento térmico en el horno de flautas y lámparas (Ver Ilustración 10).

**Muestras en refrigeración:** se refrigeraron muestras de arepa redonda y tela del lote 25/01/2014 tomadas el 25 de enero de 2014 y se aplicaron las pruebas 10 días después. La nevera mantuvo una temperatura de  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ . En total las pruebas se aplicaron a tres muestras de arepa tela y tres de arepa redonda. El empaque

de las arepas fue suministrado por la empresa Mucharepa, consistía en bolsas de polietileno marcadas con el logo de la empresa, empacadas a mano y cerradas con un nudo ciego.



**Ilustración 8.** Muestras de arepa tipo tela

**Muestras de producto fresco:** se analizaron seis muestras de cada variedad (tela y redonda) del lote 05/02/2014. Tres muestras de cada tipo se usaron en las pruebas de TPA y las tres restantes en pruebas de corte.

Lote de captura de imágenes de estructura: 18/02/2014.

**Muestras de arepa tipo tela:** Se tomaron tres muestras de 45 mm por arepa, correspondientes al área centro y los laterales, empleando tres arepas y nueve muestras en total por prueba.

**Muestras de arepa tipo redonda:** Se tomó una muestra por arepa, empleando tres muestras en total por prueba.

### **2.2.5 Aplicación de Análisis de Perfil de Textura**

El análisis de textura se realizó en el laboratorio de Investigaciones Agroindustriales de la Universidad Pontificia Bolivariana utilizando un texturómetro *TA.XT plus* de *Texture Technologies Corp.* Como se presentó en el marco teórico se trata de una prueba en la que se aplicaron dos compresiones a la muestra de arepa con el fin de simular el acto de la masticación del alimento. En la Ilustración 11 se puede observar el equipo y el aditamento acoplado para el análisis.



**Ilustración 9.** Texturómetro con montaje para TPA

Para las pruebas en el texturómetro se realizó un corte de las muestras con un diámetro de 4,5mm. Esto con el fin de controlar el área de la compresión y garantizar homogeneidad en las dimensiones.

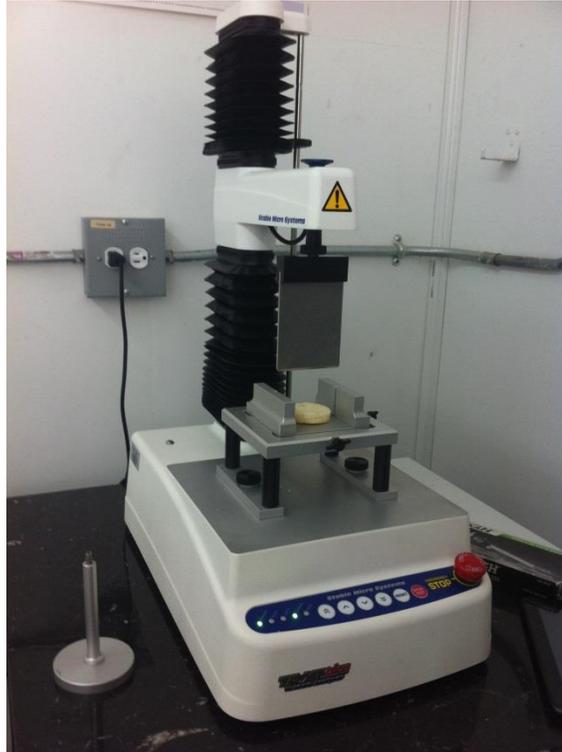
Las condiciones de las pruebas fueron las siguientes:

- Título de la secuencia: TPA
- T.A. Variable No: 1: Compresión

- Velocidad previa a la prueba: 1,00 mm/seg
- Velocidad de la prueba: 1,00 mm/seg
- Velocidad después de la prueba: 5,00 mm/seg
- Modo objetivo: Tensión
- Distancia: 10,0 mm
- Tensión: 50,0 %
- Tipo de activador: Automático (Detector de esfuerzo)
- Fuerza de activación: 5,0 g
- Probeta: P/75 ; 75mm PLATO DE COMPRESIÓN
- Muestras: masa, arepa tela refrigerada (3X3), arepa redonda refrigerada (1X3), arepa tela (3X3), arepa redonda (1X3)
- Puntos por segundo: 200
- Prueba elaborada por: andresf.rios

### **2.2.6 Aplicación de pruebas de Corte**

Para las pruebas de corte se empleó también el texturómetro *TA.XT plus de Texture Technologies Corp.* En la Ilustración 12 se puede observar el equipo y el aditamento acoplado para el análisis.



**Ilustración 10.** Texturómetro con montaje para prueba de corte

Los parámetros de la prueba fueron:

- Título de la secuencia: Retornar al punto de origen.
- Tipo de prueba: Compresión
- Velocidad previa a la prueba: 2,00 mm/seg
- Velocidad de la prueba: 3,00 mm/seg
- Velocidad después de la prueba: 10,00 mm/sec
- T.A. Variable No: 5: 0,0 g
- Modo objetivo: Distancia
- Distancia: 13,0 mm
- Tensión: 10,0 %
- Tipo de activador: Automático (Detector de esfuerzo)
- Fuerza de activación: 20,0 g
- Probeta: HDP/BSK ; set de cuchilla con cuchillo

- Muestras: masa, arepa tela (3X3), arepa redonda (1X3)
- Puntos por segundo: 200
- Prueba elaborada por: andresf.rios

### **2.2.7 Análisis estructural de las muestras de masa y arepa**

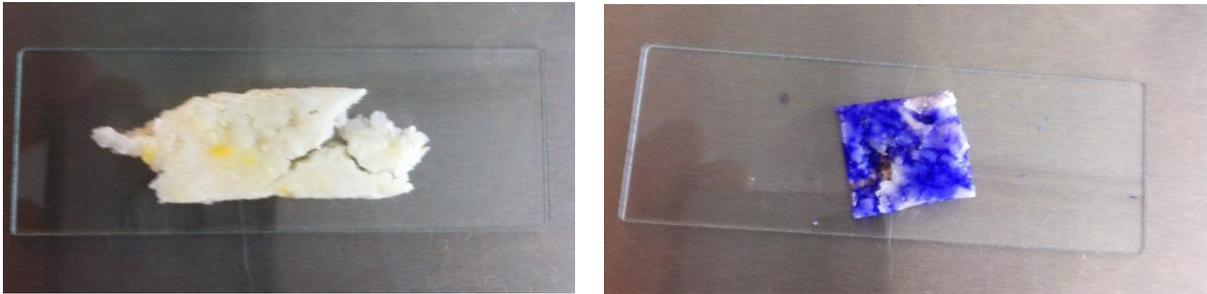
Empleando el Estereoscopio digital Motic, ilustración 13, disponible en el laboratorio de Investigaciones Agroindustriales se analizaron muestras de arepa.



**Ilustración 11.** Estereoscopio digital Motic.

El aumento de los oculares del estereoscopio fue de 32X/8 y el objetivo cuenta con un aumento de 1.5X. Con este aumento verdadero de 6X es posible ver la estructura del producto analizado distinguiendo partículas y la formación de las diferentes capas de la arepa correspondientes a masa cocida y cortezas de espesor variable.

Las muestras se colocaron en portaobjetos y, con el fin de dar mayor contraste se aplicó violeta de genciana a algunas de ellas, se realizó una dilución de la tinta para evitar una coloración excesiva.



**Ilustración 12.** Derecha: Muestra transversal de arepa redonda.

Izquierda: Muestra tinturada de corteza de arepa tela.

La luz en el análisis de las muestras incidía sobre la muestra, por reflexión, durante la captura de imágenes esta resultó ser la mejor forma de observar el producto.

Las muestras fueron cortadas con la cuchilla de un escalpelo, tratando de aprovechar al máximo el filo con el fin de no distorsionar la estructura del producto y poder apreciarla realmente en las imágenes digitales.



**Ilustración 13.** Cuchilla con la que se realizaron los cortes de las muestras para captura de imágenes en estereoscopio.

El espesor final de las muestras variaba de 2 a 4mm, se tomaron muestras de masa, cortando transversalmente. Un corte transversal de arepa tela del que se captaron imágenes de las dos cortezas y el centro, un corte transversal de arepa tipo redonda donde también se tomaron imágenes de cada una de las tres fases, finalmente se capturaron imágenes de la corteza superior de ambos tipos de arepa tanto por el envés como por el revés.

## 2.8. MODELO ESTADÍSTICO

- Promedio ( $\bar{x}$ ):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

n: número de muestras en la prueba.

a<sub>i</sub>: valor medido.

- Desviación estándar: Es la raíz de la varianza ( $s^2$ )

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Se utiliza un porcentaje de variación en las tablas para mostrar más claramente la diferencia entre las medidas, este se consigue de la siguiente forma:

$$\text{Desviación estándar (porcentaje presentado en las tablas)} = \frac{\sqrt{S^2}}{\bar{x}}$$

Se realizó la respectiva comparación de las curvas de parámetros de textura para las muestras de masa, arepa sometida a tratamiento térmico antes y después del

almacenamiento bajo condiciones de refrigeración. En las pruebas estructurales se analizaron del tamaño de poro, la distribución de partículas y el tipo de corte de las imágenes captadas por el estereoscopio. Se elaboró el presente documento que da cuenta de los hallazgos del estudio.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 PROCESO PRODUCTIVO DE LA AREPA

Con el fin de establecer un proceso productivo de elaboración de arepas, se tomó la Empresa “Mucharepa” como modelo. La empresa está ubicada en el barrio Belén de la ciudad de Medellín, procesa alrededor de 400kg de maíz al día en temporada regular, sin embargo su capacidad se puede ampliar a casi el doble en la temporada de mayor producción, el mes de diciembre. Su mercado objetivo está constituido en su mayoría por clientes institucionales, por este motivo la marca no es aún reconocida aún en el mercado de grandes superficies.

El proceso productivo de la empresa se muestra en la ilustración 8.



**Ilustración 14.** Proceso productivo de la arepa. (\*Este proceso no es realizado en todas las industrias)

- a) **Recepción y almacenamiento de materia prima.** La materia prima es el maíz, éste es de origen nacional y se solicita a los productores con una humedad preferiblemente entre 13 y 14%. Uno de los más comunes y el utilizado en el momento de la visita es el maíz blanco Semilla Nácar de origen tolimense. Para algunos lotes de arepa amarilla se suele utilizar maíz amarillo también de origen nacional. Una vez el maíz llega a la empresa se almacena en una bodega tratando de mantener una rotación constante para evitar acumulaciones de humedad, en estibas, con trampas para roedores y se toman medidas para el personal que entra en contacto con él.
  
- b) **Lavado (remojado)\*.** El maíz se vierte en recipientes de acero inoxidable y luego se le adiciona de agua. Se deja reposar y se remueven partículas flotantes, generalmente son granos dañados y suciedad. La finalidad de este proceso es aumentar la humedad del maíz para gastar menor cantidad de calor en la cocción. (\*Este proceso no se realiza en todas las empresas).
  
- c) **Cocción.** Consiste en aplicar calor a la mezcla agua-maíz. Se realiza en horas de la tarde y generalmente tarda alrededor de 3 horas y media. El punto de cocción se determina mediante el “olor a maíz cocinado” y su apariencia, no se realizan más pruebas. A mayor porcentaje de humedad menor tiempo de cocción es requerido, por esta razón en algunas industrias el maíz se deja remojando durante un día, para que absorba mayor humedad y se reduzca el tiempo de cocción y por ende el consumo de gas.

