

**EFFECTO DEL SECADO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS,
FUNCIONALES Y TECNOFUNCIONALES DE LA HARINA DE SEMILLA DE
AUYAMA (*Cucurbita máxima*) CULTIVADA EN EL MUNICIPIO DE DABEIBA,
ANTIOQUIA Y SUS CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS**

JAVIER ANDRES RUIZ CONTRERAS

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO - SUCRE
2019**

**EFFECTO DEL SECADO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS,
FUNCIONALES Y TECNOFUNCIONALES DE LA HARINA DE SEMILLA DE
AUYAMA (*Cucurbita máxima*) CULTIVADA EN EL MUNICIPIO DE DABEIBA,
ANTIOQUIA Y SUS CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS**

JAVIER ANDRES RUIZ CONTRERAS

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Director

CARLOS JULIO MÁRQUEZ CARDOZO

Ingeniero Agrícola Ph.D.

Co-director

EURIEL MILLÁN ROMERO

Ingeniero Agrícola MS.c.

UNIVERSIDAD DE SUCRE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

SINCELEJO - SUCRE

2019

Nota de aceptación

Firma del Director

Firma del Codirector

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Sincelejo-Sucre, 2019

DEDICATORIA

A mi Dios todo poderoso por ser mi guía en el desarrollo de todo este proceso, por brindarme sabiduría, paciencia y fortaleza para culminar este proyecto.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional para alcanzar una nueva meta.

A mi hermano, su esposa e hija, por brindarme su cariño y apoyo.

A mi padrino Jesús Monsalve por depositar su confianza en mí proceso de formación.

A mi tío Carlos Ruiz y su hijo Jorge Ruiz, por su ayuda y acompañamiento.

A mi jefa, amiga y compañera de trabajo María Camila Rodríguez por su aporte fundamental en todo el desarrollo del trabajo.

A mi gerente, amiga y compañera de trabajo Birina Caballero por su acompañamiento constante.

A mis compañeros y amigos porque fueron participes con su motivación y apoyo.

Javier A. Ruiz C.

AGRADECIMIENTOS

El autor de este trabajo de grado expresa sus agradecimientos a (al):

A los docentes, PhD, Carlos Julio Márquez Cardozo y MS.c., Euriel Millán Romero, director y codirector del trabajo de grado, respectivamente, por su dedicación, paciencia, orientación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Grupos de investigación “Recurso Suelo - Aguas - GRESA” y “Ciencias y Tecnología de Alimentos – GICTA”, puesto que fue posible llevar a cabo la investigación.

Ingeniera María Camila Rodríguez L. y MS.c. Birina Caballero, por su colaboración y orientación en el trabajo de grado realizado.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y la Universidad de Sucre, por facilitar los medios, herramientas y equipos necesarios para la realización y consecución de la investigación.

Agradecimiento al PATRIMONIO AUTÓNOMO FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO PARA LA CIENCIA Y LA INNOVACIÓN FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS - COLCIENCIAS por el apoyo a ésta investigación a través del proyecto aprobado en la convocatoria 776 de 2017 titulado “DESARROLLO DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES A PARTIR DE AUYAMA (*Cucúrbita máxima*) EN MIRAS A FORTALECER LA COMPETITIVIDAD DE LA CADENA”, a la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, como entidad ejecutora y a la Universidad de Sucre como entidad coejecutora, quienes han brindado su apoyo para el desarrollo de la investigación.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

%p/p	Porcentaje peso/peso	g	Gramo
%p/v	Porcentaje peso/volumen	Kcal	Kilocaloría
°C	Grados centígrados	Kg	Kilogramo
μg	Microgramos	L*	Luminosidad
μm	Micrómetro	m/s	Metro por segundo
μmol	Micro mol	mg	Miligramo
a*	Coordenadas rojo/verde	mL	Mililitros
b*	Coordenadas amarillo/azul	MR	Moisture ratio
b.s.	Base seca	N	Normalidad
CME	Cuadrado medio del error	nm	Nanómetro
DER	Desviación estándar relativa	pH	Potencial de hidrogeno
Dx	Diámetro de partícula	R ²	Coefficiente de determinación
E _(RMS)	Error de la media cuadrática	rpm	Revoluciones por minuto

RESUMEN

Las auyamas se han cultivado de manera tradicional a cielo abierto, en agro-sistemas, en huertos caseros o familiares y en otros espacios agrícolas de manejo intensivo. Debido a su naturaleza y bajo costo, se han destinado principalmente para el consumo en fresco. Están conformadas por semillas en su interior, ricas en ácidos grasos esenciales, proteínas y fibra. Presentan algunas limitaciones debido a su porcentaje de humedad por lo que requieren ser procesadas para mejorar sus propiedades, haciéndolas más estable y permitiendo que puedan responder a los requerimientos y necesidades de las diferentes industrias. Un método de conservación bastante utilizado a nivel industrial corresponde al proceso de secado por convección forzada, debido a que confiere a las semillas características de estabilidad al disminuir la humedad.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del secado por convección forzada sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y tecno-funcionales de la harina de semilla de auyama (*Cucurbita máxima*) cultivada en el municipio de Dabeiba, Antioquia y sus características bromatológicas. Durante la investigación se realizaron análisis de caracterización de la semilla, evaluación de la cinética de secado y de las propiedades fisicoquímicas, funcionales y tecno-funcionales del producto obtenido con el fin de realizar un estudio a profundidad del efecto del proceso de secado. Se encontraron diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y tecno-funcionales con relación a las temperaturas de secado ($p < 0,05$).

Con base en los resultados se produjeron harinas con características y propiedades interesantes, que podrían ser utilizadas en la industria alimentaria. En relación con sus propiedades bromatológicas, puede emplearse en el requerimiento diario recomendado de proteína. Por sus distintas características de alta capacidad puede sugerirse su aplicación en matrices alimenticias cárnicas, lácteas y de repostería o panificación.

Palabras claves: Semilla, auyama, harina, secado.

ABSTRACT

Auyamas have been traditionally cultivated in the open, in agro-systems, in home or family gardens and in other intensively managed agricultural spaces. Due to their nature and low cost, they have been primarily intended for fresh consumption. They are made up of seeds inside, rich in essential fatty acids, proteins and fiber. They have some limitations due to their percentage of humidity, so they need to be processed to improve their properties, making them more stable and allowing them to respond to the requirements and needs of different industries. A method of conservation widely used at industrial level corresponds to the process of drying by forced convection, because it gives the seeds stability characteristics by decreasing humidity.

Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of forced convection drying on the physicochemical, functional and techno-functional properties of auyama seed meal (*Cucurbita máxima*) grown in the municipality of Dabeiba, Antioquia and its bromatological characteristics. During the investigation, seed characterization analysis, evaluation of drying kinetics and physicochemical, functional and techno-functional properties of the product obtained were carried out in order to conduct an in-depth study of the effect of the drying process. Significant differences were found in physicochemical, functional and techno-functional properties in relation to drying temperatures ($p < 0.05$).

Based on the results, flours with interesting characteristics and properties were produced, which could be used in the food industry. In relation to its bromatological properties, it can be used in the recommended daily protein requirement. Due to its different high capacity characteristics, its application in meat, dairy and pastry or bakery food matrices can be suggested.

Keywords: Seed, auyama, flour, dried.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN	15
2. MARCO REFERENCIAL	17
2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	17
2.1.1 GENERALIDADES DE LA AUYAMA	17
2.1.2 AUYAMA (CUCURBITA MÁXIMA)	18
2.1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	18
2.1.4 CARACTERÍSTICAS PARA SU CULTIVO	19
2.1.5 INFORMACIÓN NUTRICIONAL DEL FRUTO DE AUYAMA	19
2.1.6 USOS DE LA AUYAMA	20
2.1.7 PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DE LA AUYAMA	20
2.1.8 SEMILLAS DE LA AUYAMA	22
2.1.9 INFORMACIÓN NUTRICIONAL DE LA SEMILLA DE AUYAMA	22
2.1.10 APLICACIONES DE LA SEMILLA DE AUYAMA	23
2.1.11 MÉTODOS DE SECADO PARA LA CONSERVACIÓN EN FRUTAS Y HORTALIZAS	24
2.1.12 CINÉTICA DE SECADO, MODELAMIENTO DE DATOS	25
2.2 MARCO DE ANTECEDENTES	26
3. METODOLOGÍA	29
3.1 MATERIAL VEGETAL	29
3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA SEMILLA DE AUYAMA	29
3.2.1 ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)	29
3.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD (%H)	29
3.2.3 POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	30
3.2.4 COLORIMETRÍA	30
3.2.5 GRADOS BRIX (°Brix)	30
3.2.6 ACIDEZ TITULABLE	31
3.3 OBTENCIÓN DEL POLVO DE LA SEMILLA DE AUYAMA	31
3.4 CINÉTICA DE SECADO DE LA SEMILLA DE AUYAMA	32
3.5 MODELAMIENTO DE SECADO	32
3.6 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BROMATOLÓGICA DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA	33
3.6.1 ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)	33
3.6.2 CONTENIDO DE HUMEDAD (%H)	33
3.6.3 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA	34
3.6.4 DENSIDAD APARENTE	34
3.6.5 CONTENIDO DE CENIZAS (CC)	35
3.6.6 PROTEÍNA BRUTA (PB)	35
3.6.7 GRASA BRUTA (GB)	35
3.6.8 FIBRA BRUTA	35
3.6.9 FIBRA DIETARIA TOTAL (FDT)	37
3.6.10 CARBOHIDRATOS TOTALES (CT)	37

3.6.11 DETERMINACIÓN DEL FOSFORO	38
3.6.12 ABSORCIÓN ATÓMICA	38
3.7 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA	38
3.7.1 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (CA)	38
3.7.2 COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT)	39
3.8 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA	40
3.8.1 SOLUBILIDAD EN AGUA FRÍA (SAF)	40
3.8.2 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (CAA)	40
3.8.3 CAPACIDAD EMULSIONANTE (CE)	41
3.8.4 VISCOAMILOGRAMA	41
3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	43
4.1 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA SEMILLA DE AUYAMA	43
4.2 CINÉTICA DE SECADO DE LA SEMILLA DE AUYAMA	44
4.3 AJUSTE DE DATOS DE LOS MODELOS DE SECADO	46
4.4 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA	49
4.5 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA	50
4.6 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA	52
4.7 ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTICULA DE LA HARINA DE SEMILLA DE AUYAMA	53
4.8 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LA HARINA DE SEMILLA DE AUYAMA	55
4.9 VISCOAMILOGRAMA	58
4.10 DENSIDAD APARENTE	59
5. CONCLUSIONES	61
6. RECOMENDACIONES	62
7. BIBLIOGRAFÍA	63
8. ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la auyama.	18
Tabla 2. Composición nutricional del fruto de auyama en 100 g de porción comestible. ..	19
Tabla 3. Contenido nutricional de la semilla de auyama.	22
Tabla 4. Modelos matemáticos de capa fina para ajuste de datos de secado.	25
Tabla 5. Tratamientos para la cinética de secado de la semilla de auyama.	32
Tabla 6. Mejores modelos matemáticos para ajuste de datos de secado.	33
Tabla 7. Análisis fisicoquímicos de las semillas de auyama.	43
Tabla 8. Parámetros mejores modelos ajustados, coeficiente de determinación (R ²), cuadrado medio del error (CME) y raíz cuadrada del error medio E(RMS), calculado por regresión de los datos experimentales de la cinética de secado de la semilla de auyama.	46
Tabla 9. Análisis fisicoquímico por los tratamientos de la harina de semilla de auyama. ..	49
Tabla 10. Análisis de las propiedades tecno-funcionales por los tratamientos de la harina de semilla de auyama.	50
Tabla 11. Análisis de las propiedades funcionales por los tratamientos de la harina de semilla de auyama.	52
Tabla 12. Análisis de tamaño de partícula de la harina de semilla de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).	53
Tabla 13. Análisis bromatológico de la harina de semilla de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).	55
Tabla 14. Contenido de minerales en la harina de las semillas de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de auyama a nivel mundial (FAOSTAT, 2017).	21
Figura 2. Producción de auyama en el continente americano (FAOSTAT, 2017).	21
Figura 3. Coordenadas de color del CIE – L*a*b* (Colornews Ltda., 2002).	30
Figura 4. Procedimiento para medir grados brix (°Brix).	30
Figura 5. Procedimiento para medir acidez titulable.	31
Figura 6. Procedimiento para la obtención de la harina de semilla de auyama.	31
Figura 7. Cinética de secado de la semilla de auyama.	32
Figura 8. Medida de la actividad de agua (a_w) en la harina.	33
Figura 9. Medida del porcentaje de humedad (%H) de la harina en horno de vacío.	34
Figura 10. Análisis de tamaño de partícula en Mastersizer 3000 con sistema Aero S.	34
Figura 11. Medida de la capacidad antioxidante (CA) en la harina.	39
Figura 12. Medida de los compuestos fenólicos totales (CFT) en la harina.	39
Figura 13. Medida de la solubilidad en agua fría (SAF) de la harina.	40
Figura 14. Medida de la capacidad de absorción de agua (CAA) de la harina.	41
Figura 15. Medida de la capacidad emulsionante (CE) de la harina.	41
Figura 16. Curvas de secado por tratamiento de la semilla de auyama.	45
Figura 17. Curvas de secado por los tratamientos de la semilla de auyama (datos experimentales y ajustados al modelo Henderson-Pabis modificado).	48
Figura 18. Capacidad emulsionante por los tratamientos de la harina de semilla de auyama.	51
Figura 19. Distribución de tamaño de partícula de la harina de semilla de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).	54
Figura 20. Viscoamilograma de harina de la semilla de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).	59

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Distribución de las cajas en el equipo de secado Memmert.....	70
Anexo B. Diseño experimental multifactorial categórico aleatorizado entre temperaturas y velocidades del aire de secado.	70
Anexo C. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la harina de semilla de auyama.	71
Anexo D. Análisis de tamaño de partícula de la harina de semilla de auyama.	76

1. INTRODUCCIÓN

La auyama (*Cucurbita máxima*) también llamada calabaza o zapallo, se ha cultivado de manera tradicional a cielo abierto, en agro-sistemas, en huertos caseros o familiares y en otros espacios agrícolas de manejo intensivo, donde se establece como monocultivo o asociada a otras especies (Manda *et al.*, 2018). Desde el punto de vista etno-botánico, las especies domesticadas del género *Cucurbita* tienen gran valor debido a la versatilidad de su uso tanto en consumo directo, utilizada en diferentes presentaciones como sopas, cocidos, cremas, dulces, purés, jugos, pastelería y compotas o como materia prima para la agroindustria mediante la obtención de harinas, almidones y concentrados para animales (Pineda, 2012). El fruto de auyama es una materia prima vegetal altamente nutritiva debido a su alto contenido de carbohidratos, fibra, vitamina A y compuestos bioactivos, donde sus semillas tienen propiedades nutraceuticas muy interesantes y su aceite se ha considerado como un alimento funcional para tratar la hipertensión, la diabetes y el cáncer (Sharma N. , 2018).

En Colombia, la auyama es un cultivo transitorio, con una producción anual de 120.212 toneladas y donde se destaca el departamento de Antioquia con una producción de 2.076 toneladas en un área sembrada de 165 ha con un rendimiento de 12,28 ton/ha, siendo el principal productor el municipio de Dabeiba con 120 hectáreas cultivadas (Agronet, 2017). Este producto hortícola se ha destinado principalmente para el consumo en fresco y la falta de procesos de transformación y agroindustrialización favorece el aumento de pérdidas poscosecha, dificultando su aprovechamiento para el desarrollo de alimentos procesados y su diversificación en la oferta de productos agrícolas.

Del fruto además de utilizarse la pulpa también se aprovechan las semillas, ricas en ácidos grasos (Hernández *et al.*, 2014). Las semillas son planas, ovales, de color verde claro, se encuentran en la cavidad hueca central; intercaladas entre una red mucilaginosa y su aprovechamiento ha estado orientado a fines comestibles o medicinales debido en cierta forma son una rica fuente de compuestos bioactivos tales como ácidos grasos ω -3, -6 y -9, tocoferoles α - y γ -, esteroides, β -caroteno y luteína (Applequist, 2006; Rezig *et al.*, 2018). Además, con relación al bajo contenido de humedad que presentan, se han evidenciado

facilidades para su procesamiento cuando es sometida a secado, molienda y tamizado, lo que ha permitido su evaluación en la elaboración de harinas compuestas como coadyuvante de fuente de fibra dietética, potasio y ácidos grasos insaturados (Ramírez & Villa, 2015; García & Reyes, 2016; Rössel *et al.*, 2018). Teniendo en cuenta su potencial bioactivo, las semillas de auyama tienen un enorme potencial para ser utilizadas como un producto funcional (Sharma, 2018), generalmente se consideraban un desperdicio, pero ahora pueden desempeñar un papel importante en los alimentos por aspectos nutricionales (Manda, Prasad & Nukasani, 2018).

Con el aumento de la conciencia pública en la agricultura sostenible, las tecnologías de producción y la gestión de residuos limpios y eficientes, las semillas de auyama tienen la oportunidad de capturar una nueva y emergente cuota de mercado en la industria, lo que la convierte en una materia prima viable y de alto valor para el desarrollo de alimentos procesados. Es así como la importancia de la auyama en la seguridad alimentaria a nivel nacional y la creciente demanda de nuevas materias primas para la agroindustria, viene fomentando de manera progresiva la investigación sobre esta hortaliza (Valdés *et al.*, 2010).

