



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Modificación de almidones de arroz y maíz por irradiación
y su aplicación en la elaboración de una natilla**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA

VIRIDIANA GARCÍA LÓPEZ

**ASESORES: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA
BRAVO**

DR. SERGIO JIMÉNEZ AMBRIZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO, 2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis y Examen Profesional**

Modificación de almidones de arroz y maíz por irradiación y su aplicación en la elaboración de una natilla.

Que presenta la pasante: **Viridiana García López**
Con número de cuenta: **314015745** para obtener el título de: **Ingeniera en Alimentos.**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Agosto de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. María De los Ángeles Comejo Villegas</u>	
VOCAL	<u>I.A. Francisco Javier López Martínez</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. María del Carmen Valderrama Bravo</u>	
1er. SUPLENTE	<u>Dra. Elsa Gutiérrez Cortéz</u>	
2do. SUPLENTE	<u>Dra. María Guadalupe Sosa Herrera</u>	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

MCVB/cga*

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio Experimental Multidisciplinario Nave 2000, con apoyo de los proyectos:

PIAPI 2055, PAPIIT IT202119 y PAPIIME PE108022.

Agradezco enormemente a la Dra. María del Carmen Valderrama ya que sin su apoyo no hubiera logrado este proyecto tan importante, desde que comenzó como servicio social y culminó en proyecto de tesis, por contar con su apoyo, confianza y por creer en mí.

A mi querida UNAM quien me abrió sus puertas en la máxima casa de estudios desde la preparatoria hasta la universidad, donde he pasado los mejores años de mi vida, he aprendido, he crecido y me ha visto llegar lejos, siempre orgullosamente UNAM.

A mis sinodales por su tiempo y dedicación que me brindaron para que mi trabajo tomara la forma adecuada y por la atención que siempre recibí por parte de ellos.

A mis profesores que son fueron parte importante de este camino para culminar mi carrera universitaria, sin sus enseñanzas no hubiera logrado llegar adonde estoy ahora.

Agradezco a mis padres Norma Angélica López Murillo e Ismael García Hernández ya que son el núcleo de todo, por su amor, apoyo y motivación que me dan al día a día, porque siempre están al pendiente de mí y estuvieron al pendiente de este proyecto, porque gracias a ellos ahora soy la mujer con valores y aspiraciones que crearon, sin ellos

no estaría donde estoy ahora, este logro no nada más es mío es un logro de nosotros.

A mi hermano Ismael García López, quien es una persona que admiro y un ejemplo a seguir para mí.

A mis abus Raquel Murillo y María de Jesús que siempre me han consentido y siempre han creído en mí y en qué me recuerdan lo orgullosas que están de mí.

A mis tíos Toño y Beto por también formar parte importante en el núcleo familiar, por el apoyo que me brindan y sé que siempre están.

A mis chiquitinas quienes fueron mis compañeras de desvelo, y mi alegría, mis chihuahuas que siempre estarán en mi corazón.

Y agradecimiento a las personas que encontré en mi camino en el tiempo que estuve realizando mi tesis ya que fueron testigos de algún momento en donde me escucharon hablar de lo importante que era mi tesis y que me daban los ánimos, y a la personas que estuvo al final de este proyecto de la cual he aprendido y crecido; Alfonso Aguirre, las que me llenan de alegría y sé que siempre están para escucharme y fueron mi mejor compañía de laboratorio Judith Arroyo y Monserrat Cuéllar y a quien siempre esta para ayudarme a solucionar un problema y esta para escucharme cuando más lo necesito Axel RH.

Y a Dios ya que he crecido con la educación de mis padres por agradecer a todo y no olvidar ante todo a Dios...

Si no tienes ninguna sombra, no estás en la luz...

ÍNDICE

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES	3
1.1. MAÍZ	3
1.1.1. Origen.....	3
1.1.2. Descripción	4
1.1.3. Producto.....	4
1.1.4. Producción.....	4
1.1.5 Estructura del grano de maíz.....	5
1.1.6. Composición química de las partes del grano maíz	8
1.2 ARROZ	9
1.2.1 Origen.....	9
1.2.2 Descripción	10
1.2.3 Producto.....	10
1.2.4 Producción.....	10
1.2.5 Estructura del grano de arroz	10
1.3. ALMIDÓN.....	13
1.3.1 Gelatinización.....	16
1.3.2 Retrogradación.....	18
1.4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN	18
1.4.1. Método seco.....	18
1.4.2. Método húmedo	19
1.5. IRRADIACIÓN MEDIANTE MICROONDAS.....	20
1.5.1. Aplicación de microondas en almidones	21
1.8 PRODUCTOS LÁCTEOS	22
1.8.1. Natilla.....	23
1.9 HIDROCOLOIDES.....	24
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	26
2.1 OBJETIVOS	26
2.1.1 Objetivo general.....	26
2.1.2 Objetivos particulares	26
2.2 OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA (MAÍZ Y ARROZ).....	26

2.3	OBTENCIÓN E IRRADIACIÓN DE LOS ALMIDONES	26
2.3.1.	Extracción de almidón	26
2.3.2.	Radiación por microondas	29
2.4.	PRUEBA DE GELATINIZACIÓN DE ALMIDÓN.....	29
2.5.	FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LA NATILLA.....	30
2.5.1	Materiales	30
2.5.2	Procedimiento elaboración natilla	31
2.6.	PROPIEDADES FISICAS DE LA NATILLA.....	32
2.6.1	Color	32
2.6.2	Sinéresis	34
2.6.3	Análisis de textura de las natillas	35
2.7	EVALUACIÓN SENSORIAL HEDÓNICA DE LA NATILLA	37
2.7.1.	Condiciones de la prueba	37
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
3.1	ANÁLISIS DE GELATINIZACIÓN	38
3.2	ANÁLISIS DE TEXTURA.....	39
3.3	ANÁLISIS SINÉRESIS.....	49
3.4	ANÁLISIS SENSORIAL	53
4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
	CONCLUSIONES.....	58
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	ANEXOS:.....	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Distribución ponderal de las principales partes del grano.....	5
Cuadro 1.2. Componentes químicos del maíz.....	8
Cuadro 1.3 Composición química del maíz.....	8
Cuadro 1.4 Composición química del arroz.....	12
Cuadro 1.5. Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria.....	15
Cuadro 2.1 Formulaciones para la elaboración de una natilla utilizando, por separado, almidón de arroz (AA), almidón de frijol (AF), y almidón de maíz (AM).....	31
Cuadro 3.1 Valores medios de análisis de textura natilla de arroz día 0.....	48
Cuadro 3.2 Valores medios de análisis de textura natilla de arroz día 7.....	48
Cuadro 3.3 Valores medios de análisis de textura natilla de maíz día 0.....	48
Cuadro 3.4 Valores medios de análisis de textura natilla de maíz día 7.....	48
Cuadro 3.5 Atributos sensoriales evaluados.....	55
Cuadro 3.6 Escala de evaluación sensorial.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura del grano de maíz	7
Figura 1.2. Estructura del grano de arroz.....	12
Figura 1.3. (a) enrollamiento helicoidal de la amilosa; (b) estructura química de la amilopectina.....	14
Figura 1.4. Gelatinización del almidón.....	17
Figura 1.5. Espectro visible por el ojo humano.....	21
Figura 2.1. Diagrama de bloques obtención del almidón.....	27
Figura 2.2. Separación de almidón.....	28
Figura 2.3. Procedimiento de prueba de gelatinización.....	30
Figura 2.4. Diagrama de bloques la preparación de la natilla.....	31
Figura 2.5. Colorímetro CR-300, Minolta.....	34
Figura 2.6. Proceso de sinéresis en las natillas.....	35
Figura 2.7. Texturómetro CT3, Brookfield.....	36
Figura 3.1. Perfil de viscosidad en función de la temperatura (amilograma) a) amilograma almidón de maíz, b) amilograma almidón de arroz.....	38
Figura 3.2. Valores promedio (\pm D. E) de la consistencia de la natilla elaborada con almidón de arroz (a) y de maíz (b) irradiado por varios tiempos a los días 1 y 7.....	40
Figura 3.3. Valores promedio (\pm D. E) de la fuerza adhesiva de la natilla elaborada con almidón de arroz (a) y de maíz (b) irradiado por varios tiempos a los días 0 y 7.....	43
Figura 3.4. Valores promedio (\pm D. E) de la adhesividad de la natilla elaborada con almidón de arroz (a) y de maíz (b) irradiado por varios tiempos a los días 1 y 7.....	44
Figura 3.5. Valores promedio (\pm D. E) de la resiliencia de la natilla elaborada con almidón de arroz (a) y de maíz (b) irradiado por varios tiempos a los días 1 y 7.....	46
Figura 3.6. Desviación estándar y coeficiente de variación en los diferentes tratamientos de sinéresis de natilla a base de almidón de arroz.....	50

Figura 3.7. Desviación estándar y coeficiente de variación en los diferentes tratamientos de sinéresis de natilla a base de almidón de maíz.....	50
Figura 3.8. Sinéresis de natilla a base de almidón de arroz.....	51
Figura 3.9. Sinéresis de natilla a base de almidón de maíz.....	52
Fig. 3.10. Gráfico radial de prueba sensorial para muestra de natilla a base de arroz (5510) y natilla a base de maíz (5511).....	55

INTRODUCCIÓN

El almidón es el principal polisacárido de reserva sintetizado por las plantas superiores. Es un componente importante de un gran número de productos agrícolas como cereales (maíz, trigo, arroz, cebada) en los cuales el contenido de almidón es de 30-80%, leguminosas (frijoles, chicharos, haba) con 25-50 % tubérculos (papa, tapioca) con 60-90 %, y algunos frutos en estado fisiológico maduro (mango, plátano) los cuales pueden contener hasta un 70 % en base seca de este carbohidrato (Flores-Gorosquera *et al.*, 2004).

El almidón de maíz (*Zea mays* L.) se emplea principalmente como agente estabilizante, espesante, aglutinante y gelificante; en confitería se utiliza como formador de gel y para recubrimientos; la industria cervecera la utiliza como fuente de carbono para procesos de fermentación por su elevado extracto fermentable (ADISA, 2015). El almidón de arroz es utilizado como aditivo en la industria de alimentos debido a sus características, que son hipoalergénicos, sabor y aroma suave, gránulos pequeños, color blanco, buena estabilidad de congelación descongelación de las pastas, resistencia a la acidez y un amplio rango de relación amilosa-amilopectina. Sin embargo, los almidones nativos tienen ciertas desventajas que no los hacen convenientes para determinados usos, como baja solubilidad en agua y baja estabilidad bajo condiciones de temperatura, deformación, pH y refrigeración comúnmente aplicadas a los procesos de alimentos (Song *et al.*, 2006).

Las pastas de almidón nativo pueden considerarse estructuralmente como sistemas bifásicos con una fase continua rica en amilosa y una fase dispersa constituida por los gránulos de almidón hinchados (Nayouf *et al.*, 2003). Lógicamente, en ambos tipos de sistemas, la presencia de otros ingredientes como azúcares, componentes lácteos o hidrocoloides, modifica las características de la fase dispersante afectando su estructura, estabilidad y comportamiento reológico (Thebaudin *et al.*, 1998; Lagarrigue y Alvarez, 2001).

Los almidones modificados químicamente tienen muchas aplicaciones en los alimentos, se emplean como agente espesante en alimentos tales como salsas, natillas, relleno para pasteles y postres, productos en los cuales la industria requiere almidones capaces de impartir las características viscoelásticas que mejoren la textura (Morikawa y Nishinari, 2000).

Las natillas, postre lácteo semisólido de amplio consumo son compuesto de leche, almidón, hidrocoloides, azúcares, colorantes y aromas (Nadison y Doreau, 1992, Descamps *et al.*, 1986). Sus propiedades reológicas dependen de las condiciones del proceso de fabricación (Nayouf *et al.*, 2003). Estos productos son muy populares por grupos de consumidores como los niños y personas mayores en todo el mundo, apreciados por su consistencia, cremosidad y su valor nutritivo (Tárrega *et al.*, 2007). La carragenina es uno de los polisacáridos que se utilizan en la natilla ya que funciona como gelificante, estabilizante y espesante (Appelqvist *et al.*, 1996).

Existen diversos métodos químicos, enzimáticos y genéticos que se aplican para la modificación de almidones (Oyeyinka *et al.*, 2018), como se ha mencionado; sin embargo, los métodos biofísicos como la aplicación de microondas podría ser una mejor alternativa. El calentamiento por microondas se ha utilizado en la modificación de almidones de yuca, papa y maíz. El microondas es un método prometedor para la modificación de almidón con mayor estabilidad térmica y menor tendencia a la retrogradación (Colman *et al.*, 2014; Luo *et al.*, 2006; Xie *et al.*, 2013).

Por lo anterior, el presente proyecto está enfocado en la elaboración de una natilla ya que este producto es muy popular en el mundo por consumidores de diferentes grupos de edades y se propone el estudio de sus propiedades fisicoquímicas con la finalidad de conocer el desempeño de los almidones de arroz y maíz extraídos de manera física e irradiados a diferentes tiempos.

1. ANTECEDENTES

1.1. MAÍZ

1.1.1. Origen

Su origen tiene lugar en la región central de México a través de la fusión de plantas que crecían en forma silvestre como el teocintle o teosinte (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios, 2018).

El maíz, pertenece a la familia de las poáceas (Poaceae) o Gramíneas y es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Se cree que el maíz fue cultivado hace aproximadamente 10 mil años a.C. y la evidencia más antigua que se tiene fue encontrada en la cueva de Guila Naquitz, en Oaxaca a unos pocos kilómetros de Mitla y es de hace 6,250 años (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios, 2018). El nombre científico de esta planta es *Zea mays*, los nahuas de Mesoamérica lo llamaban Centli y durante su propagación por el continente americano adquirió nombres como choclo, jojoto, corn, milho o elote y maíz con la llegada de los españoles a través de la adaptación fonética de mahís (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios, 2018).

También se cree que en México se concentra el mayor número de variedad de maíz; blanco, azul, gordo, dulce, chiquito, bofo, vendeño, conejo, dulcillo del Noroeste, chapalote y amarillo, pero existen más de 60 variedades de maíces que forman parte de la alimentación diaria, además de ser utilizado en la actualidad como forraje para la ganadería (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios, 2018).

1.1.2. Descripción

Maíz (*Zea mays* L.). La planta es de porte robusto, con tallo simple que se puede alcanzar los 4 metros de altura; no tiene ramificaciones ni entrenudos, pero sí una médula esponjosa. Presenta inflorescencia masculina y femenina separada en la misma planta; la primera tiene una partícula de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen; la inflorescencia femenina dispone de un menor contenido en granos de polen y se forman unas estructuras vegetativas en dominados espádices; en cada florecilla se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen (SIAP, 2020).

1.1.3. Producto

El maíz como producto tiene la ventaja de que es el único cereal que puede ser usado como alimento en cualquier etapa de desarrollo de la planta. El grano es una cariósida de forma aplastada. El pericarpio constituye alrededor de 5 a 6 % del peso total del grano. Su alto contenido en carbohidratos y proteínas lo hace el cereal ideal para todos los días (SIAP, 2020).

El grano de maíz se utiliza para la elaboración de jarabe y almidón; este último tiene aportes energéticos importantes para los seres humanos y es un proveedor de materias primas para la industria alimenticia (SIAP, 2020).

1.1.4. Producción

Este cereal es primordial en la dieta de los mexicanos, derivado de ello se cultiva en todas las entidades federativas del país. En 2019 su producción fue ligeramente mayor (0.2 %), a pesar de que su superficie sembrada y cosechada disminuyeran; sin embargo, menores siniestros y mejores rendimientos dieron este resultado (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

En cuanto el consumo anual *per cápita* fue 335.8 kg y con la producción nacional de granos fue de 88.35 %. El volumen de producción nacional 2010-2019 en (miles de toneladas) fue de 24,405 en promedio; Sinaloa cosechó 6.4 millones de

toneladas de maíz grano (10.7 % más que en 2018), por las que obtuvo 23 mil 514 millones de pesos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

México es partícipe importante en la producción mundial del grano y se encuentra en el octavo lugar como productor mundial con un total de 27,228, 242 toneladas durante el 2019. En el mercado internacional México es el mayor importador de maíz grano, seguido por Japón con adquisiciones similares (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

1.1.5 Estructura del grano de maíz

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1000 granos según el número de hileras y el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las panojas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o, más a menudo, mecánicamente (FAO, 1993). El grano de maíz se denomina en botánica cariósipide o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla, En la Figura 1.1, se muestran las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara, o salvado; el endospermo; el germen o embrión. Wolf *et al.* (1969) han descrito adecuadamente la anatomía general y la estructura microscópica de estos elementos anatómicos.

Cuadro 1.1. Distribución ponderal de las principales partes del grano

Estructura	Porcentaje de distribución ponderal (%)
Pericarpio	5-6
Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

Fuente: FAO, 1993.

Capas del pericarpio:

Protege al grano contra el ataque de insectos y de las condiciones ambientales adversas. Consta de dos partes:

Parte externa: constituida por tres tipos de capas:

- Epidermis (epicarpio): Es una capa que forma una película constituida por una pared de células rectangulares, delgadas y largas.
- Mesocarpio: Constituido por células alargadas en el sentido transversal del grano.
- Endocarpio: Capa constituido por células de paredes delgadas.
- Células tubulares: Constituida por células largas, paralelas no ramificadas. Poseen un gran espacio intercelular. Sirven de medio de conducción y distribución del agua que se absorbe a través del embrión durante el proceso de germinación.
- Células cruzadas: Grupadas en capas de dos a cuatro células de paredes delgadas y ramificadas, con varios espacios intercelulares. Su función es evitar que el grano pierda peso, es decir, actúan como un protector de la humedad.
- Testa: Es la capa delgada que cubre la semilla propiamente dicha. Esta adherida al pericarpio que es difícil separarlos. El color de varios granos depende en parte de la existencia de pigmentos de estas capas celulares, como sucede con algunas variedades de trigo y sorgo.

Partes del endospermo:

Es el depósito de alimento para la nueva planta. Está compuesto principalmente por carbohidratos y en menor escala por proteínas. Conformado por:

- Capa de aleurona: Compuesta por una sola capa de células, a excepción de la avena con dos capas celulares, la cebada que tiene de dos a cuatro capas y el arroz que tiene seis.

- Endospermo corneo: Constituido por proteínas y gránulos de almidón.
- Endospermo vítreo. Compuesto por paredes celulares, gránulos de almidón y proteínas.
- Endospermo harinoso. Se encuentra en la parte central del grano, su constitución es similar al endospermo vítreo, con gránulos de almidón más grandes.

Partes del germen:

Es el responsable de generar una nueva planta al germinar la semilla. Contiene un alto contenido de nutrientes, principalmente grasas, proteínas, vitaminas, azúcares y minerales. Es la parte más susceptible del grano, al ataque de microorganismos e insectos, que afectan la calidad del producto.

- Escutelo (cotiledón que ocupa el 90 % del germen)
- Eje embrionario formado por la plúmula y la raíz primaria
- El contenido de endospermo harinoso

(Martínez, 2013).

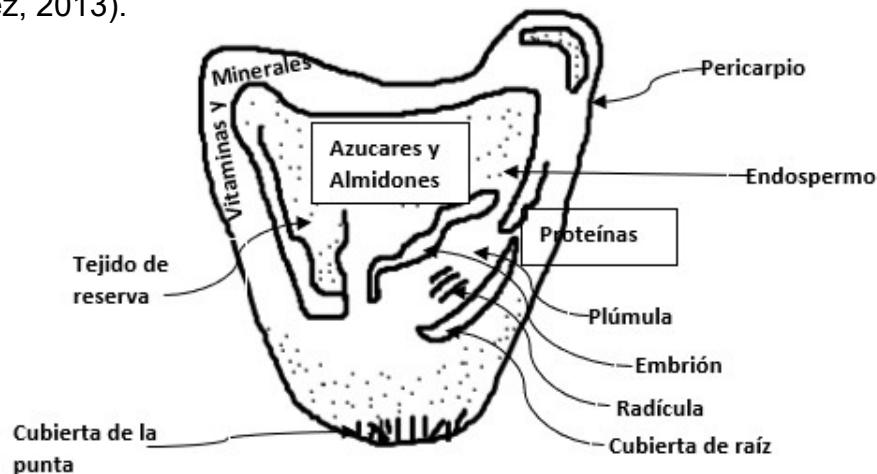


Figura 1.1. Estructura del grano de maíz (Pocosecha, 2017).

