

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN ALIMENTOS



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIDAD DE HARINA DE
AMARANTO (*Amaranthus spp.*) EN AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE A
TRAVÉS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

POR:

T.U. KENETH OSWALDO HERNÁNDEZ RENDÓN
CARNÉ No. 201044503

ASESOR PRINCIPAL: Dr. SAMMY ALEXIS RAMIREZ

ASESORES ADJUNTOS

Ing. SILVIA GUZMÁN TELLEZ

MSc. ÁNGEL ALFONSO SOLORZANO

MAZATENANGO, SUCHITEPÉQUEZ, NOVIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE
AUTORIDADES

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto	Rector en funciones
M.A. Gustavo Enrique Taracena Gil	Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO
DE SUROCCIDENTE**

Lic. Luis Carlos Muños López	Director en Funciones
------------------------------	-----------------------

REPRESENTANTE DE PROFESORES

Dr. Reynaldo Humberto Alarcón Noguera	Secretario
---------------------------------------	------------

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles	Vocal
-----------------------------------	-------

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

T.P.A. Angelica Magaly Domínguez Curiel	Vocal
P.E.M. Y T.A.E. Rony Roderico Alonzo Solís	Vocal

COORDINACION ACADEMICA

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales

Coordinador Académico

Dr. Edy Rodolfo Maldonado Rivera

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Lic. Edin Aníbal Ortiz Lara

Coordinador Carrera Licenciatura en Trabajo Social

M.Sc. José Norberto Thomas Villatoro

**Coordinador de las Carreras de Pedagogía, Administración Educativa y
Psicopedagogía**

M.Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril

Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

M.Sc Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Coordinador Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lic. Sergio Román Espinoza Antón

**Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales Abogacía y
Notariado**

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Coordinador de Área Social

DEDICATORIA

A JEHOVÁ DIOS: Por llevarme a diferentes etapas y circunstancias en mi vida, encontrando personas maravillosas que me apoyaron para lograr este sueño, pero por sobre todo por llevarme de la mano a su propósito y voluntad y nunca dejarme solo.

A MIS PADRES: Oswaldo Hernández y Bertha Rendón quienes me han guiado y ensañado las cosas más importantes de la vida, a no rendirme jamás y sentir la empatía con las personas, gracias por estar siempre para mí, este triunfo es para ustedes, los amo con el alma.

A MIS HERMANOS: Kevin Hernández y Oswald Hernández gracias por el apoyo incondicional en cada momento, en cada paso que doy y cada decisión que tomo en mi vida, sepan que los amo con el alma, luchan por sus sueños que en este mundo toda meta se puede lograr.

A MIS TÍOS: María Luisa Hernández, Oscar Hernández, Rosa Hernández, Rafaela de Hernández, Isarel García y Angélica Rendón, gracias por el cariño que sé que me tienen.

A MIS ABUELOS: Rubén Hernández (Q.E.P.D.) sé que estaría orgulloso de su nieto, y a mi abuela Celia Castañeda, las noches de desvelo dieron su fruto.

A MSc. ÁNGEL ALFONSO SOLORZANO: Por ser mi mentor y apoyarme en todo momento guiándome cada paso de mi carrera.

A MILENA ESCOBEDO: Por su apoyo sin condiciones en esta etapa de mi vida.

A NEIDY TELLO: Por su apoyo durante los años de estudio.

A MIS AMIGOS: Jonathan Reyes, Marlon Cobón, Jimmy Ruiz, Werner Mancio, Luis Ángel Mancio, Ricardo Maldonado, Giuliano Chocano, y Joel Maltez por su amistad

verdadera, apoyo profesional y compartir momentos de tristeza y alegría, que Dios ilumine sus vidas.

AGRADECIMIENTOS

AL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE: Por brindarme esta bella oportunidad de crecer profesionalmente.

A LOS DOCENTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS:

Gracias a cada uno por compartir los conocimientos que ahora fortalecen los cimientos de un futuro profesional, en especial a M.Sc. Ángel Alfonso Solórzano, Inga. Silvia Marisol Guzmán Téllez, PhD. Marco Antonio del Cid Flores, M.Sc. Sammy Alexis Ramírez Juárez, Licda Gladys Calderón Castilla, Ing. Aldo de León y a Ing. Mynor Cárcamo.

A LICORES DE GUATEMALA: Por abrirme las puertas y permitir realizar el Ejercicio Profesional Supervisado, que fue el inicio de este sueño profesional que se va materializando día con día, a todos mis compañeros de labores gracias por el apoyo a mi persona y hacer sentir el trabajo como una pasión.