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar el efecto del secado por convección forzada a distintas temperaturas y velocidades de aire sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y tecno-funcionales de la harina de semilla de auyama y sus características bromatológicas para su posible aplicación en alimentos procesados.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1.1 GENERALIDADES DE LA AUYAMA

La auyama es uno de los vegetales de mayor importancia en los sistemas agrícolas tradicionales del mundo (Subbaiah, 2016), perteneciente a la familia *Cucurbitaceae*, de acuerdo con la clasificación más reciente, contiene 118 géneros y alrededor de 825 especies, siendo el género *Cucurbita* el más importante, en el cual consideran de 12 a 13 especies. Es uno de los frutos de tallos rastreros encontrados en Colombia cultivados de manera tradicional a cielo abierto, en agro-sistemas, en huertos caseros o familiares y en otros espacios agrícolas de manejo intensivo, donde se establece como monocultivo o asociada a otras especies. Suelen ser de color naranja o amarillo, sin embargo, se puede encontrar de estos frutos con color verde oscuro, verde pálido, amarillo anaranjado, blanco, rojo y gris. En general, su peso promedio está en el rango de 4-8 kg, pero se pueden encontrar unas de mayor tamaño que pueden alcanzar un peso de más de 34 kg. Es una hortaliza que presenta frutos carnosos tipo baya (bacciforme), con un alto número de semillas dentro del fruto que varía de 300 a 700 semillas, estas generalmente son pequeñas y planas, pero presentan variantes para el color: desde blanco al café.

En general, el valor nutricional de este fruto es alto desde la pulpa que contiene carbohidratos, vitaminas, proteínas, entre otros, hasta sus semillas con constituyentes mucho más beneficiosos como los carbohidratos, aminoácidos, fibras, ácidos grasos insaturados y vitaminas como B, C, D, E y K. También contiene minerales como calcio, potasio y fósforo. Lo que la convierte en una alternativa importante para la seguridad alimentaria a nivel nacional debido a la creciente demanda de nuevas materias primas para la agroindustria, razón por la cual se ha venido fomentando de manera progresiva la investigación sobre esta hortaliza.

No obstante, sus excelentes características nutricionales, se ven afectadas negativamente por el contenido de humedad del fruto que está alrededor del 90%, convirtiéndolo en un fruto perecedero, con los nutrientes diluidos, donde la longevidad del fruto y su capacidad para ser

almacenado durante periodos prolongados depende del porcentaje de materia seca y su relación con almidones y azúcares en el mesocarpo.

2.1.2 AUYAMA (*CUCURBITA MÁXIMA*)

2.1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según Espinosa (2012) y Castro (2013), mencionan que la clasificación taxonómica de auyama se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la auyama.

Reino:	Vegetal
Subreino:	Fanerogamas
División:	Angiospermas
Clase:	Dicotiledonea
Subclase:	Metaclamidias
Orden:	Cucurbitales
Familia:	Cucurbitacea
Género:	Cucurbita
Especie:	Cucurbita máxima
Nombre científico:	Cucurbita máxima
Nombre común:	Zapallo

Domesticada por comunidades de América del Sur, es la especie más común en la región del Caribe. Es una de las especies más diversas del género, incluye razas o variedades locales y abundantes cultivares con hábitos rastreros y arbustivos, con frutos y semillas muy variables en su forma, tamaño y coloración y diferentes niveles de resistencia a enfermedades. La corteza puede ser blanda o dura, a veces de colores brillantes. La pulpa es amarilla y las semillas son blancas o marrón claro. Se cultiva ampliamente en Suramérica y en Estados Unidos, desde los 100 m hasta los 3000 msnm.

Según Vallejo y Estrada (2004), la forma de los pedúnculos se ha usado como característica para diferenciar las especies *Cucurbita*. Whitaker y Davis, (1962), presentaron algunas claves

para diferenciar las especies cultivadas de *Cucurbita* por ejemplo para la *Cucurbita máxima* indica que esta tiene tallos suaves y redondos; pedúnculo redondo agrandado por tejido corchoso. Hojas redondas sin manchas blancas, semilla blanca.

La característica principal de la pulpa es su contenido en carotenoides, algunos como β -caroteno y α -caroteno, son precursores de la vitamina A, soluble en grasa que es importante para el crecimiento y desarrollo normal del cuerpo humano, las contiene especialmente las especies *C. máxima* y *C. moschata*.

2.1.4 CARACTERÍSTICAS PARA SU CULTIVO

Se cultiva desde los 100 m hasta los 3000 m.s.n.m. El clima que se requiere para el cultivo de las auyamas es templado-cálido con una humedad relativa, media o baja. El suelo debe tener una textura moderada, ligeramente arenosa o pedregosa. El crecimiento de sus raíces se ve beneficiado cuando existe una alta concentración de materia orgánica en el suelo y un pH entre 5,8-7,0 (Vallejo y Estrada, 2004). La incorporación de materias orgánicas, de carbonatos de calcio y magnesio, ayuda a enriquecer las propiedades fisicoquímicas de los suelos ayudando al crecimiento saludable y firme de la planta. Por tener un sistema de raíces superficiales, no requiere de suelos profundos, pero se le hace necesario de un suelo fértil con buena retención de humedad. Los tallos se identifican por tener entrenudos cortos y con menos longitud los tallos secundarios y dando como resultado un crecimiento más compacto y menos invasor (Vallejo y Estrada, 2004).

Para la siembra es útil valorar las condiciones climáticas para garantizar un crecimiento óptimo del fruto, disponiendo de un sistema de riego adecuado, a pesar de que el cultivo se puede sembrar durante todo el año y en épocas secas.

2.1.5 INFORMACIÓN NUTRICIONAL DEL FRUTO DE AUYAMA

Tabla 2. Composición nutricional del fruto de auyama en 100 g de porción comestible.

Componentes	Unidad	Auyama Cucurbita máxima
Energía	Kcal	15
Proteínas	g	0.7

Lípidos totales	g	0.2
Hidratos de carbono	g	2.2
Fibra	g	1
Agua	g	95.9
Calcio	mg	29
Hierro	mg	0.4
Magnesio	mg	10
Zinc	mg	0.2
Potasio	mg	130
Fosforo	mg	19
Selenio	µg	0.3
Tiamina	mg	0.16
Equivalente niacina	µg	0.2
Vitamina B6	mg	0.02
Folatos	µg	10
Vitamina C	mg	14
Vitamina A	µg	75
Vitamina E	mg	1.06

Fuente: Composición de Alimentos, Moreiras *et al.*, 2013

2.1.6 USOS DE LA AUYAMA

La pulpa de la auyama se consume en preparaciones como dulces, purés, pastelería, jugos, sopas, cremas y compotas y en otro tipo de presentación como materia prima para la industria. Actualmente las semillas han tomado mucha importancia para el consumo como snacks debido a sus propiedades nutricionales, mayores a las de la pulpa, mientras que las flores y otras partes de la planta se usan en una menor proporción.

2.1.7 PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL DE LA AUYAMA

En la figura 1 se puede observar que los países destacados en producción mundial de auyama son China, Federación de Rusia, Estados Unidos y Cuba (Agronet, 2007). En Colombia, la producción anual es de 120.212 toneladas donde se destaca el departamento de Antioquia con 2.076 toneladas y el departamento de Sucre con 250 toneladas (Agronet, 2017).

Figura 1. Producción de ayuama a nivel mundial (FAOSTAT, 2017).

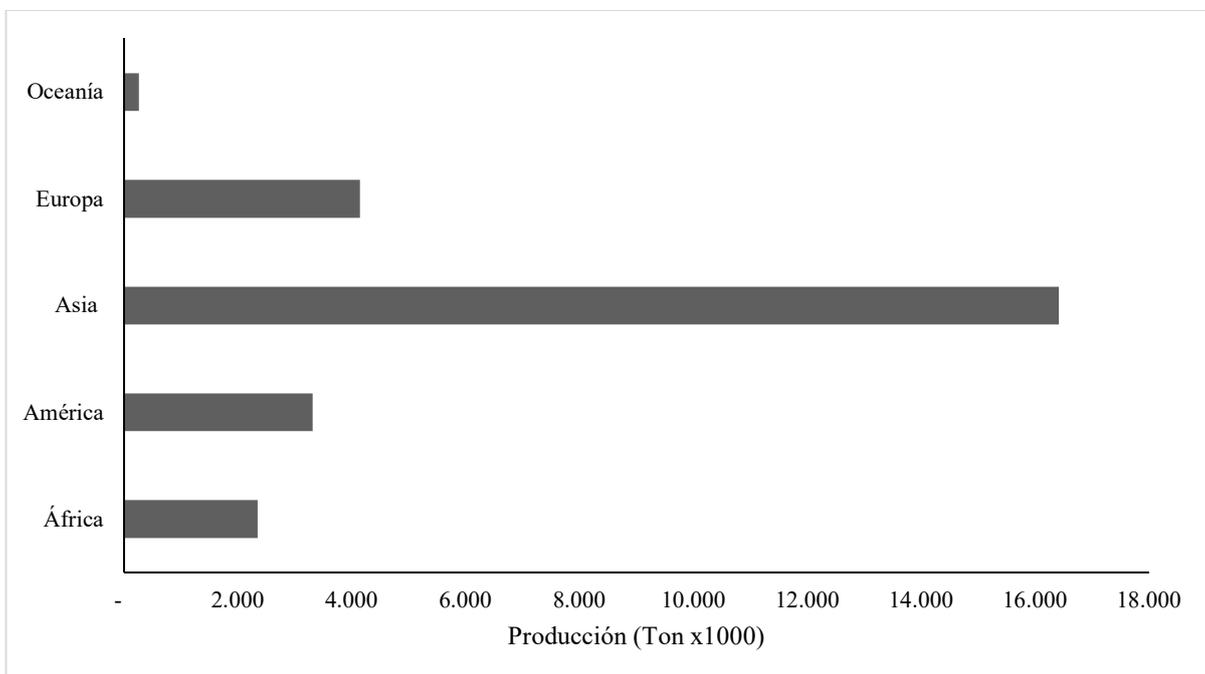
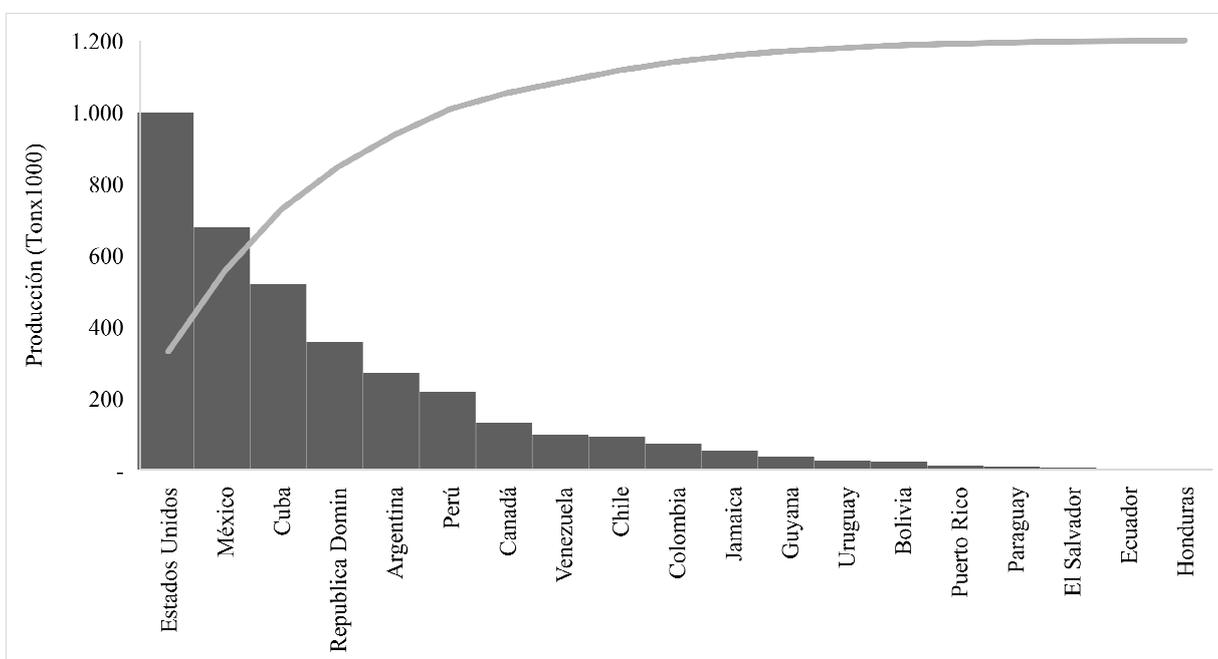


Figura 2. Producción de ayuama en el continente americano (FAOSTAT, 2017).



2.1.8 SEMILLAS DE LA AUYAMA

Las semillas de auyama son semiplanas, presentan una forma ovoide típica con una punta cónica, mientras que sus granos son de color verde oliva, dulce, de textura mantecosa y sabor a nuez. El contenido de semilla en la auyama varía de 3,52% a 4,27% (Manda, Prasad & Nukasani, 2018). Es un subproducto con poco aprovechamiento a nivel industrial, sin embargo, es un alimento incluido en la dieta de distintos países de oriente, debido a que es consumido como un producto deshidratado tipo snack o para la preparación de otro tipo de productos en Europa. También, ha sido empleado por sus cualidades medicinales. Es una fuente natural de nutrientes y ácidos grasos como Oleico, Palmítico y Linoleico (Habib *et al.*, 2015). En general, con el fin de obtener semillas de buena calidad, se permite que la hortaliza de auyama pueda madurar completamente.

2.1.9 INFORMACIÓN NUTRICIONAL DE LA SEMILLA DE AUYAMA

Las semillas de la auyama tienen gran contenido de vitaminas, antioxidantes y minerales, adecuados para la fortificación de alimentos.

Tabla 3. Contenido nutricional de la semilla de auyama.

Componentes	Unidad	Semilla de Auyama Cucurbita máxima	Componentes	Unidad	Semilla de Auyama Cucurbita máxima
Energía	Kcal	559	Electrolitos		
Carbohidratos	g	10.71	Sodio	mg	7
Proteína	g	30.23	Potasio	mg	809
Grasa total	g	49.05	Minerales		
Colesterol	mg	0	Calcio	mg	46
Fibra dietaria	g	6	Cobre	mg	1.343
Vitaminas			Hierro	mg	8.82
Folatos	µg	58	Magnesio	mg	592
Niacina	mg	4.987	Manganeso	mg	4.543
Acido pantoténico	mg	0.750	Fosforo	mg	1233
Piridoxina	mg	0.143	Selenio	µg	9.4
Riboflavina	mg	0.153	Zinc	mg	7.81
Tiamina	mg	0.273	Fito nutrientes		

Vitamina A	IU	16	β -Carotenos	μg	9
Vitamina C	μg	1.9	Luteína- Zeaxantina	μg	74
Vitamina E	mg	35.10	β -Cripto- xantin	μg	1

Fuente: (Manda, Prasad & Nukasani, 2018)

La demanda de los consumidores ha aumentado para la calidad de los productos alimenticios con sabor, seguridad, conveniencia y nutrición, por lo tanto, la nutrición se ha convertido en una dimensión adicional en la cadena de desarrollo de productos alimenticios (Saraswathi, Renu, & Maloo, 2018). Las semillas de auyama están ricamente dotadas de macroelementos (magnesio, fósforo y calcio) y cantidades moderadas de microelementos (manganeso, cobre y zinc) y, por lo tanto, la semilla podría usarse como un valioso complemento alimenticio. Además, su valor adquisitivo es de bajo costo para una fuente rica en nutrientes, con cualidades sensoriales altamente aceptables y un rico valor nutritivo (Manda, Prasad & Nukasani, 2018).

2.1.10 APLICACIONES DE LA SEMILLA DE AUYAMA

Durante la última década, la demanda de nuevos alimentos sanos y económicamente viables ha aumentado considerablemente. Las semillas de auyama actualmente están ganando impulso en la industria de alimentos como una alternativa saludable a otros aperitivos fritos. También, tienen múltiples usos en diferentes países; como alimento y con fines medicinales (Robinson & Walters, 1997). Estas presentan altos contenidos de aceites y proteínas. Son consumidas enteras, asadas o tostadas, y molidas en diferentes guisos en América desde la antigüedad. La composición de ácidos grasos altamente insaturados del aceite de las semillas de auyama hace que sea adecuado para mejorar los beneficios nutricionales de los alimentos. (Fu, *et al.*, 2006). En consecuencia, se ha prestado mucha atención a la utilización de subproductos vegetales que no son de uso común en la industria alimentaria y de la población (Manda, Prasad & Nukasani, 2018).

2.1.11 MÉTODOS DE SECADO PARA LA CONSERVACIÓN EN FRUTAS Y HORTALIZAS

En la etapa de poscosecha merecen especial atención la etapa de secado ya que el manejo adecuado de esta puede evitar pérdidas y contribuir en la conservación del producto. Después de la cosecha, se inicia un proceso de degradación en las frutas y hortalizas, debido al aumento de la actividad enzimática que a su vez conduce a la degradación de los principios activos presentes en las mismas. Para minimizar estos efectos se emplea distintos métodos de secado o deshidratación (Rocha *et al.*, 2012).

La deshidratación es un método que se utiliza para eliminar la humedad de los alimentos para prevenir el deterioro microbiano y las reacciones deterioradas. Mejora la calidad de la conservación de los alimentos y reduce el peso de los alimentos para el transporte y el almacenamiento (Aukkanit & Sirichokworrakit, 2017). Este proceso consiste básicamente en remover gran proporción del contenido de agua del alimento llegándose hasta contenidos de humedad del 5-12% y así reducir la actividad de agua y la velocidad de las reacciones químicas en el producto, así como el desarrollo de microorganismos (Rocha *et al.*, 2012).