1.1.6. Composición química de las partes del grano maíz

Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 %, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 %), celulosa (23 %) y lignina (0,1 %) (Burge y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 %), aproximadamente 8 % de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo. En el cuadro 1.2 se puede observar los componentes químicos del maíz en el pericarpio, endospermo y germen y en el cuadro 1.3 la composición química del maíz donde su mayor porcentaje es el carbohidratos y proteínas y bajo porcentaje de fibra y ceniza.

Cuadro 1.2. Componentes químicos del maíz.

Componente químico	Pericarpio (%)	Endospermo (%)	Germen (%)
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

Fuente: Watson, 1987.

Cuadro 1.3 Composición química del maíz.

Maíz	(%)
Humedad	13.0
Proteína	9.9
CHOS	69.2
Lípidos	4.4
Fibra	2.2
Ceniza	1.3

Fuente: Martínez, 2013.

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 % del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 % del grano (Boyer y Shannon, 1987).

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, y según Landry y Moureaux (1970; 1982), están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas.

1.2 ARROZ

1.2.1 Origen

El cultivo del arroz comenzó hace casi 10,000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Posiblemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez el arroz debido a que en ella abundaban los arroces silvestres. Pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China, desde sus tierras bajas a sus tierras altas. Probablemente hubo varias rutas por las cuales se introdujeron los arroces de Asia a otras partes del mundo (Chen, 2007).

Aclimatado en el sur de Asia hace aproximadamente 12,000 años (*Oryza sativa* L.) y después en el oeste de África, hoy constituye el alimento básico de alrededor de 2,400 millones de personas en el mundo ocupando el primer lugar en el mundo como alimento base de familias rurales y urbanas. Los agricultores han gestado numerosas variedades de este alimento básico, adaptándolas a una enorme diversidad de condiciones (Chen, 2007).

El arroz representa aproximadamente la mitad del ingreso agrícola de Asia y aporta casi el 80% de las calorías diarias en la dieta humana. También es el alimento

básico en el África occidental, el Caribe y las regiones tropicales de América Latina, donde suele ser la fuente de proteínas más importante para el 20% más pobre de la población (Chen, 2007).

1.2.2 Descripción

Arroz (*Oryza sativa* L.), el tallo se forma de nudos y entrenudos alternados de forma cilíndrica de 60 a 120 cm de longitud; las hojas son alternas, envainadoras: las hojas son de color verde blanquecino, dispuestas en espiguillas, cuyo conjunto constituye una panoja grande terminal, estrecha y colgante después de la floración (SIAP, 2020).

1.2.3 Producto

El grano de arroz es un ovario maduro, que se le conoce como arroz palay. Al grano descascarado (cariópside) con el pericarpio parduzco, se le conoce como arroz pulido. Es un cereal rico en carbohidratos y no contiene colesterol (SIAP, 2020).

1.2.4 Producción

México se encuentra como productor mundial en el número 55. Filipinas y China son los países que más arroz compran en el mercado internacional con cantidades que superan las 2.5 millones de toneladas cada uno (SIAP, 2020).

En México, 2019 bajó su superficie sembrada en poco más de 4 mil hectáreas, lo que impactó en una reducción de 38 mil 546 toneladas, 13.6 % menos que el año 2018. El consumo *per cápita* es de 9.0 kg, mientras que su participación en la producción nacional de granos fue de 0.8 %. Su volumen de la producción nacional del 2010 al 2019, en promedio fue de 227 miles de toneladas (SIAP, 2020).

1.2.5 Estructura del grano de arroz

El grano de arroz es un fruto cariósides al igual que la avena, cebada y trigo. Es ovalado y mide de 8-10 mm de longitud. En la base tiene 2 glumas estériles

pequeñas y sobre ellas otras glumas fluorescentes conocidas como lema y palea, que constituyen la cascarilla del grano, que le da una superficie abrasiva y rígida que le protege de daños mecánicos y de ataques por insectos; constituyen el 22-25% del grano entero (SAGARPA, 2017).

Debajo de la cascarilla se encuentra el pericarpio, la testa que es la cubierta de la semilla, la capa de aleurona y el endospermo, como se observa en la Figura 1.2, (SAGARPA, 2017).

- El pericarpio

Formado por 6 capas divididas en 3 zonas: el exocarpio, el mesocarpio y el endocarpio. La capa de aleurona no es uniforme ni en el número de cápsulas ni en el espesor, pero funciona como material de reserva (SAGARPA, 2017).

- El endospermo

Es la estructura más interna del grano, la disposición de sus células (igual en todas las variedades) es una forma enladrillada radial en torno al centro (SAGARPA, 2017).

- El germen

Se localiza en la concavidad de la región abdominal de grano pulido y blanco. Durante su beneficio, el grano pierde la cascarilla quedando como arroz moreno, el cual se pule y blanquea para su consumo (SAGARPA, 2017).

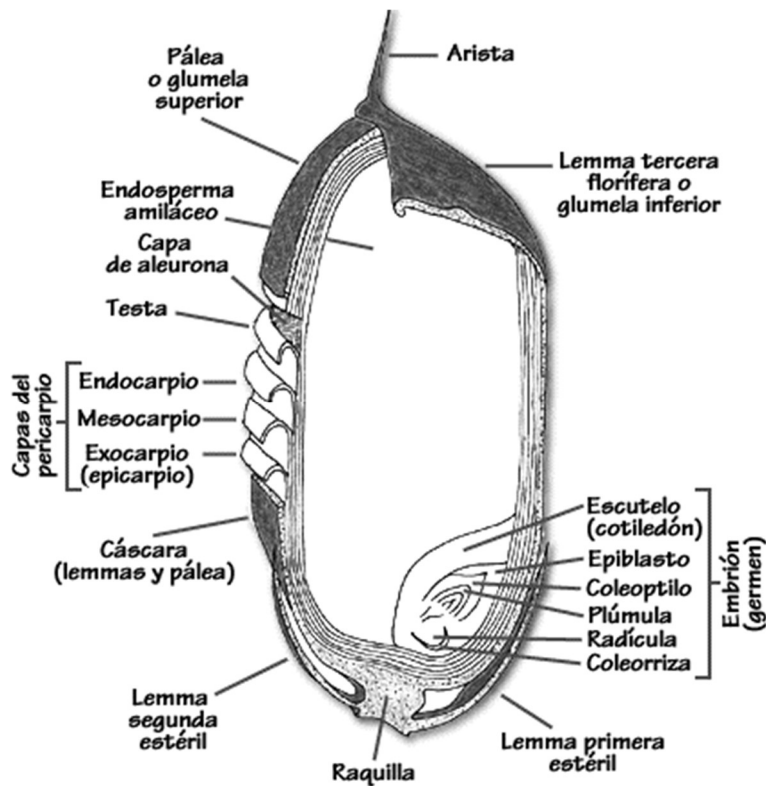


Figura 1.2. Estructura del grano de arroz (González et al., 2015).

En el cuadro 1.4 se puede observar los análisis proximales del Arroz (*Oryza sativa* L.) con altos contenido de proteína, carbohidratos y bajos contenidos de fibra y ceniza.

Cuadro 1.4 Composición química del arroz.

Arroz pulido	
Humedad (%)	14
Proteína (%)	6.3-7.1
CHOS (%)	77.0-89.0
Lípidos (%)	0.3-0.5
Fibra (%)	7.0-11.4
Ceniza (%)	6.6-9.9

Fuente: Juliano, 1994.

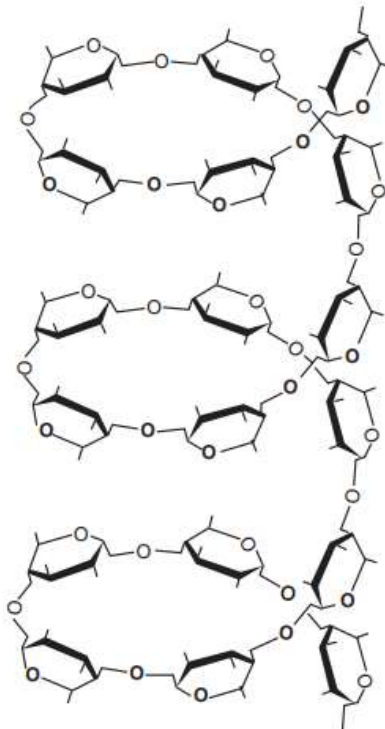
1.3. ALMIDÓN

El almidón constituye una parte importante en la dieta del hombre desde la prehistoria; es el segundo polisacárido más abundante después de la celulosa y es el primero en importancia desde el punto de vista comercial al utilizarse ampliamente en la industria alimentaria y farmacéutica (Sivack y Preiss 1998). El almidón es un polisacárido de origen natural abundante en cereales, tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética.

Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucano, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui, 2006).

La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa (Figura. 1.3). Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de Dalton (Badui, 2006).

a)



b)

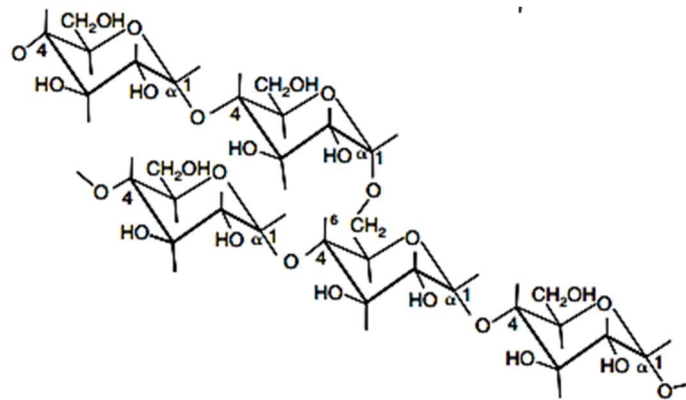


Figura 1.3. (a) enrollamiento helicoidal de la amilosa; (b) estructura química de la amilopectina, (Badui, 2006).

Los almidones contienen aproximadamente 17-27 % de amilosa, y el resto de amilopectina, (en proporción del 25 % amilosa y 75 % la amilopectina). Algunos cereales, como el maíz, el sorgo y el arroz, tienen variedades llamadas “céreas” que están constituidas casi únicamente por amilopectina; hay otras que tienen hasta 90

% de amilosa. La concentración relativa de estos dos polímeros está regida por factores genéticos típicos de cada cereal (Badui, 2006).

Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos, cuando una de estas fracciones está en exceso, puede traer consigo algunos inconvenientes; esto se observa en el arroz cocido, cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilosa, pues resulta menos pegajoso (Badui, 2006).

Para el desarrollo de diferentes métodos microscópicos para identificar el origen de los distintos almidones se ha aprovechado el tamaño y la forma del gránulo que son característicos de cada especie botánica, algunos de ellos mostrados en el cuadro 1.5 (Badui, 2006).

Cuadro 1.5. Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria

Tipo de producto	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	T° gelatinización (°C)	Tamaño del gránulo (micras)
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
5-Tapioca	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

Fuente: Badui, 2006.

La estructura rígida de los gránulos está integrada por capas concéntricas de amilosa y de amilopectina (distribuidas radialmente) que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comerciales.

Estos cuerpos son birrefringentes, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo cual cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta”; esto se debe a que dentro del gránulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas causadas principalmente por la amilopectina, que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa. Por esta razón, los gránulos que contienen una proporción grande de la fracción ramificada no presentan birrefringencia; esta característica, al igual que su espectro de rayos X, se pierde cuando los gránulos alcanzan la gelatinización (Badui, 2006).

1.3.1 Gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen, fenómeno que puede observarse en el microscopio, sin que se presente un aumento importante en la viscosidad; una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente, la cristalina inicia un proceso semejante, pero para esto se requiere más energía (Badui, 2006).

Desde el punto de vista fisicoquímico, los eventos más sobresalientes de la gelatinización son: a) la difusión de agua al interior del gránulo; b) la fusión o transición de las regiones cristalinas; c) hinchamiento del gránulo que también es un proceso difusivo (Blanshard, 1979).

En la Figura 1.4 se presenta la gelatinización del almidón. Al llegar a ciertas temperaturas normalmente cercanas a 65 °C, aunque dependen de cada tipo de almidón, el gránulo alcanza su volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la propiedad de birrefringencia; si se administra más

calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente y la amilosa y la amilopectina, fuertemente hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución. En este punto se pierden la estructura original y la birrefringencia del gránulo; esto va aunado a un aumento de la viscosidad. Aproximadamente 30 % de la amilosa se encuentra en solución. La gelatinización transforma los gránulos de almidón insolubles en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual (Badui, 2006).

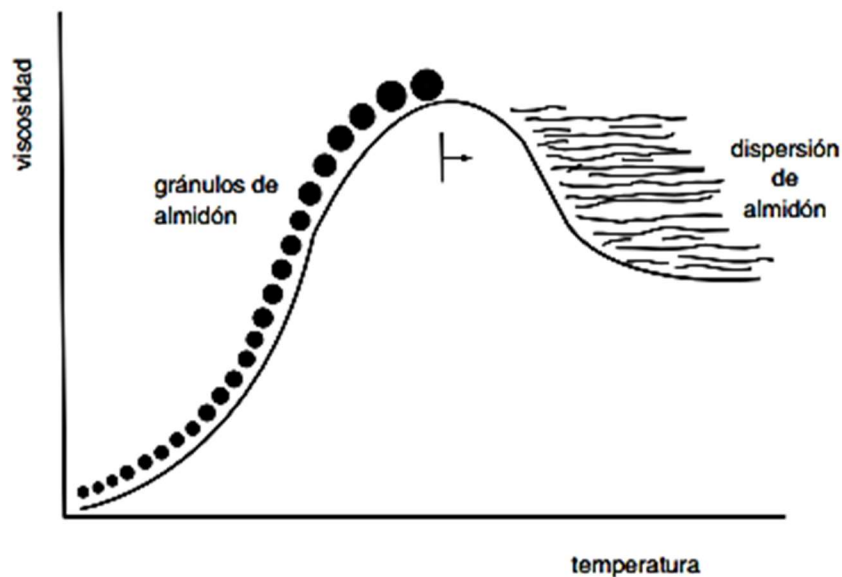


Figura 1.4. Gelatinización del almidón (Badui, 2006).

Se ha encontrado que las propiedades funcionales de los almidones se modifican radicalmente dependiendo de si se emplean solos o con otros hidrocoloides, ya que se pueden obtener reacciones sinérgicas (Badui, 2006).

Muchos métodos están actualmente disponibles para la determinación de la gelatinización de almidón, como el microscopio de platina caliente Kofler, difracción de rayos X, calorimetría diferencial de barrido (DSC), resonancia Magnética nuclear pulsada, digestibilidad enzimática, dispersión de rayos X de ángulo pequeño, seguimiento de la viscosidad durante el proceso de gelatinización en viscoamilógrafos o viscosímetros rotacionales (Singh *et al.*, 2003).

1.3.2 Retrogradación

Este fenómeno se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos (Badui, 2006).

La retrogradación del almidón es un fenómeno dependiente de la temperatura y del tiempo; el cual involucra una cristalización parcial de los componentes del almidón.

De acuerdo con la definición de Atwell *et al.* (1999), la retrogradación del almidón ocurre cuando las moléculas de almidón gelatinizado comienzan a reasociarse en una estructura ordenada, la cual bajo condiciones favorables genera una estructura cristalina.

Cuando la pasta de almidón gelatinizado se enfría lentamente se forma una estructura parcialmente cristalina, la cual se manifiesta por la formación de precipitados o geles y afecta a la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón (Baker y Rayas-Duarte, 1998).

1.4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

1.4.1. Método seco

Consiste básicamente en la molienda del grano después de secado, obteniendo de este proceso harina, para su posterior tamizado y así obtener el almidón. Tomando en cuenta la operaciones pequeñas que se llevan a cabo de manera intermedia de los procesos anteriores para facilitar el desarrollo del método y obtener un producto final de calidad y con características que sean deseables en el almidón, en la preparación de la muestra:

- Reducción de tamaño: se realiza un rebanado de la pulpa en forma de lascas de aproximadamente 2 mm de espesor para facilitar el secado.

- Secado: se coloca el fruto en lascas en bandejas de un secador solar que opera aproximadamente 40°C por un tiempo aproximado de 40 horas si el clima es soleado y las condiciones climáticas permanecen estables.
- Molienda Se somete la muestra seca a trituración en un molino de discos para obtener harina.
- Tamizado: Se lleva a cabo la operación de tamizado a la muestra de harina obtenida, haciéndola pasar por tamices de 100 U.S., 140 U.S., 200 U.S., 325 U.S. y 400 U.S.

(Villar, 2018).

1.4.2. Método húmedo

Este método necesita la reducción del tamaño del material de interés usando un medio líquido, que va a facilitar la eliminación de componentes que son relativamente más grandes (Valderrama, 1997).

El proceso tradicional de extracción del almidón consiste fundamentalmente en romper las paredes celulares del cereal para liberar los gránulos de almidón mediante un rallado, seguido de la adición de agua y filtración, lo que permite la separación de las partículas de almidón suspendidas en el medio líquido de aquellas que son relativamente más grandes, como los componentes de la fibra, posteriormente se elimina el agua y se lava el material sedimentado para eliminar las últimas fracciones diferentes del almidón para finalmente someter al almidón purificado a un secado (Alarcón y Dufour, 1998).

En el método húmedo se usa como base el procedimiento usado por Hermosa (2013).

- Licuado: En esta operación se realiza un rebanado a la muestra para luego ser reducido a mayor medida por la licuadora añadiendo agua para facilitar la operación.
- Filtrado: Se tamiza la mezcla mediante un filtro de tela (lienzo), se añade abundante agua exprimiendo para remover y diluir el almidón.

- Sedimentación: Durante tres horas se deja reposar el filtrado, posteriormente se enjuaga el precipitado y se deja sedimentar nuevamente.
- Tamización. El almidón lavado se tamiza por segunda vez eliminando los últimos restos de fibra. Se deja sedimentar por 3 horas para luego eliminar el sobrante,
- Secado: Luego se lleva a temperatura de 30 °C, posteriormente se muele y se almacena.

Cobana y Antezana (2007) describen un método de extracción de almidón a partir de yuca utilizando una vía seca, obteniendo un producto de buena calidad, pero que requiere de premoliendas en estado húmedo, siendo el producto obtenido como un almidón modificado en el contenido de azúcares. Los métodos de extracción de almidones utilizando como solvente agua o álcali han sido descritos como de bajo costo y de alto rendimiento.

1.5. IRRADIACIÓN MEDIANTE MICROONDAS

Las microondas son ondas de radio de alta frecuencia (campos de radiofrecuencia) y como la radiación visible (luz), son parte del espectro electromagnético y como ondas electromagnéticas cubren una parte del espectro electromagnético (Figura 1.5), normalmente consideradas dentro del intervalo de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz, se encuentran delimitadas por las radioondas y las radiaciones infrarroja, estas frecuencias abarcan parte del intervalo de UHF (ultra alta frecuencia) y todo el intervalo de SHF (super alta frecuencia) y EHF (extra alta frecuencia). Estas ondas se utilizan en numerosos sistemas, como múltiples dispositivos de transmisión de datos, radares y hornos microondas (Martínez, 2000).