- d) **Enfriamiento.** Se deja el maíz cocido reposar durante una hora. Pasado este tiempo se deja fluir agua fría en contracorriente, retirando así los excesos de almidón (que generan adhesividad excesiva en la masa la cual puede ser un problema en el proceso de troquelado) y la suciedad consistente en partículas flotantes. En la mayoría de las industrias, como en el caso de Mucharepa, esta agua en contracorriente es desechada con todos sus componentes, ésta está constituida además de la suciedad por el claro de maíz, el cual podría ser aprovechado como subproducto de esta industria.
- e) **Lavado.** Se realiza un enjuague por porciones, se eliminan los flotantes que generalmente son granos malos o suciedad.
- f) **Molienda.** Una vez el maíz cocinado está frío y se ha retirado el exceso de agua del mismo, se procede a llevarlo a una tolva que alimenta los molinos. Para la mayoría de empresas areperas, estos molinos son caseros conectados a motores eléctricos. En la empresa Mucharepa se utilizaban tres de estos molinos para la producción. La distancia entre platos y las revoluciones de los motores se calibran a “ensayo y error”, conociendo cualitativamente las características deseadas de la masa.
- g) **Amasado.** Es uno de los puntos críticos y determinantes de la textura en el proceso de la masa. Confiere cohesión entre la masa, viscosidad y elasticidad. En la empresa Mucharepa se utiliza una amasadora de panificadora con capacidad de 30 kilos, las de brazo de doble movimiento dan mayor resultado para este tipo de productos. Este proceso puede tardar entre 3 y 4 minutos.

- h) **Troquelado.** Una máquina es alimentada con la masa de maíz cocido, ésta mediante el uso de rodillos graduables genera una lámina del espesor deseado según el tipo de arepa a producir (proceso que se hace de manera cualitativa pues no hay forma de graduar numéricamente el espesor). La lámina de masa es recortada con un rodillo-troquel intercambiable que tiene predeterminada la forma de cada tipo de arepa. La masa que no queda cortada es recuperada y vuelve a incorporarse al flujo de entrada para ser laminada y recortada posteriormente.
- i) **Horneado.** El horno de la empresa Mucharepa consiste en una malla transportadora que hace pasar la masa recortada por un sistema de flautas a gas, primero debajo de la malla y luego por encima, al final hay lámparas de calentamiento que también funcionan con gas. El horno permite regular la cantidad de calor y la velocidad del recorrido pero todo esto sin escalas ni graduación, es decir, no se conocen las variables específicas en ninguna escala. El tiempo y temperatura se ajustan empíricamente para el tipo de arepa que esté siendo sometida a tratamiento térmico. Arepas más gruesas necesitan mayor tiempo en el horno. El control que se realiza es visual a la salida del horno y un muestreo aleatorio para garantizar que el centro térmico del producto esté a 70°C. Esta medición se realiza con un termómetro digital.
- La merma durante el horneado depende de la forma de la arepa. Arepas tela ingresan al horneado con un peso aproximado de 97g y salen con uno de alrededor 70g. Arepas redondas entran aproximadamente con 28g y salen con 20g.

- j) **Enfriamiento de arepa.** Una vez las arepas salen del horno pasan a otra maya transportadora que realiza un recorrido descendente y zigzagueante en una zona a temperatura ambiente. Durante este proceso sigue habiendo una pérdida de peso por pérdida de agua del tratamiento térmico inmediatamente anterior. Así pues la maya transportadora recibe las arepas del horno y las entrega en la sección de empaque.
  
- k) **Empacado.** El empacado se realiza de manera manual en bolsas plásticas, el personal cumple con las medidas sanitarias necesarias.
  
- l) **Almacenamiento-despacho.** La empresa Mucharepa comercializa producto fresco, por esta razón no hay una zona de almacenamiento de producto terminado ya que este idealmente sale a distribuirse una vez es empacado. No hay enfriamiento de producto para su conservación. Otras empresas deben realizar un almacenamiento y logística de distribución refrigerada.

### **3.1.1 Anotaciones del proceso**

En la empresa Mucharepa hay un grado de tecnificación medio-alto en comparación con las demás empresas de arepas de la ciudad, esta tecnificación ha sido resultado de las adaptaciones de industrias análogas como la panificadora donde los procesos y maquinaria se logran modificar para trabajar la masa del maíz. Adicionalmente se hace uso de maquinaria construida en talleres de la ciudad, sin patrones de calidad que permitan estandarizar y medir las variables del proceso.

La empresa Mucharepa utiliza para sus formulaciones únicamente maíz y agua, sin embargo otras empresas utilizan conservantes, sal y otros insumos, aspecto que se debe considerar en el análisis.

### **3.2 ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA)**

A continuación se presentan los resultados para el análisis de perfil de textura de las diferentes muestras analizadas, correspondientes a masa base para arepa, arepa redonda fresca y refrigerada y arepa tela fresca y refrigerada. Las ilustraciones ilustran la gráfica generada por el software Exponent empleado para las pruebas y las tablas presentan los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad, mascabilidad y recuperación. Las propiedades que no tienen unidades son adimensionales por tratarse de relaciones entre áreas de las ilustraciones presentadas.

#### **3.2.1 Resultados TPA masa base para arepa**

Los resultados de la Tabla 1 corresponden al TPA de las muestras de masa fresca, el software del equipo entrega el informe completo de cada grupo muestral. En este caso se analizaron tres muestras de masa (MASA1, MASA2 y MASA3), recortadas con un diámetro de 45mm tras haber formado con la masa una lámina de aproximadamente 12mm de espesor.

**Tabla 1. Resultados TPA Masa.**

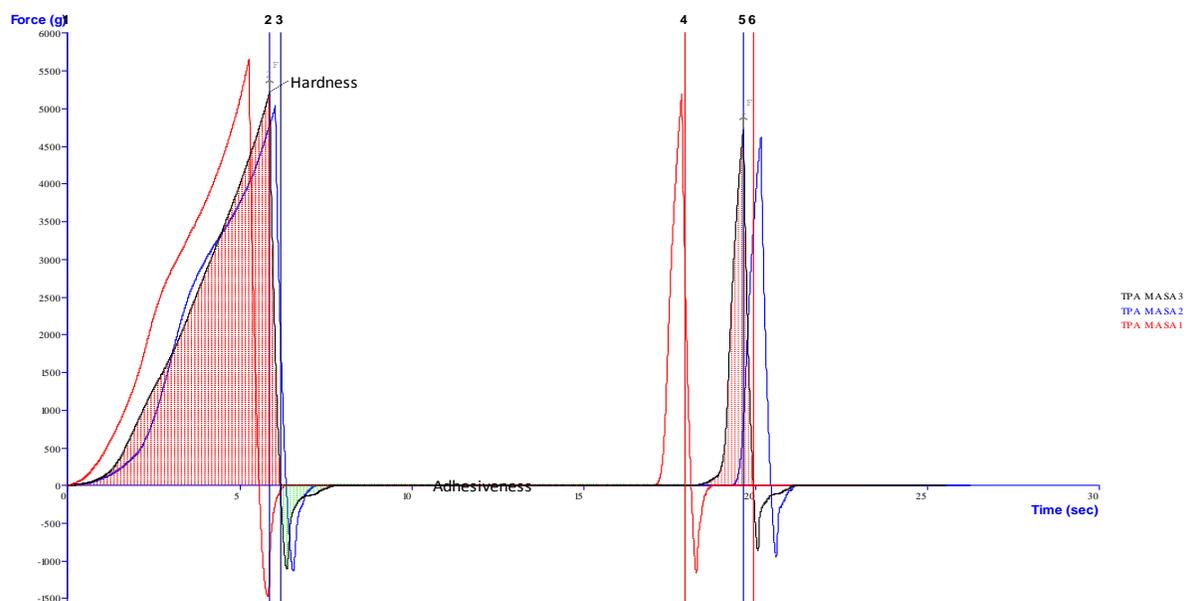
Muestra	Dureza (g)	Adhesividad (g.sec)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Recuperación
MASA1	4841,99	-882,9	0,221	0,189	914,13	201,929	0,053
MASA2	5239,014	-1040,981	0,392	0,185	967,208	379,443	0,051
MASA3	5629,122	-911,807	0,299	0,181	1020,309	305,283	0,055
Promedio	<b>5236,709</b>	<b>-945,229</b>	<b>0,304</b>	<b>0,185</b>	<b>967,216</b>	<b>295,552</b>	<b>0,053</b>
Desviación estándar	8%	-9%	28%	2%	5%	30%	4%

En la masa la dureza no es elevada, es decir que la fuerza necesaria para deformar la muestra apenas implica un esfuerzo si se consumiera en este estado. Se presenta adhesividad, es decir que la muestra se adhiere a las partes responsables de la deformación y es necesario realizar un esfuerzo para separarla. En términos de elasticidad y recuperación, la muestra de masa tiende a conservar la deformación a la que fue sometida, recuperando muy poco de su altura o forma, parte de esta recuperación es derivada de la adhesividad. Dada la baja dureza del producto y la cohesividad de 0,185, puede decirse que se trata de un producto pastoso. La masticabilidad, con un valor de 295,52 también resulta ser bastante baja respecto a los demás datos encontrados en el estudio (que tienen valores hasta de 27127,884 para el caso de la arepa tela refrigerada), es esta propiedad también la que presenta la mayor variación con un 30%, esto se debe a que es una de las propiedades más variables entre muestras cuando se trata de productos con distribución irregular de partículas, es también baja respecto a otros alimentos coagulados como el tofu que presenta una adhesividad aproximada de 560 (Instron, 2004).

Para obtener la masa, el maíz es sometido a cocción, cuando hay presencia de agua y calor el almidón tiende a absorber el líquido e hincharse el grano, fenómeno conocido como gelatinización, el cual hace que el líquido presente se

espece. La gelatinización ocurre a diferentes temperaturas según el tipo de almidón, en el caso de los derivados de cereales, tiene lugar a temperaturas más elevadas que en almidones de tubérculos (Wiley and Sons, 2006).

En la ilustración 16 se aprecian las gráficas del análisis de perfil de textura generadas por el software Exponent.



**Ilustración 15.** Resultados de TPA muestras de masa base para arepa.

La ilustración anterior, deja ver en el ascenso al primer pico (entre los segundos 2 y 4) un par de curvas que hacen que el esfuerzo de compresión no se de en línea recta. Esta curva responde a pequeñas fracturas o fisuras en la masa que se dan por el efecto deformador de la probeta cilíndrica, además no se presentan necesariamente en la zona central sino que responden más bien a fallas en la cohesión de la masa derivada la heterogeneidad de su composición.

Tras las compresiones, el área negativa en la gráfica es muestra de la adhesividad, que llega a un esfuerzo de hasta -1400g. de igual forma la diferencia

en el tiempo de las compresiones (segunda curva más angosta que la primera) se entiende como un mantenimiento de la deformación en el tiempo.

### 3.2.2 Resultados TPA arepa redonda fresca

La tabla 2 presenta los resultados del test de TPA de tres muestras de arepa redonda diferentes, la altura de las muestras presenta una variación de  $\pm 1$  mm.

**Tabla 2.** Resultados TPA arepa redonda fresca.

Dureza	Dureza (g)	Adhesividad (g.seg)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Recuperación
REDONDA1	20431,61 0	-1,267	0,534	0,337	6891,464	3682,233	0,190
REDONDA2	19955,96 5	-90,089	0,492	0,416	8295,392	4081,12	0,244
REDONDA3	21744,95 6	-11,195	0,548	0,417	9070,658	4966,357	0,244
Promedio	20710,84 4	-34,184	0,525	0,39	8085,838	4243,237	0,226
Desviación estándar	4%	-142%	6%	12%	14%	15%	14%

Los cambios físicos y de textura comparando con respecto a las muestras de masa son evidentes, hay un aumento en la dureza de casi cuatro veces (5236g en masa a 20710g redonda), esto como resultado de la coagulación de las proteínas y el almidón derivada del tratamiento térmico. Uno de los responsables del endurecimiento del producto es el proceso de gelatinización del almidón que quedó disponible tras el proceso de molienda. Así pues el rompimiento de la estructura de los granos hace que parte del almidón entre en contacto con agua que, sumada al calor de la cocción en el horno, completan la gelatinización que da mayor integridad estructural a la arepa.