Los límites de temperaturas en el secado varían según el alimento de acuerdo con la sensibilidad de los compuestos químicos que tenga, debido a que las altas temperaturas pueden llevar a la pérdida de los compuestos químicos de los aceites esenciales por volatilización o degradación. Entre las distintas técnicas de deshidratación o secado, se encuentra el secado convectivo con aire caliente, es la más utilizada, la cual por lo regular se realiza a temperaturas inferiores a 80°C, para evitar degradación de nutrientes. El tiempo de secado, varía para cada alimento y este depende además de la temperatura y humedad relativa del medio, de la geometría, propiedades fisicoquímicas y contenido de humedad inicial. Por lo tanto, el secado siempre ha sido una etapa importante que es necesario estandarizar en un proceso, con el fin de obtener productos con la mayor retención de nutrientes, con contenidos de humedad que cumplan con la Norma Técnica Colombiana y con tiempos cortos, con el fin de disminuir gastos energéticos (Fito *et al.*, 2001).

Otro método de conservación es la liofilización, lo que implica la congelación antes de la sublimación del agua. Este método es muy importante para mantener y preservar la calidad del producto alimenticio durante el almacenamiento y el transporte, y aumentar su disponibilidad durante el año. Sin embargo, tiene desventajas debido al hecho de que las frutas y verduras experimentan algunas reacciones que causan cambios en el sabor, el color, la textura y el valor nutricional. Aun así, los alimentos liofilizados también sufren una pérdida de firmeza tisular. Una gran cantidad de factores pueden afectar la calidad de las verduras en el momento de la congelación, como las características de la materia prima, los pretratamientos aplicados antes de la congelación o el proceso de congelación en sí (Henriques *et al.*, 2012). Por ello uno de los métodos más aplicados actualmente por conservación de nutrientes, características organolépticas y economía es el secado por convección forzada.

2.1.12 CINÉTICA DE SECADO, MODELAMIENTO DE DATOS

Los modelos matemáticos son herramientas útiles para estimar el tiempo necesario para reducir la cantidad de agua del producto a diferentes condiciones de secado mejorando la eficiencia del proceso (Rocha *et al.*, 2012). Se emplean distintos modelos matemáticos de capa fina (ver tabla 4) para determinar la cinética de secado a cada una de las condiciones de temperatura, velocidad de aire, geometría del producto, entre otros, y así evaluar la bondad del ajuste a los experimentales obtenidos. Hasta el momento, aunque varios estudios han informado sobre la cinética de secado de los granos y semillas alimenticias, la información sobre la cinética de secado de la semilla de auyama sigue siendo limitado (Jittanit, 2011).

Tabla 4. Modelos matemáticos de capa fina para ajuste de datos de secado.

Modelo	Ecuación
Newton	$MR = \exp(-Kt)$
Page	$MR = \exp(-Kt^n)$
Page modificado	$MR = \exp(-Kt)^n$
Dos términos	$MR = a \exp(-K_0t) + b \exp(-K_1t)$
Dos términos exponenciales	$MR = a \exp(-Kt) + (1 - a) \exp(-K a t)$
Wang & Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
Henderson-Pabis	$MR = a \exp(-Kt)$

Henderson-Pabis modificado	$MR = a \exp(-Kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
Logarítmico	$MR = a \exp(-Kt) + c$
Midilli	$MR = a \exp(-Kt^n) + bt$
Alibas	$MR = a \exp(-Kt^n + bt) + g$

Fuente: (Kricka *et al.*, 2005; Jittanit, 2011)

2.2 MARCO DE ANTECEDENTES

Entre las investigaciones desarrolladas con respecto a la semilla de auyama se encuentra la realizada por Hernández *et al.*, (2014), quienes consideran que es una alternativa para la industria alimentaria debido a su elevado contenido de proteínas y aminoácidos esenciales, por lo que puede ser utilizada en formulaciones de harinas compuestas o como ingrediente principal en el desarrollo de productos de panadería y pastelería. Además, las semillas tienen porcentajes superiores al 50% de lípidos en su composición, ricos en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, con predominio de ácido linoleico y ácido oleico; estos compuestos contribuyen a hacer del aceite extraído de la semilla un producto con propiedades benéficas para la salud. De igual forma, la semilla de auyama ha recibido considerable atención debido a sus propiedades antidiabéticas, antifúngicas y antiinflamatorias.

(Quintana *et al.*, 2018), su trabajo evaluó las propiedades morfológicas, químicas y fisicoquímicas de tres componentes de la auyama (la cáscara, la pulpa y la semilla). La composición aproximada y las propiedades fisicoquímicas del aceite las realizaron de acuerdo con los procedimientos de AOAC. Las diferentes características morfológicas mostraron similitudes considerables entre los diferentes cultivares del departamento de Bolívar (Colombia). Los mayores contenidos de humedad y carbohidratos se establecieron en la pulpa con 85.34% y 81.45%, y la cáscara con 81.06% y 79.23%, respectivamente. Por otro lado, las semillas tenían mayores cantidades de aceites y proteínas con 25.70% y 52.6, respectivamente. El espectro de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) mostró relaciones con los grupos funcionales de las diferentes partes vegetales con su composición química. Concluyeron que la composición próxima en las diferentes partes de la auyama parece ser una explotación tecnológica y comercial bastante prometedora.

(Srbinska *et al.*, 2012), determinaron la composición química de las semillas de *C. máxima* D. y *C. pepo* L. cultivadas en la República de Macedonia y las características fisicoquímicas, los perfiles de ácidos grasos y el contenido de esteroides y tocoferol en los extractos de semillas de auyama. Midieron un mayor rendimiento de grano y contenido de humedad, cenizas, nitrógeno total, proteínas y carbohidratos en la semilla de *C. pepo* que en la semilla de *C. máxima*. El mayor rendimiento de extracto de 487.4 g / kg de materia seca se obtuvo de *C. pepo* entera, mientras que 388.2 g / kg de materia seca se extrajo de *C. máxima* entera, cuando se utilizaron n-hexano como solvente. En todos los extractos, predominaron los ácidos palmítico, esteárico, oleico y linoleico. La relación linoleica / ácido oleico fue mayor en los extractos de *C. máxima*. Los esteroides D7 fueron predominantes en todos los extractos, mientras que el contenido de esteroides D5 fue mayor en toda la semilla que en los extractos de grano. Determinaron un mayor contenido de tocoferol en los extractos de semilla entera y grano de *C. pepo* (153.79 mg / kg y 117.81 mg / kg, respectivamente), que en los de *C. máxima* (121.24 mg / kg y 117.55 mg / kg, respectivamente). En todos los extractos, el contenido de γ -tocopherol fue mayor que el de α -tocopherol.

En otra investigación efectuada por Elinge *et al.*, (2012), las semillas de auyama fueron analizadas por su composición nutricional mediante contenido de humedad, ceniza, grasa cruda, fibra cruda, proteína cruda, carbohidratos disponibles, valor calorífico y anti nutricional por análisis de contenido de fitato, oxalato, ácido cianhídrico y nitrato. Se reportaron valores de Potasio y Manganeso en 237.24 ± 0.9 mg/100g y 0.06 ± 0.01 mg/100g, respectivamente. Además, la concentración de fitato encontrada no afectaría su aprovechamiento como alimento nutricional.

(Rössel *et al.*, 2018), llevaron a cabo la evaluación de las características físicas y químicas de la harina de semilla de auyama para su incorporación en el procesamiento de alimento. El material vegetal fue estudiado con y sin cascara, y su efecto sobre distintas formulaciones de totopos. Los resultados indican que la semilla de auyama puede ser considerada como materia prima (harina) en la elaboración de productos como totopos, encontrando una mayor retención de aceite si la harina se elabora con semilla de auyama sin descascarillar. Encontraron que contiene un 48,92% de aceite, del cual un 29% es ácido oleico y 51,9%

ácido linoleico; ácidos grasos que están ampliamente reconocidos por sus beneficios a la salud. El alto contenido de aceite de buena calidad y la proteína de la semilla, la hacen atractiva para utilizarla en numerosos desarrollos tecnológicos.

Kricka *et al.*, (2005), evaluó la cinética de secado de la semilla de auyama de tres variedades a temperaturas (40, 60, 80 y 100 °C) y velocidades de aire (0.8 y 1.2 m/s). Los resultados indicaron que el proceso de secado óptimo para la semilla de cada variedad de auyama debe realizarse a 60 °C, presentando el mayor contenido de aceite y garantizando una alta eficiencia energética cuando se maneja la velocidad de aire más baja en el proceso de deshidratación.

Para la obtención de harina a partir de semilla de auyama, se ha evaluado el efecto de tratamientos térmicos en diversas características de la especie seleccionada y propiedades fisicoquímicas y microbiológicas que permiten conocer la calidad de esta

Ramírez & Villa, (2015) realizaron elaboraciones de harina con semillas de auyama como ingrediente alimentario y evaluaron sus distintas características fisicoquímicas, bromatológicas, además, de la estabilidad fisicoquímica y microbiológica durante 12 meses del producto. Concluyeron que el subproducto de la auyama permite su introducción en forma comercial debido a sus contenidos de ácidos grasos y proteína y su estabilidad en condiciones ambientales.

Can-Cauich *et al.*, (2019) evaluaron los efectos de extracción de aceite (presión mecánica y solvente orgánico) y especie (*Cucurbita argyrosperma* Huber y *Moschata duchesne*) sobre los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de la semilla de auyama, además establecieron el método por presión mecánica con los valores más altos para los compuestos fenólicos totales (TPC), carotenoides totales, escualeno, quercetina, β -caroteno, fucosterol, estigmasterol y actividad antioxidante (DPPH, ABTS y poder reductor). Entre las dos especies, el aceite de la variedad *Moschata* extraído con presión mecánica y solvente orgánico mostró los valores más altos para carotenoides, esteroides y actividad antioxidante. Los resultados demostraron que el método de extracción y la especie afectan la composición de los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante del aceite de auyama.

3. METODOLOGÍA

3.1 MATERIAL VEGETAL

El desarrollo experimental se realizó en el Laboratorio de Frutas y Hortalizas, Control y Calidad de Alimentos y Procesos Agrícolas adscrito a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, en el marco del proyecto “Desarrollo de productos agroindustriales a partir de auyama (*Cucurbita máxima*) para fortalecer la competitividad de la cadena” aprobado por Colciencias en la convocatoria 776-2017. Las auyamas fueron suministradas por los cultivadores del municipio de Dabeiba, localizado entre 450 m.s.n.m. con temperatura promedio de 28°C, precipitación anual de 3161 mm y humedad relativa (HR) de 69%. Los frutos de auyama fueron seleccionados además de acuerdo con la norma NTC 1291 que establece los requisitos mínimos de calidad. Los frutos se lavaron y se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 100 µL por litro durante 5 minutos y se secaron con toalla absorbente, se utilizó un total de 95 unidades experimentales (UE) con un peso total promedio de 295 kg ± 5 de material vegetal.

3.2 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA SEMILLA DE AUYAMA

3.2.1 ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

Se pesaron cuatro gramos de semilla seca en trozos y se realizó la lectura en un higrómetro Aqualab (Dew Point Water Activity Meter 4TE) a una temperatura de 26,3 °C (AOAC, 2012).

3.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD (%H)

Se pesó un crisol vacío, luego se agregaron dos gramos de muestra en trozos. Se llevaron a un horno de vacío a temperatura de 105 °C por un lapso de 24 horas. Posteriormente se trasladaron los crisoles a un desecador hasta reposo. Finalmente se registró el peso de los crisoles con las muestras secas. (AOAC, 2012)

El contenido de humedad en base húmeda está definido como:

$$H (\%) = 100 - \text{Extracto seco} (\%) \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\text{Extracto seco (\%)} = \left(\frac{\text{Peso crisol muestra seca} - \text{Peso crisol vacío}}{\text{Peso muestra}} \right) \times 100\% \quad \text{Ec. (2)}$$

3.2.3 POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

Se pesaron 10 g de muestra y se depositaron en un erlenmeyer de 250 mL. Se adiciono 100 mL de agua destilada, se agito durante 30 minutos y se dejó en reposo por 10 minutos y se decantó el líquido sobrenadante en un beaker de 50 mL. Finalmente, se hizo la lectura de pH de la suspensión utilizando el pH-metro (SCHOTT Instruments Lab 850) (AOAC, 2012).

3.2.4 COLORIMETRÍA

La cuantificación del color se determinó por medio de un colorímetro Konica Minolta, Chroma meter CR-400, se utilizó como sistema de referencia el iluminante D65 y el observador de 2°. A partir de los espectros de reflexión se obtuvieron las coordenadas de color del CIEL*a*b*, empleándose escala Hunter-Lab, (ver figura 3), donde L* es un indicador de la luminosidad, a* representa la cromaticidad verde (-) a rojo (+) y b* representa la cromaticidad azul (-) a amarillo (+) (AOAC, 2012).

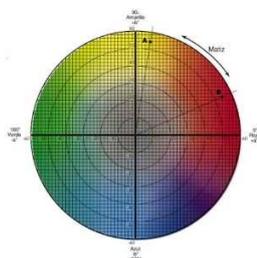
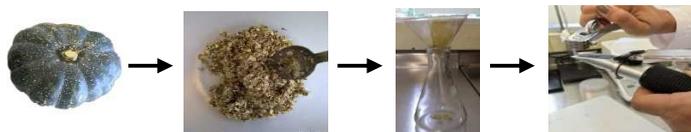


Figura 3. Coordenadas de color del CIE – L*a*b* (Colornews Ltda., 2002).

3.2.5 GRADOS BRIX (°Brix)

Se pesaron 10 g de muestra y se adiciono 40 mL de agua destilada, se sometió a licuado y posterior filtrado. Se realizó la lectura de °brix con el líquido resultante (García & Reyes, 2016).

Figura 4. Procedimiento para medir grados brix (°Brix).



3.2.6 ACIDEZ TITULABLE

Se pesaron 10,0 g de muestra y se depositaron en un beaker de 200 mL. Se adiciono 20 mL de agua destilada y se agito hasta formar una pasta. Se agregó nuevamente 80 mL de agua y se agito hasta obtener una mezcla homogénea. Se adiciono cuatro (4) gotas de solución alcohólica de fenolftaleína al 1% p/p. Finalmente, se tituló con solución de hidróxido de sodio 0,1N y se anotó el volumen gastado (AOAC, 2012).

$$\text{Acidez (\%meq ácido/g muestra)} = \frac{(V \times N \times \text{meq AC}) \times 100}{M} \quad \text{Ec. (3)}$$

Figura 5. Procedimiento para medir acidez titulable.



3.3 OBTENCIÓN DEL POLVO DE LA SEMILLA DE AUYAMA

La harina de semilla de auyama se obtuvo siguiendo la metodología propuesta por Kricka *et al.*, (2005), con ligeras modificaciones. Las semillas se extrajeron del fruto de auyama de forma manual. Luego, fueron lavadas y sometidas a un proceso de secado por convección forzada utilizando un secador (Memmert, Models UF750) hasta alcanzar una humedad final de 10% b.s. Posteriormente, el producto seco se sometió a molienda en un molino (Hamilton Beach 80350R) y tamizado (tamizadora eléctrica CL 313F).

Figura 6. Procedimiento para la obtención de la harina de semilla de auyama.



3.4 CINÉTICA DE SECADO DE LA SEMILLA DE AUYAMA

Las semillas fueron dispuestas en cajas, elaboradas con mallas, dispuestas en 18 columnas como se muestra en el anexo A y cada una de las cajas contenía 5 g del producto fresco, todo lo anterior se realizó con el fin de facilitar el manejo y orden del pesado durante el proceso de elaboración de las curvas de secado que finalizó en el momento que se alcanzó la humedad de equilibrio. Este proceso se realizó para cada una de las temperaturas de 50, 60 y 70°C con su respectiva velocidad de aire de secado de 2,1 m/s y 3,3 m/s, correspondientes a seis tratamientos, por triplicado, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Tratamientos para la cinética de secado de la semilla de auyama.

Tratamiento	Temperatura	Velocidad de aire
T1	50 °C	2,1 m/s
T2	50 °C	3,3 m/s
T3	60 °C	2,1 m/s
T4	60 °C	3,3 m/s
T5	70 °C	2,1 m/s
T6	70 °C	3,3 m/s

Figura 7. Cinética de secado de la semilla de auyama.



3.5 MODELAMIENTO DE SECADO

Para representar la cinética de secado experimental se utilizaron los modelos matemáticos de capa fina, los más utilizados que son Newton, Page, Page modificado, Dos términos, Dos términos exponenciales, Wang y Singh, Henderson-Pabis, Henderson-Pabis modificado, Logarítmico, Midilli y Alibas, empleando el software Datafit 9.0 (Oakdale Engineering)

como herramienta de análisis estadístico. En estos modelos la variable dependiente es MR la cual representa la relación ($MR=H/H_0$) donde H es la humedad del producto en un tiempo determinado, H_0 la humedad en tiempo inicial, t es el tiempo de secado y k, g, h, n, a, b, c son parámetros o constantes de los modelos

Tabla 6. Mejores modelos matemáticos para ajuste de datos de secado.

Modelo	Ecuación
Henderson-Pabis modificado	$MR = a \exp(-Kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
Midilli	$MR = a \exp(-Kt^n) + bt$
Page modificado	$MR = \exp(-Kt^n)$
Page	$MR = \exp(-Kt^n)$

Fuente: (Kricka *et al.*, 2005; Jittanit, 2011)

Para cada modelo se definió el coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME) y la raíz cuadrada del error medio $E_{(RMS)}$ (Rocha *et al.*, 2012; Walpole *et al.*, 2012). Para un buen ajuste, se eligió el mayor valor de R^2 y los menores valores de CME y $E_{(RMS)}$.