Espectro visible por el ojo humano (Luz)

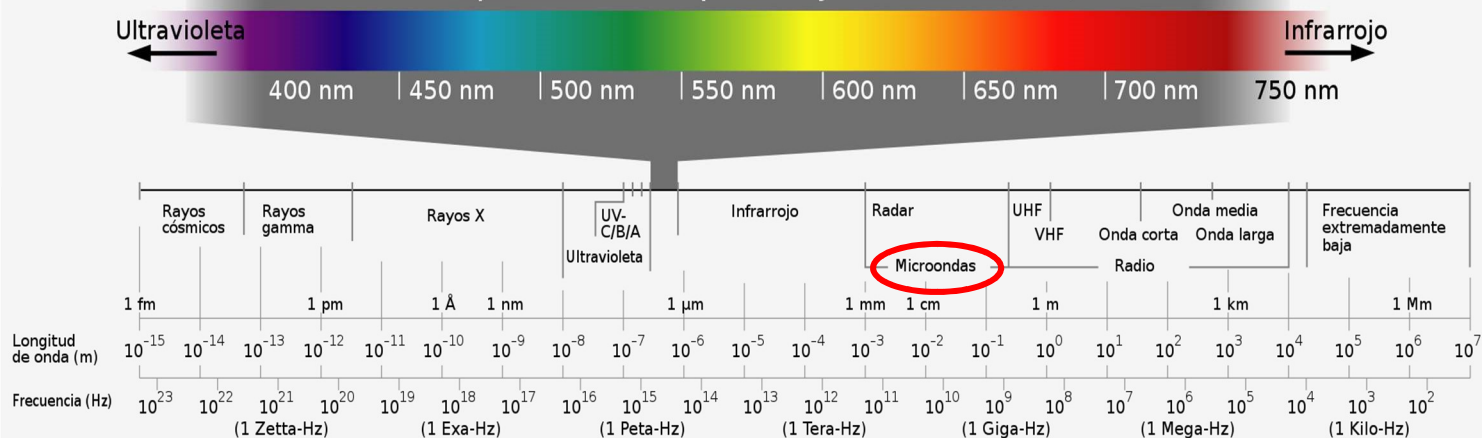


Figura. 1.5. Espectro visible por el ojo humano (Luz) (Horst, 2005).

Las microondas son una radiación no ionizante. A diferencia de la radiación ionizante como los rayos gamma y los rayos X que provocan el rompimiento de las ligaduras químicas o causan cambios moleculares en componentes por la extracción de sus electrones, las microondas interaccionan con los materiales dieléctricos para la generación de calor por medio de la excitación de las moléculas sujetas a un campo o electromagnético oscilante (Sánchez, 1985).

La radiación por microondas es similar a la radiación térmica en que esta puede ser absorbida, transmitida o reflejada y en que causa el mismo efecto de calentamiento sobre la materia (Martínez, 2000).

Los hornos microondas domésticos operan en frecuencias de 2450 MHz en el intervalo de energía de 500 a 1100 vatios. Las microondas son producidas por un tubo electrónico llamado magnetrón. Una vez que el horno es encendido, las microondas se dispersan en la cavidad del horno y son reflejadas por un ventilador agitador de modo que las microondas sean propagadas en todas direcciones. Son reflejadas por las partes de metal de la cavidad del horno y absorbidas por el alimento (OMS, 2021).

1.5.1. Aplicación de microondas en almidones

La modificación del almidón es eliminar las deficiencias de los almidones nativos, tales como poca resistencia a condiciones extremas de procesamiento y para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Kaur *et al.*, 2012).

Aunque el uso de productos químicos inocuos para los alimentos, como los ácidos grasos, se está considerando como alternativas a los productos químicos sintéticos, métodos físicos como el recocido, el calor húmedo y el microondas parecen ser mejores alternativas. Esto se debe a que son respetuosos con el medio ambiente y se consideran más seguros (Bemiller, 1997).

El calentamiento por microondas se ha utilizado en la modificación de almidones de yuca (Colman *et al.*, 2014), papa (Xie *et al.*, 2013) y maíz (Luo *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2017). El calor penetra en el interior de las moléculas de almidón (Chandrasekaran *et al.*, 2013; Zhu *et al.*, 2016), pero varios factores como el contenido de humedad del almidón, tiempo de calentamiento de microondas, potencia de calentamiento de microondas y el origen botánico pueden influir significativamente en las propiedades fisicoquímicas de almidón.

Luo *et al.* (2006) informó que el contenido crítico de humedad del almidón adecuado para el calentamiento por microondas es aproximadamente del 30 %. Estudios anteriores sobre microondas informaron variaciones de potencia de microondas y tiempos de exposición prolongados.

El corto tiempo de microondas (<60 s) puede mejorar la funcionalidad de almidón (Xie *et al.*, 2013).

1.8 PRODUCTOS LÁCTEOS

A partir de la leche fresca se elaboran distintos derivados; algunos de ellos, como los quesos, se conocen desde hace muchos siglos y su preparación se practica desde entonces como un método de conservación, mientras que otros se han desarrollado en las últimas décadas gracias a los avances tecnológicos (Badui, 2006).

En el mercado se encuentra una gama enorme de productos lácteos: leche entera, descremada, deslactosada y descremada/deslactosada, en versiones pasteurizada y ultrapasteurizada; leche en polvo entera o descremada; condensada; evaporada; mantequilla; queso; suero de la leche; crema; leche fermentada, como yogurt, búlgara, kéfir; dulce/natilla como la cajeta; caseínas (ácida, láctica, renina);

caseinatos para uso comestible e industrial. Por contener un gran número de nutrimentos y por ser un alimento tan completo, con un pH casi neutro y alta actividad del agua, la leche está sujeta a contaminaciones microbiológicas que la hacen un producto altamente perecedero. Los distintos derivados que de ella se obtienen representan una forma más estable, con una vida de anaquel mucho mayor que la materia prima de origen (Badui, 2006).

Un producto de repostería lácteo es el producto elaborado a partir de ingredientes propios de la leche, tales como caseína, grasa, suero de leche, agua para consumo humano, con un mínimo de 22 g/L de proteína de la leche y de ésta, el 80 % de caseína, puede contener grasas de origen vegetal en las cantidades necesarias para ajustarlo a las especificaciones establecidas NOM-183-SCFI-2012.

En la repostería existen diferentes tipos de productos entre ellos están los semisólidos tipo natilla o pudines de diferentes sabores, estos productos son muy populares por grupos de consumidores como los niños y personas mayores en todo el mundo, apreciados por su consistencia a cremosidad y su valor nutritivo (Tárrega *et al.*, 2007).

Los productos para repostería por lo generalmente están compuestos de leche, azúcar, saborizantes y espesantes como almidones y gomas (Tárrega *et al.*, 2005).

Los postres lácteos semisólidos de diferentes sabores (vainilla, chocolate, fresa, etc.) son productos muy populares en Europa. Entre ellos, los de vainilla (“Natillas” en España, “Vanilla vla” en Holanda o “Crème dessert” en Francia), son los más consumidos. Sus características nutricionales y sensoriales los hacen especialmente adecuados para diferentes grupos de consumidores como los niños y las personas mayores (Tárrega *et al.*, 2005).

1.8.1. Natilla

Las natillas están compuestas por leche, espesantes (almidón e hidrocoloides), sacarosa, aroma de vainilla y colorantes. Las características de estos ingredientes (el contenido en grasa de la leche, el tipo y concentración de almidón, el tipo y concentración de hidrocoloide, la concentración de sacarosa, el aroma y el

colorante) y las interacciones entre ellos, pueden dar lugar a importantes diferencias en las propiedades físicas y sensoriales de estos productos y estas diferencias pueden influir en la aceptación de los mismos por los consumidores. Existe muy poca información sobre las características físicas y sensoriales de estos productos. Sus propiedades reológicas dependen de las condiciones del proceso de fabricación (Nayouf *et al.*, 2003) y de las características particulares de algunos de sus ingredientes como del contenido en grasa de la leche (Matser y Steeneken, 1997; Abu- Jdayil *et al.*, 2004), del tipo y concentración de almidón (Wischmann *et al.*, 2002), de hidrocoloide y de las interacciones entre ellos (Depypere *et al.*, 2003).

1.9 HIDROCOLOIDES

Los polisacáridos se encuentran en forma natural en muchos alimentos, pero en algunas ocasiones se añaden a otros para obtener la formulación correcta, como en el caso del almidón, la carragenina y las pectinas, que se utilizan por sus propiedades funcionales. Por su gran capacidad de retener agua, producen partículas coloidales muy hidratadas, razón por la cual se les da el nombre de hidrocoloides (Badui, 2006).

La retención de agua puede causar la formación de un gel; tal es el caso de los producidos por las carrageninas y las pectinas. Las moléculas de agua se orientan respecto de los grupos hidroxilo que se encuentran en las moléculas de azúcar del hidrocoloide, lo que conduce a la formación de una red tridimensional. Durante el almacenamiento puede ocurrir que las macromoléculas reaccionen entre sí y pierdan su capacidad de retención de agua; esto ocasiona que las moléculas de agua que ya no son retenidas se desprendan de la matriz del gel y emigren a la superficie. Este fenómeno se conoce como sinéresis, lo cual indica exudación o liberación de agua causada por un reacomodo interno de las macromoléculas

Se ha encontrado que las propiedades funcionales de los almidones se modifican radicalmente dependiendo de si se emplean solos o con otros hidrocoloides, ya que se pueden obtener reacciones sinérgicas (Badui, 2006).

Las propiedades funcionales dependen del hidrocoloide, algunos sólo pueden fungir como espesante más no como gelificante, otros actúan solo bajo condiciones específicas de pH o metales. Estas propiedades se deben a la composición química, por ejemplo, si tienen cargas eléctricas sus moléculas, la conformación que adopte en el disolvente, el tamaño y la forma, es decir, si es lineal o ramificado. La concentración generalmente utilizada es por debajo del 2 % (Fennema, 2017).

Actualmente los hidrocoloides son muy utilizados e importantes debido a las características que les proporcionan a los alimentos como mejorar la textura, encapsular sabores y aromas, dar estabilidad al mantener las características físicas del alimento por más tiempo, evitar la cristalización del agua y azúcares como la sacarosa o lactosa, incrementar la retención de agua, pero a la vez disminuir su actividad (Badui, 2006; Fennema, 2017).

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades sensoriales (sinéresis y color) y texturales de una natilla elaborada con almidones de arroz y maíz, separados por métodos físicos e irradiados con microondas determinando su efecto en los atributos sensoriales del producto terminado.

2.1.2 Objetivos particulares

1. Determinar los cambios de viscosidad a partir de una prueba de gelatinización de los almidones de arroz y maíz separados por métodos físicos e irradiarlos con microondas.
2. Evaluar las propiedades sensoriales (sinéresis y color) y texturales de una natilla elaborada con almidones de maíz y arroz irradiados con microondas.
3. Aplicar un análisis sensorial por medio de pruebas hedónicas a las natillas para establecer el diferente efecto de la irradiación entre los almidones de maíz y arroz por microondas en el producto terminado.

2.2 OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA (MAÍZ Y ARROZ)

El arroz (*Oryza sativa*), que se utilizó fue de la marca La Merced ®, este es un arroz blanco de grano largo, mientras el maíz dentado blanco (*Zea mays* L.), se adquirió de un molino donde se realiza el proceso de nixtamalización.

2.3 OBTENCIÓN E IRRADIACIÓN DE LOS ALMIDONES

2.3.1. Extracción de almidón

En la Figura. 2.1 se muestra el diagrama de bloques para la separación de almidón de maíz y de arroz.



Fig. 2.1. Diagrama de bloques para la obtención del almidón.

Lavado

- A los granos pulidos se les retiran las impurezas y los granos que están en mal estado también deben de retirarse, después se lavan con abundante agua para poder trabajar con granos limpios y sin materia extraña.

Separación de almidón

- En un recipiente de capacidad para 4 litros, se agregan 2 kg del grano, previamente limpio. Agregar agua a cubrirlo y si es necesario ir agregando más agua para empararlo. No debe de flotar el grano.
- Tapar el recipiente y dejar reposar 24 h en refrigeración.
- Pasado el tiempo, llevar el grano remojado a un molino de cuchillas para triturar el material, no es necesario agregar más agua.
- Pasar el material molido-remojado en una malla 200 y filtra en otro recipiente.
- Limpiar la malla 200 antes de usarla otra vez.
- La suspensión que se filtra dejarla reposar por 48 h en refrigeración en el recipiente cerrado.

- Ir retirando cuidadosamente el agua flotante y dejar sedimentando hasta que el agua se vea más clara.
- Una vez que se separa el agua, retirar el material sedimentado, que es el almidón con ayuda de una pala de madera.

Secado de almidón

- El material sedimentado, colocarlo en una charola extendida con papel aluminio.
- Ponerlo a secar al sol durante el tiempo necesario de preferencia que esté en un lugar que le dé directo el sol y no haya mucho aire de por medio, (se recomienda dejarlo antes de mediodía para que al final del día esté seco), revisarlo cada hora y acomodarlo como migas cuando esté más seco.

Tamizado de almidón

- Una vez secado completamente el material, y no esté nada húmedo, hacerlo pasar por una malla 60 para que las partículas del material estén más finas y homogéneas.

Empaque y almacenamiento

- Guardar el material en una bolsa hermética y etiquetarlo. Debe estar en temperatura ambiente y bien sellado.

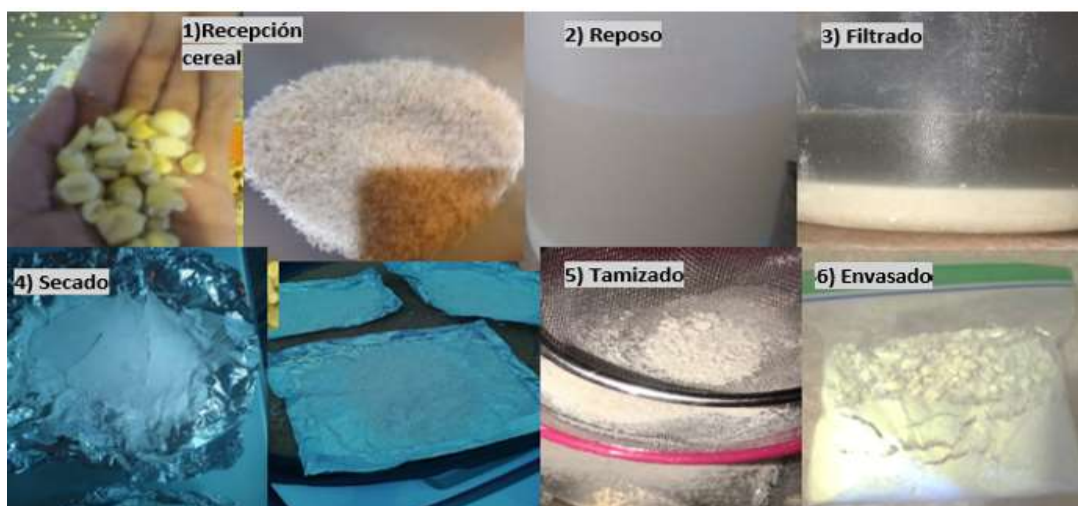


Figura. 2.2. Separación de almidón.

2.3.2. Radiación por microondas

Equipo: Microondas Panasonic alta potencia 1300 W a una frecuencia de 2450 MHz.

El objetivo de la radiación por microondas aplicado al almidones que a mayor tiempo (entre tiempos cortos), exista mayor estabilidad en el producto terminado (natilla), ya que entre más tiempo de radiación se espera que el producto sea más estable, con menos agua libre.

Ya que las microondas se utilizan para el procesamiento de alimentos debido a que ellos generalmente presenta constantes dialécticas relativas por el alto contenido de húmedas, así como una tangente de pérdida relativamente alta (0.1-1.0), además que una de las ventajas el calentamiento por microondas es su uniformidad de calentamiento, debido a que las ondas penetran en el alimento provocando un calentamiento interno y no sobre la superficie y en la calidad en cuanto a término de textura, (Martínez, 2000).

El tratamiento de radiación por microondas para el almidón se realizó en tiempos cortos ya que el tiempo de tratamiento debe de ser considerablemente reducido mediante el proceso por microondas, siendo los tiempos de: control 0 s, 6 s, 12 s, 18 s, 24 s, donde se agregó 1 g. del almidón a utilizar sobre una servilleta de manera que esté expandido en un horno de microondas doméstico marca Panasonic de alta potencia de 1300 W y a una frecuencia de 2450 MHz.

2.4. PRUEBA DE GELATINIZACIÓN DE ALMIDÓN

Los perfiles de gelatinización de harina de nueve muestras suspendidas en agua se analizaron utilizando un reómetro (Anton Paar MCR 102) con una celda de almidón utilizando la metodología propuesta por Rincón-Londoño *et al.* (2016).

Procedimiento:

1. Especificar la temperatura inicial de experimentación de 50°C esto se puede realizar de forma manual en el equipo o automática en la computadora.
2. Esperar a que se llegué a la temperatura requerida, la velocidad de rotación del sistema debe ser de 194 rpm.

3. Pesar 3 g del almidón a utilizar, tamizarlo y medir 18 mL de agua destilada.
4. La suspensión debe ser calentada de 50-90°C por 5 min. y se debe mantener constante a 90 °C durante 5 min.
5. Finalmente, cada muestra debe ser enfriada a 50 °C por 5 min.
6. Para retirar la copa y la paleta es necesario disminuir la temperatura a 25 °C como mínimo.

En la Figura 2.3 se muestra el procedimiento de prueba de gelatinización por medio de reómetro marca Anton Paar MCR 102.

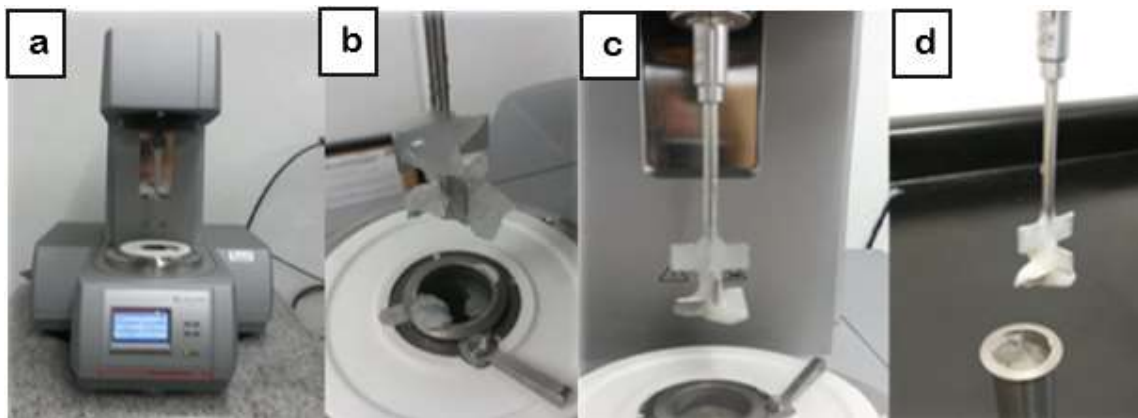


Figura 2.3. Procedimiento de prueba de gelatinización, reómetro (Anton Paar MCR 102) equipado con celda para medir almidones.

2.5. FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LA NATILLA

2.5.1 Materiales

Muestras de almidón de maíz y arroz separados mediante el método físico (Figura 2.1), leche descremada light comercial marca LALA, azúcar refinada comercial marca Chedraui y carragenina kappa ESTABIGEL Fla-30127 marca Sinergum.

De acuerdo a la revisión de diferentes artículos, entre ellos: “Caracterización reológica de sistemas modelos de natillas” (Vélez, 2004), se proponen las formulaciones para la elaboración de una natilla indicadas en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Formulaciones para la elaboración de una natilla utilizando, por separado, almidón de arroz (AA) y almidón de maíz (AM).