Adicionalmente la formación de la corteza dura de la arepa también juega un papel determinante en el endurecimiento, especialmente superficial, de la estructura de la misma.

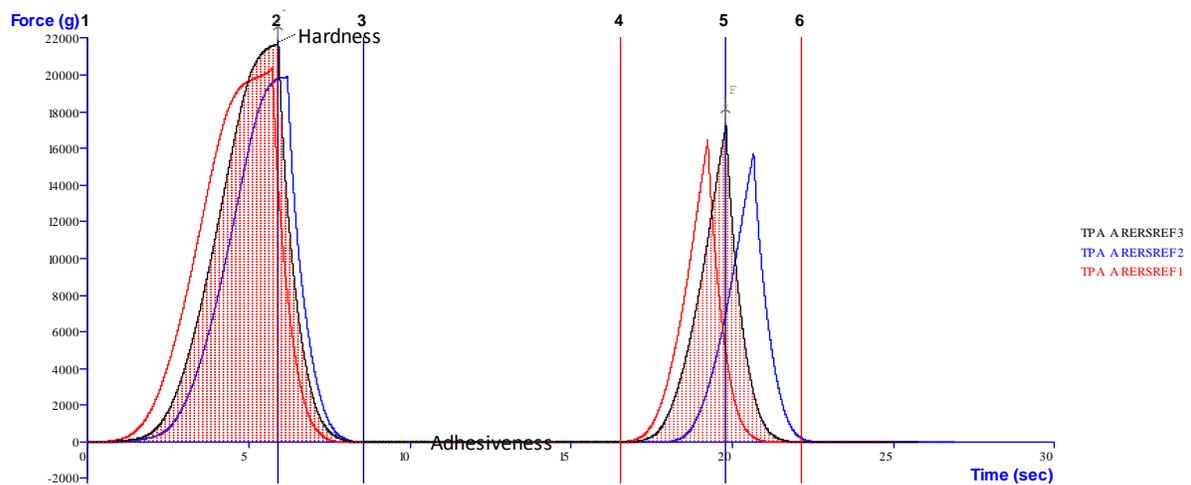
En el caso de la adhesividad hay una enorme variación en las muestras, esta gran diferencia entre los valores se explica con la fractura de la corteza de la muestra 2 que hace que un poco de masa migre a la superficie superior, entre en contacto con el plato y exija un esfuerzo 80g.seg por encima de las otras muestras de arepa redonda para levantar la probeta. A pesar de esto hay una considerable disminución en la adhesividad respecto a la masa, la adhesividad de la arepa redonda es sólo el 3% de lo que se midió en la masa. Esta disminución hace que este criterio pase a ser casi despreciable en las muestras 1 y 3. La reducción responde al hecho de que la corteza de la arepa presenta una muy baja adhesividad a la superficie de los platos que realizan la compresión.

En el caso de la elasticidad y recuperación hay un aumento de 0,304 en masa a 0,525 en arepa redonda. Esta variación responde a factores como la gelatinización del almidón que forma una estructura más resistente a la deformación, asimismo la integridad (Rodríguez, 2005) y resistencia a la deformación de la corteza juegan un papel importante en la recuperación de la forma ya que son partes de la arepa que no pierden altura considerable con la fuerza de compresión.

La cohesividad de las muestras de arepa redonda también aumenta respecto a la masa, pasando de 0,185 a 0,39 es decir que es necesario realizar un mayor esfuerzo para romper esta muestra. El aumento en la dureza de casi el 200% y la elasticidad de esta muestra es determinante para el aumento en la cohesividad, numéricamente dureza y cohesividad son directamente proporcionales, así pues la fuerza necesaria para comprimir este grupo muestral aumenta (dureza) y también lo hace en igual proporción la fuerza necesaria para romper las muestras (cohesividad).

Entre tanto, la gomosidad y masticabilidad presentan a su vez aumentos del 836% y del 1438% respecto a la masa, es decir que el esfuerzo requerido para desintegrar el alimento y la cantidad de mordidas necesarias para reducirlo e ingerirlo es mucho mayor, esto es de esperar gracias al aumento de la dureza y demás parámetros de integridad estructural.

En la Ilustración 17 se puede apreciar el comportamiento de las muestras de arepa redonda fresca al serles aplicado el análisis de perfil de textura.



**Ilustración 16.** Resultados de TPA muestras de arepa redonda fresca

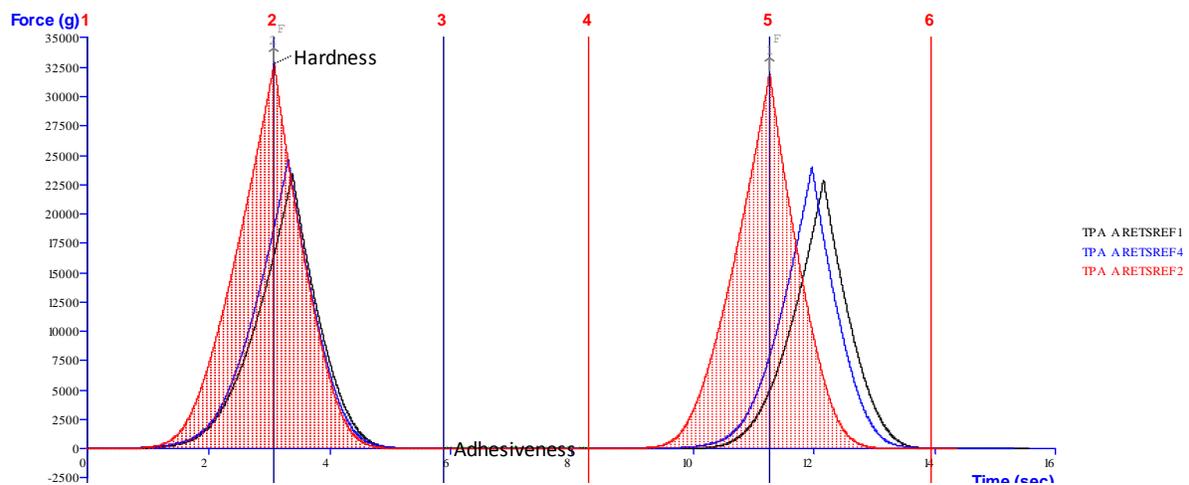
En la ilustración 17 se puede apreciar una curva antes de llegar al esfuerzo máximo que indica la dureza, esta curva indica que se presenta una fractura dentro de la masa, haciendo que se requiera una disminución en el esfuerzo a la hora de realizar la deformación. La curva mencionada se hizo presente en las tres muestras cambiando la tendencia exponencial de la curva. En tanto, en la segunda compresión los picos no presentan la curva de fractura porque ésta ya se dio, por ello el esfuerzo para volver al mismo porcentaje de compresión es mucho menor.

### 3.2.3 Resultados TPA arepa tela fresca

Se presentan los resultados las pruebas aplicadas a arepas tipo tela frescas, pertenecientes a dos arepas diferentes, muestras tomadas del centro y los laterales de cada arepa. La Tabla 3 presenta los resultados del TPA de la primera arepa, designada Arepa Tela Fresca No. 1.

**Tabla 3.** Resultados TPA Arepa Tela Fresca No. 1.

Muestra	Dureza (g)	Adhesividad (g.sec)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Mascabilidad	Recuperación
TELA1	23440,033	-0,792	0,875	0,908	21286,503	18617,841	0,784
TELA2	32722,378	-0,387	0,964	0,929	30393,707	29311,731	0,814
TELA3	24683,366	-0,143	0,917	0,915	22590,572	20722,179	0,8
Promedio	26948,593	-0,44	0,919	0,917	24756,927	22883,917	0,799
Desviación estándar	19%	-75%	5%	1%	20%	25%	2%



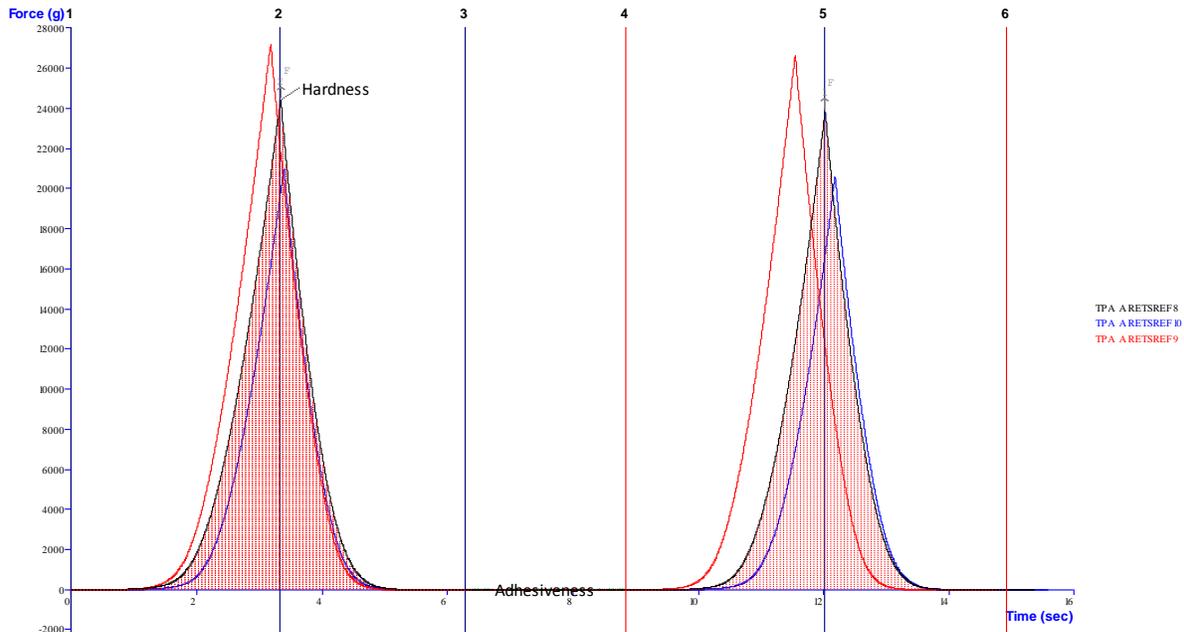
**Ilustración 17.** Resultado de TPA muestras de Arepa Tela Fresca No. 1.

La Tabla 4 presenta los resultados del Análisis de Perfil de Textura para una segunda arepa, las muestras empleadas provienen del centro y los laterales de una misma arepa, designada Arepa Tela Fresca No. 2.

**Tabla 4.** Resultados TPA Arepa Redonda Fresca No. 2.

Muestra	Dureza (g)	Adhesividad (g.sec)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Mascabilidad	Recuperación
TELA8	24449,732	-0,303	0,946	0,917	22426,568	21219,758	0,782
TELA9	27221,832	-0,334	0,978	0,933	25388,491	24830,502	0,833
TELA10	21002,092		1,551	0,938	19709,327	30565,422	0,805
Promedio	24224,552	-0,318	1,158	0,929	22508,129	25538,56	0,807
Desviación estándar	13%	-7%	29%	1%	13%	18%	3%

La ilustración 19 muestra el comportamiento de las dos compresiones realizadas a las muestras de arepa tela fresca No. 2. El comportamiento de las tres muestras es bastante similar, lo cual se refleja en la desviación del 13%.



**Ilustración 18.** Resultados de TPA muestras de Arepa Tela Fresca No. 2.

Consolidando los datos de ambas arepas tela frescas se obtienen los de la Tabla 5, donde se presentan los valores de cada parámetro y su respectiva desviación estándar.