3.6 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BROMATOLÓGICA DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA

3.6.1 ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

Se pesaron dos gramos de harina y se realizó la lectura en un higrómetro Aqualab (Dew Point Water Activity Meter 4TE) a una temperatura de 26,3 °C (AOAC, 2012).

Figura 8. Medida de la actividad de agua (a_w) en la harina.



3.6.2 CONTENIDO DE HUMEDAD (%H)

Se pesó un crisol vacío, luego se agregaron dos gramos de muestra. Se llevaron a un horno de vacío a temperatura de 105 °C por un lapso de 24 horas. Posteriormente se trasladaron los

crisoles a un desecador hasta reposo. Finalmente se registró el peso de los crisoles con las muestras secas. (AOAC, 2012)

El contenido de humedad en base húmeda está definido como:

$$H (\%) = 100 - \text{Extracto seco} (\%) \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\text{Extracto seco} (\%) = \left(\frac{\text{Peso crisol muestra seca} - \text{Peso crisol vacío}}{\text{Peso muestra}} \right) \times 100\% \quad \text{Ec. (5)}$$

Figura 9. Medida del porcentaje de humedad (%H) de la harina en horno de vacío.



3.6.3 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

La granulometría de la harina se determinará en un analizador de tamaño de partícula (Mastersizer 3000, Malvern Instrument). Se determinaron los histogramas y las curvas de frecuencia de tamaños de partículas y los diámetros promedios fueron en términos de superficie (DSM) y volumen (DVM), según lo descrito por (Márquez *et al.*, 2007).

Figura 10. Análisis de tamaño de partícula en Mastersizer 3000 con sistema Aero S.



3.6.4 DENSIDAD APARENTE

Una muestra del producto pulverizado se transfirió a un cilindro graduado. La densidad aparente a granel se calculó dividiendo la masa del producto en polvo por el volumen ocupado por el cilindro con previa agitación. (Goula & Adamopoulos, 2010)

3.6.5 CONTENIDO DE CENIZAS (CC)

Se introdujo un crisol en un horno a 105 °C por dos horas y se dejó en reposo en un desecador. Se registró el peso del crisol vacío. Posteriormente, se pesó 1,0 gramo de muestra en el crisol. Se colocó en una mufla a temperatura de 250 °C por 45 minutos. Se aumentó la temperatura a 550 °C durante 4 horas y luego se dejó en reposo en un desecador. Finalmente, se registró el peso de los crisoles con el material residual (AOAC, 2012). El contenido de cenizas se determinó con la siguiente expresión:

$$\text{Contenido de cenizas (\%)} = \left(\frac{\text{Peso crisol con cenizas} - \text{peso crisol vacío}}{\text{Peso muestra}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (6)}$$

3.6.6 PROTEÍNA BRUTA (PB)

a. Digestión

Se pesó 1,0 g de muestra. Se agregaron 6 gramos de catalizador, el cual consta de sulfato de potasio (Na₂SO₄), sulfato de cobre (Cu₂SO₄) y óxido de selenio (SeO₂). Se adicionaron 10 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) con alto grado de pureza (95-97%). Se colocó el tubo en el digestor y se llevó a calentamiento hasta alcanzar un color verde claro, el cual tuvo una duración promedio de 45 minutos a 60 minutos. La digestión se consideró concluida cuando la solución obtuvo un color claro (verde claro o amarillo claro) y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente. (AOAC, 2012)

b. Destilación

Se pasó el tubo con la muestra al sistema de destilación y se adicionó 50 mL de agua destilada y 70 mL de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 32% p/v. El proceso de destilación se realizó durante 5 minutos. Se recogió el destilado en un Erlenmeyer de 500 mL en 100 mL de una solución de ácido bórico al 2% p/v. Se bajó el Erlenmeyer de la plataforma con la solución a valorar y se tituló con ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,1 N. (AOAC, 2012)

El contenido de proteína está definido mediante la siguiente expresión:

$$\text{Proteína bruta (\%)} = \text{Nitrógeno (\%)} \times 6,25 \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde el contenido de nitrógeno se determina a partir de la siguiente expresión, tomando como volumen blanco la cantidad de 0,30 mL:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \left(\frac{\text{Ácido gastado (ml)} - \text{Blanco (ml)}}{g \text{ muestra}} \right) \times (0,1) \times (0,014) \times (100) \quad \text{Ec. (8)}$$

3.6.7 GRASA BRUTA (GB)

Se pesó por duplicado 3 gramos de muestra y se adiciono en el dedal de extracción (se registró como m). Se sometió a secado el matraz de extracción por 30 minutos a 103 ± 2 °C y se pesó (se registró como m_1). En el sistema Soxhlet de extracción se adiciono el solvente (bencina de petróleo) al matraz y se inició el proceso de extracción durante un lapso de 6 a 8 horas a una velocidad de condensación de 3-6 gotas/segundo. Terminado el proceso, se eliminó el solvente por evaporación en la unidad de destilación. Se secó el matraz con la grasa en horno a 103 ± 2 °C por 30 minutos, se llevó a reposo en un desecador para su posterior pesado (registro m_2). (AOAC, 2012)

Se determinó el contenido de grasa empleando la siguiente expresión:

$$\text{Grasa cruda (\%)} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (9)}$$

3.6.8 FIBRA BRUTA

a. Digestión acida

Se pesó una bolsa filtro y registró el peso como W_1 . Se pesó con exactitud 0,5 g de muestra seca (W_2), molida y desgrasada.

Luego, se pesó una bolsa vacía y se incluyó en digestión hasta determinar corrección de la bolsa vacía (C_1). Se transfirió la muestra a la bolsa filtro para posteriormente ser sellada con sellador de calor a una distancia de 0,5 cm de la boca de la bolsa, además se registró el peso (W_x). Se trasladaron las bolsas con las muestras a un suspendedor. Se colocaron tres bolsas por bandeja cerca del eje central que con cada nivel rota a 120° . Se dispuso el peso sobre la bandeja No. 9, que debía estar vacía para mantener el suspendedor sumergido. Luego de procesadas 24 bolsas se adiciono al vaso del analizador 2000 mL de ácido sulfúrico 0,255 N a temperatura ambiente.

Después, se colocó el suspendedor con las bolsas y la solución en el vaso. Se programó la temperatura a 90 °C por 45 minutos, luego de alcanzada la temperatura se programa a 30 minutos. Transcurrido el tiempo, se detuvo la agitación y el calentamiento. Se dejó reposar, además de dejar salir el ácido por la válvula de desagüe y se adicionaron 2000 mL de agua caliente (90 °C). Se mantuvo la agitación sin calentamiento para enjuagar durante 5 minutos, tres veces.

b. Digestión alcalina

Se agregaron 2000 mL de hidróxido de sodio a temperatura ambiente en el vaso del analizador de fibra. El primer accionar se hizo por 45 minutos a 90 °C con agitación y calentamiento. Nuevamente se dejó salir el hidróxido por la válvula de desagüe.

Se adicionó 2000 mL de agua caliente a temperatura entre 90°C, con agitación sin calentamiento para enjuague durante 5 minutos, tres veces. Se retiraron las bolsas del suspendedor y colocaron en un beaker con empape de acetona durante 3 minutos, luego aplicando un poco de presión se eliminó el exceso de acetona. Sin embargo, fue necesario emplear la bomba de succión para eliminar totalmente la acetona y los líquidos.

Por último, se llevó a un horno de secado, durante 4 horas a 105 °C las bolsas y luego se retiraron y se llevaron a un desecador a reposo y se registró el peso (W_3). (AOAC, 2012)

Para el cálculo de fibra se determina mediante la siguiente expresión:

$$Fibra\ cruda\ (\%) = \frac{[W_3 - (W_1 - C_1)]}{W_2} \times 100 \quad Ec. (10)$$

3.6.9 FIBRA DIETARÍA TOTAL (FDT)

Se calculó de acuerdo con la metodología descrita por (Martínez *et al.*, 2010).

3.6.10 CARBOHIDRATOS TOTALES (CT)

Se realizó por cálculo, mediante la siguiente expresión. (AOAC, 2012)

$$Carb.\ tot. = 100 - (\%H + Cenizas + Grasa\ bruta + Proteína\ bruta + Fibra\ bruta) \quad Ec. (11)$$

3.6.11 DETERMINACIÓN DEL FOSFORO

Para la determinación de fósforo se realiza su conversión a fosfomolibdato. Separado por filtración el fosfomolibdato amónico puede disolverse en un exceso de álcali patrón que es luego retrotitulado con ácido o en un exceso de amoníaco para precipitar luego el fósforo como fosfato amónico magnésico, que se incinera y se pesa como pirofosfato magnésico. Cuando se trata de trazas de fósforo se puede reducir el fosfomolibdato a azul de molibdeno y determinar colorimétricamente (UNAM, 2008).

3.6.12 ABSORCIÓN ATÓMICA

Se utilizó para la determinación de Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Zn. Cuando se produce átomos libres en un atomizador a partir de una muestra (llama u horno de grafito calentado eléctricamente), estos pueden absorber radiación de su longitud de onda específica de resonancia generada por una fuente externa (por ejemplo, un cátodo hueco o una lámpara de descargas en electrodos. Si la luz de esta longitud de onda específica pasa a través del atomizador que contiene el vapor atómico del elemento, parte de la luz será absorbida, y el grado de absorción será proporcional a la densidad de átomos en el paso de la luz. Se utiliza un espectrofotómetro para leer los resultados (Kastenmayer, 1995).

3.7 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA

3.7.1 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (CA)

El ensayo de radicales libres DPPH se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por (Yanza & Maldonado, 2012), con algunas modificaciones. Las muestras del producto se diluyeron en una solución de acetona: etanol en una relación 1:9 en un balón de 10 mL. Fue sometido a sonicación en un equipo de ultrasonido (Branson Bransonic® CPXH Digital Bath 3800) durante 15 minutos y una posterior centrifugación en una centrifugadora (HERMLE Z366K) a 2000 rpm durante 10 minutos, para garantizar una solubilización completa y la extracción de los analitos. La lectura de absorbancia se llevó a cabo en un espectrofotómetro

(Thermo Scientific Genesys 10S UV-VIS Spectrophotometer) a 517 nm. La determinación de la actividad antioxidante en relación con DPPH se calculó mediante la ecuación:

$$\%Inhibición = \left(\frac{Abs\ referencia - Abs\ muestra}{Abs\ referencia} \right) \times 100 \quad \text{Ec. (12)}$$

Figura 11. Medida de la capacidad antioxidante (CA) en la harina.



3.7.2 COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES (CFT)

Se analiza de acuerdo con el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por (Caucuich *et al.*, 2019), con ligeras adaptaciones. Las muestras de harina se diluyeron en una solución de acetona: etanol en una relación 1:9 en un balón de 10 mL. Fue sometido a sonicación en un equipo de ultrasonido (Branson Bransonic® CPXH Digital Bath 3800) durante 15 minutos y una posterior centrifugación en una centrifugadora (HERMLE Z366K) a 2000 rpm durante 10 minutos. Después de reacción a temperatura ambiente en la oscuridad, se hizo la lectura de la absorbancia a 760 nm con un espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 10S UV-VIS Spectrophotometer). El contenido de CFT se calculó utilizando una curva estándar con soluciones de ácido gálico.

Figura 12. Medida de los compuestos fenolicos totales (CFT) en la harina.



3.8 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA

3.8.1 SOLUBILIDAD EN AGUA FRÍA (SAF)

Se depositó 0,4 gramos de muestra en base seca en un tubo de centrífuga y se le adicionaron 40 mL agua destilada y se homogeniza a 2 velocidades distintas, 5.000 y 8.000 rpm durante 1 y 2 minutos, respectivamente, hasta solubilizar la muestra. Se sometió a centrifugación a 3.500 rpm por 15 minutos. Del sobrenadante se extrajo una alícuota de 10 mL que fueron depositados en cajas de Petri. Finalmente se llevaron a estufa por 4 horas a 110 °C y luego, ubicadas en un desecador hasta reposo (Salcedo *et al.*, 2017). Por diferencia de peso se determinó el porcentaje de solubilidad mediante la siguiente ecuación.

$$\%SAF = \frac{\text{Gramos de solidos en el sobrenadante} \times 0,4}{\text{Gramos de la muestra}} \times 100 \quad \text{Ec. (13)}$$

Figura 13. Medida de la solubilidad en agua fría (SAF) de la harina.



3.8.2 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (CAA)

Se depositó en un tubo de centrífuga 1,0 gramo de muestra en base seca y se le adicionó 10 mL de agua destilada. La suspensión se homogenizo y centrifugo a 3.500 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante fue decantado y el tubo con el precipitado drenado durante 30 minutos para su posterior pesado (Salcedo *et al.*, 2017). La ganancia en masa de la muestra representó la capacidad de absorción de agua de esta, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%CAA = \frac{\text{Masa de agua retenida (g)}}{\text{Masa de la muestra (g)}} \times 100 \quad \text{Ec. (14)}$$

Figura 14. Medida de la capacidad de absorción de agua (CAA) de la harina.

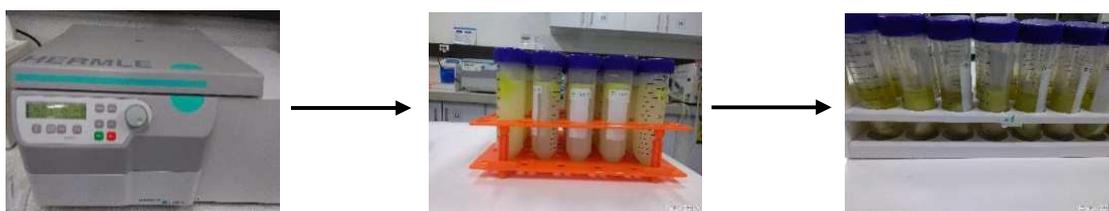


3.8.3 CAPACIDAD EMULSIONANTE (CE)

Se pesó 1,0 gramo de muestra en base seca y se le adicionó agua destilada hasta completar 25 mL y se agitó. Luego, se mezcló con 25 mL de aceite vegetal y se emulsionó la mezcla en un homogeneizador durante 1 minuto a 8.000 rpm. La emulsión fue vertida en dos tubos de centrifuga (25 mL por tubo) y se centrifugaron durante 10 minutos a 4.000 rpm. Se midió el volumen total ocupado en el tubo y el volumen de la fase emulsionada (Salcedo *et al.*, 2017). La capacidad emulsionante del producto deshidratado se calculó mediante la siguiente expresión:

$$CE (\%) = \frac{\text{Volumen capa emulsificada (ml)}}{\text{Volumen del tubo (ml)}} \times 100 \quad \text{Ec. (15)}$$

Figura 15. Medida de la capacidad emulsionante (CE) de la harina.



3.8.4 VISCOAMILOGRAMA

Para determinar el perfil de viscosidad de las dispersiones de la harina de semilla de auyama se empleó la técnica propuesta por la AACC (2000), utilizando un reómetro (Anton Paar,

MCR 302, Austria). Se pesaron 2,0 gramos de muestra en base seca disueltos en 25 mL de agua destilada posteriormente depositados en una porta muestra aluminizado, agitando. Además, la temperatura fue mantenida a 50 °C durante 1 minuto, luego elevada a 95 °C durante 5 minutos y sometida durante 2 minutos a 50 °C nuevamente. La velocidad del husillo (Anton Paar, ST24-2D/2V, Austria) fue de 960 rpm durante los primeros 10 segundos, para permitir dispersar uniformemente la suspensión y luego reducida a 160 rpm para el resto del experimento. (Montoya, Giraldo & Lucas, 2012)

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se estableció con el software de análisis estadístico Statgraphics Centurión XVI.I un diseño experimental multifactorial categórico aleatorizado de dos factores, un primer factor de velocidad de aire con dos niveles (2,1 y 3,3 m/s) y un segundo factor de temperatura con tres niveles (50, 60 y 70 °C), para el desarrollo de las curvas de secado (cinética de secado) de las semillas de la auyama. Para las curvas de secado obtenidas se les realizó un ajuste de datos con los modelos matemáticos de secado que se muestran en la tabla 6 mediante el software de análisis estadístico Datafit 9.0, con el fin de obtener el valor de cada uno de los parámetros inmersos en los modelos y su nivel de ajuste con respecto a los datos experimentales, tomando como referencia el valor del coeficiente de múltiple determinación (R^2). Posteriormente se establecieron siete análisis fisicoquímicos, funcionales y tecnofuncionales como parámetros (variables dependientes), para evaluar la interacción entre factores y niveles del diseño con respecto a los parámetros mediante un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias por el método de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. A partir de los resultados obtenidos del análisis comparativo multifactorial se escogió el tratamiento óptimo de secado con respecto a las propiedades más importantes que se desean conservar en el producto deshidratado.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA SEMILLA DE AUYAMA

En la Tabla 7 se muestran los valores promedios de los análisis de caracterización fisicoquímicas realizados a las semillas de auyama de la especie estudiada.

Tabla 7. Análisis fisicoquímicos de las semillas de auyama.