	Formulación 1	Formulación 2
INGREDIENTES	AA (%)	AM (%)
LECHE DESCREMADA	90.46	90.46
ÁZUCAR	7	7
ALMIDÓN	2	2
VAINILLA	0.5	0.5
CARRAGENINA	0.04	0.04
TOTAL	100	100

2.5.2 Procedimiento elaboración natilla

En la Figura. 2.4. se muestra el diagrama general de elaboración de natilla

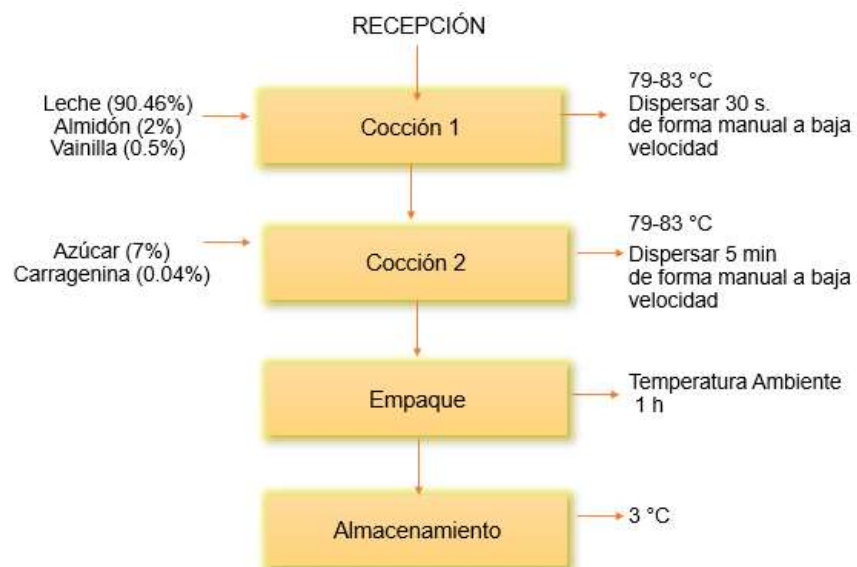


Figura. 2.4. Diagrama de bloques la preparación de la natilla.

1.- Cocción, agregar la leche, almidón a utilizar y vainilla en una olla a temperatura de entre 79-83 °C fuego bajo y dispersar el almidón durante 30 s de forma manual a baja velocidad con ayuda de una cuchara.

2.- Pasando los 30 s de dispersión, agregar enseguida azúcar y carragenina RC2 y continuar dispersando a baja velocidad y de forma manual ahora durante 5 minutos a temperatura entre los 79-83 °C (no debe de llegar al punto de ebullición).

3.- Finalmente la natilla se guarda en un envase de plástico para realizar un atemperado a 25 °C durante una hora, después la natilla se almacena en refrigeración.

2.6. PROPIEDADES FISICAS DE LA NATILLA

2.6.1 Color

Equipo: Colorímetro CR-300, Minolta.

Los colorímetros son instrumentos sofisticados para medir el color que realizan mediciones "triestímulos" basadas en el pasaje de la luz a través de los tres filtros primarios, rojo, verde y azul, los que simulan la forma en que el ojo humano es sensible a la luz. Las mediciones de color triestímulos brindan información sobre la cantidad de éstos tres componentes presentes en la luz reflejada o transmitida por un producto. Esta información puede ser transmitida para ajustar los componentes de color (Manual CR-300 KONICA MINOLTA).

Procedimiento:

1. Calibrar el equipo con la tablilla de calibración (blanco)
2. Colocar el colorímetro sobre la muestra para realizar la medición.
3. Registrar los valores de L^* a^* b^* para cada medición
4. Realizar 4 repeticiones por muestra con un valor promedio de los valores L^* a^* b^* de cada muestra

L^* indica ligereza (100 = blanco y 0 = negro). a^* indica enrojecimiento-verdor y b^* indica amarillez-azul.

Para el cálculo del valor de croma (C) indica la intensidad o saturación del color, para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \sqrt{(a)^2 + (b)^2}$$

Ec. 1.1.

Para el cálculo del ángulo de tono (Hue) se utiliza la ecuación 1.1:

$$H^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

Ec. 1.2.

(Para llevarlo al intervalo de 0° a 360°, hay que sumar 180° dependiendo en el cuadrante que se encuentra).

Para el cálculo de diferencia de color (ΔE) se utiliza n la ecuación 1.3:

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

Ec. 1.3.

Donde:

$$\Delta a = a_{masa} - a_{referencia}, \Delta b = b_{masa} - b_{referencia}, \Delta L = L_{masa} - L_{referencia}$$

(Bao *et al.*, 2005)

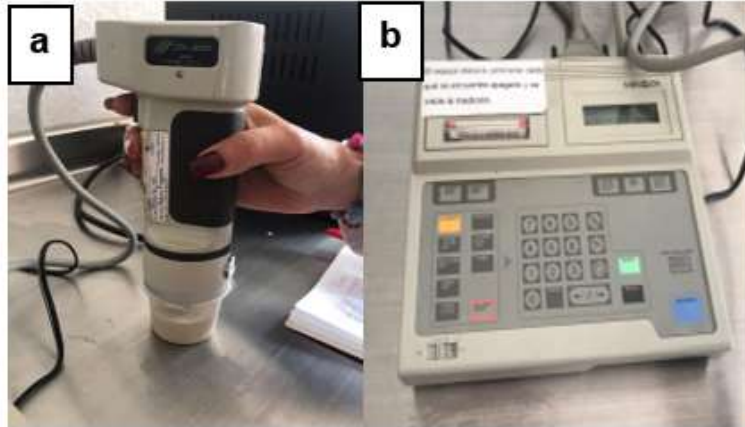


Figura. 2.5. Colorímetro CR-300, Cónica Minolta, (a) cabezal y (b) procesador de datos.

2.6.2 Sinéresis

Las natillas, exudaron distintas cantidades de líquido, por lo que la prueba se determinó como la diferencia de peso (P1) y después se almacenaba cada 24 horas (P2) y se determinaba cada 24 horas por 7 días.

Antes de almacenar las muestras se pesaban y se les colocaba una servitoalla en la superficie, posteriormente se tapaba y almacenaba a una temperatura de 3 °C al día siguiente la servitoalla se retiraba y se pesaba la muestra para volver a pesar sin la servitoalla y obtener el peso final de la natilla, como se observa en la Figura. 2.6.

La pérdida de peso fue expresada como porcentaje en relación con el peso original.

$$\text{Sinéresis} = \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) (100)$$

Donde:

P1: Peso inicial de la natilla P2: Peso final de la natilla

En la Figura 2.6 se muestra el proceso de sinéresis en los envases adecuados para llevar a cabo el proceso.



Fig. 2.6. Proceso de sinéresis en las natillas.

2.6.3 Análisis de textura de las natillas

Equipo: Texturómetro CT3, Brookfield

El principio de funcionamiento del CT3 Texture Analyzer (Figura 2.7), es poner una muestra a fuerzas controladas en compresión usando una sonda, o en tensión usando agarres. La resistencia del material a la fuerza establecida es medida por una celda de carga calibrada y se muestra en gramos o Newtons. Estas fuerzas son una función de las propiedades de la muestra y los parámetros del método de prueba (Manual CT3 TEXTURE ANALYZER).

Equipo: Texturómetro CT3, Brookfield

El principio de funcionamiento del CT3 Texture Analyzer (Fig. 2.7), es someter una muestra a fuerzas controladas en compresión usando una sonda, o en tensión usando agarres. La resistencia del material a la fuerza establecida es medida por una celda de carga calibrada y se muestra en gramos o Newtons. Estas fuerzas son una función de las propiedades de la muestra y los parámetros del método de prueba (Manual CT3 TEXTURE ANALYZER).

El análisis se realizó en un texturómetro Brookfield CT3 con las siguientes condiciones además de utilizar sonda cilíndrica.:

- Celda de carga de 25 kg

- Deformación: 5 mm
- Celda de precarga: 1g
- Velocidad de prueba de 1.7 mm/s
- Geometría cilíndrica: TA4/1000.

Preparación de la muestra:

Se elaboraron treinta muestras de natilla de almidón de arroz y treinta de almidón de maíz, de las cuales quince muestras de natilla de arroz y quince de natilla de maíz se elaboró 7 días antes para el respectivo análisis de día 1 en función del día 7 en textura de las natillas, se colocaron en vasos plásticos de 1 oz (altura: 4,5 cm, diámetro superior: 5 cm), llenados hasta 3 cm de altura todos, (se realizó una marca en cada vaso para que todas las muestras estuvieran al mismo nivel). Con ayuda de una espátula de acero inoxidable se presionó la natilla para la liberar los espacios de aire en el vaso, todas las muestras se mantuvieron en un recipiente cerrado a 4°C en un refrigerador.

Se realizó un ciclo de compresión y los parámetros evaluados fueron dureza, fuerza de adhesión, adhesividad y resiliencia. El equipo trabaja de forma remota con ayuda de una computadora donde construye una gráfica fuerza en función del tiempo.

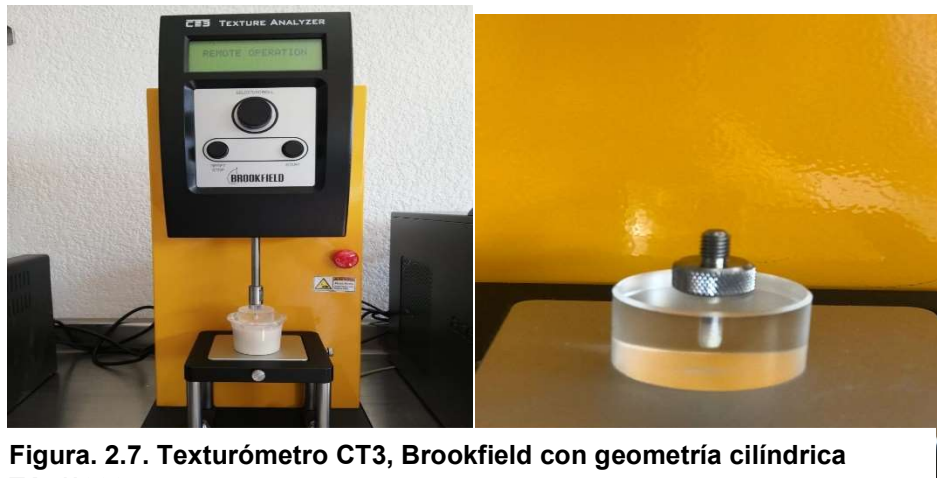


Figura. 2.7. Texturómetro CT3, Brookfield con geometría cilíndrica TA4/1000.

2.7 EVALUACIÓN SENSORIAL HEDÓNICA DE LA NATILLA

El análisis sensorial es el examen de las propiedades organolépticas de un producto realizable con los sentidos humanos. Dicho de otro modo, es la evaluación de la apariencia, olor, aroma, textura y sabor de un alimento o materia prima (UNE, 1997).

Para el análisis sensorial de las natillas, se realizaron 2 muestras la primera muestra es la natilla con almidón de arroz (NAA), la segunda es la natilla con almidón de maíz (NAM), la preparación para las dos muestras es igual. La evaluación de las propiedades sensoriales fue: olor, sabor, color y textura, por lo que la encuesta se realizó mediante la aplicación de una encuesta hedónica de 9 niveles con 20 personas al azar, ya que este postre se consume desde niños hasta adultos de la tercera edad. La encuesta se realizó en lugares públicos.

2.7.1. Condiciones de la prueba

Se prepararon 10 muestras (5 g. cada una) de los dos tipos de natilla siendo natilla hecha almidón de arroz y de almidón de maíz.

La temperatura de la muestra tenía que estar entre 7-10 °C para que los participantes pudieran evaluarla, ya que la natilla es un producto que por lo general se consume frío, las natillas estuvieron a una temperatura promedio de 8 °C.

A cada participante se le proporcionó un formato de evaluación (anexo 1), tres muestras y un vaso de agua, la función era para aclarar el sabor de su garganta antes de consumir las respectivas muestras).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE GELATINIZACIÓN

En la Figura. 3.1. se muestra el amilograma de los almidones de maíz y de arroz respectivamente.

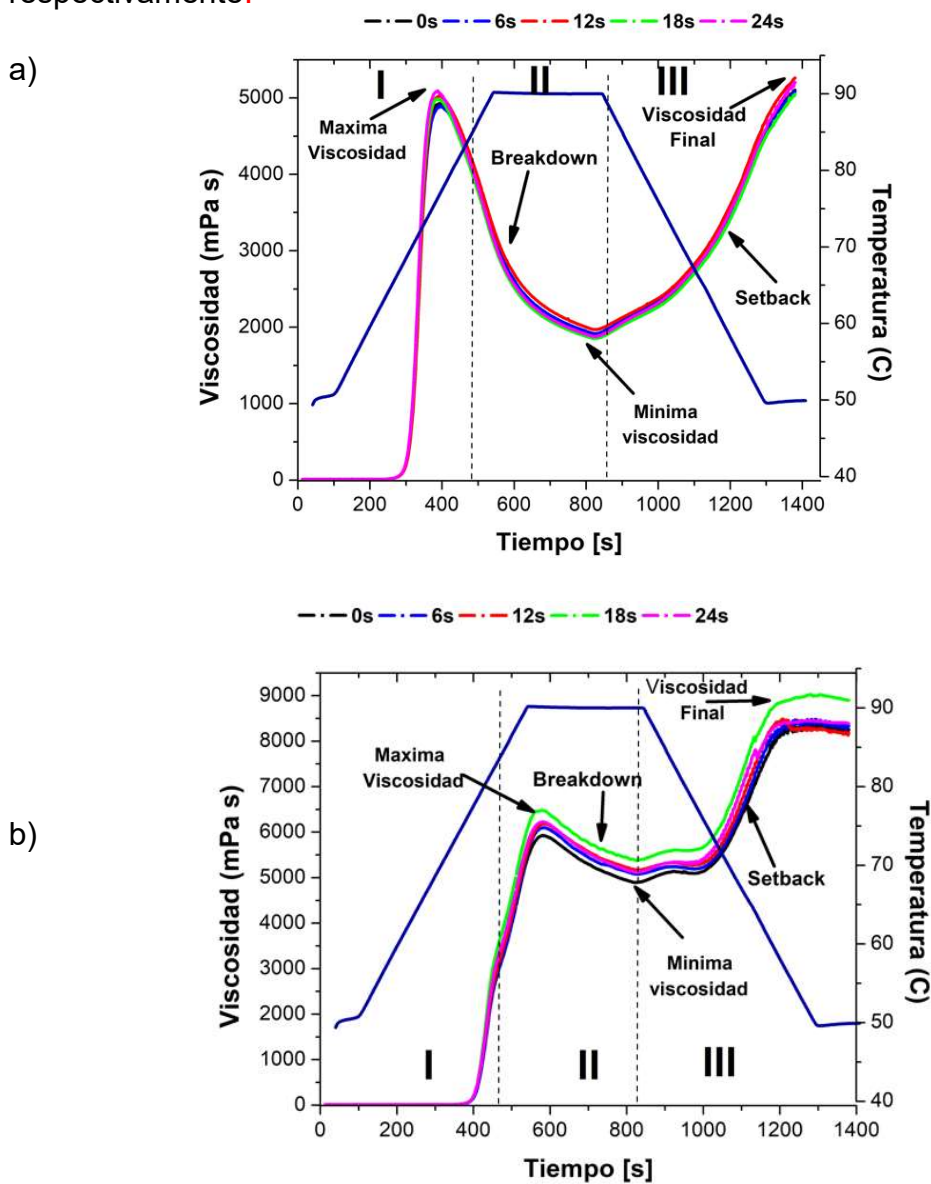


Figura. 3.1. Perfil de viscosidad en función de la temperatura (amilograma) a) amilograma almidón de maíz, b) amilograma almidón de arroz.

Para el almidón de arroz a una temperatura de 70 °C se presentó mayor viscosidad que el almidón de maíz, en el almidón de maíz los cinco tratamientos a diferentes segundos de irradiación fueron similares durante todo el proceso, mientras que para el almidón de arroz los tratamientos cambiaban en sus resultados de viscosidad, la máxima viscosidad se obtuvo para el almidón de arroz en los diferentes tratamientos siendo el tratamiento de 0 s (día control) con 5500 (mPa s) y para el tratamiento de 18 s con 6500 (mPa s) esto en el punto de mayor viscosidad alcanzada a una temperatura de 77 °C, en cuanto al almidón de maíz la mayor viscosidad fue de 5000 (mPa s) alcanzada a una temperatura de 90 ° C. Esto pudo deberse a la diferencia de porcentaje de amilosa y amilopectina que contiene el almidón de arroz y de maíz ya que el almidón de maíz posee de 69-74 % de amilopectina y 26-31 % de amilosa y temperatura de gelatinización de 62-72 °C, mientras que el almidón de arroz posee 83 % de amilopectina y 17 % de amilosa y temperatura de gelatinización de 62-78 %, (Badui, 2006).

En el punto de menor viscosidad para el almidón de maíz fue a la temperatura de 60 °C a 1800 (mPa s) y para el almidón de arroz fue el tratamiento de 0 s (día control) a la temperatura de 77 °C llegando a 5000 (mPa s).

En la viscosidad final para el almidón de maíz, el tratamiento que alcanzó la menor viscosidad (18 s) con temperatura de 90 °C y una viscosidad de 5000 (m Pas) y para el tratamiento con la mayor viscosidad final (12 s) alcanzando una temperatura de 92 °C y viscosidad de 5000 (m Pas), y para el almidón de arroz en el punto de viscosidad final, el tratamiento que alcanzó la menor viscosidad fue 0 s (día control) alcanzando una temperatura de 87 °C y viscosidad de 8000 (m Pas) mientras que el tratamiento de 18 s alcanzó la mayor viscosidad con una temperatura final de 92 °C y 9000 (m Pas).

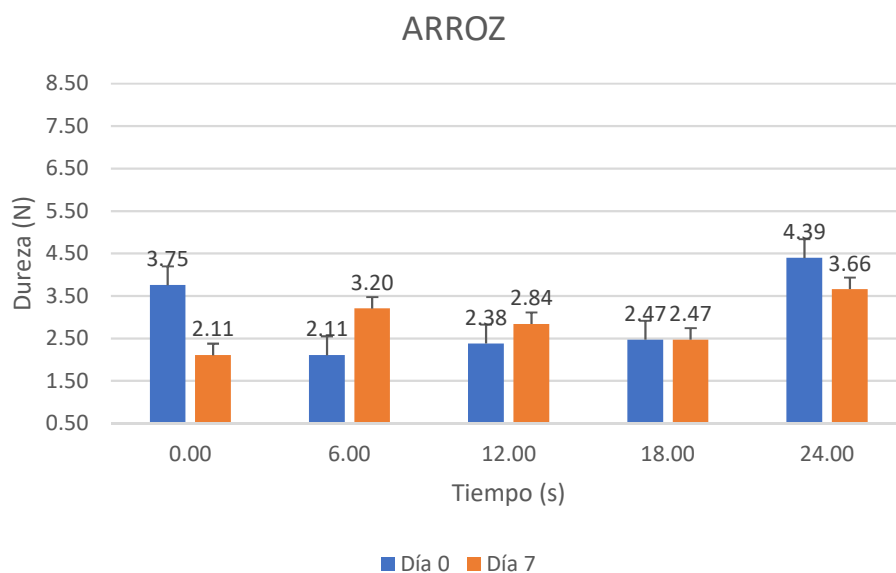
3.2 ANÁLISIS DE TEXTURA

Para la textura de las natillas elaboradas con almidón de arroz y de maíz, se evaluaron los parámetros de dureza, fuerza adhesiva, adhesividad y resiliencia y se compararon con los de una natilla comercial sabor vainilla marca Danette®, a la cual

se le hicieron los análisis de textura utilizando un texturómetro CT3 Brookfield, bajo las mismas condiciones de las natillas experimentales. La prueba de cada uno de los parámetros de textura se realizó a tres muestras de cada tiempo de irradiación, al día 0 y día 7.