**Tabla 5.** Resultados promedio TPA Muestras de Arepa tipo Tela Fresca.

	<b>Dureza (g)</b>	<b>Adhesividad (g.sec)</b>	<b>Elasticidad</b>	<b>Cohesividad</b>	<b>Gomosidad</b>	<b>Mascabilidad</b>	<b>Recuperación</b>
<b>Valor</b>	25586,57 25	-0,379	1,0385	0,923	23632,528	24211,2385	0,803
<b>Desviación</b>	10%	-14%	25%	1%	9%	14%	2%

Hay un aumento en la dureza de casi 4000 gramos (25%) frente a las muestras de arepa tipo redonda, esto se puede explicarse tanto por la diferencia de espesores entre las muestras de arepa redonda y arepa tela, las arepas redondas tienen un espesor aproximado de 11mm mientras que las arepas tela tienen uno de 6mm, lo cual hace que el calor llegue en mayor cantidad al interior, realizando una mayor

gelatinización del almidón, eliminando agua y endureciendo los enlaces de las proteínas del maíz (Hernández, 2005) . Otra razón que explica este endurecimiento es la relación corteza-masa de la arepa, relación que se abordará mejor en la parte de análisis estructural de este trabajo.

En la tabla anterior puede verse que la adhesividad presenta una reducción tanto respecto a la masa como respecto a la arepa tipo redonda, esta reducción de más del 95% responde también a la relación masa-corteza de este tipo de arepa. Los demás parámetros presentan aumentos respecto a la arepa tipo redonda de hasta el 51%, en el caso de la elasticidad, esto derivado del aumento en la dureza y del hecho de que la corteza represente una mayor porción en esta muestra.

En la ilustración 18 se aprecia una menor uniformidad que en la ilustración 19, esto se debe al fenómeno de encogimiento que hace que algunas arepas sean cóncavas en algunos sectores y es otro indicador de la heterogeneidad intrínseca de este producto.

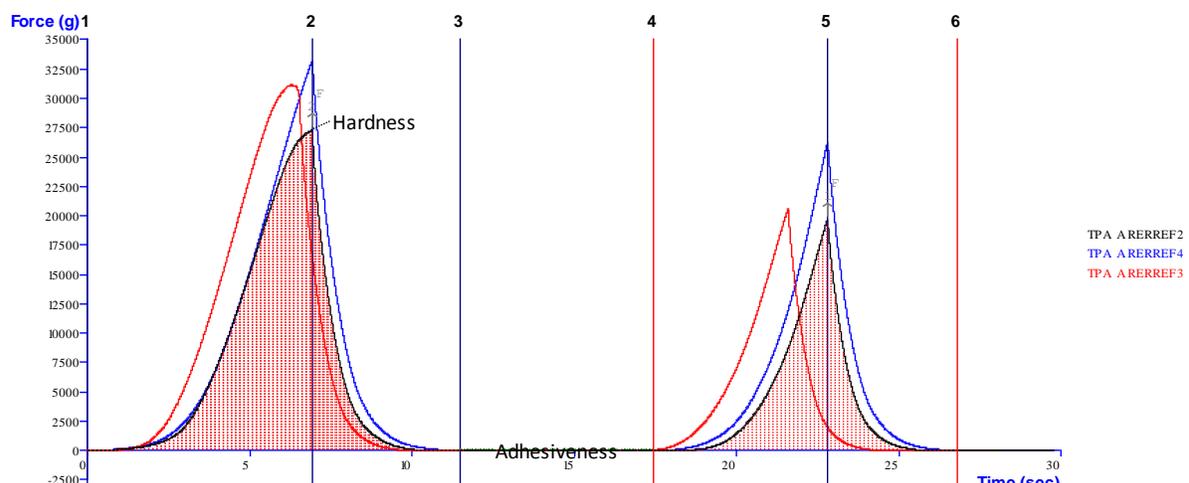
#### **3.2.4 Resultados TPA arepa redonda almacenada en refrigeración**

La tabla 6 y la Ilustración 20 dan cuenta de los resultados de las pruebas de TPA a las muestras de arepa redonda sometida a 10 días de refrigeración. El aumento en la dureza es evidente, esta muestra presenta el mayor pico de fuerza en la primera compresión con un promedio de 30548g, en esto se puede atribuir al enfriamiento de la masa, pérdida y enfriamiento de agua. De hecho la adhesividad respecto al mismo tipo de arepa fresca es considerablemente menor lo cual hace pensar que la masa en el interior de la arepa refrigerada, aparentemente es un producto más rígido que la arepa fresca.

**Tabla 6.** Resultados TPA Arepa Redonda Refrigerada.

Muestra	Dureza (g)	Adhesividad (g.sec)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Mascabilidad	Recuperación
REDONDA2	27290,539	-1,802	0,769	0,465	12694,002	9767,431	0,295
REDONDA3	31157,644	-1,272	0,807	0,411	12791,871	10325,496	0,261
REDONDA4	33197,793	-0,88	0,813	0,59	19573,248	15906,789	0,401
Promedio	30548,6587	-1,318	0,79633333	0,48866667	15019,707	11999,9053	0,319
Desviación estándar	10%	-35%	3%	19%	26%	28%	23%

Los aumentos en la gomosidad y mascabilidad están asociados al aumento del 37% en la dureza respecto a la muestra fresca. La dureza de la masa, atribuida a la gelatinización del almidón da mayor capacidad de recuperación, esto se debe a que, en el gel los líquidos han alcanzado una viscosidad suficiente como para presentar un comportamiento coloidal en cuya configuración de partículas se tiende a conservar la estructura tras deformaciones moderadas (Britannica, 2014). Las condiciones de almacenamiento son determinantes en la corteza, al menos en productos análogos. Así pues la humedad y temperatura juegan un papel fundamental en la formación de las capas exteriores de un alimento cocido. (Tejero, 2006). La fractura en las muestras 2 y 3 es evidente en las curvas de la primera compresión (Ilustración 20) y se explica por la pérdida de agua en la corteza que afecta enormemente la cohesividad de las partículas de la misma.



### Ilustración 19. Resultados de TPA muestras de arepa redonda refrigerada.

La marcada disminución en el esfuerzo necesario para alcanzar la deformación del 50% en las muestras 2 y 3 es producto de la fractura.

#### 3.2.5 Resultados TPA arepa tela almacenada en refrigeración

A continuación se presentan los resultados de TPA del grupo muestral de arepa tela refrigerada, la tabla 7 contiene los valores correspondientes que en general no presentan variaciones considerables respecto a la arepa fresca, es decir, el mayor cambio es un aumento en la dureza de un poco más del 16%, este aumento se explica por el endurecimiento de la masa y la pérdida de humedad asociada al almacenamiento.

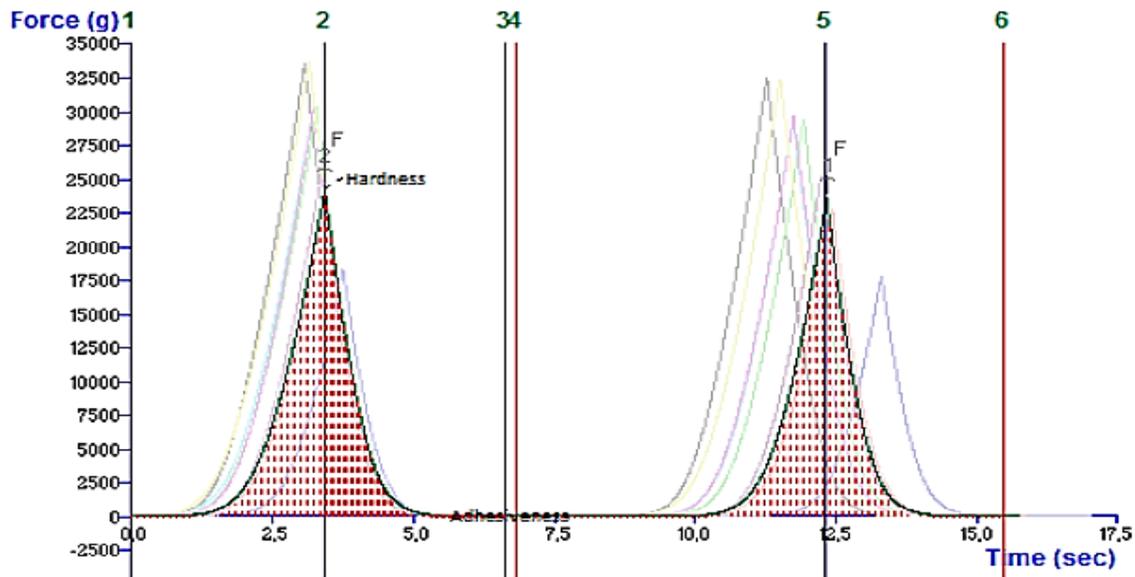
**Tabla 7.** Resultados TPA Arepa Tela Refrigerada.

Muestra	Dureza (g)	Adhesividad (g.sec)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Recuperación
RTELA0	33513,737	-0,433	0,976	0,914	30642,101	29899,562	0,8
RTELA1	18222,615	0	1,082	0,921	16778,797	18156,658	0,786
RTELA3	30314,179	-0,663	0,964	0,902	27329,303	26340,007	0,763
RTELA4	30471,19	-0,166	0,978	0,901	27464,678	26874,04	0,752
RTELA5	30310,951	-0,107	0,988	0,949	28779,331	28425,668	0,812
RTELA6	25942,992	-0,304	0,972	0,905	23482,068	22828,833	0,783
RTELA7	33658,989	-0,191	0,989	0,899	30259,965	29926,391	0,771
RTELA8	24231,623	0	1,588	0,899	21776,838	34571,913	0,749
Promedio	28333,2845	-0,233	1,067125	0,91125	25814,1351	27127,884	0,777
Desviación estándar	19%	-97%	20%	2%	19%	18%	3%

Se puede apreciar nuevamente una alta desviación en los datos correspondientes en la adhesividad, esta se debe a los bajos valores que hacen que sea

despreciable, la corteza exterior de esta arepa no tiende a fracturarse y por ende la poca adhesividad que presenta es resultado de la humedad de la corteza.

La ilustración 21 presenta los resultados de manera lineal y permite ver la variación entre cada muestra de manera más detallada. Las diferencias en el comportamiento de las muestras se explican por un fenómeno de encogimiento que se da tanto durante el proceso de horneado como durante el almacenamiento refrigerado. De esta forma, la contracción de la masa por efecto de pérdida de agua y reacciones fisicoquímicas ante los cambios de temperatura deriva en que se presenten muestras cóncavas cuyas mediciones van a resultar desiguales pues la probeta censa esfuerzos menores al ejercer deformación.



**Ilustración 20.** Resultados de TPA muestras de arepa tela refrigerada.

### 3.3 PRUEBA DE CORTE

En la presente sección se presentan y analizan los resultados de las pruebas de corte a muestras de masa y arepa fresca tipo tela y redonda. Sólo se realizan

pruebas en muestras frescas dado que la variación en la dureza en el TPA superó el 25% en el caso de la arepa redonda, y fue es mucho menor en la arepa tela. Por esta razón y para objeto de análisis se considera mucho más valiosa la influencia del tratamiento térmico para entender las características de textura del producto.