Parámetros fisicoquímicos	Valores
a_w	$0,99 \pm 0,01$
%H	$51,66 \pm 1,19$
pH	$6,25 \pm 0,02$
Color	
L*	$35,62 \pm 1,75$
a*	$4,75 \pm 0,54$
b*	$15,13 \pm 0,81$
% Acidez titulable (ácido cítrico)	$0,33 \pm 0,81$
°Brix	$4,33 \pm 0,54$

pH: potencial de hidrogeno; L*: luminosidad (0=negro y 100=blanco); a*: color rojo (+) o verde (-); b*: color amarillo (+) o azul (-); °Brix: sólidos solubles totales; a_w : actividad de agua; %H: porcentaje de humedad.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados para cada una de las muestras de semillas de auyama demuestran que los valores de actividad de agua (a_w) obtenidos son altos, 0,99 y teniendo en cuenta que la a_w posee un valor máximo de 1 y un mínimo de 0, nos indica una alta probabilidad de ataque de microorganismos, por lo tanto, este producto se hace poco perdurable al momento de su consumo. Este dato se asemeja al reportado por (Rössel *et al.*, 2018), quienes encontraron en la caracterización realizada un valor de a_w de 0.903. Este parámetro va muy ligado al porcentaje de humedad del producto, el valor obtenido fue del 52%, similar al reportado por Srbinoska *et al.*, (2012) del 52%. Un mayor contenido de humedad de las semillas es un indicativo de la susceptibilidad de la semilla al ataque microbiano y al deterioro y está relacionada con la estabilidad. Además, el contenido inicial de humedad de las semillas en la cosecha está comúnmente en el rango entre 35 y 45%, y aumenta de 50 a 55% por enjuague y colado (Bojic *et al.*, 2012). El valor de pH fue aproximadamente 6.25, inferior al reportado por García & Reyes, (2016) y por Babajide *et al.*, (2013). Este es un parámetro importante asociado con la solubilidad de proteínas. El pH

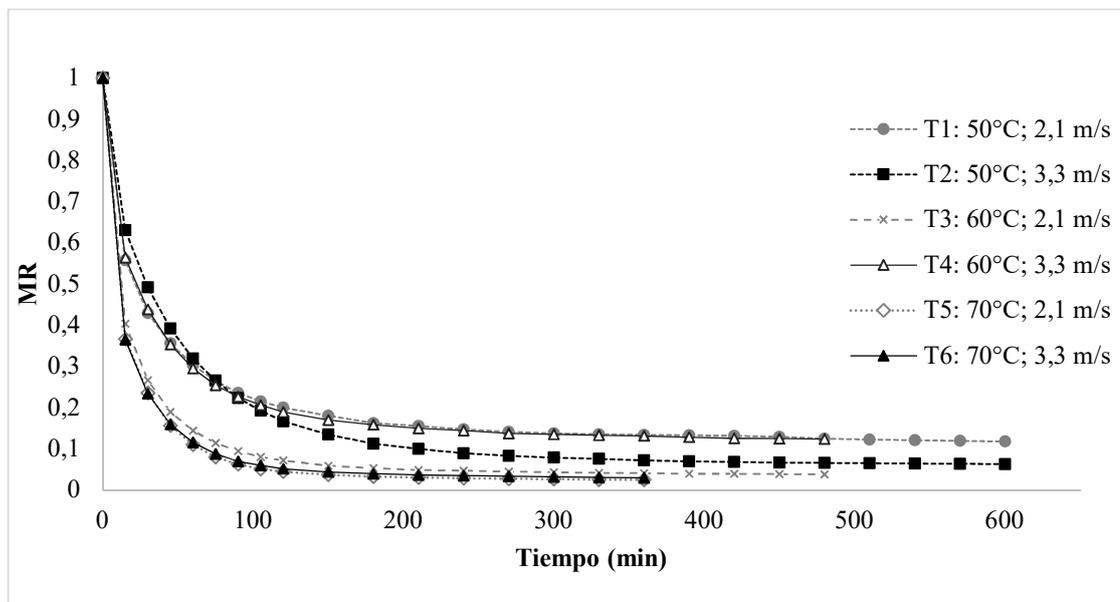
de un alimento se usa como un indicador del deterioro bacteriano (es decir, los alimentos con un pH alto son más susceptibles al deterioro microbiano) (Babajide *et al.*, 2013). El pH de la semilla de la auyama presenta valores cercanos a los neutros, suficiente para considerar que es menos susceptible al deterioro microbiano. Para el pH, el valor promedio indicó tener una acidez baja, lo cual se corrobora al momento de determinar el porcentaje de acidez titulable, cuyos cálculos se realizaron en función del ácido cítrico debido a que es el más abundante en esta hortaliza, con un valor promedio de 0.33% diferente al dato reportado por García & Reyes, (2016). Los resultados para los valores triestímulos del color $L^*a^*b^*$ para las semillas de auyama, demostraron que disminuía su luminosidad, es decir, se puede considerar un producto opaco y con tendencia hacia el color amarillo, además se pudo observar que había menor síntesis de licopeno debido a la disminución del color rojo (Artés, 2004). Existen diferencias significativas con respecto a los valores de los parámetros de color reportados por García & Reyes, (2016). Los grados brix son la cantidad de sólidos solubles presentes en un líquido o un semisólido, expresados en porcentajes de sacarosa, es decir, están comprendidos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua presentes en los jugos de las células de una fruta o verdura, cuando los valores son altos demuestran el grado de madurez y el porcentaje de los componentes mencionados; por lo tanto, el valor obtenido demuestra que las semillas de auyama poseen una cantidad considerable de sólidos solubles y un grado de madurez intermedio. Sin embargo, el dato reportado por García & Reyes, (2016) es de un valor superior, 5.8 brix, por lo que indica una mayor madurez y cantidad en sólidos solubles. Esta diferencia pudo ser debido a que la composición de la fruta depende de muchos factores, como la variedad, la etapa de madurez, la fertilidad del suelo, el clima y las prácticas culturales, entre otros (Quintana *et al.*, 2018). Estos parámetros funcionan como indicadores de la vida útil de muchos alimentos, razones por la cual se recurre a los distintos métodos de deshidratación para aumentar o alargar su vida en anaquel.

4.2 CINÉTICA DE SECADO DE LA SEMILLA DE AUYAMA

La cinética del secado describe la cantidad de humedad evaporada, el tiempo, el consumo de energía, etc. Sin embargo, el cambio de humedad depende de la transferencia de calor y de masa entre la superficie del cuerpo, el ambiente y el interior del material a secar. Es

indispensable saber que la intensidad del secado refleja el cambio en la cantidad de humedad a través del tiempo, que es influenciado por los parámetros del secado como, temperatura, humedad, velocidad relativa del aire, presión total, etc. (Giraldo *et al.*, 2010). Por lo cual se llevó a cabo las 18 curvas de secado correspondientes al diseño multifactorial categórico aleatorizado con el fin de obtener los datos experimentales de cada tratamiento como se muestra en la figura 16. El proceso de secado se realizó hasta que se obtuvo el peso constante o hasta la humedad de equilibrio del producto. La humedad de equilibrio es la humedad que está en equilibrio con el vapor contenido en el agente de secado. Este es el mínimo contenido de humedad en la cual un material puede teóricamente ser secado.

Figura 16. Curvas de secado por tratamiento de la semilla de auyama.



En la figura 16 se observa una mínima diferencia significativa en el secado con respecto a la variación en la velocidad de aire por temperatura. Para el tratamiento T1 y T2 se observa un tiempo de secado hasta el equilibrio a la hora 9, más largo en comparación a T3 y T4 que tuvo una duración hasta peso constante a la hora 7 y este a su vez una duración más larga con respecto a T5 y T6 que logro alcanzar el equilibrio alrededor de la hora 5, es decir, cuanto mayor es la temperatura del secado mayor es la velocidad del secado. Este tipo de curvas nos muestra un periodo constante de secado inicial, seguido de un periodo de caída de secado. Teniendo en cuenta las características organolépticas, las semillas de auyama no cambiaron

en su color natural y olor agradable. La velocidad del aire de secado no tuvo una influencia significativa en el período de secado por lo tanto es recomendable realizar el secado a velocidades de aire más bajas porque esto garantiza una mejor eficiencia del aire y reduce el consumo de energía con la misma capacidad de secado. (Kricka *et al.*, 2005). Además, es primordial garantizar que factores externos como la impureza no interfieran en el proceso, ya que pueden alterar el equilibrio del secado al interactuar con la superficie de las semillas.

4.3 AJUSTE DE DATOS DE LOS MODELOS DE SECADO

Los modelos matemáticos son herramientas útiles para estimar el tiempo necesario para reducir la cantidad de agua del producto a diferentes condiciones de secado mejorando la eficiencia del proceso (Andrade *et al.*, 2003). Se obtuvieron los valores experimentales de MR para cada temperatura y velocidad del aire de secado, conforme en la Tabla 8. Fueron ajustados a 11 diferentes modelos matemáticos citados en la literatura.

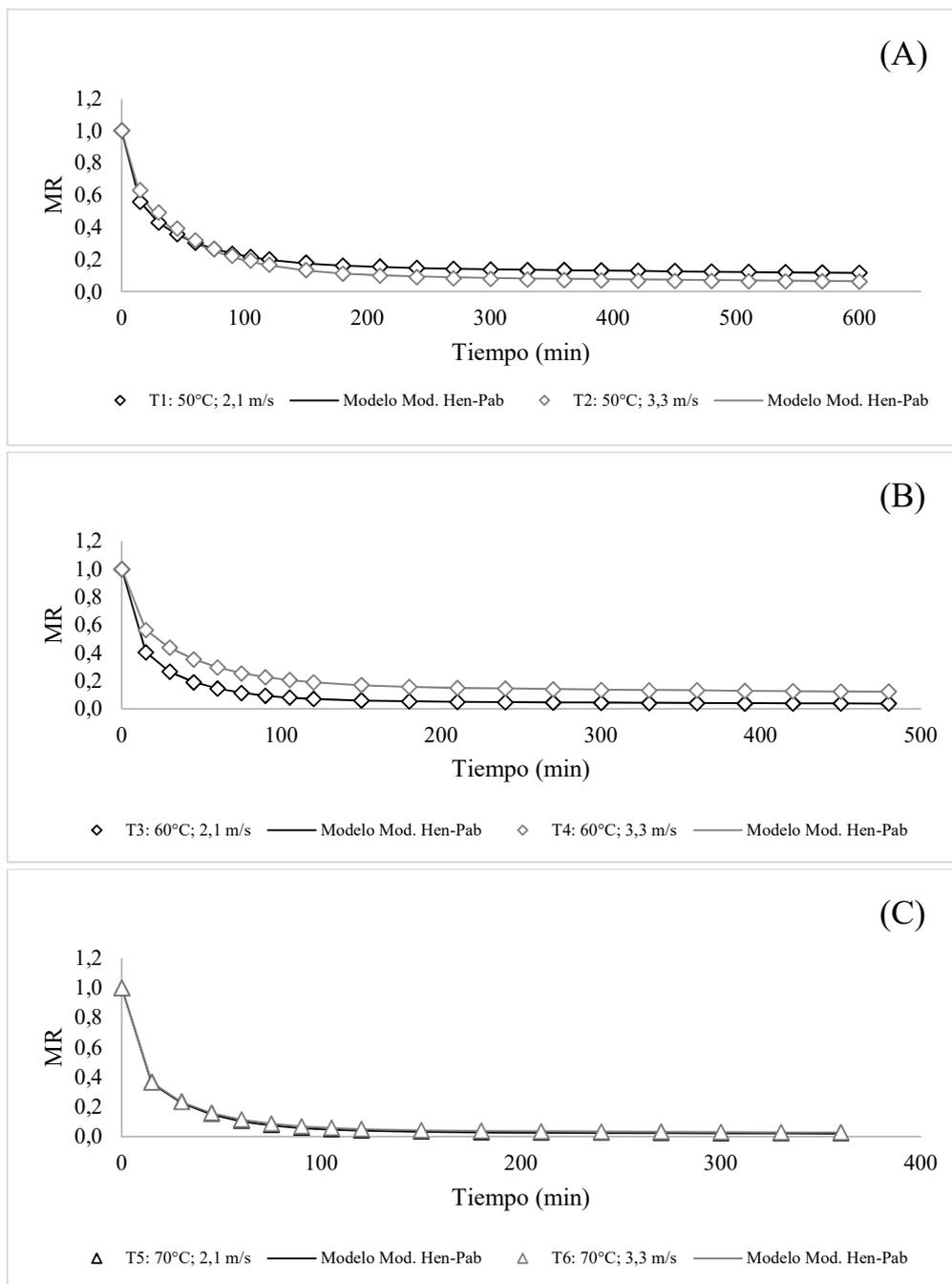
Tabla 8. Parámetros mejores modelos ajustados, coeficiente de determinación (R²), cuadrado medio del error (CME) y raíz cuadrada del error medio E(RMS), calculado por regresión de los datos experimentales de la cinética de secado de la semilla de auyama.

Modelo	Tratamientos						
	Variabes	T1	T2	T3	T4	T5	T6
HENDERSON- PABIS MODIFICADO	a	0,1642	0,1030	0,0589	0,1669	0,0390	0,0497
	b	0,4725	0,6038	0,4618	0,2457	0,5265	0,4917
	c	0,3633	0,2931	0,4793	0,5873	0,4345	0,4585
	g	0,0192	0,0180	0,0275	0,1350	0,0341	0,0326
	h	0,1413	0,1502	0,1674	0,0843	0,3208	0,2288
	k	0,0007	0,0008	0,0010	0,0008	0,0016	0,0016
	R ²	0,9998	0,9999	1,0000	0,9999	1,0000	1,0000
	CME	0,0023	0,0019	0,0011	0,0018	0,0006	0,0007
E _(RMS)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	
MIDILLI	a	1,0013	1,0012	1,0007	1,0021	0,9999	1,0001
	b	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001
	k	0,1599	0,0829	0,2285	0,1633	0,2098	0,2246
	n	0,5048	0,6627	0,5399	0,5401	0,5819	0,5578

PAGE MODIFICADO	R ²	0,9988	0,9992	0,9994	0,9986	0,9998	0,9998
	CME	0,0062	0,0061	0,0049	0,0075	0,0036	0,0034
	E _(RMS)	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003
	k	0,0241	0,0208	0,0742	0,0281	0,0718	0,0747
	n	0,4081	0,5501	0,4456	0,4007	0,5237	0,4877
	R ²	0,9894	0,9878	0,9925	0,9837	0,9972	0,9965
PAGE	CME	0,0197	0,0240	0,0181	0,0256	0,0122	0,0132
	E _(RMS)	0,0009	0,0010	0,0010	0,0013	0,0008	0,0009
	k	0,2268	0,1285	0,3113	0,2603	0,2530	0,2849
	n	0,4081	0,5501	0,4456	0,4007	0,5237	0,4877
	R ²	0,9894	0,9878	0,9925	0,9837	0,9972	0,9965
	CME	0,0197	0,0240	0,0181	0,0256	0,0122	0,0132
	E _(RMS)	0,0009	0,0010	0,0009	0,0013	0,0008	0,0009

Los coeficientes de determinación por encima de 98% representan un buen ajuste del modelo matemático para describir el fenómeno de secado (Rocha *et al.*, 2012). De acuerdo con (Walpole *et al.*, 2012), los resultados de errores medios relativos inferiores al 10% indican un buen ajuste de los valores observados con relación a los ajustados por el modelo en cuestión. Observando la tabla 8 los resultados de los coeficientes de determinación ajustados (R²), los cuadrados medios del error (CME) y la raíz cuadrada del error medio E_(RMS) indican que el modelo Henderson-Pabis modificado y Midilli son los que mejor describen el proceso de secado de la semilla de auyama, independientemente de la temperatura y del aire de secado. Por lo tanto, el modelo de Henderson-Pabis modificado fue el que mejor se ajusta a los datos experimentales entre los 11 modelos, ya que presentó los mayores valores de coeficiente de determinación (99,98 a 99,99%), menores valores de los cuadrados medios del error (0,0006 a 0,0023) y menores valores en la raíz cuadrada del error medio (0,0001).

Figura 17. Curvas de secado por los tratamientos de la semilla de auyama (datos experimentales y ajustados al modelo Henderson-Pabis modificado).



A) Datos experimentales y ajustados al modelo Henderson-Pabis modificado del tratamiento T1 (50°C – 2,1 m/s) y T2 (50°C – 3,3m/s). B) Datos experimentales y ajustados al modelo Henderson-Pabis modificado del tratamiento T3 (60°C – 2,1 m/s) y T4 (60°C – 3,3m/s). C) Datos experimentales y ajustados al modelo Henderson-Pabis modificado del tratamiento T5 (70°C – 2,1 m/s) y T6 (70°C – 3,3m/s).

En la figura 17 se muestra la correlación entre los datos experimentales y ajustados al modelo Henderson-Pabis modificado el cual describió satisfactoriamente los datos experimentales del proceso de secado. En la Figura 17 se puede observar también que la pérdida de agua es más rápida al inicio del proceso de secado, este acontecimiento ocurre debido a que las temperaturas elevadas del aire producen mayores flujos de secado, por causa del correspondiente aumento del coeficiente de convección de transferencia de calor (Giraldo *et al.*, 2010). Además, se puede observar en la tabla 8 para el modelo matemático Henderson-Pabis modificado los parámetros “k”, “g” y “h” aumentan en función de la elevación de la temperatura, sin embargo, no existe cambios significativos con respecto a la variación en la velocidad del aire de secado. El parámetro “k” está relacionado con la difusión líquida que controla el proceso de secado, es decir, su variación está en función de la temperatura de secado y la cantidad de agua inicial del producto (Espierrez, 2011). Mientras los parámetros “a”, “b” y “c”, no presentan diferencias significativas entre tratamientos, es decir, tanto la temperatura como la velocidad de aire no infieren o no ejercen efecto alguno en estas variables.