En la Figura 3.2. se muestran los resultados de dureza de las natillas a base de almidón de arroz y de maíz.

a)



b)

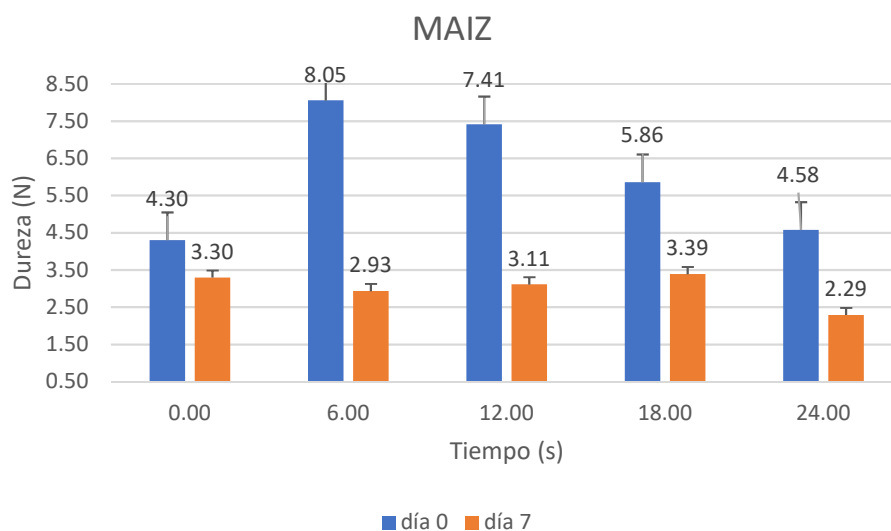


Figura 3.2. Valores promedio (\pm D. E) de la dureza de la natilla elaborada con almidón de arroz (a) y de maíz (b) irradiado por varios tiempos a los días 1 y 7.

La consistencia se refiere a la fuerza necesaria para lograr una deformación determinada, resistencia que muestra a un pequeño desplazamiento de mandíbulas y a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar (Gasca, *et al* 2017). Para la natilla comercial se obtuvo una dureza promedio de 2.6 N entre el día 0 (día control) y el día 7, por lo que los valores más cercanos a este valor fue para la natilla a base de arroz con 18 s de irradiación, con un valor promedio de dureza de 2.47 N para los días 0 y 7, correspondiendo a un 5 % de diferencia respecto al valor de la dureza de la natilla comercial (Figura 3.2 a) con relación al tratamiento con 12 s de irradiación para el día 0 (día control) obtuvo un valor de (2.38 N) con un 8.47 % menos que del resultado promedio de la natilla control. Los valores promedio de dureza con diferencia significativa fueron los del día 0 (día control) para la natilla sin irradiar, y los de 24 s irradiados para ambos días. Los mejores tratamientos para dureza cercana al promedio de la comercial son los tratamientos de 18 y 12 s ya que estos representan una mejor estabilidad.

En comparación del resultado de la dureza de la natilla de maíz contra el valor de la dureza de natilla comercial de 2.6 N, los tratamientos de día 7 para 6 s de irradiación (2.93 N) obtuvo una diferencia mayor por el 12.6 % y para el tratamiento del día 7 con 24 s (2.28 N) este tratamiento obtuvo una diferencia menor del 12.30 % con un valor más cercano a el promedio comercial. Los tratamientos para el día 0 (día control) de 6 y 12 s obtuvieron una fuerza de 8.05 y 7.41 N respectivamente, por lo que estos valores sobrepasan el promedio comercial, puede que esto ocurre por alguna dispersión en el procedimiento.

El parámetro de dureza a la natilla es el que le da su respectiva consistencia, en cuanto a la comparación de ambas natillas a base de almidón de maíz y de arroz, la de arroz fue más favorable en este parámetro de textura ya que su máxima dureza fue en el tratamiento de día 0 (día control) con tiempo de 24 s de irradiación, resultado de 4.39 N y la menor de 2.11 N en el tiempo sin irradiación y en día 0 (día control). Mientras que en la de maíz, en el tratamiento de 6 s del día 0 (día control) con un resultado de dureza de 8.05 N, por lo que el único tratamiento cercano a la natilla comercial con la natilla a base de maíz fue la del tratamiento de 24 s del día

7, este cambio de consistencia en la natilla de maíz pasado los días se pierde condición y su estructura llegar a romperse y su consistencia también depende de una correcta formulación, al contrario de la natilla de arroz en la cual la irradiación mejoró la consistencia del producto.

En la natilla de arroz la irradiación favoreció la estabilidad de la natilla para el tratamiento de 18 s para día 0 (día control) y día 7, ya que no hubo pérdida significativa de la dureza. A diferencia de la de maíz que si fue notoria la disminución de la dureza en el día tratamiento de 18 s en el cual para ambos días hubo diferencia significativa.

En la Figura 3.3. se muestran los resultados de fuerza adhesiva de las natillas a base de almidón de arroz y de maíz.

En esta gráfica se analiza la fuerza adhesiva la cual representa la fuerza necesaria para la separación del dispositivo de la natilla, (Gasca, *et al* 2017). La natilla comercial obtuvo un promedio de 1.23 N, comparando este promedio con los promedios de las natilla de arroz y maíz, observamos en la gráfica que en su mayoría los tratamientos estuvieron cercanos a el valor promedio comercial, pero para la natilla de arroz los tratamientos de 18 y 24 s para el día 0 (día control) obtuvieron 1.19 N, con un 3.26 % menor al promedio; para los tratamientos de 18 y 24 s para ambos días los valores promedio de fuerza adhesiva no fueron diferentes. En el tratamiento de 6 s de irradiación del día 0 (control) podemos observar que presento un valor promedio de 2.38 N que fue significativamente mayor que los promedios de la fuerza adhesiva de los demás tratamientos (Figura 2.1 a). En la gráfica de maíz podemos observar que la mayoría de los valores promedio de la fuerza adhesiva de los tratamientos (irradiados por 6s, 12 s, y 24 s del día presentaron los valores) más cercanos al promedio de la natilla comercial, excepto el tratamiento no irradiado que presentó una media de 1.92 N que fue significativamente mayor ($p < 0.05$) que las medias de los demás tratamientos. Para el día 7 el tratamiento no irradiado y el tratamiento irradiado por 18 s mostraron valores promedio de la fuerza adhesiva más cercanos a la media de la natilla comercial con diferencias de más 1.4 % y de menos 3.3 % respectivamente.

Para el mejor tratamiento de la natilla de arroz fue el de 18 y 24 s de irradiación en día control, mientras que para la natilla de maíz fue el tratamiento de 18 s en el día 7. Por lo que observamos que la irradiación 18 s en ambos tratamientos fue el mejor tiempo.

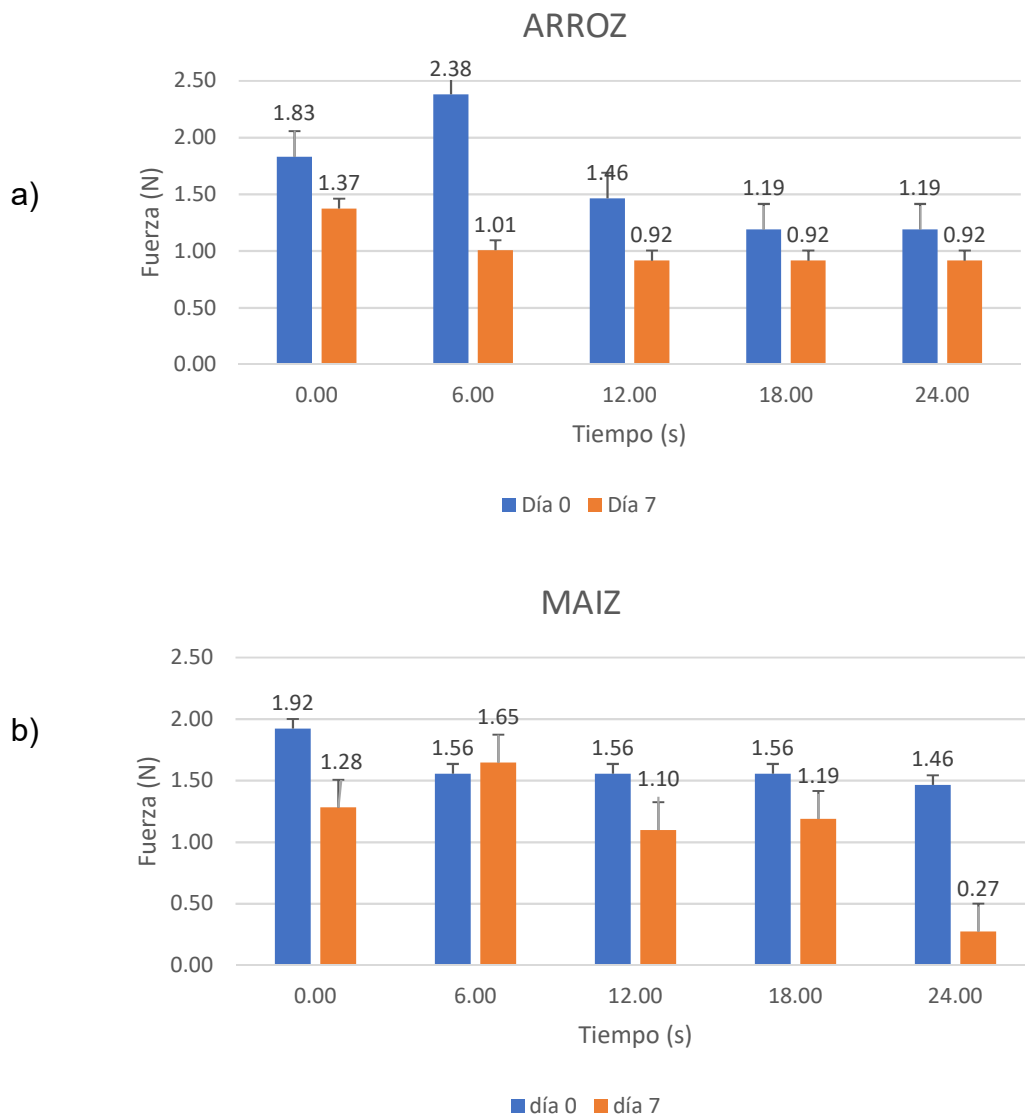
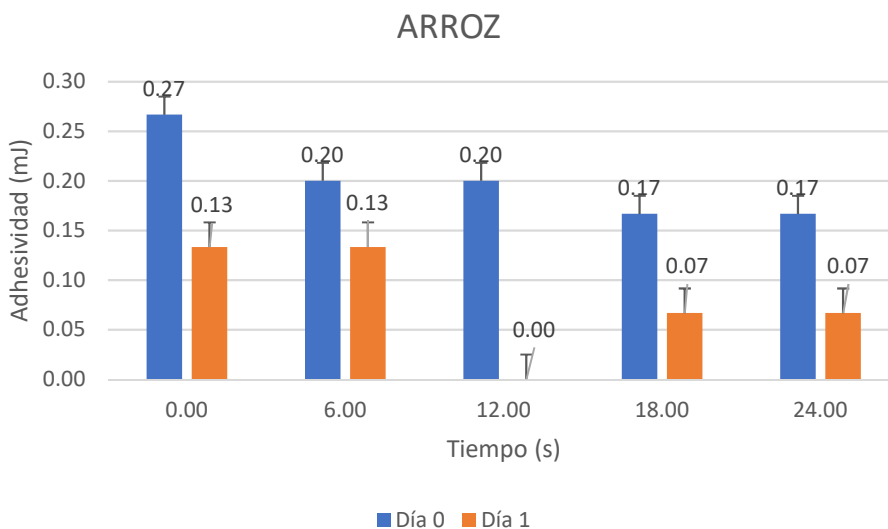


Figura 3.3. Valores promedio (\pm D. E) de la fuerza adhesiva de la natilla elaborada con almidón de arroz (a) y de maíz (b) irradiado por diferentes tiempos a los días 0 y 7.

En la Fig. 3.4 se muestran los resultados de adhesividad de las natillas a base de almidón de arroz y de maíz.

a)



b)

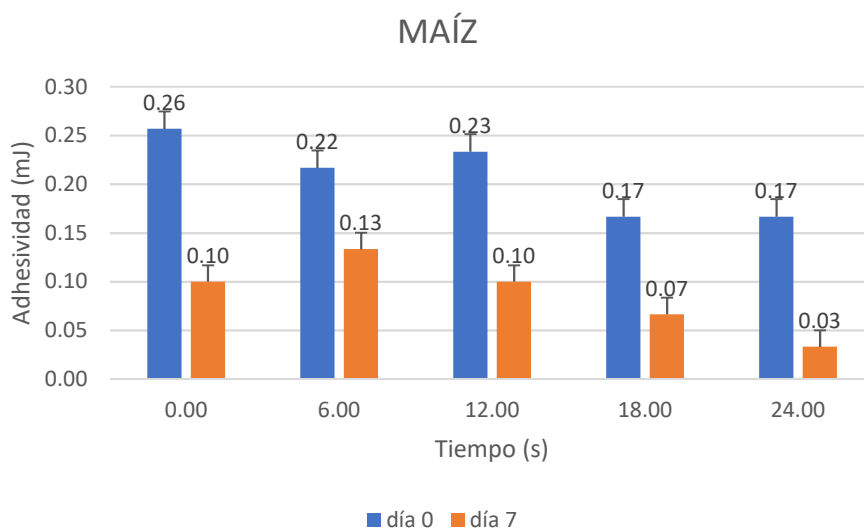


Figura 3.4. Valores promedio (\pm D. E) de la adhesividad de la natilla elaborada con almidón de arroz (a) y de maíz (b) irradiado por varios tiempos a los días 1 y 7.

La adhesividad se refiere al área bajo la curva desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza llega a cero o se hace constante (Gasca *et al* 2017). La adhesividad representa el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o el trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie (paladar), (Civille *et al.* 1976). En la natilla comercial el valor de adhesividad en promedio al realizar la prueba en el texturómetro fue de 0.20 mJ. Observamos que en la natilla de arroz los tratamientos de 6 y 12 s para el día 0 (día

control), presentaron el mismo valor promedio de adhesividad que el valor promedio de la natilla comercial por lo cual fueron los mejores tratamientos; sin embargo en el tratamiento de 12 s del día 7 el resultado fue de cero, por lo que descartamos este tratamiento lo cual significa que no quedó nada del producto adherido a el dispositivo y concluyendo que para la natilla de arroz el mejor tratamiento fue el de 6 s ya que para el día 0 día el resultado promedio a la natilla comercial y para el día 7 su resultado fue de 0.13 mJ siendo 35 % menor al promedio. Para los tratamientos de 18 y 24 s ambos resultados fueron los mismos para ambas natillas en ambos días y no hubo una diferencia significativa.

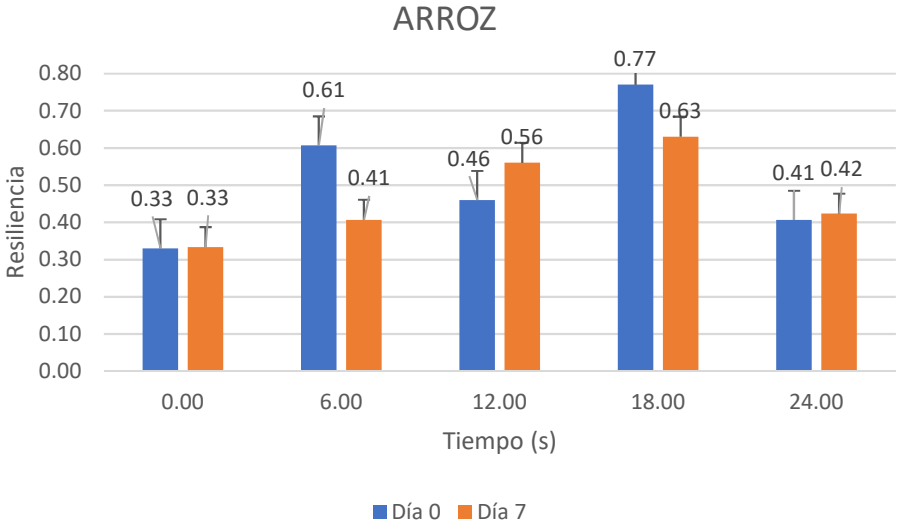
En la natilla de maíz el mejor tratamiento fue de 6s para el día 0 (día control) con un resultado de 0.22 mJ, teniendo una diferencia del 10 % mayor al valor promedio de la natilla comercial. La media de la natilla del tratamiento de 12s día 0 (día control) de 0.23 mJ tuvo una diferencia de 15%, mientras que para los tratamientos de 18 y 24 s para el día control fue 0.17 mJ con una diferencia menor del 15% respecto al valor promedio de la natilla comercial (Figura. 3.1.b). En cuanto al día 7 para el tratamiento de 6s día 7 el resultado fue de 0.13 mJ, teniendo una diferencia de menor del 35%, al valor de la natilla comercial y una diferencia de 40% al tratamiento de día 0 (día control), en los tratamientos de día 7 se observa una diferencia menor al valor comercial y al día (día control) observando que el tratamiento de 24 s día 7, con un valor de 0.03 mJ teniendo una diferencia del 85 % a comparación del valor promedio de la natilla comercial el cuales de 0.20 mJ. Por lo que para el tratamiento de día 0 (día control) se observa una adhesividad más semejante al valor promedio de la natilla comercial a diferencia del día 7 donde se observan mayores diferencias entre los tratamientos.

Tanto para la natilla de arroz y de maíz observamos que para los días control los resultados de adhesividad fueron más parecidos a los del promedio de la natilla comercial con 0.20 mJ, ya que los menores resultados fueron de 17 mJ siendo 15 % menor al promedio y el más alto de 27 mJ con una diferencia mayor del 35 %, y para ambos tratamientos de natilla de día 7 se presentaron promedios bajos, esto se debe al tiempo que transcurrido ya que el agua libre de la natilla era mayor en el

día 7 a el día 0, por lo que al tener más agua libre había un mayor trabajo para despejar el alimento de la superficie y por ello los valores más bajos fue el día 7, por lo que los tratamientos de día 0 (día control) tanto para natilla a base de arroz y de maíz no tuvieron diferencia significativa a comparación del promedio de adhesividad de la natilla comercial.

En la Fig. 3.5, se muestran los resultados de la resiliencia de las natillas a base de almidón de arroz y de maíz

a)



b)

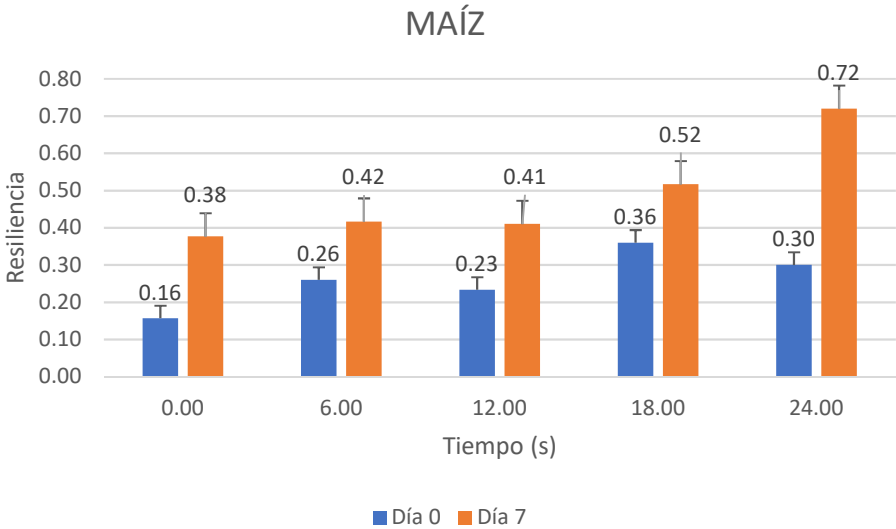


Figura 3.5. Valores promedio (\pm D. E) de la resiliencia de la natilla elaborada con almidón de arroz (a) y de maíz (b) irradiado por varios tiempos a los días 1 y 7.