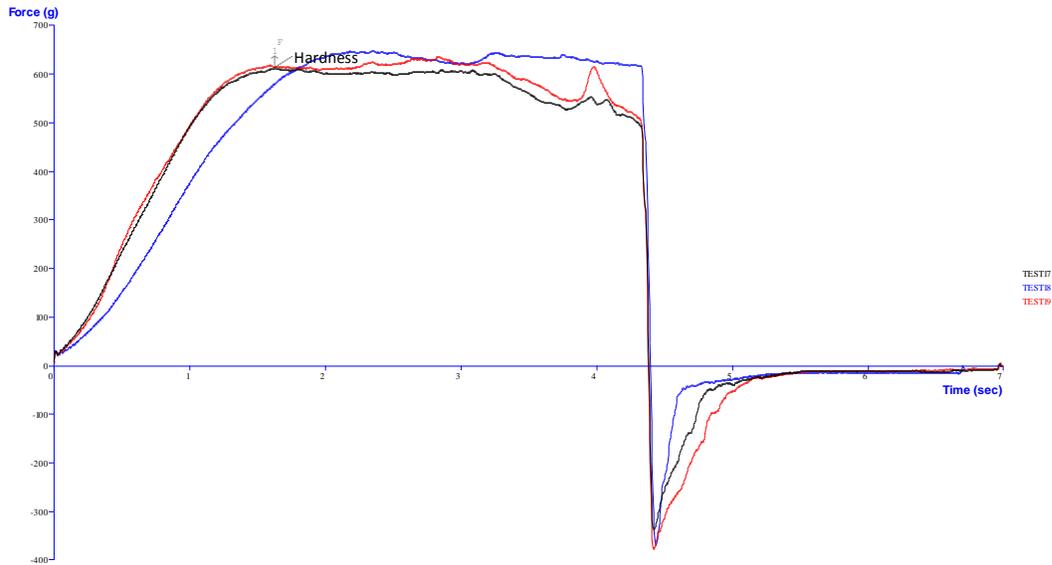
### 3.3.1 Resultados Corte Masa base para arepa

En la tabla 8 se presentan los resultados de corte para muestras de masa con diámetro de 45mm y altura de 12mm, similares a las empleadas en la prueba de TPA.

**Tabla 8.** Resultados Corte Masa.

Muestra	Dureza (g)
TEST17	614,06
TEST18	648,87
TEST19	637,65
<b>Promedio</b>	<b>633,53</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>2%</b>

En términos de corte, la desviación entre las muestras de masa apenas alcanza un 2%, la heterogeneidad de la matriz resulta no ser tan determinante para un corte uniaxial ya que las partículas se desplazan con mayor facilidad cuando la compresión es realizada por una cuchilla.



**Ilustración 21.** Resultados de prueba de Corte muestra de masa base para arepa.

En la ilustración 22 se puede apreciar que el esfuerzo para corte se mantiene durante casi todo el desplazamiento una vez la cuchilla ha penetrado en la muestra, las pequeñas variaciones responden a partículas del maíz que son desplazadas hacia un lado a medida que la probeta descende. La fuerza negativa reportada después del corte responde a la adhesividad de la muestra, todas las muestras de masa se adhirieron a la cuchilla una vez finalizada la prueba.

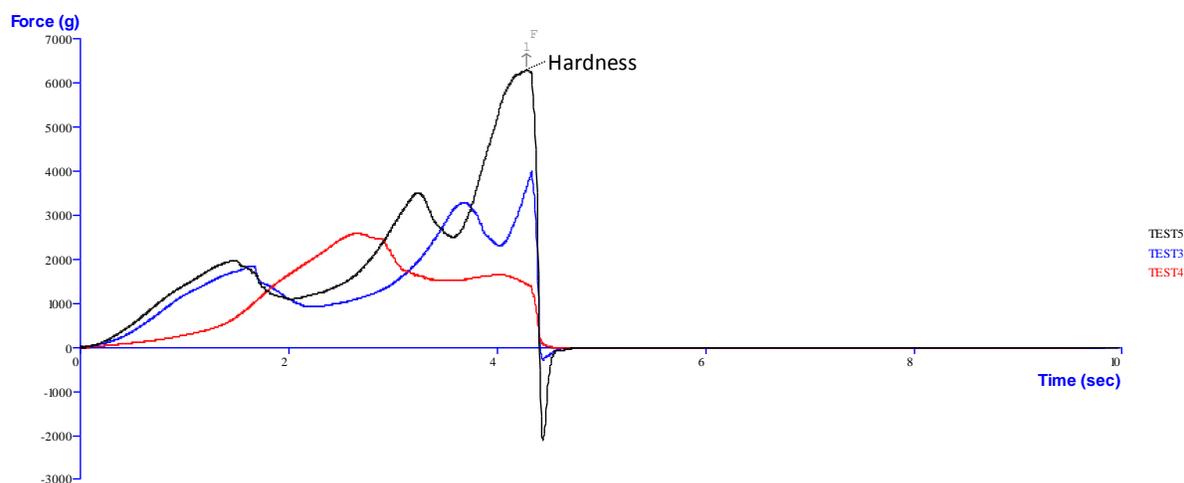
### 3.3.2 Resultados corte arepa redonda fresca

Los resultados de las pruebas de corte en arepa redonda se presentan en la tabla 9 así como la desviación estándar.

**Tabla 9.** Resultados Corte Arepa Redonda.

Muestra	Dureza (g)
TEST5	6314,65
TEST3	4018,58
TEST4	2631,61
<b>Promedio</b>	<b>4321,62</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>35%</b>

Los datos mostrados en la tabla anterior muestran desviación del 35%, más elevada que la presente en las muestras de arepa redonda (2%). Esto responde al hecho de que la matriz de masa ya está consolidada gracias al efecto de la cocción y del desplazamiento de partículas como cascarillas de maíz y trozos de endospermo no se realiza con tanta facilidad. En promedio hay un aumento de casi 7 veces en la dureza al corte entre las muestras de masa y las de arepa redonda fresca. Estas se atribuyen además a la formación de las costras superior e inferior de la arepa, producto del horneado o cocción. Igualmente la deformación producida por el corte no se da de igual forma en todas las muestras. Esto se puede apreciar mejor en la ilustración 23 y se amplía posteriormente.



**Ilustración 22.** Resultados de prueba de Corte muestra de arepa redonda fresca.

La diferencia entre las ilustraciones 23 (correspondiente a arepa redonda) y 24 (correspondiente a arepa tela) ilustra un fenómeno que se observó durante la prueba: el corte de las cortezas no se daba de manera homogénea en las muestras, así pues en unas muestras se fracturaba primero la capa superior y tras el desplazamiento y la presión hecha por la cuchilla se fracturaba la inferior (caso del Test5 donde se puede ver un aumento en la fuerza necesaria para realizar la deformación al final de la prueba. En las otras dos muestras las cortezas se fracturaron casi que de manera simultánea, de tal forma que el mayor pico ambos casos responde a la dureza de las dos cortezas. En este sentido, se puede hablar de una dureza mayor (y por ende mayor coacción) en la capa inferior de la muestra denominada por el programa como Test5.

### 3.3.3 Resultados corte arepa tela fresca

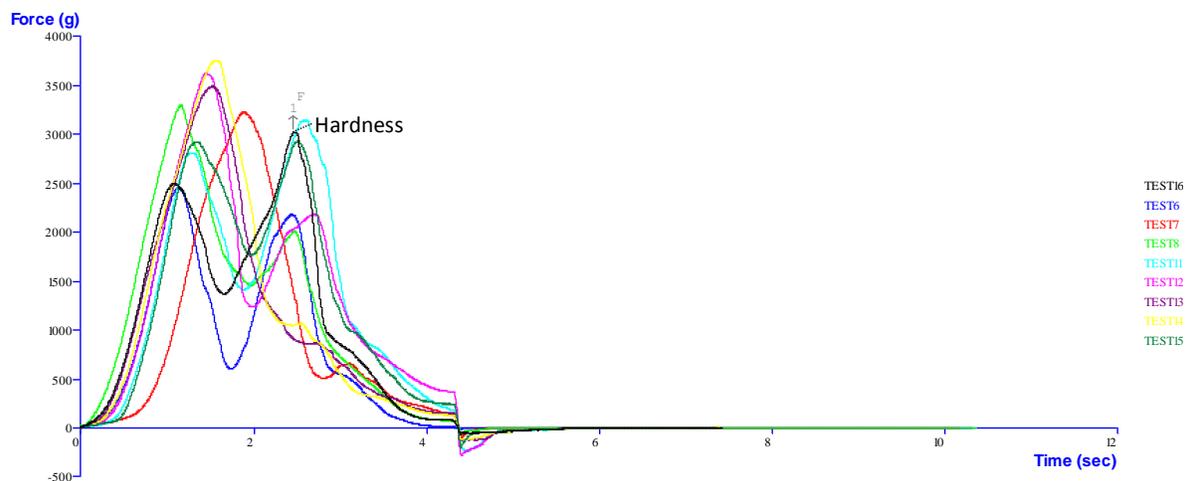
La tabla 10 presenta los resultados de la prueba de corte en las 9 muestras de arepa tipo tela correspondientes a tres arepas diferentes y tres muestras de cada una de éstas.

**Tabla 10.** Resultados Corte Arepa Tela.

Muestra	Dureza (g)
TEST6	2465,45
TEST7	3236,14
TEST8	3302,69
TEST11	3152,52
TEST12	3638,62
TEST13	3498,75
TEST14	3766,04
TEST15	2942,18
TEST16	3026,25
<b>Promedio</b>	<b>3225,41</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>12%</b>

El aumento en promedio de la dureza respecto a las muestras de arepa redonda, es directamente proporcional al aumento de la altura de las muestras, así pues hay un aumento de alrededor del 35% en ambos aspectos lo cual se refleja en las pruebas de corte y el esfuerzo necesario para realizar la cizalla. En el caso de las muestras de arepa tela hay una mayor uniformidad en los datos encontrados, lo que se puede atribuir a la delgadez de las muestras donde el esfuerzo es menor y el desplazamiento de la probeta se realiza con mayor facilidad.

En la Ilustración 24 puede verse el comportamiento de la prueba de corte en la muestra.



**Ilustración 23.** Resultados de prueba de Corte muestra de arepa tela fresca.

En la ilustración anterior se aprecia que las muestras tienen un comportamiento similar entre sí en cuanto presentan dos picos correspondientes a la fractura de las dos cortezas. La adhesividad es mucho menor respecto a la masa y las muestras de arepa redonda, esto se debe a la baja proporción de masa que está disponible para adherirse a la cuchilla. La fractura de las dos capas se da de manera diferenciada y a ellos responden los dos picos en cada una de las gráficas, siendo regularmente la capa superior un poco más resistente a esta

deformación pero el hecho de que en ocasiones la capa inferior presente mayor dureza es un indicador de lo poco uniforme que se da el proceso de horneado.

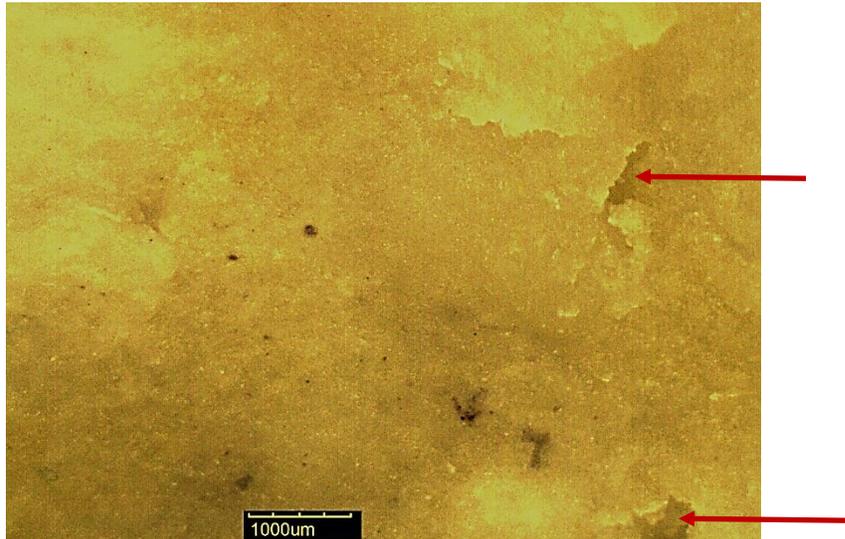
### **3.4 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA**

A continuación se presentan las imágenes captadas en el estereoscopio con aumento verdadero de 40X.