4.4 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA

Tabla 9. Análisis fisicoquímico por los tratamientos de la harina de semilla de auyama.

Tratamientos	Parámetros	
	%H	a _w
T1	2,92 ± 0,05a	0,26 ± 0,04a
T2	2,75 ± 0,05a	0,27 ± 0,04a
T3	2,43 ± 0,05b	0,28 ± 0,04a
T4	2,66 ± 0,05b	0,33 ± 0,04a
T5	1,36 ± 0,05c	0,20 ± 0,04a
T6	1,40 ± 0,05c	0,23 ± 0,04a

Media aritmética de tres replicas ± error estándar. Medias en una fila con diferente letra son significativamente diferentes (p<0,05) pruebas Tukey HSD al 5%. %H: porcentaje de humedad; a_w: actividad de agua.

Se presenta en la tabla 9 los resultados del estudio de composición fisicoquímica de la harina. Los valores detallados corresponden a los valores medios obtenidos con sus desviaciones estándar. Se observa que la cinética fue altamente influenciada por la temperatura, el empleo

de temperaturas más elevadas redujo significativamente el tiempo necesario para secar la semilla de auyama, o sea, para un mismo tiempo de proceso, cuanto mayor sea la temperatura de secado, mayor es la velocidad del secado. Sin embargo, no existe un efecto significativo por parte de la variación en la velocidad o flujo de aire. Es recomendable si desea trasladar el proceso a escala industrial, emplear elevadas temperaturas, que no afecten las propiedades del producto, con el fin de reducir los tiempos de secado, además, utilizar las velocidades de aire más bajas ya que no tienen influencias significativas en el proceso, pero si en el consumo energético (Kricka *et al.*, 2005).

4.5 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA

Tabla 10. Análisis de las propiedades tecno-funcionales por los tratamientos de la harina de semilla de auyama.

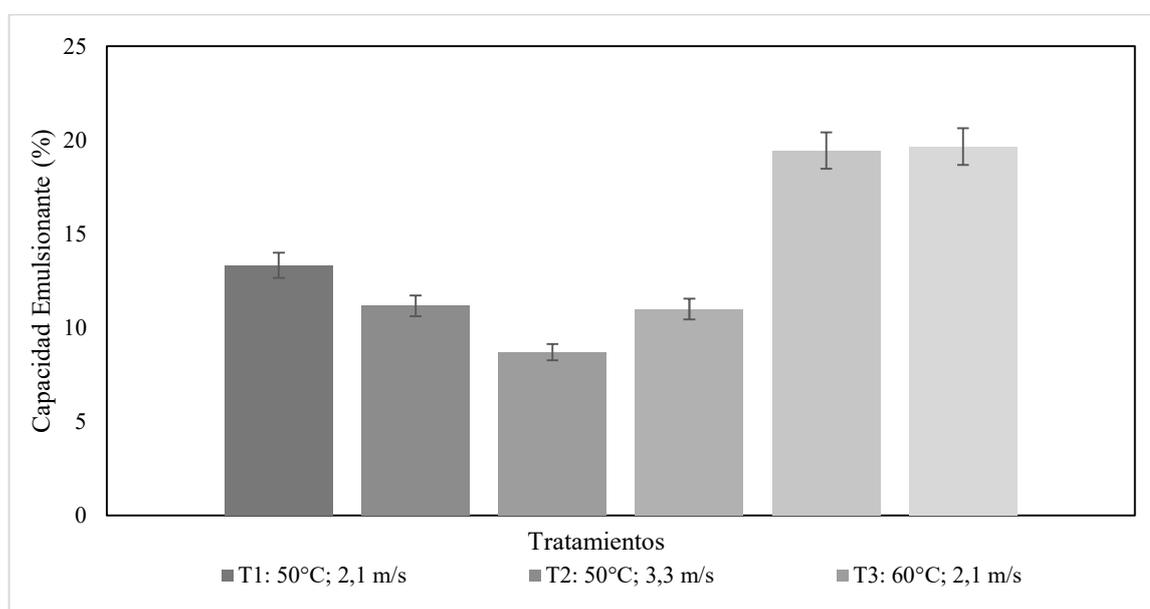
Tratamientos	Parámetros	
	SAF	CAA
T1	2,35 ± 0,04a	119,33 ± 4,02a
T2	2,19 ± 0,04a	115,65 ± 4,02a
T3	2,10 ± 0,04b	108,58 ± 4,02a
T4	2,08 ± 0,04b	116,20 ± 4,02a
T5	1,73 ± 0,04c	112,65 ± 4,02a
T6	1,72 ± 0,04c	112,73 ± 4,02a

Media aritmética de tres replicas ± error estándar. Medias en una fila con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$) pruebas Tukey HSD al 5%. SAF: porcentaje de solubilidad en agua fría; CAA: porcentaje de capacidad de absorción de agua.

La harina de la semilla de auyama tiene una menor capacidad de solubilidad en agua fría a medida que son más elevadas las temperaturas de secado a la que es expuesta la semilla, creando una dificultad para este producto de ser aplicado en matrices alimentarias que en su proceso productivo integren temperaturas bajas, como, por ejemplo: en bebidas lácteas fermentadas tipo yogurt. Sin embargo, no es impedimento para ser utilizada en este tipo de matrices, ya que se pueden aplicar procesos adicionales como la homogenización, a pesar de que sean un costo adicional. Caso contrario sucede con la capacidad de absorción de agua de la harina, debido a que esta disminuye en función de las temperaturas más elevadas. La capacidad de absorción de agua depende, principalmente, de la proteína y de algunos

parámetros de ésta, como tamaño de partícula, forma, factores estéricos, balance hidrofílico-hidrofóbico de los aminoácidos en las moléculas, como también de los lípidos, carbohidratos y fibra (Chaparro *et al.*, 2014). Según Granito *et al.*, (2004), las harinas con alta capacidad de absorción de agua tienen compuestos más hidrofílicos y es considerada una propiedad funcional de las proteínas, fundamental en productos donde se requiere una buena interacción proteína-agua.

Figura 18. Capacidad emulsionante por los tratamientos de la harina de semilla de auyama.



La capacidad emulsionante es una dispersión coloidal de un líquido dentro de otro, el cual es normalmente inmiscible (Hernández *et al.*, 2014). En la figura 18 se aprecia el aumento de la capacidad emulsionante en función del aumento de la temperatura. Además, las propiedades emulsificantes están afines con el total de proteína soluble e insoluble y de otros componentes, como los polisacáridos. La capacidad de formar emulsiones depende del balance de los grupos hidrofílicos y lipofílicos presentes en los componentes de la harina (Khalid *et al.*, 2003), importante propiedad al momento de emplearse en aderezos para ensaladas y para productos cárnicos. Además, el despliegue de las proteínas en la interfase agua/aceite juega un papel importante en la capacidad emulsificante, debido al aumento de la hidrofobicidad, adicionalmente esta propiedad es fundamental en la tecnología de alimentos, por lo cual, se puede sugerir el uso de las harinas vegetales, debido a su gran

potencial en la interacción estructural en los alimentos, en especial, en la retención del flavor, mejoramiento de la palatabilidad y aumento de la vida útil en productos de panadería o en derivados cárnicos, donde la absorción de grasa es deseable (Chaparro *et al.*, 2014).

4.6 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE LA SEMILLA DE AUYAMA

Tabla 11. Análisis de las propiedades funcionales por los tratamientos de la harina de semilla de auyama.

Tratamientos	Parámetros	
	CA	CFT
T1	2,17 ± 0,01a	1,27 ± 0,02a
T2	1,23 ± 0,01a	1,13 ± 0,02a
T3	1,56 ± 0,01b	1,11 ± 0,02b
T4	1,64 ± 0,01b	1,12 ± 0,02b
T5	1,61 ± 0,01bc	1,25 ± 0,02c
T6	1,64 ± 0,01bc	1,24 ± 0,02c

Media aritmética de tres replicas ± error estándar. Medias en una fila con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0,05$) pruebas Tukey HSD al 5%. CA: capacidad antioxidante, [μmol equivalente Trolox]/gr seco; CFT: compuestos fenólicos totales, mg/gr seco.

La tabla 11 demuestra una diferencia estadísticamente significativa entre las temperaturas de 50-60°C y 50-70°C, en tanto, existe similitud entre las temperaturas 60-70°C, para los resultados de capacidad antioxidante. Mientras, el efecto de la velocidad de aire de secado sigue sin inferir en los resultados del proceso. La actividad antioxidante más alta fue observada a 50°C y 2,1 m/s correspondiente al valor de 2,17 [μmol equivalente Trolox]/gr seco. Estos resultados corresponden a los obtenidos por Olszańska *et al.*, (2013) en su estudio de 12 cultivares de auyamas de la variedad *Cucurbita maxima* y *Cucurbita pepo*, con valores promedios de 1,11 [μmol equivalente Trolox]/g muestra fresca. Así mismo, se encuentran mayor similitud en los valores obtenidos por Kulaitiene *et al.*, (2018) en 3 cultivares distintos de auyama de la variedad *Cucurbita pepo* L. 2.49, 1.64 y 3.28 [μmol equivalente Trolox]/g. Estos antioxidantes ayudan a eliminar los radicales libres del cuerpo, por lo tanto, reducen el riesgo de cáncer y otras enfermedades (Mathangi, 2018).

Los compuestos fenólicos tienen una acción significativa en la estabilización de la oxidación de los lípidos, se han asociado con la actividad antioxidante. Los resultados de compuestos fenólicos totales tienen un promedio mayor a la más alta temperatura de trabajo (70°C) con un valor de 1.25 y 1.24 mg/gr seco. Estos resultados corresponden a los obtenidos por Dissanayake *et al.*, (2018) en su estudio de la variedad de auyama *Cucurbita máxima* cultivada en Sri Lanka de 1.4 mg/g. También, se encuentran similitudes con los valores reportados por Saavedra *et al.*, (2013) de 1.7 mg/g de materia seca. El consumo moderado de polifenoles es importante para la salud, debido a sus múltiples aportes benéficos, especialmente sobre el sistema cardiovascular (Ordoñez, Reátegui & Villanueva, 2018). Esto es importante, porque las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en el mundo. Los efectos de los polifenoles son fundamentalmente consecuencia de sus propiedades antioxidantes. Estos compuestos presentan efectos vasodilatadores y efectos antiinflamatorios, capaces además de mejorar el perfil lipídico (Quiñones, Miguel & Aleixandre, 2012).

4.7 ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTICULA DE LA HARINA DE SEMILLA DE AUYAMA

En la tabla 12 se presentan los valores obtenidos en el análisis de tamaño de partícula para el tratamiento particular T5 que corresponde a la temperatura de 70°C y 2,1 m/s de velocidad de aire de secado. Uno de los datos suministrados al sistema Mastersizer es el índice de refracción el cual se trabajó con 1,4662 (Ardabili *et al.*, 2011).

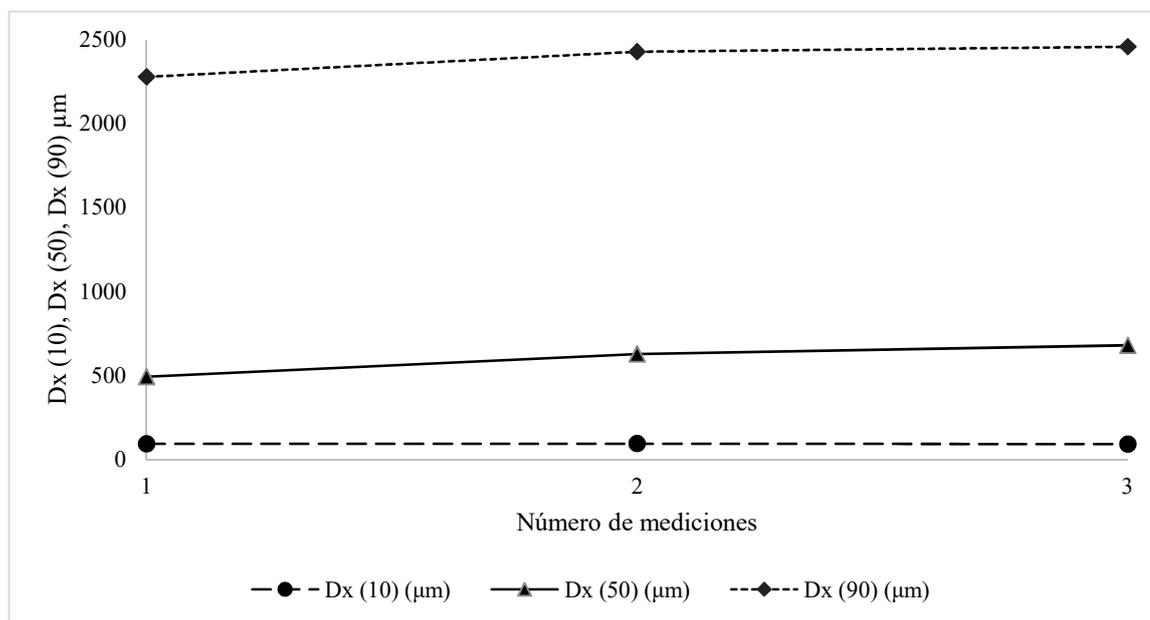
Tabla 12. Análisis de tamaño de partícula de la harina de semilla de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).

Repeticiones	Tratamiento	Dx (10) (µm)	Dx (50) (µm)	Dx (90) (µm)
1	T5 (70°C -2,1 m/s)	92,2	492	2430
2		93,3	627	2460
3		90,9	680	2280
Promedio		92,1	600	2390
DER (%)		1,30	16,16	3,36

Desviación estándar relativa (DER) de tres replicas. Dx (10), Dx (50) y Dx (90): valores de diámetro de partícula que están por debajo del 10, 50 y 90%, respectivamente, del diámetro de partícula o de la muestra completa.

Los resultados muestran que el 10% de la muestra está por debajo de 90,9 μm , el 50% de la muestra está por debajo de 492 μm y el 90% de la muestra está por debajo de 2280 μm , además, la partícula más grande encontrada corresponde a 3500 μm . Todo lo anterior corresponde a que en la muestra de harina se encuentran tamaños de partícula entre 0.09 a 3.5 mm. El rendimiento de extracción de una muestra, podría atribuirse al tamaño de partícula dando el hecho de que las partículas más pequeñas tienen una mayor cantidad de área de superficie junto con un mayor número de células rotas que resultan en una alta concentración en la superficie de la partícula y una baja o poca difusión en la superficie de las partículas (Nwabanne, 2012). Rodríguez *et al.*, (2014) en su investigación evaluaron el efecto de tres variables (proporción de solvente, tamaño de partícula y tiempo de contacto) en el rendimiento de extracción de aceite de la semilla de auyama. Entre las condiciones óptimas de extracción encontraron que a menor tamaño de partícula mayor rendimiento en la obtención del aceite.

Figura 19. Distribución de tamaño de partícula de la harina de semilla de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).



La figura 19 corresponde a la gráfica obtenida del proceso de análisis de tamaño de partícula realizada a la muestra de harina. El proceso consiste en una muestra dispersada que pasa por

el área de medición de una banca óptica, donde un rayo láser ilumina las partículas. Una serie de detectores mide entonces, con precisión, la intensidad de la luz dispersa por las partículas en la muestra, tanto para la longitud de onda de la luz roja como para la de la luz azul, y en una amplia variedad de ángulos. Se observa un estado adecuado de dispersión estable por parte de la muestra de harina.

4.8 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LA HARINA DE SEMILLA DE AUYAMA

Las semillas de auyama están dotadas en abundancia en macroelementos (magnesio, fósforo y calcio) y cantidades moderadas de microelementos (manganeso, cobre y zinc) (Lazos, 1992), responsables de la lucha contra enfermedades tales como la artritis, la inflamación, el cáncer de próstata, etc., por lo tanto, podría ser utilizada como un suplemento alimenticio valioso. Además, la auyama es económica y una fuente densa de nutrientes, la harina de semilla de auyama fortificada mezclada como complementario alimenticio es económica, con cualidades sensoriales altamente aceptables y un rico valor nutritivo (Manda, Prasad & Nukasani, 2018). Se pueden consumir regularmente sin causar efectos secundarios en la salud humana (Maheshwari, *et al.*, 2015).

Tabla 13. Análisis bromatológico de la harina de semilla de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).

Tratamiento	Parámetros						
	%H	CC	PB	GB	FB	FDT	CT
T5 (70°C – 2,1 m/s)	3,2	4,83	36,20	40,60	8,30	28,50	17,47

%H: porcentaje de humedad (g/100g); CC: contenido de cenizas (g/100g); PB: proteína bruta (g/100g); GB: grasa bruta (g/100g); FB: fibra bruta (g/100g); FDT: fibra dietaria total no enzimático (g/100g); CT: carbohidratos totales (g/100g).