En la natilla comercial, el valor promedio de resiliencia fue de 0.31, para el día 0 (día control) y día 7.

Observando la gráfica de arroz para el día 0 y día 7 del tratamiento control de tiempo para ambos días la resiliencia fue de 0.33 por lo que aquí la irradiación no tuvo un efecto, ya que sin irradiación se obtuvo una resiliencia de 6.06% mayor al promedio de la natilla comercial. Los tratamientos de 6, 12, 18s presentaron diferencia significativa a comparación del promedio del valor comercial. En cuanto al tratamiento de 18s para el día 0 (0.77), donde se obtuvo la mayor diferencia significativa ($p < 0.05$), siendo 148.39% mayor al promedio de la natilla comercial. Para el tratamiento de 24s se observa una tendencia más cercana al valor comercial para el día 0 (día control) con 0.41 es mayor un 32.26% y para el día 7 un 35.5% (Figura 1.4. a).

En la gráfica de maíz para los diferentes tratamientos con el día 0 (día control) se observa una tendencia más cercana al valor promedio de la natilla comercial, en este caso los tratamientos se vieron afectados por la irradiación ya que a mayor tiempo los valores resiliencia eran más cercanos al promedio de la natilla comercial, en donde el promedio para el tratamiento de 24s del día 0 (tratamiento control) la resiliencia es de 0.30 siendo 3.22% menor a la natilla comercial. Para los diferentes tratamientos del día 7, la irradiación no tuvo un efecto para los valores, además que los valores fueron mayores a los del día control, para el tratamiento de 24s en día 7 fue de 132.25%, por lo que representa diferencia significativa ($p < 0.05$), además que entre mayor era el tiempo de irradiación mayor fue el aumento de la resiliencia.

En los cuadros 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 se encuentran los valores medios para los diferentes tratamientos de análisis de textura en las natillas (Dureza, fuerza, adhesividad y resiliencia).

Cuadro 3.1 Valores medios de análisis de textura natilla de arroz día 0.

DÍA 0 (CONTROL) ARROZ

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	4	1.545	1.640	(0.067, 3.023)
6s	4	1.323	1.081	(-0.155, 2.801)
12s	4	1.126	0.998	(-0.352, 2.604)
18s	4	1.149	0.976	(-0.329, 2.628)
24s	4	1.539	1.952	(0.061, 3.017)

Desv.Est. agrupada = 1.38691

Cuadro 3.2 Valores medios de análisis de textura natilla de arroz día 7.

DÍA 7 ARROZ

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	4	0.963	0.886	(-0.382, 2.309)
6s	4	1.188	1.393	(-0.158, 2.533)
12s	4	1.078	1.232	(-0.267, 2.424)
18s	4	1.021	1.029	(-0.325, 2.367)
24s	4	1.267	1.634	(-0.079, 2.612)

Desv.Est. agrupada = 1.26269

Cuadro 3.3 Valores medios de análisis de textura natilla de maíz día 0.

DÍA 0 MAÍZ

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	4	1.659	1.939	(-1.383, 4.702)
6s	4	2.52	3.74	(-0.52, 5.56)
12s	4	2.36	3.43	(-0.68, 5.40)
18s	4	1.99	2.65	(-1.06, 5.03)
24s	4	1.63	2.05	(-1.42, 4.67)

Desv.Est. agrupada = 2.85477

Cuadro 3.4 Valores medios de análisis de textura natilla de maíz día 7.

DÍA 7 MAÍZ

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	4	1.515	1.925	(-0.866, 3.896)
6s	4	2.29	3.18	(-0.09, 4.67)
12s	4	1.87	2.69	(-0.51, 4.25)
18s	4	1.404	1.691	(-0.977, 3.786)
24s	4	0.829	1.014	(-1.552, 3.210)

Desv.Est. agrupada = 2.23449

Se aplicó un análisis de ANOVA de un solo factor con comparación tukey y un nivel de significancia al 5%; para el tratamiento de día 7 de arroz se tiene una desviación estándar agrupada de 1.26 siendo la menor comparada con los demás tratamientos,

por lo que este tratamiento tendió a estar agrupado cerca de su valor esperado, para el tratamiento de día 0 (control) en natilla de maíz se obtuvo una desviación mayor comparada a los demás tratamientos con valor de 2.9, por lo cual ese valor nos indicó que los datos se extienden a un rango de valores más amplio.

3.3 ANÁLISIS SINÉRESIS

Para la gráfica de sinéresis en función del tiempo, tanto para la sinéresis de arroz y de maíz, se realizaron cuatro repeticiones para cada tratamiento, tomando en cuenta el promedio de cada tratamiento, se le añadió carregenina a la formulación y esta ayuda a que las natillas tengan mejor estabilidad y con mayores tiempos de irradiación.

Se presenta el porcentaje de sinéresis de las natillas elaboradas con almidón de arroz y de maíz ocasionada por el desligamiento de agua, debido a que las cadenas lineales de amilosa se orientan de forma paralela. Otros autores informan que la evaluación de la estabilidad a la refrigeración y/o congelación consiste en verificar la expulsión o exudación del agua (sinéresis) contenida en los geles como consecuencia de la reorganización de los polímeros que constituyen al almidón (Zhou *et al.*, 2007), en este caso se trabajó con refrigeración a temperatura de 4 °C. En este fenómeno las estructuras de almidón gelatinizado inician a reorganizarse, generando una o más estructuras, pasando de un estado semi-cristalino a un estado amorfo (Hernández *et al.*, 2008).

En las figuras 3.6 y 3.7 se encuentra la desviación estándar y coeficiente de variación de los tratamientos de las natillas, en donde al comparar ambos resultados la desviación estándar de la natilla de arroz es menor que la de desviación estándar de los diferentes tratamientos de la natilla a base de almidón de maíz, al igual que el coeficiente de variación, por lo cual estos parámetros nos indican que la natilla a base de arroz fue la que mejor obtuvo resultado en cuanto a sinéresis en comparación con la natilla de a base de maíz.

Sinéresis natilla arroz	1 día	2 día	3 día	4 día	5 día	6 día	7 día
0 s	CONTROL	3.18744776	8.4644024	12.8789606	16.826229	19.6983512	22.5818707
6 s	CONTROL	5.29039234	10.5769231	13.5580785	18.0413964	20.2347853	23.8492431
12 s	CONTROL	4.09389884	10.5012474	13.2758751	16.7762909	20.2993876	23.5087321
18 s	CONTROL	4.71858805	9.8684449	12.836589	16.645526	19.5883014	22.9514732
24s	CONTROL	4.34569286	10.6749842	14.2601808	17.3021658	20.1023341	22.6747039
DE		0.78018118	0.92379386	0.58351883	0.57264832	0.32192243	0.54748297
C.V		0.18029683	0.09222076	0.04367023	0.03345236	0.0161085	0.02368702

Figura 3.6. Desviación estándar y coeficiente de variación en los diferentes tratamientos de sinéresis de natilla a base de almidón de arroz

Sinéresis natilla maíz	1 día	2 día	3 día	4 día	5 día	6 día	7 día
0 s	CONTROL	3.13753421	7.44836376	9.7274806	14.1020355	15.7701391	17.8130974
6 s	CONTROL	2.99110752	7.17172884	9.48146437	12.4417754	13.5004042	15.598414
12 s	CONTROL	3.20546704	7.89473684	10.3526391	13.7431096	18.0170656	20.0785321
18 s	CONTROL	4.49155986	8.93510139	12.0304362	15.2661323	18.2247996	21.5306763
24s	CONTROL	4.42615257	10.8415466	11.5347124	15.235207	19.5205603	22.556771
DE		0.74246299	1.49164708	1.11694028	1.17356557	2.37945856	2.82263208
C.V		0.20339422	0.17635315	0.10512036	0.08289267	0.13991388	0.14463541

Figura 3.7. Desviación estándar y coeficiente de variación en los diferentes tratamientos de sinéresis de natilla a base de almidón de maíz

En la Fig. 3.8 se presenta la gráfica de sinéresis de natilla elaborada a base de almidón de arroz, en donde se presenta la sinéresis durante 7 días por tiempos de 0, 6, 12, 18 y 24 segundos de irradiación.

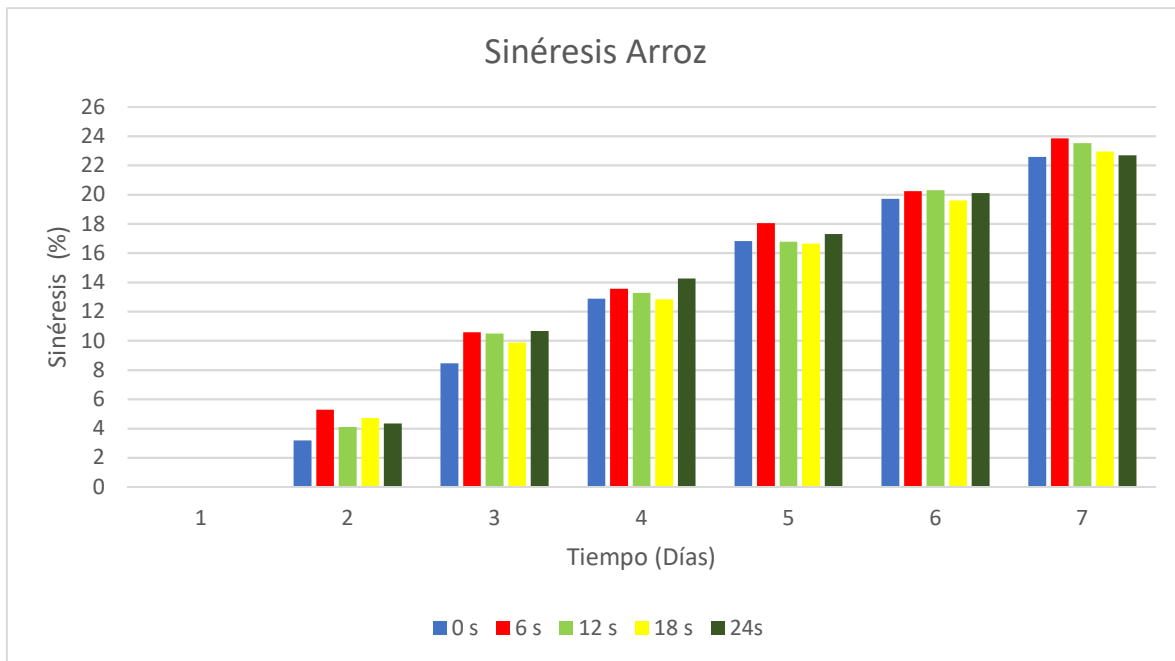


Figura 3.8. Sinéresis de natilla a base de almidón de arroz

Como podemos observar en la Figura. 3.8 la gráfica de sinéresis de almidón de arroz, hay un incremento en la pérdida de agua (sinéresis), en todos los tiempos de irradiación, a medida que los días aumentaron. Para las natillas que fueron irradiadas a 6 s en el microondas perdió ligeramente más agua desde el transcurso del segundo día hasta el séptimo a diferencia de los demás tratamientos. Observando las natillas que fueron irradiadas a diferentes tiempos las de 18 y 24 s perdieron menos agua a partir del día 2 y hasta el día 7 excepto para los días 3 y 4 en comparación con los demás tratamientos, los tratamientos de 18 s y 24 s perdieron menos cantidad de agua fue por los tiempos de irradiación ya en el uso de microondas que modificó el almidón dándole mayor estabilidad, por lo que los resultados fueron favorables ya que se esperaba que entre mayor tiempo de irradiación menor tenía que ser la pérdida de agua, los factores como el contenido de humedad del almidón, tiempo de calentamiento de microondas, potencia de calentamiento de microondas es lo que influyó significativamente en las propiedades físicas del almidón, el contenido de amilosa restringe su hinchazón por lo que el almidón de maíz tiene mayor porcentaje de amilosa que el almidón de arroz.

En la Figura.3.9 se presenta la gráfica de sinéresis de natilla a base de almidón de maíz, en donde se presenta la sinéresis durante 7 días por diferentes tiempos de irradiación de 0, 6, 12, 18 y 24 segundos.

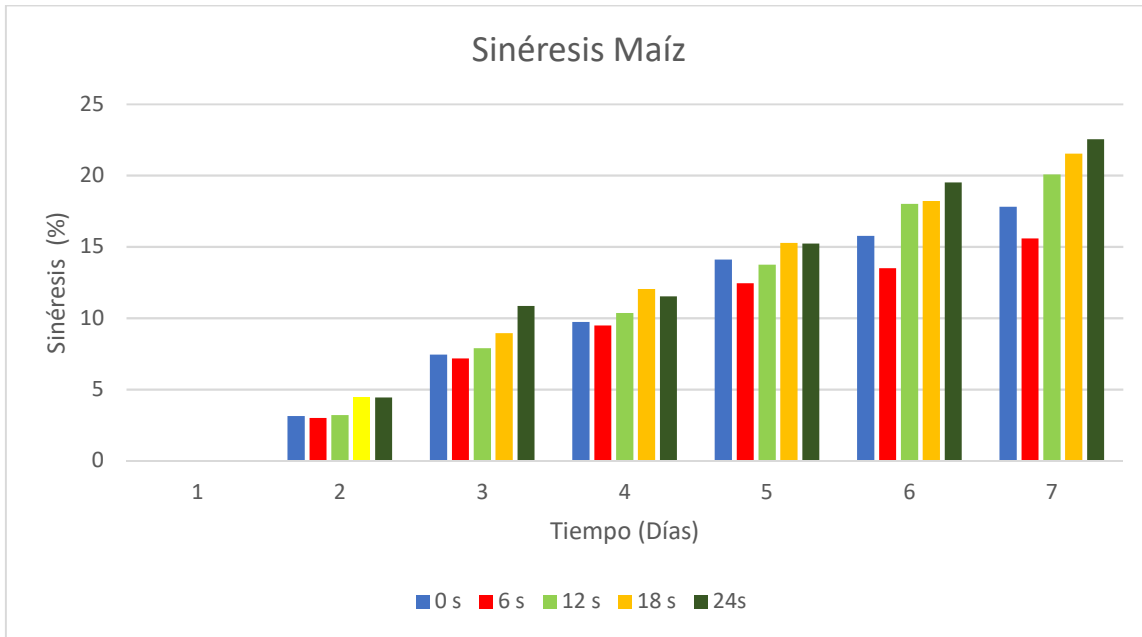


Figura 3.9. Sinéresis de natilla a base de almidón de maíz

En la gráfica de sinéresis de natilla a base de almidón de maíz, podemos observar la misma tendencia de la pérdida de agua (sinéresis) que la mostrada en la figura 1.5., la cual incremento, en todos los tiempos de irradiación, a medida que los días aumentaron. Además, se observa que la natilla que menos perdió agua fue para el tratamiento de 6 s en comparación de las demás natillas, mientras que la que más perdió agua fue la del tratamiento 24 s. En cuanto a los tratamientos de 12 y 18 s, se puede observar que los porcentajes de sinéresis son semejantes. A partir del día 3 se comienza a ver diferencia en los porcentajes de pérdida de agua entre los diferentes tratamientos. Para el tratamiento del día 7 en 24 s, el porcentaje de sinéresis fue de 22.55 %, mientras que para 6 s fue 15.60 %, con una diferencia de 6.9% entre ambos tratamientos; esta tendencia no se esperaba ya que se esperaba que, entre mayor tiempo de irradiación, mayor estabilidad. Esto pudo ocurrir porque

los tiempos de residencia en el microondas para el almidón de maíz no fueron los suficientes para que la irradiación diera un efecto para que tuviera una mayor estabilidad.

Desde el día dos se comienza a observar la modificación del almidón de arroz y de maíz; sin embargo, tienen un promedio de iniciación similar en sinéresis, pero a partir del día 4 se presenta un mayor porcentaje de sinéresis para el arroz en comparación con el almidón de maíz. Cabe resaltar que por los tiempos de irradiación mayores se esperaba una mejor estabilidad para las natillas en cuanto a ambos almidones. En la natilla de almidón de maíz el tratamiento con mayor porcentaje de sinéresis fue para el del día 7 con 6 s de irradiación con un porcentaje de 23.85 %, mientras que para la natilla de almidón de maíz en este mismo tratamiento fue el más estable con un porcentaje de 15.60 %. El aumento en el porcentaje de sinéresis (desligamiento acuoso) durante el almacenamiento se ha atribuido a la interacción entre la amilosa expulsada y las cadenas ramificadas de amilopectina, lo que genera el desarrollo de zonas de unión, que reflejan o dispersan una cantidad significativa de moléculas de agua contenidas en los espacios no ligados (Perera y Hoover 1999).

En cuanto a la calidad de las natillas por sinéresis es a medida que las cadenas se organizan entre sí el gel se transforma cada vez más rígido, lo que da lugar, en general al fenómeno de la sinéresis; el gel se contrae y exuda una parte de la fase líquido, el estado de la natilla no está definida por un equilibrio ya que evoluciona con el curso del tiempo, además de lo que se espera de una natilla es que al transcurso de días pierda lo menos posible agua ya que al tener una capa de agua el producto no es aceptado sensorialmente.

3.4 ANÁLISIS SENSORIAL

Para la evaluación sensorial, con base a los datos de sinéresis transcurridos 7 días, con diferentes tiempos de irradiación siendo: control (0 s), 6s, 12 s, 18s y 24 s se evaluaron las natillas que tuvieron menor pérdida de agua durante el transcurso de los 7 días, para las natillas a base de almidón de maíz; el tratamiento de irradiación

de 6 s fue el que perdió menos agua además que su dureza para este tratamiento fue de las más cercana a la comercial la cual fue de 2.6 N y la del tratamiento 2.93 N, es por ello que para la natilla a base de almidón de maíz los mejores resultados fueron a la irradiación de 6 s. Para la natilla a base de almidón de arroz el tratamiento donde se obtuvo menor pérdida de agua fue el tratamiento de 24 s de irradiación, en cuanto a los parámetros de textura en este tratamiento de irradiación de 24 s la fuerza obtuvo un valor de 1.19 N y 1.23 N en el valor comercial, para la adhesividad 0.17 mJ siendo cercano al valor comercial 0.20 mJ, para la resiliencia 0.42 también cercano al valor comercial que fue de 0.31, el valor de la dureza fue favorecido para el tratamiento de 18 s de irradiación con un valor 2.47 N cercano al valor comercial 2.6 N, por lo que con estos resultados de sinéresis y de textura para la natilla de almidón se evalúa como el mejor tratamiento el de 24 s de irradiación.

Para la prueba sensorial se eligieron los mejores tratamientos de cada natilla, para la natilla a base de almidón de arroz con irradiación de 6 s y para la natilla a base de almidón de maíz 24 s, se realizaron las prueba, pero para la prueba sensorial se escogieron las del día 0 para que puedan ser mejor evaluadas por su atributo de sabor-.

En el cuadro 3.5 se encuentran los atributos (olor, color, sabor y textura), que fueron evaluados por 20 personas al azar entre los 16 a 45 años de edad. De estas evaluaciones se realizó un promedio de la escala, en donde en la figura 3.10 se observa el gráfico radial, donde el olor estuvo en una escala de me gusta mucho y moderadamente para ambas muestras de natilla, donde para ambas natillas los comentarios fueron que el color no era muy característico al de una natilla, ya que lo notaban “muy pálido”. Para el color de ambas muestras de natilla estuvo entre me gusta ligeramente y ni me gusta ni me disgusta, para el sabor en la natilla de arroz muestra (5510) se obtuvo en la escala de me gusta mucho, mientras que para el sabor de la natilla de maíz muestra (5511), se obtuvo un me gusta moderadamente en donde se realizaron comentarios que el sabor de la natilla de arroz era más característico al de una natilla comercial que el de la natilla de maíz ya que ésta para la gente mostraba un sabor dulce pero no característico de una

natilla; para la textura en la muestra de natilla de arroz (5510) estaba en la escala de me gusta mucho, mientras que para la natilla de maíz (5511), la escala fue más cercana al me gusta ligeramente.