#### **3.4.1 Estructura de masa base para arepa**

Se presentan las imágenes capturadas de masa de maíz en las ilustraciones 25 y 26, en ellas pueden apreciarse irregularidades en la masa, así como la gelatinización del almidón del maíz. Los espacios entre la masa son producto del proceso de amasado el cual propicia la cohesión de las partículas y la incorporación aire a la masa. En la ilustración 25 al lado derecho se muestran dos de los espacios mencionados, a la altura central superior uno con  $200 \times 500 \mu\text{m}$  y en la parte inferior se aprecia uno con un ancho de  $430 \mu\text{m}$ .

Al someter una suspensión de almidón al calentamiento, se llega a una temperatura característica o a un rango de característico de temperatura dentro del cual se produce un súbito hinchamiento de los gránulos de almidón (Ramírez, 2006).



**Ilustración 24.** Imagen de estereoscopio a 40X. Masa base de arepa.

Con el fin de facilitar el análisis y el contraste se aplicó violeta de genciana a las muestras.



**Ilustración 25.** Imagen de estereoscopio a 40X. Masa base de arepa con tinte.

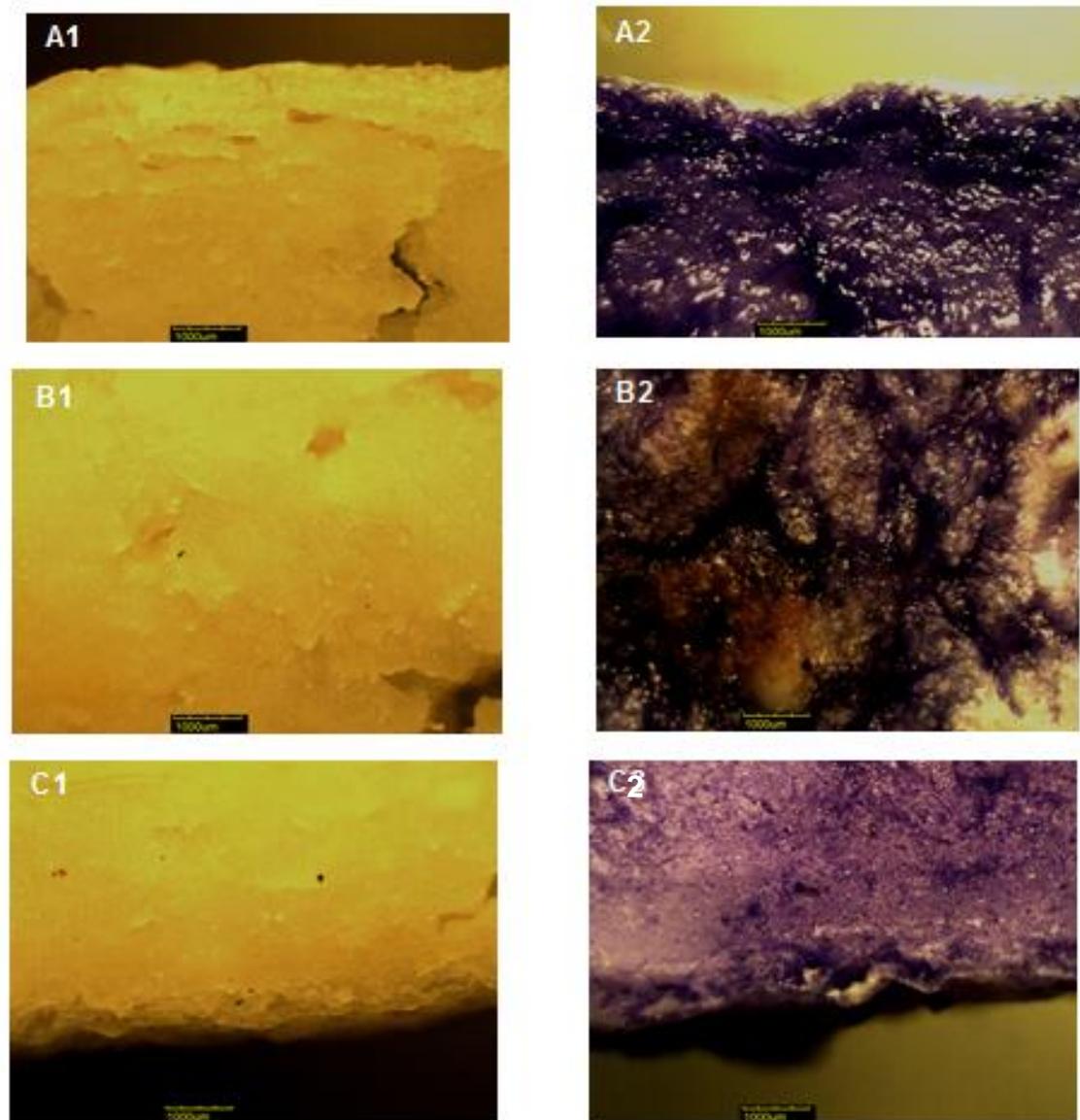
Gracias al contraste dado por la tintura, es posible ver que en la masa hay suspendidas partículas de tamaño variable que originalmente hacían parte del grano de maíz, la mancha blanca que se aprecia en la ilustración anterior es una

de las estructuras del grano, puede tratarse del pericarpio, o alguna otra partícula de baja solubilidad en agua puesto que no se tiñó de violeta como sí lo hizo el resto de la masa. De igual forma los puntos oscuros sugieren heterogeneidad en la composición así como puntos de humedad variable.

La masa como matriz formada principalmente por agua y almidón solubilizado y parcialmente gelatinizado muestra cómo los otros componentes se hallan suspendidos formando una estructura compleja con baja uniformidad y propiedades estructurales variables, con una mayor cohesividad entre más hidratada esté (Rodríguez, 2005).

#### **3.4.2 Estructura de arepa redonda fresca**

Las siguientes imágenes enseñan las diferentes partes de un corte transversal de arepa redonda, mostrando la corteza superior (A1 y A2), el centro compuesto principalmente por masa (B1 y B2) y la corteza inferior (C1 y C2).



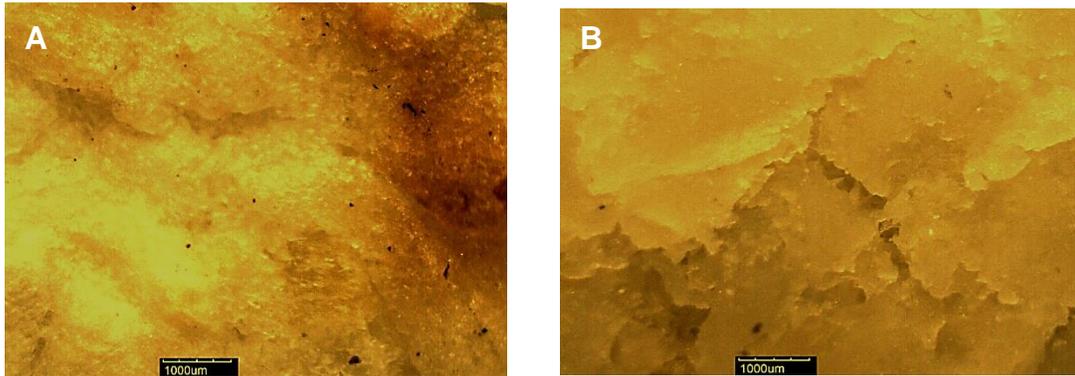
**Ilustración 26.** Imagen de estereoscopio, corte transversal de arepa redonda. Las imágenes con el número 1 corresponden a tomas de las muestras sin tinta, las marcadas con el número 2 a muestras con tinta violeta de genciana. A: Corteza superior, B: Masa, C: Corteza inferior.

En las imágenes de corte transversal se logran diferenciar las diferentes capas que componen la arepa: corteza superior, masa cocida y corteza inferior.

La corteza es característica de este producto y se genera a partir de reacciones fisicoquímicas entre las que se destacan la pérdida de agua (condición que hace que la corteza sea seca), la gelatinización del almidón y los procesos de floculación y coagulación proteica derivada de la acción del calor (Harper, 2000). La floculación se evidencia con la separación que se da entre las capas de masa y corteza pues ésta consiste en la aglutinación de las sustancias sólidas coloidales que se separan de la fase más líquida, en este caso, la masa del centro (Smellie, 1958). En el caso de las muestras presentes, la corteza se forma de manera irregular y con un espesor aproximado de 200 a 500um. La corteza se separa unas cuantas decenas de micras de la corteza, dejando un espacio en el que queda aire, no obstante esta separación no es continua. Se evidencia además que la corteza superior no se forma de igual manera que en la inferior, esto se debe a la irregularidad en el proceso de horneado el cual se realiza con flautas a gas que aplican calor por debajo y por encima de la malla en la que se transportan las arepas y con lámparas que irradian calor sólo a la corteza superior al final del horneado. Adicionalmente este sistema no permite que la distribución del calor sea uniforme pues la llama producida por las flautas es irregular y las lámparas, al estar ubicadas en la zona central no irradian calor a las arepas que se transportan cerca de los bordes laterales de la malla.

En el interior de la arepa, donde se encuentra la masa cocida se evidencian espacios de aire, sectores con mayor humedad (por la diferencia de absorción de tinta). Adicionalmente en las imágenes con tinta se aprecian diferentes colores que dan cuenta de la variedad de partículas y composición de la masa. Fragmentos de endospermo, espacios de aire con un tamaño de hasta 500um de diámetro, zonas con almidón gelificado, partículas de diferente color y diferentes niveles de cocción son una muestra de la irregularidad del producto cuyas propiedades fisicoquímicas varían de un sector a otro de la matriz.

En las fotos que se muestran a continuación (ilustración 28 A y B) se aprecia la corteza de la arepa redonda desde la parte superficial y desde el interior.

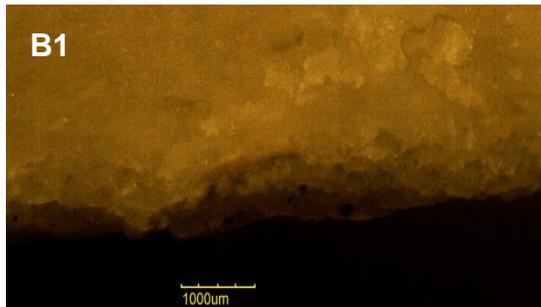
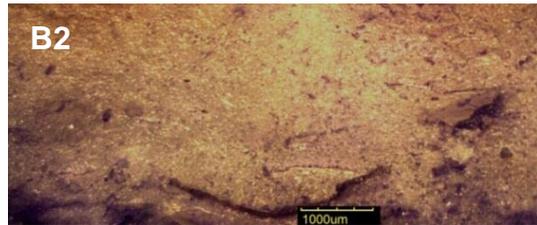
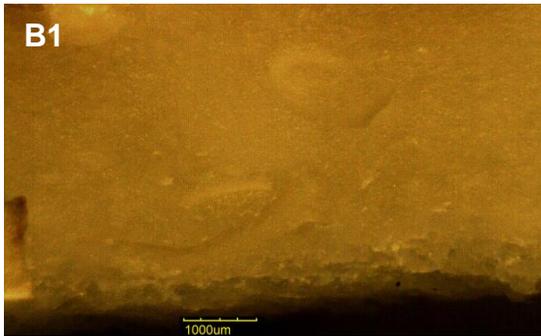
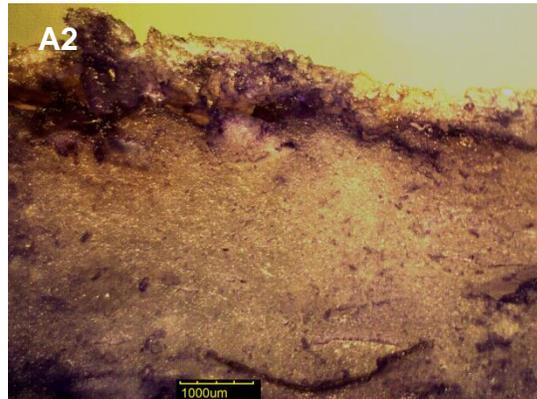
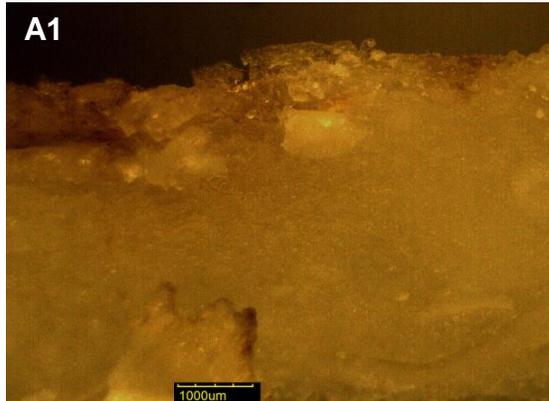


**Ilustración 27.** Imagen de Estereoscopio. Corteza de arepa redonda. Derecha: Exterior, izquierda: Interior.

En la ilustración del exterior de la corteza se pueden apreciar sectores de color más oscuro donde los carbohidratos han pasado por el proceso de caramelización y las proteínas se han desnaturalizado (Ipatenco, 2012), al tacto se determinó que la humedad es evidentemente baja respecto al interior de la arepa y se aprecia una cierta uniformidad en la capa. En el interior se ven fracturas de hasta 200um de ancho y más de 2000um de largo que evidencian la separación entre la corteza y la masa. Una vez más es posible observar la irregularidad de la matriz.