Los resultados de la tabla 13 muestran un contenido de humedad bajo (3,2%) en la muestra analizada, lo que puede ser ventajoso en vista de la vida útil de las harinas. Se encontró un contenido alto de cenizas que fue de 4,83% similar al obtenido por Saraswathi *et al.*, (2018) de 4,11%, debido a que el contenido de cenizas de una muestra es un reflejo de los minerales que contiene, se puede suponer que esta harina sea rica en minerales, a pesar de ser un valor inferior al reportado por Sharma & Lakhawat, (2017). En las investigaciones realizadas por

Sharma & Lakhawat, (2017) y Saraswathi *et al.*, (2018) reportaron datos de contenido de proteína de 29,65% y 25,85%, respectivamente, valores inferiores al obtenido en este estudio que fue de 36,20%, lo cual supone que esta harina es bastante rica en proteínas, por lo tanto, es posible emplearla de manera que contribuya significativamente al requerimiento diario recomendado de proteína humana, que se informó que oscilaba entre 23% y 56%. El contenido de grasa cruda exhibido en la harina de semilla de auyama fue del 40,6%, un valor ligeramente superior al reportado por Sharma & Lakhawat, (2017) y Saraswathi *et al.*, (2018) que fueron de 40% y 38%, respectivamente. Las grasas son esenciales en las dietas ya que aumentan la palatabilidad de los alimentos al absorber y retener sus sabores y ayudan en el transporte de vitaminas liposolubles nutricionalmente esenciales. El contenido de fibra fue alto (8,3%) con respecto al obtenido por Sharma & Lakhawat, (2017) de 3,8%.

La semilla de auyama se podría incorporar en los alimentos para aumentar el valor nutricional especialmente en las dietas que son deficientes en dichos nutrientes. Pueden utilizarse como ingrediente funcional en diferentes áreas tales como cosméticos, nutracéuticos y también se pueden incorporar en formulaciones de alimentos para beneficiar a la salud humana (Manda *et al.*, 2018).

Por último, se muestra en la tabla 14 la proporción de los minerales evaluados en la semilla de auyama.

Tabla 14. Contenido de minerales en la harina de las semillas de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).

Muestra	P	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn
		%				(ppm)	
Semilla	0.71	0.11	0.40	1.02	75	43	46

P: fósforo; Ca: calcio; Mg: magnesio; K: potasio; Fe: hierro; Mn: manganeso; Zn: zinc.

La concentración de fósforo en la muestra se estimó en 0.71%, este mineral se encuentra ligado a la sangre y a las células, también se encuentra en forma de ácidos nucleicos, lípidos de fósforo, ATP y fosfato de azúcar. Los fosfatos desempeñan papeles importantes como amortiguadores que evitan el cambio en la acidez de los fluidos corporales debido a su

capacidad de combinarse con iones de hidrógeno adicionales. La combinación con fósforo hace posible que los nutrientes crucen la membrana celular (Elinge *et al.*, 2012).

Se encontró que el contenido de calcio de la muestra era de 0.11%. Entre sus funciones está la de ayudar a aliviar el insomnio y a regular el paso de nutrientes a través de las paredes celulares, sin calcio los músculos del cuerpo no pueden contraerse correctamente, la sangre en el cuerpo no se coagulará y los nervios no llevarán el mensaje. Si el cuerpo no obtiene suficiente calcio de los alimentos que comemos, el cuerpo toma automáticamente el calcio necesario de los huesos. Si el cuerpo continúa eliminando más calcio del que reemplaza en un período de años, los huesos se debilitarán y se romperán fácilmente. Los iones de calcio también son necesarios para el funcionamiento normal de los nervios y los músculos (Ghaffar *et al.*, 2018).

La concentración de magnesio en la muestra es 0.40%. Este mineral es un componente del hueso y dientes y está estrechamente asociado con calcio y fósforo. El magnesio es necesario para la liberación de la hormona paratiroidea y para su acción en la columna vertebral, el riñón y el intestino y para las reacciones que implican la conversión de la vitamina D en su forma activa. El magnesio es importante en la respiración del tejido, especialmente en la fosforilación oxidativa que conduce a la formación de trifosfato de adenosina (ATP). También está involucrado en la contracción muscular normal; El calcio estimula los músculos mientras que el magnesio relaja los músculos. La deficiencia de magnesio da como resultado una torsión incontrolable de los músculos que conduce a convulsiones y tétanos, que pueden conducir a la muerte (Manda *et al.*, 2018).

El porcentaje de potasio que se encuentra en la harina de semilla fue de 1.02%. Se ha reportado que una gran cantidad de potasio en el cuerpo aumenta la utilización de hierro y es beneficioso para las personas que toman diuréticos para controlar la hipertensión y sufren una excreción excesiva de potasio a través del fluido corporal (Ghaffar *et al.*, 2018).

Este trabajo dio un contenido de hierro de 75 ppm, el hierro se encarga de ayudar en la formación de sangre, la transferencia de oxígeno y dióxido de carbono de un tejido a otro. La carencia de este mineral puede llegar a producir alteraciones en el metabolismo muscular y

en los infantes puede generar una capacidad de aprendizaje con dificultades y problemas de conducta (Patel, 2013).

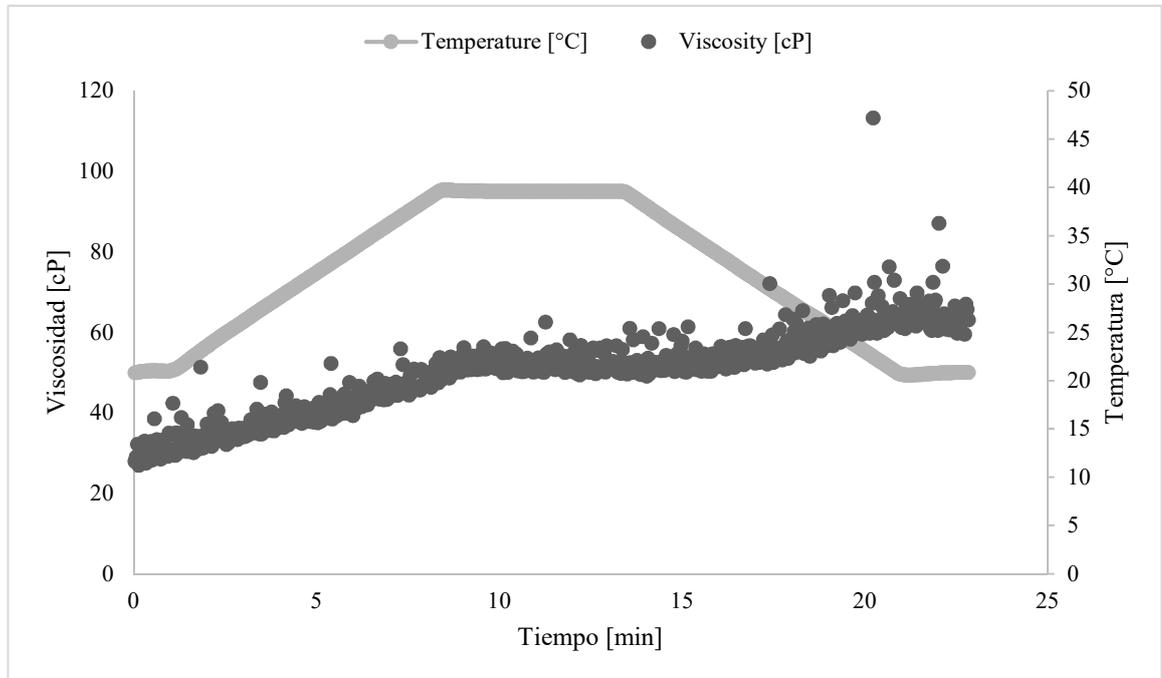
Se descubrió que el manganeso en esta muestra es de 43 ppm. El manganeso juega un papel importante en todas las funciones mentales y ayuda en la transferencia de oxígeno de los pulmones a las células, es importante como un activador de las reacciones enzimáticas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas. La deficiencia de manganeso produce un retraso del crecimiento y anomalías esqueléticas. Sin embargo, la acumulación excesiva de manganeso es tóxica en la sangre y se asocia principalmente con la debilidad del cuerpo y las dificultades psicológicas y del sistema nervioso. Pero la toxicidad del manganeso ocurre más a menudo con deficiencia de hierro (Ghaffar *et al.*, 2018).

La harina de semilla de auyama presentó un valor para el zinc 46 ppm. El zinc es conocido por mejorar la salud de nuestro cabello, se cree que desempeña un papel en el funcionamiento adecuado de algunos órganos sensoriales, como la capacidad de saborear, sentir y oler. Además, juega un papel muy importante en el metabolismo de proteínas y carbohidratos y también ayuda a movilizar la vitamina A desde su sitio de almacenamiento en el hígado y facilita la síntesis de ADN y ARN necesarios para la producción celular (Manda *et al.*, 2018).

4.9 VISCOAMILOGRAMA

Se observa en la figura 20 que no se refleja un aumento de viscosidad con el incremento de la temperatura, es decir, existe una ausencia de un perfil de viscosidad por parte de la harina de semilla de auyama debido a la poca cantidad de almidón. La cantidad de este último se encuentra en relación directa con la baja cantidad de carbohidratos (17,47%) y que este a su vez está compuesta por azúcares simples como fructanos, sacarosa y glucosa y en menor proporción por almidón de acuerdo con lo reportado por Martínez *et al.*, (2010). Además, al no ser un material amiláceo tanto no tiene comportamiento viscoelástico, razón por la cual no se percibe un perfil a analizar en los resultados de la prueba realizada.

Figura 20. Viscoamilograma de harina de la semilla de auyama correspondiente al tratamiento T5 (70°C-2,1 m/s).



Gran parte de las propiedades de la harina y de los productos de panadería y repostería pueden explicarse conociendo las características del almidón. Al obtenerse este tipo de comportamiento se puede suponer que al incluirse esta harina en una matriz alimentaria esta no tendrá la capacidad de conferir viscosidad al producto. Sin embargo, no deja de ser un alimento funcional y que al carecer de alto contenido de carbohidratos lo convierte en un producto que puede ser consumido por diabéticos ya que la Asociación Mexicana de Diabetes recomienda que tener esta enfermedad no implica eliminar los carbohidratos de la dieta, sino que se debe hacer es dosificar su consumo y elegir aquellos que aporten beneficios nutricionales.

4.10 DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente es indicativa de que mientras mayor es el volumen que ocupa el polvo o harina menor será su densidad, la harina de semilla de auyama presentó valores de densidad aparente suelta y empacada de 0,34 y 0,37 g/mL, respectivamente; siendo muy semejante a

los valores de café molido e instantáneo que son de 0,33 g/mL para ambos casos. Se denota que el primer valor de la harina ocupa menor volumen al ser envasada, parámetro por el cual se define el envase a ocupar. Algunas harinas y almidones presentan comportamiento distinto a la harina de la semilla de auyama encontrando así valores para la harina de trigo, almidón de maíz y avena de 0,48 g/mL, 0,56 g/mL y 0,51 g/mL, respectivamente (Orrego, 2003).

5. CONCLUSIONES

- El proceso de secado se debe realizar a 70°C y una velocidad de aire de 2,1 m/s.
- Las temperaturas elevadas reducen el tiempo en el proceso de secado. En tanto, la variación en la velocidad de aire no tiene efectos significativos.
- Existen diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y tecno-funcionales de la harina de la semilla de auyama en los análisis como porcentaje de humedad, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos totales, solubilidad en agua fría y capacidad emulsionante con relación a las temperaturas de secado ($p < 0,05$).
- Las características funcionales y tecno-funcionales de la harina de la semilla de auyama refleja el posible uso en diversos sistemas agroindustriales.
- Sus características nutritivas pueden mejorar la calidad nutrimental de distintas matrices alimenticias como en el requerimiento recomendado diario de proteína.

6. RECOMENDACIONES

- Comparar las propiedades de las harinas obtenidas con otras variedades y selecciones de semilla de auyama de nuestro país, Colombia.
- Comparar el proceso de secado con otros métodos de conservación para analizar su efecto sobre las propiedades de la semilla y/o harina.
- Se recomienda la utilización de la harina de la semilla de auyama teniendo en cuenta los resultados obtenidos con la culminación de esta investigación, ya que se evidencia su importancia y el uso gastronómico que se le puede dar.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*. St.Paul, Mn.: American Association of Cereal Chemist.
- Agronet. (2007). Agronet. Obtenido de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Agronet. (2017). Agronet. Recuperado el 24 de Febrero de 2019, de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Andrade, E., Borém, F., & Hardoim, P. (2003). Cinética de secagem do café cereja, bóia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. *Revista Brasileira de Armazenamento*, 1, 37-43.
- AOAC. (2012). *Official methods of analysis, Association of official analytical chemist 19th edition, Washington D.C., USA*. Obtenido de <http://www.sciepub.com>
- Applequist, W. (2006). Comparative fatty acid content of seeds of four Cucurbita species grown in a common (shared) garden. *Journal of Food Composition and Analysis*, 606-611. doi:10.1016/j.jfca.2006.01.001
- Ardabili, A., Farhoosh, R., & Khodaparast, M. (2011). Chemical composition and physicochemical properties of pumpkin seeds (Cucurbita pepo Sub sp. pepo Var. Styriaka) grown in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13(1), 1053-1063.
- Artés, F. A. (2004). *Tratamientos postrecolección del tomate fresco. Tendencias e Innovaciones. Tomates. Producción y comercio*. España: Ediciones de Horticultura S.L. Reus.
- Aukkanit, N., & Sirichokworrakit, S. (2017). Effect of dried pumpkin powder on physical, chemical, and sensory properties of noodle. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 5(1), 14-18.
- Babajide, J., Olaluwoye, A., Taofik Shittu, T., & Adebisi, M. (2013). Physicochemical Properties and Phytochemical Components of Spiced Cucumber-Pineapple Fruit Drink. *Niger. Food J.*, 31(1), 40-52. doi:[https://doi.org/10.1016/s0189-7241\(15\)30055-2](https://doi.org/10.1016/s0189-7241(15)30055-2)

- Bojic, S., Golub, M., Müller, J., Obradovic, R., & Martinov, M. (2012). Convective drying of naked seeded oil pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.) in a medium scale batch dryer with different modes of air circulation. *Journal of medicinal and spice plants*, 17(3), 108-115.
- Can-Cauich, C. A., Sauri-Duch, E., Moo-Huchin, V. M., Betancur-Ancona, D., & Cuevas-Glory, L. F. (2019). Effect of extraction method and specie on the content of bioactive compounds and antioxidant activity of pumpkin oil from Yucatan, Mexico. *Food chemistry*, 285, 186-193.
- Castro, L. (2013). *Utilización de zapallo (Cucurbita máxima y Cucurbita pepo), en la elaboración de compotas*. Ecuador: Quevedo: UTEQ. Obtenido de <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/331>
- Chaparro, S., Tavera, M., Martínez, J., & Gil, J. (2014). PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA Y DE LOS AISLADOS PROTEICOS DE LA SEMILLA DE GUANÁBANA (*Annona muricata*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 151-159.
- Dissanayake, R., Deraniyagala, S., Hettiarachchi, C., & Thiripuranathar, G. (2018). The Study of Antioxidant and Antibacterial Properties of Skin, Seeds and Leaves of The Sri Lankan Variety of Pumpkin. *IOSR Journal Of Pharmacy*, 8(2), 43-48.
- Elinge, C., Muhammad, A., Atiku, F., Itodo, A., Peni, I., Sanni, O., & Mbongo, A. (2012). Proximate, Mineral and Anti-nutrient Composition of Pumpkin (*Cucurbitapepo* L) Seeds Extract. *International Journal of Plant Research*, 2(5), 146-150. doi:10.5923/j.plant.20120205.02
- Espierriz, J. (2011). Obtención de curvas de secado de hierba limón (*Cymbopogon citratus*). VIÇOSA, Brasil: Universidad Federal de Viçosa. Obtenido de <https://hdl.handle.net/2454/6504>
- Espinosa, J. (2012). *Efecto de la Aplicación de concentraciones NaCl y Boro en el crecimiento y Desarrollo de cultivo de zapallo (Cucurbita Máxima) ecotipo pachía, bajo condiciones ambientales controladas*. Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA.
- FAOSTAT. (2017). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Fito, P., Andrés, G., Barat, J., & Albors, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Obtenido de UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA:

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c54970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true

- Fu, C., Shi, H., & Li, Q. (2006). A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. *Plant Foods Hum. Nutr*, 61(2), 73-80.
- García, I., & Reyes, H. (2016). Determinación cuantitativa de la capacidad antioxidante presente en las semillas de ahuyama (Cucurbita máxima) hortaliza típica del Quindío. *UGCiencia*, 193-197.
- Ghaffar, F., Kainat, B., Shah, H., & Akram, M. (2018). NUTRITIONAL, PHYSICO-CHEMICAL, ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT SCREENING OF SEED AND SEED OIL OF CUCURBITA PEPO GROWN IN KPK, PAKISTAN. *FUUAST J.BIOL*, 8(1), 41-48.
- Giraldo, A., Arévalo, A., Silva, A., Silva, P., Valdes, J., & Pavlak, M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (Theobroma grandiflorum) en rodajas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(1), 179-182.
- Goula, A., & Adamopoulos, K. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 342-351. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.12.001>
- Granito, M., Guerra, M., Torres, A., & Guinand, J. (2004). Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de Vigna sinensis. *Interciencia*, 29(9), 521-526.
- Habib, A., Biswas, S., Siddique, A., Manirujjaman, M., Uddin, B., Hasan, S., . . . Islam, M. (2015). Nutritional and Lipid Composition Analysis of Pumpkin Seed (Cucurbita maxima Linn.). *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 5(4), 1-6. doi:10.4172/2155-9600.1000374
- Henriques, F., Guiné, R., & Barroca, M. (2012). Influence of Drying Treatment on Physical Properties of Pumpkin. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 7, 53-58.
- Hernández, B., Martínez, C., Gordillo, A., Castro, J., Gómez, C., Herman, E., & Rodríguez, J. (2014). *Potencial nutricional de la semilla de Calabaza (cucurbita pepo)*. Juárez: Universidad de Juárez del Estado de Hidalgo.