En la figura 3.10 se muestra cómo se evaluaron las natillas a tratamientos control (día 0), con irradiación de 24 s en el almidón de arroz y con tratamiento de 6 s de irradiación del almidón de maíz, ya que estos tratamientos obtuvieron características texturales y sensoriales más cercanos a los de la natilla comercial.

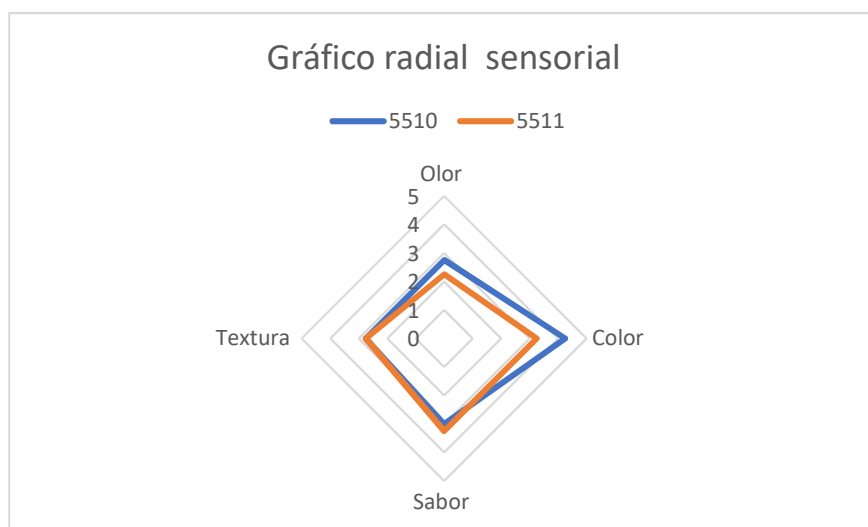


Fig. 3.10. Gráfico radial de prueba sensorial para muestra de natilla a base de arroz (5510) y natilla a base de maíz (5511).

En el cuadro 3.5 encontramos los atributos de propiedades sensoriales que fueron evaluadas, y en el cuadro 3.6 la escala de estas, con esta evaluación pudimos verificar que para la gente la natilla de arroz fue más característica a una natilla comercial, a excepción del sabor ya que para ambas natillas los comentarios fueron que les faltaba un color más característico de natilla, para la natilla de maíz se evaluó con sabor dulce pero no parecido al de natilla comercial.

Cuadro 3.5 Atributos sensoriales evaluados

Muestra	Olor	Color	Sabor	Textura
5510	2.75	4.25	2	2
5511	2.25	4	3	3.75

Cuadro 3.6 Escala de evaluación sensorial.

ESCALA	
1= Me gusta extremadamente	6= Me disgusta ligeramente
2= Me gusta mucho	7= Me disgusta moderadamente
3= Me gusta moderadamente	8= Me disgusta mucho
4= Me gusta ligeramente	9= Me disgusta extremadamente
5= Ni me gusta ni me disgusta	

4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En cuanto a la evaluación de almidón de arroz y de maíz para su uso en una natilla, se realizaron pruebas de textura, las cuales fueron aplicadas de la misma manera para una natilla comercial. La natilla que más se asemejo a los valores de textura de la natilla comercial fueron los resultados de textura de la natilla a base de almidón de arroz.

El almidón de arroz al contener más porcentaje de amilopectina, (cadena ramificada), es la más compleja y formada por cadenas de ramificación más cortas lo cual hace más difícil que se agrupen en contacto con el agua caliente, lográndose así que el arroz quede con mayor viscosidad. Por lo que en el arroz blanco presenta mayor porcentaje de amilopectina 78.47% (Martínez *et al.*, 2017) a comparación del almidón de maíz 71.70%, (Hernández *et al.*, 2008), y mientras la amilosa (cadena lineal). la cual es una cadena larga y un poco ramificada que cuando entra al contacto con el agua caliente se tiende a disolver de manera compacta y ordenada manteniendo su estructura lineal haciendo predominar la gelificación, debido a que forma estructuras tridimensionales en el que se obtuvo resultados para el arroz blanco de 21.53% (Martínez *et al.*, 2017).

En las natillas comerciales se utiliza en su formulación almidón de maíz químicamente modificados y variedades céreas, estos son más resistentes a las condiciones de proceso, a comparación de los almidones nativos, ya que los almidones modificados sus fases se encuentran libres de amilosa se comportan como dispersiones acuosas cuyo comportamiento reológico depende principalmente de la fracción volumétrica ocupada por los gránulos de almidón y de la rigidez o deformabilidad de los mismos (Nayouf *et al.*, 2003).

Para este tratamiento la mejor formulación en cuanto a parámetros de textura fue el almidón de arroz ya que también la presencia de otros ingredientes como fue la azúcar y leche, modifica las características de la fase dispersante afectando su estructura, estabilidad y comportamiento reológico, dependiendo del tipo de almidón, de su concentración y del tratamiento termomecánico que se aplica, el

producto resultante puede comportarse como un fluido viscoso o como un gel (Thebaudin *et al.*, 1998; Lagarrigue y Álvarez, 2001).

El almidón de arroz al dar resultados más satisfactorios para los parámetros de textura parecidos a los de la natilla comercial, en donde el efecto de la irradiación y concentración de cantidad de almidón se notó mejor efecto que el almidón de maíz, ya que con el almidón de arroz la preparación de natilla fue más estable.

CONCLUSIONES

Se evaluó el efecto del almidón de arroz y maíz extraído por medio de métodos físicos e irradiados mediante microondas a diferentes tiempos cortos, para determinar los cambios de viscosidad del almidón, propiedades fisicoquímicas (sinéresis y color) además de su aplicación de un análisis sensorial y así compararlo con una natilla comercial, cumpliendo con el objetivo planteado.

En la prueba de gelatinización para los almidones de arroz y de maíz extraídos por medio de métodos físicos, el aumento de viscosidad fue más evidente en el almidón de arroz, ya que este presenta un mayor hinchamiento en el pico de viscosidad además que la viscosidad mayor fue para los tratamientos de 18 y 24 s.

Para la prueba de textura de las natillas experimentales de arroz y de maíz se evaluaron los parámetros de fuerza, adhesividad, resiliencia y la misma prueba fue realizada a natilla comercial Danette® sabor vainilla para comparar los parámetros entre los experimentales y comercial. En el tratamiento a 24 s de irradiación, presentó parámetros con mejor consistencia, un mayor trabajo de penetración, fuerza adhesiva, y de adhesividad donde estos parámetros fueron similares a los de la natilla comercial Danette®.

En cuanto a la sinéresis en la natilla de arroz el resultado fue el esperado ya que a el mayor tiempo de irradiación 24 s se obtuvo una menor perdida de agua desde el

día 1 hasta el día 7, siendo el tratamiento con menos pérdida de agua y el más estable de los tratamientos.

Para la natilla de arroz el parámetro de textura de dureza fue cercano al de la natilla comercial Danette®, siendo el tratamiento de 6s de irradiación y en cuanto a sinéresis este tratamiento fue el que menos perdió agua en comparación con los demás tiempos de irradiación.

En la prueba sensorial la natilla de almidón de arroz fue descrita como la más aceptable y con sabor más parecido a la natilla comercial, para ambas natillas la textura fue aceptable y se mencionó que era parecida a la natilla comercial, en cuanto a color para ambas no fue lo suficientemente agradable ya que no mostraba un color característico a la natilla comercial y para la natilla a base de almidón de maíz no fue tan característico en cuanto al sabor y la aceptación fue moderadamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADISA, Tecnología natural. (2015). Almidones y Desarrollos; Producto Almidón Nativo de Maíz. Fecha de consulta: Diciembre, 2020. Disponible en:<http://www.adisa.mx/pdfadisa/NIFRASTARCH%2005%20B%20ALMIDON%20DE%20MAIZ.pdf>
- Abu-Jdayil, B., Mohameed, H., Eassa, A. (2004). Rheology of wheat starch-milk-sugar systems: effect of starch concentration, sugar type and concentration, and milk fat content. *Journal of Food Engineering*, 64, 207-212.
- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. (2018). ¿Conoces el origen del maíz?. Fecha de consulta: Diciembre, 2020, de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/conoces-el-origen-del-maiz?idiom=es>
- Alarcón, F., Dufour, D. (1998). “Almidón agrio de yuca en Colombia” Cali Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Consultado en: <http://eds.a.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&si d=5e0b5322-c8e6-4f52-b81c-feeecca794f4%40pdc-v-sessmgr03>
- Andrade-Maecha, M., Tapia-Blácido, D. y Menegalli, F. (2012). Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. *Starch*, 64(5), 348-358.
- Appelqvist, I. A. M., Brown, C. R. T., Goff, T. C., Lane, S. J., Norton, I. T. (1996). Application of Hydrocolloids in Frozen Sauces. In (G.O Phillips, P.A Williams, D.J. Weslock eds.), *Gums and stabilisers for the food industry*, (pp. 99-114). New York: Oxford University Press.
- Ayala, G., Agudelo, A., Vargas, R. (2012). Comparative study and characterization of starches isolated from unconventional tuber sources. *Journal of Polymer Engineering*, 32 (8-9), 531–537.

- Atwell, W.A., Hood, L. F.; Lineback, D. R., Varriano-Marston, E., Zobel, H. F. (1999). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World*, 33 (3), 306-311.
- Badui, D.S. (2006). Química de los alimentos. Ed. Pearson education, 4° ed., México, D.F.
- Bao, J.S., Cai, Y., Sun, M., Wang, G.Y., Corke, H. (2005). Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2327–2332.
- Baker, L.A., Rayas-Duarte, P. (1998). Freeze-thaw stability of amaranth starch and the effects of salt and sugars. *Cereal Chemistry*, 75, 301-307.
- Bemiller, J. N. (1997). Starch modification: challenges and prospects. *Starch-Stärke*, 49 (4), 127-131.
- Blanshard, J. M. V. (1979). Physicochemical aspects of starch gelatinization. In: Polysaccharides in food. Blanshard J.M.V and J.R. Mitchel (Eds). Butterworths, London.
- Boyer, C. D.; y Shannon J. C. (1987). Carbohydrates of the kerne. Corn: Chemistry and Technology. A. Stanley Watson & E. Paul Ramstad (eds.). St. Paul, Minnesota, EE.UU: American Association of Cereal Chemists. p: 254 – 271.
- Burge R.M., Duensing W.J. (1989). Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World*, 34, 535-538.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Basak, T. (2013). Microwave food processing. A review. *Food Research International*, 52 (1), 243-261.
- Chen, F. (2007). Evaluación del comportamiento agronómico de 18 materiales genéticos del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), en la comunidad de Playitas, Chisec, Alta Verapaz. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1472.pdf
- Civille, Gail y Szczeniak, Alina. (1976). Guidelines to training a texture profile panes. *Journal of texture Studies*. Vol 4, 204-223.

- Cobana, M. L. (2012). Evaluación de Extracción de Almidón (Manihot Esculenta) Por Vía Seca. EAE.
- Cobana, M., R. Antezana. (2007). Proceso de extracción de almidón por vía seca. *Bolivian Journal of Chemistry*, 24 (1), 77-83.
- Colman, T. A. D., Demiate, I. M., Schnitzler, E. (2014). The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115(3), 2245–2252.
- Depypere F., Verbeken D., Thas O., Dewttinck K. (2003). Mixture design approach on the dynamic rheological and uniaxial compression behaviour of milk desserts. *Food Hydrocolloids*, 17, 311-320.
- Descamps, O., Langevin, P., Combs, D.H. (1986). Physical Effect of starch/carrageenan interactions in water and milk. *Food Technology*, 40, 81-88.
- FAO: Alimentación y nutrición, (1993). El maíz en la nutrición humana. Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fatima, A., Umali, A., Tayobong, R. (2019). Physicochemical and functional properties of starch from Philippine edible Canna (*Canna indica* L.) rhizomes. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9 (1), 34–37.
- Fennema, O. R., Damodaran, S., Parkin, K. L. (2017). Introduction to food chemistry. In *Fennema's food chemistry* (pp. 1-16). CRC Press.
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F.J., Flores-Huicochea, E., Nuñez-Santiago, M.C., González-Soto, R.A., Bello-Pérez, L.A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55, 86-90.
- Fuentes, C., Perez-Rea, D., Bergenståhl, B., Carballo, S., Sjöo, M. y Nilsson, L. (2019). Physicochemical and structural properties of starch from

five Andean crops grown in Bolivia. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 829–838.

- Gasca, M. & Casas, A. (2017). Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 6, No. 3. 317-328 321.
- González, D., Marrero, P & Monteagudo., J. (2015). Gestión tecnológica con enfoque agroecológico y participativo para el cultivo del arroz a escala local. Diciembre, 2021, de Centro Agrícola Sitio web: http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V42-Numero_2/cag08215.pdf
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology (Campinas)*, 28(3), 718-726.
- Hermosa, G. (2013) Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: Isaño (*tropacolum tuberosum* R&P) Y OCA (*Oxalis tuberosa* Mol). Tesis INIAP. <http://docplayer.es/63420534-Characterizacion-de-almidones-de-dos-tuberculos-andinos-isani-tropacolum-tuberosm-r-p-y-oca-oxalis-tuberosa-ml-tesis-html>.
- Horst, F. (2005). Electromagnetic Wave Spectrum. Fecha de consulta: Abril, 2021. Disponible en: <http://www.zeitmaschinen.com/svg/Spektrum.svg>
- Kaur, B., Ariffin, F., Bhat, R., Karim, A. (2012). Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids*, 26, 398-404.
- Lagarrigue, S., Alvarez, G. (2001). The rheology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: A review. *Journal of Food Engineering*, 50, 189–202.
- Landry, J. y Moureaux, T. 1982. Distribution and amino acid composition of protein fractions in opaque-2 maize grain. *Phytochemistry*. 21: 11365-1869.

- Luo, Z., He, X., Fu, X., Luo, F., Gao, Q. (2006). Effect of microwave radiation on the physicochemical properties of normal maize, waxy maize and amylo maize V starches. *Starch-Starke*, 58(9), 468–474.
- Martínez, B. (2000). Aplicación del método de los elementos finitos en la resolución de problemas de ingeniería durante el procesamiento de alimentos sometidos a radiación en hornos de microondas. Tesis de licenciatura, UNAM.
- Martínez, E. (2013). Composición Química de los Cereales. Fecha de consulta: Mayo, 2021. Disponible en: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content &view=article&id=16&Itemid=20](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=20)
- Martínez, E. (2013). Composición química de los cereales. Fecha de consulta: Enero, 2021. Disponible en: <http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx>
- Martínez, J., Hernández, J & Arias, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa* L) blanco e integral. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25, pp. 15-30.
- Matser A.M., Steeneken P.A.M. (1997). Rheological properties of highly cross-linked waxy maize starch in aqueous suspensions of skim milk components. Effects of the concentration of starch and skim milk components. *Carbohydrate Polymers*, 32, 297-305.
- Morikawa, K., Nishinari, K. (2000). Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures. *Carbohydrate Polymers*, 43, 241-247.
- Nadison, J., Doreau, A. (1992). Carrageenan/starch interaction in cream desserts. In *Gums and Stabilisers for the Food Industry 6*, ed G.O. Phillips, P.A. Williams & D.J. Wedlock, Oxford University Press Ltd., 1992, 287-295.
- Nayouf, M., Loisel, C., Doublier, J.L. (2003). Effect of thermomechanical treatment on the rheological properties of crosslinked waxy corn starch. *Journal of Food Engineering*, 59, 209-219.

- NOM-183-SCFI-2012, (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-183-SCFI-2012. Producto lácteo y producto lácteo combinado-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación.
- OMS. (2021). Campos electromagnéticos (CEM). Fecha de consulta: Abril 2021. Disponible en: https://www.who.int/peh-emf/publications/facts/info_microwaves/es/.
- Oyeyinka, S. A., Oyeyinka, A. T. (2018). A review on isolation, composition, physicochemical properties and modification of Bambara groundnut starch. Food Hydrocolloids, 75, 62–71.
- Perera C, Hoover R. 1999. Influence of hydroxypropylation on retrogradation properties of native, defatted and heat-moisture-treated potato starches. Food Chemistry. 64(1): 361- 375.
- Rincón-Londoño, N., Vega-Rojas, L. J., Contreras-Padilla, M., Acosta-Osorio, A. A., Rodríguez-García, M. E. (2016). Analysis of the pasting profile in corn starch: Structural, morphological, and thermal transformations: Part I. International Journal of Biological Macromolecules, 91, 106-114.
- Sánchez, L. (1985). Principios básicos del calentamiento por microondas en alimentos. Tesis de licenciatura, UNAM.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Frijol, historia y sabor. Diciembre, 2020, de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/frijol-historia-y-sabor?idiom=es>
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, Arroz Mexicano. Fecha de consulta: Diciembre, 2020. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256423/B_sico-Arroz.pdf
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). (2020). Panorama Agroalimentario. Fecha de consulta: Diciembre, 2020, Disponible en: <https://www.inforural.com.mx/wpcontent/uploads/2020/11/AtlasAgroalimentario-2020.pdf>

- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., Gill, B. S. (2003). Morphological thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 219-23.
- Sivack M, Preiss J. (1998). *Starch: Basic Science to Biotechnology. Advances in Food and Nutrition Research.* Academic Press, New York, pp. 41.
- Song, X., He, G., Ruan, H., Chen, Q. (2006). Preparation and properties of octenyl succinic anhydride modified Early Indica rice starch. *Tarch-Stärke*, 58, 109-117.
- Tárrega, A., Costell, E. (2007). Colour and consistency of semi-solid dairy desserts: instrumental and sensory measurements. *Journal of Food Engineering*, 78.
- Tarrega, M. (2005). Influencia de la composición en las propiedades físicas y sensoriales de postres lácteos semisólidos. Universitat de València. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/36018164.pdf>
- Thebaudin, J. Y., Lefebvre, A. C., Doublier, J. L. (1998). Rheology of starch pastes from starches of different origins: Applications to starchbased sauces. *Lebensmittel*Wissenschaft und Technologie*, 31, 354-360.
- UNE (1997) Análisis sensorial. Vocabulario (ISO 5492:1992). Agencia Española de Normalización (AENOR). *Análisis Sensorial. Tomo I. Alimentación. Recopilación de Normas UNE.* España.
- Valderrama, J. (1997). Información Tecnológica, Centro de información Tecnológica, 8.
- Vélez, J., González, M., & Costell E. (2004). Caracterización reológica de sistemas modelos de natillas. mayo 30, 2022, de III Congreso Español de Ingeniería de Alimentos. Pamplona Sitio web: <https://digital.csic.es/handle/10261/3049>
- Villar, J. (2018). Extracción de almidón. Fecha de consulta: Mayo, 2022. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/005193087c8fe3b2314cf>
- Watson, S.A. y Yahl, K.R. (1967). Comparison of wet milling properties of opaque2 high-lysine corn and normal corn. *Cereal Chemistry*, 44: 488-498.