### **3.4.3 Estructura de arepa tela fresca**

Las ilustraciones que se presentan a continuación enseñan las cortezas superior e inferior de la arepa tipo tela así como el interior de las mismas.



**Ilustración 28.** Imagen de estereoscopio, corte transversal de arepa tela. Las imágenes con el número 1 corresponden a tomas de las muestras sin tinta, las marcadas con el número 2 a muestras con tinta violeta de genciana. A: Corteza superior, B: Masa, C: Corteza inferior.

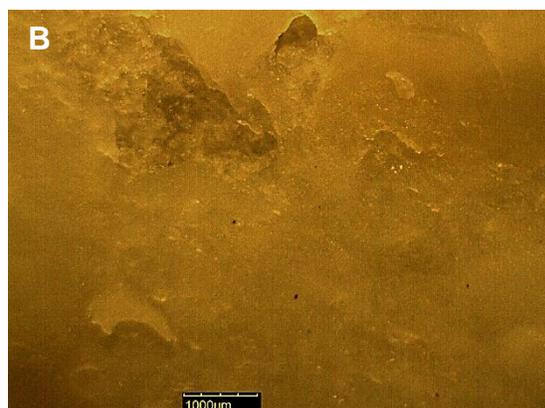
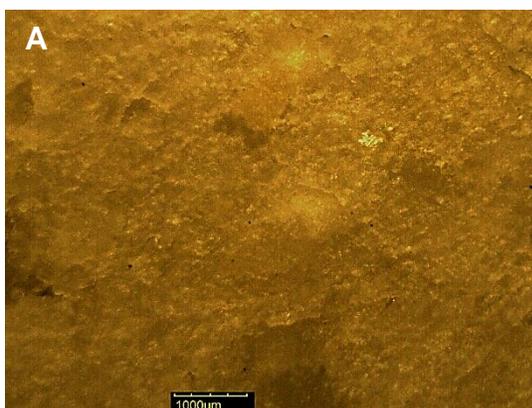
En las ilustraciones se aprecian las tres fases: cortezas superior e inferior y masa cocida, la masa se ve mucho más regular y compacta que en el caso de la arepa redonda, esto se puede deber a una mayor cocción dado el menor espesor de

este tipo de arepa que permite que una mayor cantidad de calor llegue al interior. Gracias a esto se da una mayor gelatinización del almidón y una mayor coagulación proteica. En las imágenes sin tintura se aprecian burbujas o espacios de aire de hasta 1000um de diámetro, evidencia de una migración rápida de agua desde la masa hacia el exterior del producto.

Se evidencia la separación de las cortezas, las cuales tienen un espesor similar al de las muestras de arepa redonda, entre 200 y 500um con cierta irregularidad. También es posible observar partículas dispersas en la masa, responsables de la irregularidad en propiedades físicas y de textura.

Las proteínas como la albúmina y las globulinas pierden solubilidad a temperaturas por encima de los 54°C (Malumba, 2008), esta pérdida de solubilidad hace que el agua se desligue de la estructura y pueda evaporarse. Es importante recordar que en el horneado se busca que el centro del producto alcance una temperatura de al menos 70°C.

En las fotografías que se muestran a continuación se presentan capturas de la corteza de la arepa tipo tela, la A corresponde a la parte exterior y la B a la parte interior que está en contacto con la masa.



**Ilustración 29.** Imagen de Estereoscopio. Corteza de arepa tela. A: Exterior de la arepa, B: Interior de la arepa.

La corteza de la arepa tipo tela está mucho menos quemada que la redonda, esto se debe a la menor exposición al calor de este tipo de producto. De igual forma y extrapolando este hecho a las pruebas de corte, se entiende como en el caso de la arepa redonda se realizan dos cortes que exigen un aumento en fuerza para la deformación, así pues en la arepa tipo tela el corte de ambas cortezas (superior e inferior) se da de manera casi simultánea mientras que en la arepa redonda puede darse simultánea o segmentada. En la parte interior de la corteza se aprecia nuevamente el espacio de aire que separa la capa de la masa cocida.

## 4. CONCLUSIONES

El proceso productivo de la arepa es un proceso que se ha desarrollado artesanalmente hacia un contexto industrializado dadas las demandas del mercado, por esta razón no se cuenta con equipos especializados ni estándares de producción lo cual genera una gran irregularidad en los productos ofrecidos en el mercado. Conocer los parámetros físicos y químicos del producto puede servir a la industria para mejorar sus procesos productivos y hacer un mejor uso de los recursos.

Los procesos térmicos de horneado influyen en gran manera en las propiedades de textura del producto, incrementando en todos los casos la fuerza necesaria para comprimir el producto, esto se evidenció en el aumento de la dureza que fue de 5236,709g en la masa hasta 20710,844g en la arepa redonda fresca, 25586g en la arepa tela fresca. Adicionalmente el proceso de refrigeración durante 10 días al que fueron sometidos las arepas también influyó aumentando la dureza de las muestras frescas desde los valores mencionados hasta 30548,658g en el caso de la arepa redonda refrigerada y 28333,28g para la arepa tela refrigerada.

Otro efecto de los tratamientos térmicos fue la disminución de la adhesividad del producto derivado de la formación de las cortezas superior e inferior de la arepa. En este aspecto los valores pasaron de ser de 945g en el caso de la masa a 34g para la arepa redonda fresca y valores inferiores a 2g para el resto de las muestras.

Las reacciones que responsables del endurecimiento y la integridad estructural a la masa cocida son: Gelatinización del almidón, pérdida de agua y floculación de proteínas, coagulación de proteínas.

Se identificaron de manera óptica las cortezas de los dos tipos de arepa las cuales presentan un espesor variable entre 500um y 200um, muestra de la irregularidad de la distribución del calor y de la dispersión de las partículas en la masa. La floculación de proteínas y la gelatinización casi completa del almidón libre generan estas cortezas en la arepa que encierran la masa cocida. En las imágenes las cortezas se diferencian claramente del resto de la estructura, al desligarse las proteínas del agua se genera una pérdida de humedad que hace que las cortezas sean “secas” y no tengan la adhesividad característica de la masa.

En las imágenes de estereoscopio se pudo apreciar la irregularidad de las partículas dispersas en la masa así como los espacios de aire de hasta 2000um de largo y varios hasta 500um de ancho. Estas variaciones en la estructura de la masa junto con las zonas donde se acumula agua durante el almacenamiento y transporte que hacen que la matriz presente propiedades heterogéneas y zonas de fractura las cuales se llegaron incluso a hacerse presentes en las cortezas como en el caso de las pruebas de TPA para arepa redonda fresca.

Se presentó una diferencia entre la dureza de las pruebas de corte y del TPA, evidenciando que la arepa es un producto en el que se requiere un esfuerzo menor para morderlo (entre 3225g para 4321g producto fresco) y mayor para comprimirlo o masticarlo (entre 20710g y 25586g para producto fresco), teniendo en cuenta que la prueba de corte es análoga a la mordida y la de TPA a la masticación.

La refrigeración genera una pérdida de humedad, afectando la cohesividad del producto, generando fracturas con mayor facilidad en la masa. El almacenamiento refrigerado, además, genera un encogimiento que hace que el producto tome una forma cóncava que dificulta la medición de los atributos de textura por la variación en altura de las muestras, esto se evidencia con la elevada desviación (de hasta el

19%) de los datos medidos en las pruebas de TPA, en el caso de arepa tela refrigerada algunas muestras presentaron durezas hasta 6000g por debajo del promedio, atribuidas a su concavidad.

## **5. RECOMENDACIONES**

Las pruebas de textura realizadas en este estudio fueron netamente instrumentales, se recomienda para futuros proyectos acompañar la investigación con pruebas de carácter sensorial para determinar los valores más deseables en dureza, adhesividad, cohesividad, etc.

La industria de la arepa, a pesar de ser muy tradicional, cuenta con un amplio portafolio de productos, se recomienda realizar estudios de textura y estructura en otros tipos de arepa y con muestras de otras empresas con el fin de estandarizar las características del producto pues el proceso productivo varía entre diversas empresas.

Se recomienda para tests de TPA realizar las pruebas con instrumentos que posean una celda de carga de mayor capacidad y permita realizar compresiones por encima del 80% de manera que se pueda generar un perfil de textura más ajustado al acto de la masticación.

Se recomienda realizar mediciones adicionales como humedad y pérdida de peso para entender mejor la influencia del almacenamiento refrigerado sobre el producto fresco.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera, José Miguel y de Dios-Alvarado, Juan (2001). Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza.
2. Al-Muhtaseb, A. H., McMin, W. A., & Magee, T. R. (2004). Shrinkage, density and porosity variations during the convective drying of potato starch gel. Magee Food Process Engineering Research Group, School of Chemical Engineering , Queen ' s University Be, C(August), 1604–1611.
3. Asociación Española de Fabricantes de Cereales. Estructura del maíz. Consultado de: <http://www.asociacioncereales.es/cereales-de-desayuno/historia-y-elaboracion/produccion/>.
4. Aparicio Sanguillan, A., Osorio Diaz, P., & Agama Acevedo, E. (2013). Tortilla added with unripe banana and cassava flours Chemical composition and starch digestibility. *Journal-of-Food*, 11, 90–95.
5. Britannica, Enciclopedia. (2014). Gel. Consultado de: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/227894/gel>.
6. Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity* (2nd ed.). New York: New York State Agricultural Experiment Station and Institute of Food Science.
7. Brookdale Consulting. (2013). *Impact of the Institute of Food Research*. Bramhall.
8. Cervantes, M. (2006). El Pasado Prehistórico en la Alimentación y el Pensamiento de Hoy. *Arqueología Mexicana*. Vol 78.
9. Chen, J. (2009). Food oral processing—A review. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 1–25.
10. Chrstar B. (1994). *Meat Texture Measurement. Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. Vol. 9. Ed Blackie and Professional. Londres Inglaterra.