- Jittanit, W. (2011). Kinetics and Temperature Dependent Moisture Diffusivities of Pumpkin Seeds During Drying. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 147-158.
- Kastenmayer, P. (1995). Análisis de minerales y elementos traza en alimentos. *Producción y manejo de datos y disposición química de alimentos en nutrición*. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, FAO.
- Khalid, E., Babiker, E., & El Tinay, A. (2003). Solubility and functional properties of sesame seed proteins as influenced by pH and/or salt concentration. *Food Chemistry*, 360-369.
- Kricka, T., Sito, S., Voca, N., Barcic, J., Jukic, Z., Voca, S., & Janusic, V. (2005). Differences in water release rate of hulled and hull-less pumpkin seed. *Bodenkultur*, 56(3), 153-159.
- Kulaitiene, J., Černiauskiene, J., Jariene, E., Danilcenko, H., & Levickiene, D. (2018). Antioxidant Activity and other Quality Parameters of Cold Pressing Pumpkin Seed Oil. *Not Bot Horti Agrobi*, 46(1), 161-166. doi:10.15835/nbha46110845
- Lazos, E. (1992). Certain functional properties of defatted pumpkin seed flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 257-273.
- Maheshwari, P., Prasad, N., & Batra, E. (2015). Papitas -The Underutilized Byproduct and the Future Cash Crop-A Review. *American International Journal of Research in Formal, Applied & Natural Sciences.*, 12(1), 31-34.
- Manda, D., Prasad, R., & Nukasani, S. (2018). A review on health benefits and nutritional composition of pumpkin seeds. *International Journal of Chemical Studies*, 6(3), 1154-1157.
- Manda, D., Prasad, R., & Palmei, G. (2018). Physico-chemical characterisation of pumpkin seeds. *International Journal of Chemical Studies*, 6(5), 828-831.
- Márquez, E., Román, G., & Güemes, V. (2007). Evaluación física y reológica de harinas de cebada. *IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. (pág. 8). Pachuca, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Martínez, Y., Valdiviá, M., Martínez, O., Estarrón, M., & Córdova, J. (2010). Utilización de la semilla de calabaza (*Cucurbita moschata*) en dietas para pollos de ceba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(4), 393-398.

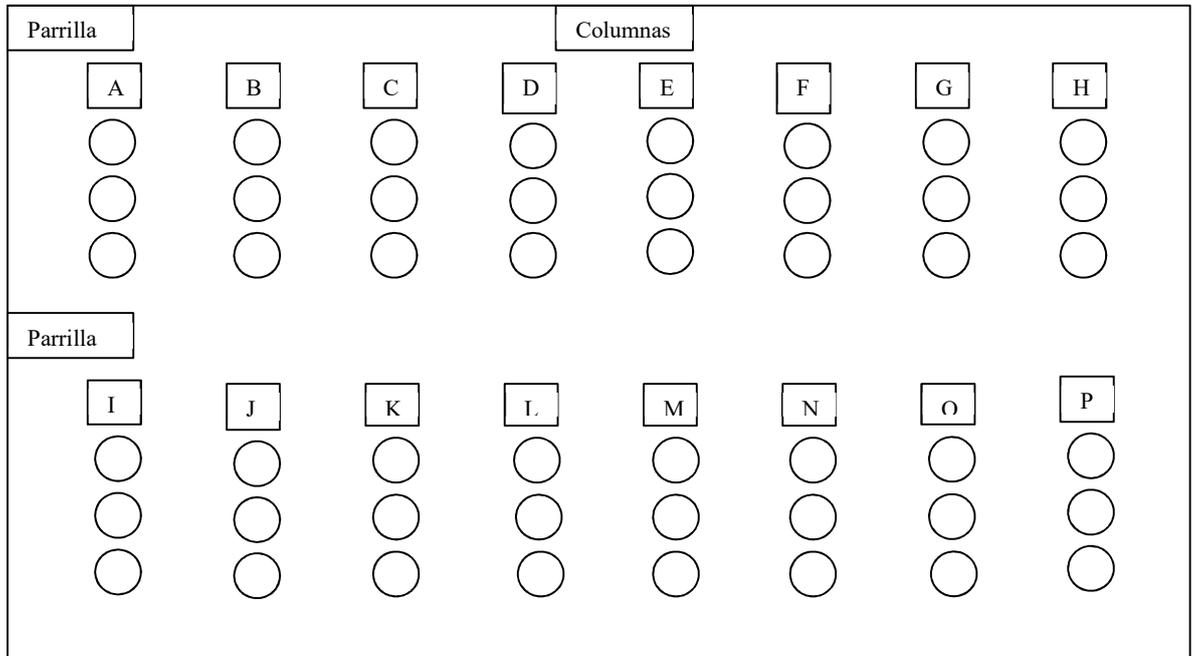
- Mathangi, S. (2018). A study on extraction of oil from Pumpkin seed using sun drying and hot air oven drying. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3(1), 34-36.
- Montoya, L., Giraldo, G., & Lucas, A. (2012). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de la viscosidad y la cristalinidad de la pasta. *Vitae*, 19(1), 346-348.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos* (16 ed.). Madrid: Pirámide.
- Nwabanne, J. (2012). Kinetics and Thermodynamics Study of Oil Extraction from Fluted Pumpkin Seed. *International Journal Of Multidisciplinary Sciences And Engineering*, 3(6), 11-15.
- Olszańska, A., Kita, A., Biesiada, A., Sokół-Łętowska, A., & Kucharska, A. (2013). Characteristics of antioxidant activity and composition of pumpkin seed oils in 12 cultivars. *Food Chemistry*, 139(1), 155-161. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.009>
- Ordoñez, E., Reátegui, D., & Villanueva, J. (2018). Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 113-121. doi:10.17268/sci.agropecu.2018.01.12
- Patel, S. (2013). Pumpkin (*Cucurbita* sp.) seeds as nutraceutical: a review on status quo and scopes. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. doi:10.1007/s12349-013-0131-5
- Pineda, D. (7 de Noviembre de 2012). *Universidad Técnica del Norte*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2043/1/UNIVERSIDAD%20T%C3%89CNICA>
- Quintana, S., Marsiglia, R., Machacon, D., Torregroza, E., & García, L. (2018). Chemical Composition and Physicochemical Properties of Squash (*Cucurbita moschata*) Cultivated in Bolivar Department (Colombia). *Contemporary Engineering Sciences*, 11(21), 1003-1012. doi:<https://doi.org/10.12988/ces.2018.8384>
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutr. Hosp.*, 27(1), 76-89.

- Ramírez, E., & Villa, A. (2015). Obtención de harina de Zapallo por el proceso de secado de alimentos. *Ventana Científica*, 5(9), 1-17.
- Rezig, L., Chouaibi, M., Ojeda, R., Gomez, S., Salvador, M., Fregapane, G., & Hamdi, S. (2018). Cucurbita maxima Pumpkin Seed Oil: from the Chemical Properties to the Different Extracting Techniques. *Not Bot Horti Agrobo*, 46(2), 663-669. doi:10.15835/nbha46211129
- Rocha, R., Melo, E., Corbín, J., Berbert, P., Donzeles, S., & Tabar, J. (2012). Drying kinetics of thyme. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(6), 675-683. doi:https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000600013
- Rodríguez, J., Hernández, B., Herman, E., Gómez, C., Garcia, H., & Martínez, C. (2014). Effect of some variables on oil extraction yield from Mexican pumpkin seeds. *CyTA - Journal of Food*, 12(1), 9-15. doi:10.1080/19476337.2013.777123
- Rössel, D., Ortiz, H., Amante, A., Durán, H., & López, L. (2018). Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. *Nova Scientia*, 10(21), 61-77. doi:http://dx.doi.org/10.21640/ns.v10i21.1467.
- Saavedra, M., Aires, A., Dias, C., Almeida, J., De Vasconcelos, M., Santos, P., & Rosa, E. (2013). Evaluation of the potential of squash pumpkin by products (seeds and shell) as sources of antioxidant and bioactive compounds. *Journal of Food Science*, 52(2), 1008-1015. doi:10.1007/s13197-013-1089-5
- Salcedo, J., Figueroa, J., & Hernández, E. (2017). *Agroindustria de productos amiláceos II: Métodos y técnicas de caracterización*. Colombia: Universidad de Sucre.
- Saraswathi, D., Renu, R., & Maloo, S. (2018). Development and quality evaluation of pumpkin seeds and flaxseeds powder incorporated biscuits. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3(2), 78-83.
- Sharma, G., & Lakhawat, S. (2017). Development, Quality Evaluation and Acceptability of Pumpkin Seed Flour Incorporated in Gravy. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 7(4), 1-4. doi:10.4172/2155-9600.1000613
- Sharma, N. (2018). Beneficial Properties of Pumpkin Seed Oil as an Antioxidant Nutraceutical. *EC Pharmacology and Toxicology*, 498-499.
- Srbinoska, M., Hrabovski, N., Rafajlovska, V., & Sinadinović-Fišer, D. (2012). Characterization of the seed and seed extracts of the pumpkins *Cucurbita maxima* d.

- and Cucurbita pepo L from Macedonia. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 31(1), 65-78.
- UNAM. (2008). *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos*. México: Departamento de alimentos y biotecnología, Facultad de química.
- Valdés, R., Ortiz, G., Baena, G., & Vallejo, C. (2010). Evaluación de poblaciones de zapallo Cucurbita moschata Duch. por caracteres de importancia agroindustrial. *Acta Agronomica*, 59(1), 91-96.
- Vallejo, F., & Estrada, E. (2004). *El cultivo de hortalizas de clima cálido*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Novena ed.). Ciudad de México: Pearson Educación.
- Whitaker, T., & Davis, G. (1962). *Cucurbits: botany, cultivation and utilization*. New York: Interscience.
- X-RITE, I. (2002). *Guía para entender la comunicación del color*. Grandville, Michigan: Colornews Ltda.
- Yanza, E., & Maldonado, L. (2012). Determinación del contenido de A-Tocoferol y B-Caroteno en el zumo y el liofilizado de tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea Cav Sendt*). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10(2), 28-35.

8. ANEXOS

Anexo A. Distribución de las cajas en el equipo de secado Memmert.



Anexo B. Diseño experimental multifactorial categórico aleatorizado entre temperaturas y velocidades del aire de secado.

Diseño Base

Clase de diseño: Multi-factor Categórico

Número de factores experimentales: 2

Número de respuestas: 7

Número de corridas: 18

Grados de libertad para el error: 12

Aleatorizar: Sí

Tabla B-1. Diseño experimental multifactorial categórico (3x2).

Factores	Niveles	Unidades
Temperatura	50, 60 y 70	°C
Velocidad del aire	2,1 y 3,3	m/s

Por cada combinación de temperatura y velocidad de aire se realizaron tres replicas para un total de 18 corridas.

Tabla B-2. Variables dependientes integradas al diseño experimental multifactorial categórico.

VARIABLES DE RESPUESTA	UNIDADES
%H	%
a_w	
SAF	%
CE	%
CAA	%
CA	[$\mu\text{mol/gr seco}$]
CFT	mg/gr seco

Anexo C. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la harina de semilla de auyama.

Tabla C-1. Análisis de varianza (ANOVA) para porcentaje de humedad (%H).

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Velocidad del aire	0,0056889	1	0,0056889	0,71	0,4171
B: Temperatura	7,14583	2	3,57292	443,53	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,122011	2	0,0610056	7,57	0,0075
RESIDUOS	0,0966667	12	0,00805556		
TOTAL (CORREGIDO)	7,3702	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla C-2. Pruebas de múltiples rangos para porcentaje de humedad por Temperatura.

Método Tukey HSD con un nivel del 95,0% de confianza.

Temperatura	Media LS	Grupos Homogéneos
70	1,37833	X
60	2,545	X
50	2,83667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
50 - 60	*	0,291667	0,138625
50 - 70	*	1,45833	0,138625
60 - 70	*	1,16667	0,138625

*Indica una diferencia significativa.

Tabla C-3. Análisis de varianza (ANOVA) para actividad de agua (a_w).

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	0,0244	2	0,0122	2,57	0,1179
B: Velocidad del aire	0,0032	1	0,0032	0,67	0,4278
INTERACCIONES					
AB	0,0012	2	0,0006	0,13	0,8825
RESIDUOS	0,057	12	0,00475		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0858	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla C-4. Pruebas de múltiples rangos para actividad de agua por Temperatura.

Método Tukey HSD con un nivel del 95,0% de confianza.

Temperatura	Media LS	Grupos Homogéneos
70	0,213333	X
50	0,263333	X
60	0,303333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
50 - 60		-0,04	0,106449
50 - 70		0,05	0,106449
60 - 70		0,09	0,106449

*Indica una diferencia significativa.

Tabla C-5. Análisis de varianza (ANOVA) para solubilidad en agua fría (SAF).

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	0,912011	2	0,456006	98,42	0,0000
B: Velocidad del aire	0,0174222	1	0,0174222	3,76	0,0764
INTERACCIONES					
AB	0,0215444	2	0,0107722	2,32	0,1402
RESIDUOS	0,0556	12	0,00463333		
TOTAL (CORREGIDO)	1,00658	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla C-6. Pruebas de múltiples rangos para solubilidad en agua fría por Temperatura.

Método Tukey HSD con un nivel del 95,0% de confianza.

Temperatura	Media LS	Grupos Homogéneos
70	1,72833	X
60	2,08833	X
50	2,27	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
50 - 60	*	0,181667	0,105134
50 - 70	*	0,541667	0,105134
60 - 70	*	0,36	0,105134

*Indica una diferencia significativa.

Tabla C-7. Análisis de varianza (ANOVA) para capacidad emulsionante (CE).

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	306,62	2	153,31	5,99	0,0157
B: Velocidad del aire	0,0636056	1	0,0636056	0,00	0,9611
INTERACCIONES					
AB	14,9879	2	7,49394	0,29	0,7514
RESIDUOS	307,199	12	25,5999		
TOTAL (CORREGIDO)	628,871	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla C-8. Pruebas de múltiples rangos para capacidad emulsionante por Temperatura.

Método Tukey HSD con un nivel del 95,0% de confianza.

Temperatura	Media LS	Grupos Homogéneos
60	9,85	X
50	12,25	XX
70	19,555	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
50 - 60		2,4	7,81474
50 - 70		-7,305	7,81474
60 - 70	*	-9,705	7,81474

*Indica una diferencia significativa.

Tabla C-9. Análisis de varianza (ANOVA) para capacidad de absorción de agua (CAA).

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	98,1121	2	49,056	1,01	0,3930
B: Velocidad del aire	8,0802	1	8,0802	0,17	0,6905
INTERACCIONES					
AB	99,302	2	49,651	1,02	0,3889
RESIDUOS	582,527	12	48,5439		
TOTAL (CORREGIDO)	788,021	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla C-10. Pruebas de múltiples rangos para capacidad de absorción de agua por Temperatura.

Método Tukey HSD con un nivel del 95,0% de confianza.

Temperatura	Media LS	Grupos Homogéneos
60	112,393	X
70	112,692	X
50	117,488	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
50 - 60		5,095	10,7612
50 - 70		4,79667	10,7612
60 - 70		-0,298333	10,7612

*Indica una diferencia significativa.

Tabla C-11. Análisis de varianza (ANOVA) para capacidad antioxidante (CA).

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	0,0330333	2	0,0165167	26,31	0,0000
B: Velocidad del aire	0,34445	1	0,34445	548,68	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,991433	2	0,495717	789,64	0,0000
RESIDUOS	0,00753333	12	0,000627778		
TOTAL (CORREGIDO)	1,37645	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla C-12. Pruebas de múltiples rangos para capacidad antioxidante por Temperatura.

Método Tukey HSD con un nivel del 95,0% de confianza.

Temperatura	Media LS	Grupos Homogéneos
60	1,59833	X
70	1,62667	X
50	1,7	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
50 - 60	*	0,101667	0,0386989
50 - 70	*	0,0733333	0,0386989
60 - 70		-0,0283333	0,0386989

*Indica una diferencia significativa.

Tabla C-13. Análisis de varianza (ANOVA) para porcentaje de humedad.

Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	0,0475	2	0,02375	29,28	0,0000
B: Velocidad del aire	0,0102722	1	0,0102722	12,66	0,0039
INTERACCIONES					
AB	0,0195444	2	0,00977222	12,05	0,0014
RESIDUOS	0,00973333	12	0,000811111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,08705	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Tabla C-14. Pruebas de múltiples rangos para porcentaje de humedad por Temperatura.

Método Tukey HSD con un nivel del 95,0% de confianza.

Temperatura	Media LS	Grupos Homogéneos
60	1,12167	X
50	1,19667	X
70	1,24667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
50 - 60	*	0,075	0,0358262
50 - 70	*	-0,05	0,0358262
60 - 70	*	-0,125	0,0358262

*Indica una diferencia significativa.

Anexo D. Análisis de tamaño de partícula de la harina de semilla de auyama.

Tabla D-1. Detalles de medida de tamaño de partícula a la harina de semilla de auyama a las condiciones de temperatura de 70°C y 2,1 m/s de velocidad de aire.

Detalles de medida	
Índice de Refracción de la Partícula	1,4662
Índice de Absorción de la Partícula	0,53
Nombre del dispersante	Agua
Índice de refracción del Dispersante	1,00
Obscuración del Láser	0,65%
Concentración	0,02%
Anchura	4,438
Uniformidad	1,357
Área de Superficie Específica.	27,88 m ² /kg
D [3;2]	215 μm
D [4;3]	902 μm
Dx (10)	90,9 μm
Dx (50)	492 μm
Dx (90)	2280 μm
Dx (100)	3500 μm