- Wischmann, B., Norsker, M., Adler-Nissen, J. (2002). Food product models developed to evaluate starch as food ingredient. *Nahrung/ Food*, 46, 167-173.
- Wolf, M.J., Buzan, C.L., MacMasters, M.M., Rist, C.E. (1952). Structure of the mature corn kernel. *Cereal Chemistry*, 29, 321-382.
- Wolf, M.J., Khoo, V., Seckinger, H.L. (1969). Distribution and subcellular structure of endosperm protein in varieties of ordinary and high-lysine maize. *Cereal Chemistry*, 46, 253-263.
- Xie, Y., Yan, M., Yuan, S., Sun, S., Huo, Q. (2013). Effect of microwave treatment on the physicochemical properties of potato starch granules. *Chemistry Central Journal*, 7(113), 1–7.
- Yang, Q., Qi, L., Lou, Z., Kong, X., Xiao, Z., Wang, P., & Peng, X. (2017). Effect of microwave irradiation on internal molecular structure and physical properties of waxy maize starch. *Food Hydrocolloids*, 69, 473-482.
- Zhou, D., Chen, J., Morcillo, P., Lambert, D., White, K.P., Haddad, G.G. (2007). Experimental selection for *Drosophila* survival in extremely low O₂ environment. 2(5): 490.
- Zhu, J., Li, L., Zhang, S., Li, X., & Zhang, B. (2016). Multi-scale structural changes of starch-based material during microwave and conventional heating. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 270-277.

ANEXOS:

EVALUACIÓN SENSORIAL

PRODUCTO: NATILLA HECHA SEPARADAMENTE CON ALMIDÓN DE ARROZ Y MAÍZ.

NOMBRE: _____

FECHA: _____ EDAD: _____

SEXO: M__ F__

INDICACIONES:

Por favor marque su nivel de agrado de las características sensoriales que mejor describan su sentir de las tres muestras que se le han asignado con los siguientes números 5509, 5510, 5511. Considerando la siguiente escala:

ESCALA

1= Me gusta extremadamente	6= Me disgusta ligeramente
2= Me gusta mucho	7= Me disgusta moderadamente
3= Me gusta moderadamente	8= Me disgusta mucho
4= Me gusta ligeramente	9= Me disgusta extremadamente
5= Ni me gusta ni me disgusta	

PRUEBA 5509

ATRIBUTO	PUNTUACIÓN
OLOR	
COLOR	
SABOR	
TEXTURA	

COMENTARIOS _____

PRUEBA 5510

ATRIBUTO	PUNTUACIÓN
OLOR	
COLOR	
SABOR	
TEXTURA	

COMENTARIOS _____

¡GRACIAS POR TU PARTICIPACIÓN!



ARROZ DÍA 0

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	0.6560	0.1640	0.09	0.986
Error	15	28.8527	1.9235		
Total	19	29.5088			

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1.38691	2.22%	0.00%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	4	1.545	1.640	(0.067, 3.023)
6s	4	1.323	1.081	(-0.155, 2.801)
12s	4	1.126	0.998	(-0.352, 2.604)
18s	4	1.149	0.976	(-0.329, 2.628)
24s	4	1.539	1.952	(0.061, 3.017)

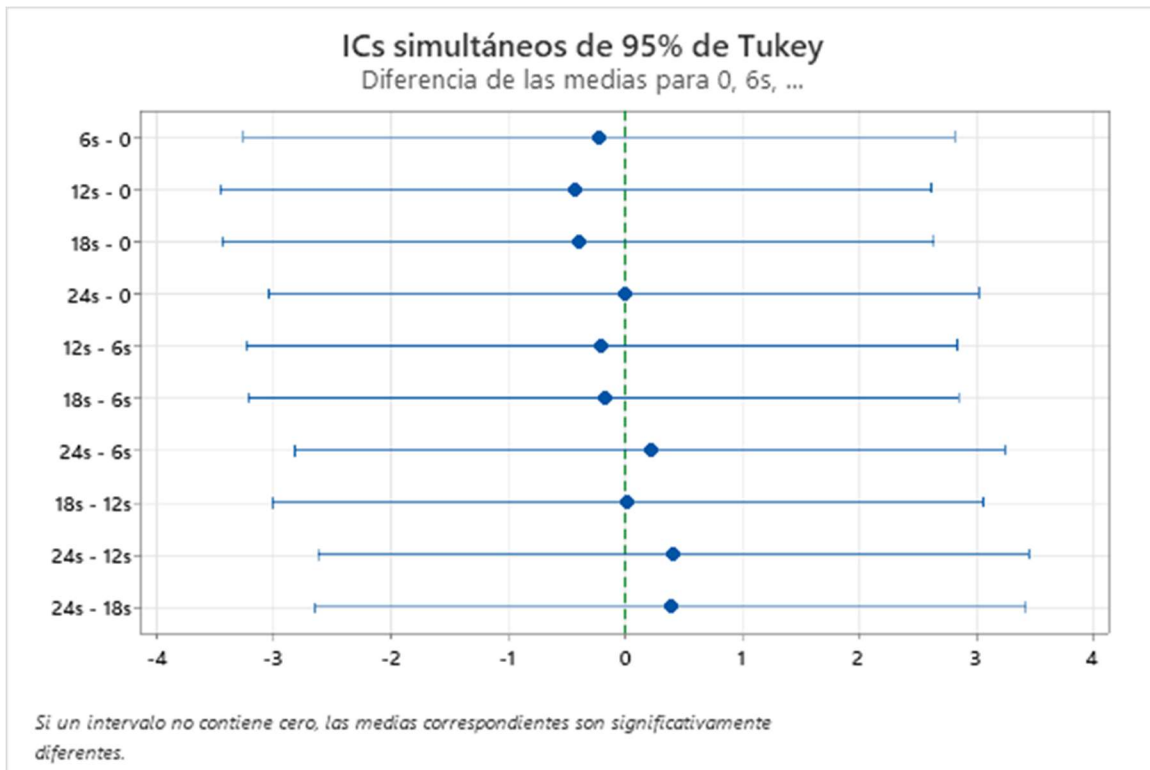
Desv.Est. agrupada = 1.38691

Comparaciones en parejas de Tukey

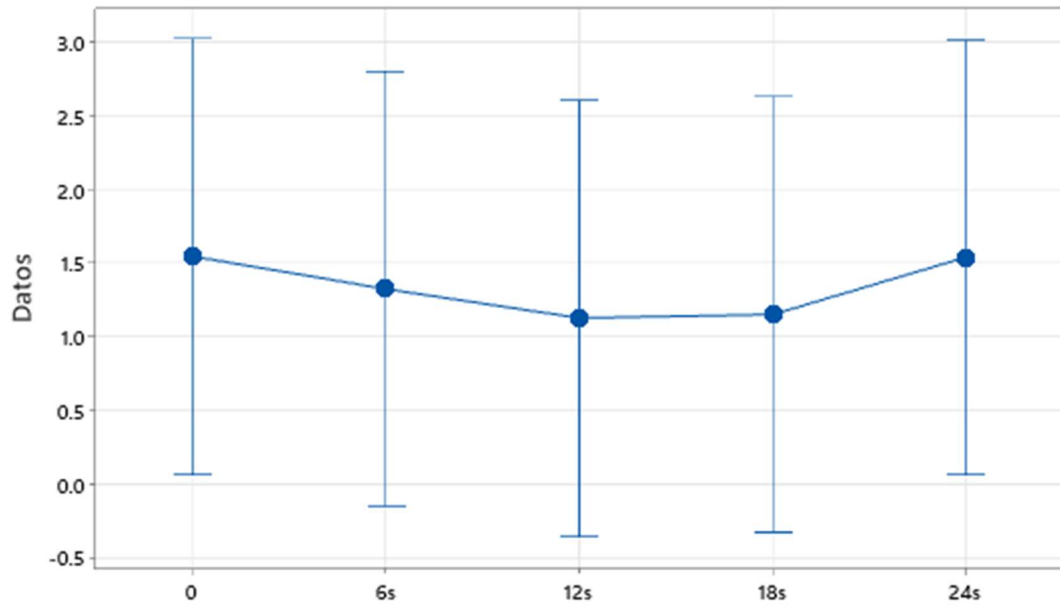
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
0	4	1.545	A
24s	4	1.539	A
6s	4	1.323	A
18s	4	1.149	A
12s	4	1.126	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Gráfica de intervalos de 0, 6s, ...
95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

DÍA 7 ARROZ

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	0.2433	0.06081	0.04	0.997
Error	15	23.9159	1.59439		
Total	19	24.1591			

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1.26269	1.01%	0.00%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	4	0.963	0.886	(-0.382, 2.309)
6s	4	1.188	1.393	(-0.158, 2.533)
12s	4	1.078	1.232	(-0.267, 2.424)
18s	4	1.021	1.029	(-0.325, 2.367)
24s	4	1.267	1.634	(-0.079, 2.612)

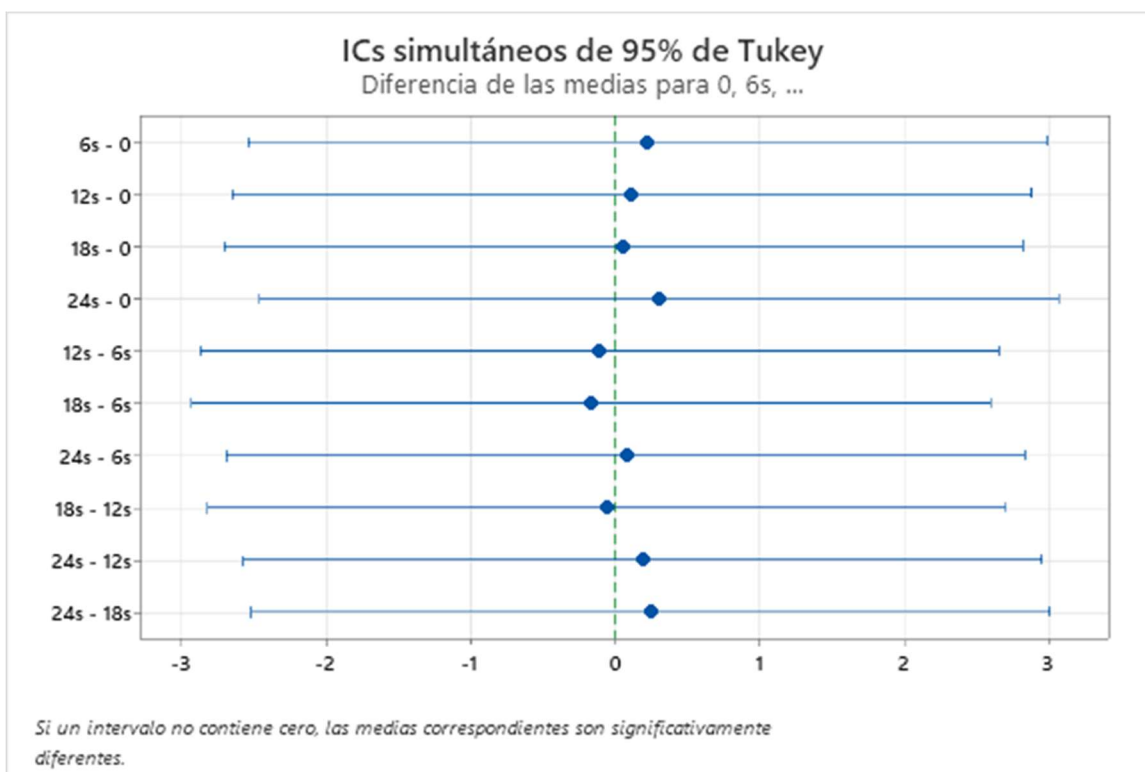
Desv.Est. agrupada = 1.26269

Comparaciones en parejas de Tukey

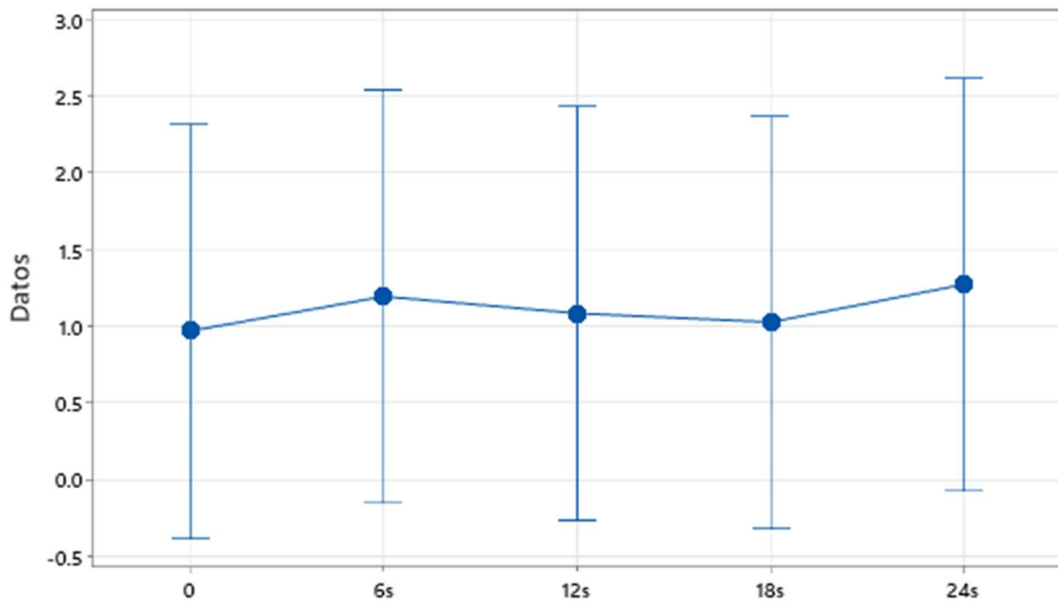
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media Agrupación
24s	4	1.267 A
6s	4	1.188 A
12s	4	1.078 A
18s	4	1.021 A
0	4	0.963 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Gráfica de intervalos de 0, 6s, ...
95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

MAÍZ DIA 0

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	2.609	0.6522	0.08	0.987
Error	15	122.245	8.1497		
Total	19	124.854			

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
2.85477	2.09%	0.00%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	4	1.659	1.939	(-1.383, 4.702)
6s	4	2.52	3.74	(-0.52, 5.56)
12s	4	2.36	3.43	(-0.68, 5.40)
18s	4	1.99	2.65	(-1.06, 5.03)
24s	4	1.63	2.05	(-1.42, 4.67)

Desv.Est. agrupada = 2.85477

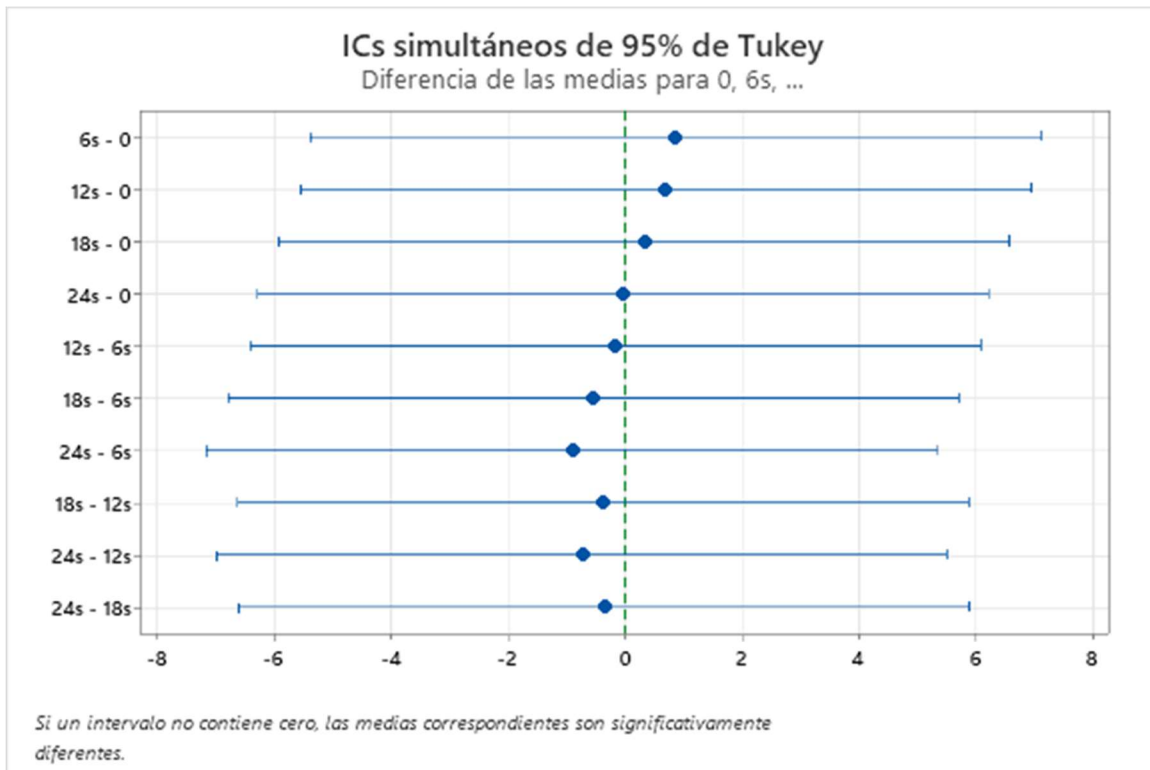
Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

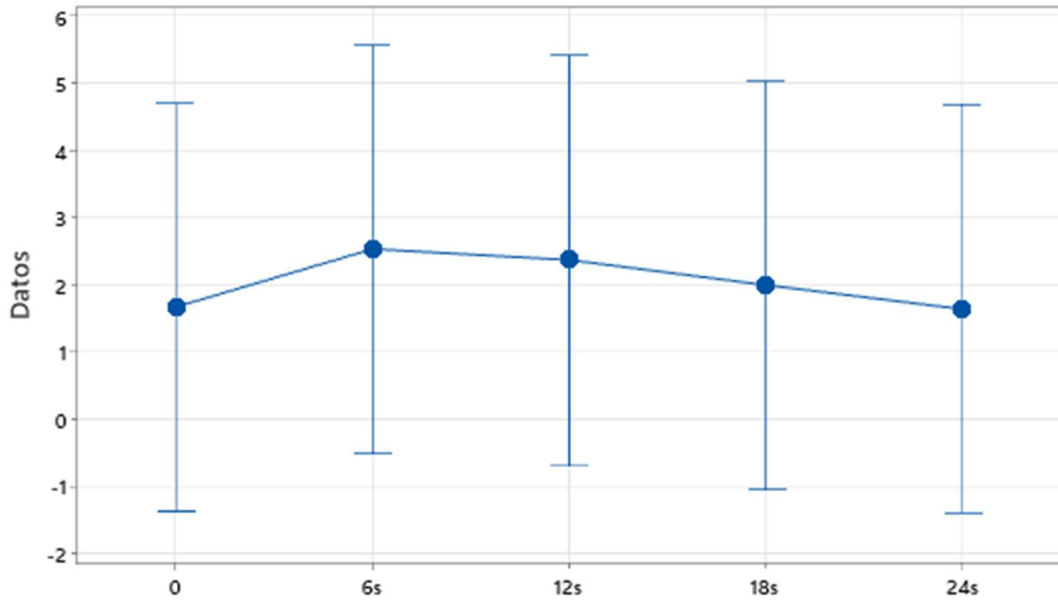
Factor	N	Media	Agrupación
--------	---	-------	------------

6s	4	2.52 A
12s	4	2.36 A
18s	4	1.99 A
0	4	1.659 A
24s	4	1.63 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



Gráfica de intervalos de 0, 6s, ...
95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

MAÍZ DÍA 7

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	4.732	1.183	0.24	0.913
Error	15	74.894	4.993		
Total	19	79.627			

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
2.23449	5.94%	0.00%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	4	1.515	1.925	(-0.866, 3.896)
6s	4	2.29	3.18	(-0.09, 4.67)
12s	4	1.87	2.69	(-0.51, 4.25)
18s	4	1.404	1.691	(-0.977, 3.786)
24s	4	0.829	1.014	(-1.552, 3.210)

Desv.Est. agrupada = 2.23449

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media Agrupación
6s	4	2.29 A
12s	4	1.87 A
0	4	1.515 A
18s	4	1.404 A
24s	4	0.829 A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