11. Cieza de León, P. (2005). *Crónica del Perú. El señorío de los Incas*. . Caracas: Fundación Biblioteca Ayacucho. pp. 144.
12. Corpas, E., & Tapasco, O. (2012). Evaluación de conservantes para limitar el recuento de mohos en arepas bajo dos condiciones ambientales. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 249–256.
13. Del Rea, S. I., Fajardo, Z., Solano, L., Páez, M. C., & Sánchez, A. (2005). Food consumption patterns of children 4 to 14 years old from Valencia, Venezuela. [Patrón de consumo de alimentos en niños de una comunidad urbana al norte de Valencia, Venezuela] *Archivos Latinoamericanos De Nutricion*, 55(3), 127-141.
14. Durán, A. (2008). Nuestra Arepa. *Diario de los Andes*. Disponible en: <http://diariodelosandes.com/content/view/36061/>. Edición Abril 22 de 2008. Táchira, Venezuela.
15. Escobar, A. (1941). El Pueblo Antioqueño. Biblioteca Virtual Universidad de Antioquia.
16. Estrada, J. (2006). La arepa. *Especiales Revista Semana*. Disponible en: <http://www.semana.com/especiales/articulo/la-arepa/79601-3> . Edición Junio 24 de 2010. Bogotá, Colombia.
17. FAO (1990). Utilización de alimentos tropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio 47/1. Roma.
18. Freeman, Chris. (2010). Food Texture – How to get it right. Brookfield Laboratories Inc. Food Online. Middleboro, MA.
19. Funami, T. (2011). Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1904–1914.
20. Giesche, H. (2006). Mercury Porosimetry: A General (Practical) Overview. *Particle & Particle Systems Characterization*, 23(1), 9–19.
21. Gueven, a., & Hicsasmaz, Z. (2011). Geometric network simulation of high porosity foods. *Applied Mathematical Modelling*, 35(10), 4824–4840.

22. Gregorová, E., & Pabst, W. (2007). Porosity and pore size control in starch consolidation casting of oxide ceramics—Achievements and problems. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(2-3), 669–672.
23. & Harper, H. A., Murray, R. K. (2000). *Harper's Biochemistry*. Appleton & Lange.
24. Hernández, J. M. G., Martinsanz, G. P., & Mata-García, M. G. (2011). TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES ESTEREOSCÓPICAS. Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial Universidad Complutense de Madrid, 13.
25. I.L.S.I.-Argentina. (2006). Maíz y Nutrición. Recopilación de ILSI Argentina - Serie de Informes especiales., 1–80.
26. Instron. (2004). Texture Profile Analysis (TPA) of Three Different Varieties of Marinated Tofu. Application Report. Disponible en [file:///D:/Downloads/AR\\_TPAof3DifferentTypesOfTofu\\_Rev1\\_0304~%20\(1\).pdf](file:///D:/Downloads/AR_TPAof3DifferentTypesOfTofu_Rev1_0304~%20(1).pdf).
27. Kaszab, T., Csimá, G., Lambert-meretei, A., & Fekete, A. (2008). Food Texture Profile Analysis by Compression Test. Corvinus University of Budapest, Faculty of food Science., (2002).
28. Kramer, A., & Szczesniak, A. S. (Eds.). (1973). *Texture Measurements of Foods*. Dordrecht: Springer Netherlands.
29. Klaver, J., Desbois, G., Urai, J. L., & Littke, R. (2012). BIB-SEM study of the pore space morphology in early mature Posidonia Shale from the Hils area, Germany. *International Journal of Coal Geology*, 103, 12–25.
30. Létang, C., Piau, M., & Verdier, C. (1999). Characterization of wheat flour–water doughs. Part I: Rheometry and microstructure. *Journal of Food*
31. McCausland-Gallo (2008). Arepa con huevo. *Cooking Colombia para la revista Aires*. Disponible en: [http://www.cookingcolombia.com/cookingcolombia.com/AIRES\\_files/julio%2008.pdf](http://www.cookingcolombia.com/cookingcolombia.com/AIRES_files/julio%2008.pdf)

32. Madiouli, J., Sghaier, J., Lecomte, D., & Sammouda, H. (2012). Determination of porosity change from shrinkage curves during drying of food material. *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 43–51.
33. Malumba, P., Vanderghem, C., Deroanne, C., & Béra, F. (2008). Influence of drying temperature on the solubility, the purity of isolates and the electrophoretic patterns of corn proteins. *Food Chemistry*, 111(3), 564–572. doi:10.1016/j.foodchem.2008.04.030
34. Marín, P. A., León, C. D., & Z, H. A. (2003). Organolépticas y Reológicas de Arepas Procesadas a partir de Maíces de Alta Calidad Proteica (QPM), 3(1), 36–44.
35. Martínez, M. M., Ortiz-Quintero, B. L., Pérez-Gualdrón, C. E., & Anzola-Velasco, C. (2011). The effect of pectin extracted from guava on lipid profile in adults with different cardiovascular risk. [Efecto de la Pectina Extraída de Guayaba Sobre el Perfil Lipídico en Adultos con Diferente Condición Cardiovascular]. *Revista Facultad De Medicina (Colombia)*, 59(2), 103-111.
36. Metrotec Group (2009). Principios y Teoría de la Texturometría. Lloyd Instruments y Metrotec Instrumentos. Ametek. Disponible en: [http://www.metrotec.es/metrotec/WWW\\_DOC/Texturometría\\_Principios-1-PPS-E-R1.pdf](http://www.metrotec.es/metrotec/WWW_DOC/Texturometría_Principios-1-PPS-E-R1.pdf)
37. Ministerio de Agricultura de Colombia. (2014). En más de 600 mil toneladas se incrementó la producción de maíz en Colombia. Consultado de: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/En-m%C3%A1s-de-600-mil-toneladas-se-increment%C3%B3-la-producci%C3%B3n-de-ma%C3%ADz-en-Colombia.aspx>
38. Montero, E. C. (2007). Parámetros mecánicos y textura de los alimentos (1st ed.). La Habana, Cuba: Universidad de Chile. Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas.
39. Pacto Directo. Supermercado Latino Online. Consultado en: [http://pactodirecto.com/index.php?id\\_product=176&controller=product](http://pactodirecto.com/index.php?id_product=176&controller=product)

40. Paquet-Durand, O., Solle, D., Schirmer, M., Becker, T., & Hitzmann, B. (2012). Monitoring baking processes of bread rolls by digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 425–431.
41. Park, Y. W. (2007). Rheological characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 73–87.
42. Paton, J., Khatir, Z., Thompson, H., Kapur, N., & Toropov, V. (2012). Thermal energy management in the bread baking industry using a system modelling approach. *Applied Thermal Engineering*.
43. Peñas Hernández, M. (2007). ESTUDIO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COCCIÓN EN LA CALIDAD NUTRICIONAL Y LA TEXTURA EN UN PRODUCTO DE V GAMA ESTERILIZADO A PARTIR DE JUDÍA VERDE (*Phaseolus vulgaris* var. perona). *Industrias Agrarias y Alimentarias*. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.
44. Ramirez, J. A. (2011). y definición de una microempresa de fabricación y venta de arepa rellenas de queso”. *Institución Universitaria CEIPA*.
45. Ramírez, R. (2006). *Química de Alimentos (I)*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
46. Restrepo Flórez C., Montes Álvarez, J., Gómez Álvarez, L.; Cano Salazar J. (2012). Efectos del empaclado en atmósferas modificadas para la conservación de arepa de maíz. *Revista Lasallista de Investigación* Vol 9. (pp 102-111).
47. Rodríguez, E., Fernandez, A., & Ayala, A. (2005). Reología y textura de masas : aplicaciones en trigo y maíz *Rheology and texture of doughs : applications on wheat and corn*. *Ingeniería e Investigación*, 25, 72–78.
48. Rose, K. A. (2003). Characterizing porous food systems using fundamental measurements of ultrasound, rheology, and thermal analyses. *Purdue University, (Agriculture, Food Science and Technology)*.

49. Sako, N., Okamoto, K., Mori, T., & Yamamoto, T. (2002). The hardness of food plays an important role in food selection behavior in rats. *Behavioural brain research*, 133(2), 377–82.
50. Shafiur Rahman, Mohammad; Sohrab Aliakbar Al-Farsi. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. *Journal of Food Engineering*. Vol. 66. 505-511.
51. Smellie, R. H., & Mer, V. K. L. (1958). Flocculation, subsidence and filtration of phosphate slimes: VI. A quantitative theory of filtration of flocculated suspensions. *Journal of Colloid Science*, 13(6), 589–599.
52. Stable Micro Systems Ltd. (2004). TA.XT plus application study: Flour tortillas, measure tortilla stretchability, breaking point and firmness. Enviado por Christina Turnbull International Sales Manager de Stable Micro Systems.
53. Stable Micro Systems Ltd. (2010). TA.XT plus Texture Analyser. Extraído de: <http://www.stablemicrosystems.com/>
54. Stefanaki, E. (2008). *Electron Microscopy : The Basics*, 1–11.
55. Stefano, L. . (2002). Los indigenismos en el "Viaje y descripción de las indias" (1539-1553) de Galeotto Cei. Caracas: Fondo Editorial de Humanidades y Educación, Universidad central de Venezuela.
56. Superintendencia de Industria y Comercio. (2011). Cadena Productiva del Maíz .Consultado de: <http://www.sic.gov.co/documents/10157/34b1525a-c12b-4edd-a162-8505212f7bff>
57. Tejero, F. (2006). Masas hidratadas: Diferentes procesos de elaboración. Molinería y Panadería. Consultado de: [http://www.franciscotejero.com/tecnica/sistemas%20de%20produccion/MASAS\\_HIDRATADAS.pdf](http://www.franciscotejero.com/tecnica/sistemas%20de%20produccion/MASAS_HIDRATADAS.pdf)
58. Talebnia, F., Karakashev, D., & Angelidaki, I. (2010). Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource technology*, 101(13), 4744–53.

59. Texture Technologies Corp. (2012). TA.XT Plus Texture Analyzer Application Study: Bread Extensibility with the TA-226 Tug Fixture. Enviado por Christina Turnbull International Sales Manager de Stable Micro Systems.
60. Upadhyay, R., Ghosal, D., & Mehra, A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 104–113.
61. Vásquez-lara, F., & Ramírez-wong, B. (2010). Cambios de solubilidad de las proteínas de maíz durante el proceso de elaboración de la tortilla a diferentes tiempos de cocimiento. *Biotecnia*, XII, 40–48.
62. Vásquez Rodríguez, J. A., Amaya Guerra, C. A., & Báez González, J. G. (2013). Study of the fortification with bean and amaranth flours in nixtamalized maize tortilla. *Journal of Food*, 11, 60–62.
63. Viajar por Boyacá (2010). Consultado de <http://www.viajarporboyaca.com/esp/2012/06/13/la-deliciosa-arepa-boyacence/>
64. Wang, J., & Liapis, A. I. (n.d.). Water-Macromolecule Interactions in Food Dehydration and the Effects of Pore Structures on Such Interactions, (1), 2–3.
65. Wang, J.-S., Zhao, M.-M., Yang, X.-Q., Jiang, Y.-M., & Chun, C. (2007). Gelation behavior of wheat gluten by heat treatment followed by transglutaminase cross-linking reaction. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 174–179.
66. Warriss, P. D. (2010). *Meat Science: An Introductory Text*. CABI. Consultado de: [http://books.google.com.co/books?id=ExEOboVw\\_KUC](http://books.google.com.co/books?id=ExEOboVw_KUC).
67. Wikinson, Dijksterhuis, Minekus. (2000). *From food structure to texture. Trends in food science and technology*. 11(12), 442-250.
68. Wiley and Sons. (2006). *Food Science Basics: Effects of Heat on Starches and Sugars*. The Culinary Institute of America. The Professional Cheff. Ed.

8. Consultado de: <http://chefsblade.monster.com/training/articles/215-food-science-basics-effects-of-heat-on-starches-and-sugars>
69. Yong, Y. P., Emery, A. N., & Fryer, P. J. (2002). Heat transfer to a model dough product during mixed regime thermal processing, 80.