ÍNDICE

Contenido

I. Resumen	i
II. Abstract	ii
III. Introducción	1
IV. Planteamiento del problema	2
V. Justificación	3
VI. Marco Teórico	4
1. Principales cultivos de consumo en Guatemala	4
2. Taxonomía.....	4
3. Aspectos nutricionales del grano de Amaranto	4
3.1. Proteína	4
3.2. Almidón	5
4. Propiedades tecnológicas del almidón.....	8
5. Harina de Amaranto	8
5.1. Contenido de humedad y granulometría de la harina de amaranto.....	9
6. Extrusión.....	9
7. Proceso de extrusión.....	11
8. Partes y funcionamiento de un extrusor de arrastre viscoso.....	13
9. Expansión del producto terminado.....	14
10. Variables principales a controlar en el proceso de extrusión.....	14
11. Efectos de las variables de extrusión en la expansión	15
12. Método estadístico T de estudent.....	15
VII. Objetivos.....	17
1. General:	17
2. Específicos:.....	17
VIII. Hipótesis	18
IX. Recursos.....	19
1. Humano	19
2. Institucionales.....	19
3. Físicos.....	19

4. Materiales	19
5. Naturales.....	20
6. Económicos	20
X. Marco Operativo	21
1. Primera etapa “calibración del extrusor”	21
1.1 Calibración flujo másico	21
1.2 Instalación de las camisas de los cilindros	21
1.3 Calibración del tamaño de salida de la plastificación	22
2. Segunda etapa “determinación de la humedad de la harina sin extruir”	22
2.1 Muestreo para análisis.....	22
3. Tercera etapa “Proceso de extrusión”	23
3.1 Limpieza de la tolva de alimentación.....	23
3.2 Flujo de alimentación en la tolva	23
3.3 Pruebas de calibración con carga	24
3.4 Determinación del caudal adecuado para los tornillos de amasado, cocción de hilo simple.....	24
3.5 Registro de la temperatura y presión de extrusión del equipo	24
3.6 Determinación del fluido de agua y extrusión	25
4. Cuarta etapa “determinación de humedad y molienda de producto extruido”	25
4.1 El cálculo de humedad del producto extruido se realizó de la siguiente manera... 25	
4.2 Proceso de molienda del producto extruido	26
XI. Resultados y discusión.....	27
1. Resultados.....	27
1.1 Humedad de harina sin extruir	27
1.2 Variables físicas durante el proceso.....	27
1.3 Análisis fisicoquímico WSI índice de solubilidad (water solubility indes).....	28
1.4 Método estadístico	28
2. Discusión de resultados	28
XII. Conclusiones.....	30
XIII. Recomendaciones.....	31
XIV. Referencias bibliográficas	32

XV. Anexos.....	36
XVI. Apéndice.....	40
XVII. Glosario	41

Índice de Tablas

Tabla	Pág.
1. Clasificación de extrusores de polímeros	10
2. Parámetros de cizallamiento	12
3. Determinación de la humedad	12
4. Determinación del caudal de alimentación	13
5. Determinación de humedad de harina sin extruir	23
6. Variable física de proceso	24
7. Determinación de humedad producto terminado	26
8. Uso del almidón en la industria	37
9. Caracterización de variables del proceso de extrusión	38
10. Valores críticos de la distribución t de student	39
11. Resultados expresados porcentaje soluble sobre 100 gramos.....	40

Índice de Figuras

Figura	Pág.
1. Semilla de amaranto.....	36
2. Componentes generales de una máquina extrusora	36

I. Resumen

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de evaluar la capacidad de solubilidad de harina de amaranto a través del proceso de extrusión en agua a temperatura ambiente, para realizarlo se utilizó el equipo de planta piloto de Centro Universitario del Suroccidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en Mazatenango Suchitepéquez. La harina de Amaranto como materia prima de la investigación es rica en proteínas, esto le convierte en un alimento funcional desde el punto de vista nutricional, la harina en su estructura molecular está compuesta por un 70% de almidón en base seca (**Bressani, 1989**), características que le refiere una solubilidad de 34.60% (resultados expresado como porcentaje soluble en 100 gramos), esto depende directamente de la distancia de apertura de la membrana semicristalina formada por amilosa y amilopectina que son responsables de permitir la hidratación de la molécula.

Debido a su estructura semicristalina la harina presenta grumos al mezclarse con agua a temperatura ambiente, esto se debe a la forma helicoidal en la que se encuentran ramificadas las moléculas. En la investigación se utilizó el método índice de solubilidad en agua (*WSI water solubility index*) y determinó que en un muestreo aleatorio el dato nominal para la solubilidad de la harina fue de 34.60 en porcentaje sobre 100 gramos de muestra para harina sin extruir. Luego de varias pruebas se estableció que utilizando una temperatura de 150 °C, humedad (15 – 19) % y presión de (21 – 25) kg/cm² en el extrusor, fue posible aumentar la solubilidad de la harina.

Con estos parámetros se extrusó la harina y se hizo la prueba de solubilidad en agua a temperatura ambiente, utilizando el mismo método. La solubilidad aumentó en un 1.67%, es decir aumentó a 36.27%. Al aplicar el método de t de student, se estableció que si hay diferencia estadística en los resultados, y se concluyó que el proceso de extrusión si mejoró la solubilidad de la harina de amaranto en agua a temperatura ambiente.

II. Abstract

The present research work was carried out in order to evaluate the solubility capacity of amaranth flour through the extrusion process in water at room temperature, to carry it out, the pilot plant equipment of the University Center of the Southwest of the University of San Carlos de Guatemala, located in Mazatenango Suchitepéquez. Amaranth flour as the raw material of the research is rich in proteins, this makes it a functional food from the nutritional point of view, the flour in its molecular structure is composed of 70% starch on a dry basis (Bressani, 1989), characteristics that refer to a solubility of 34.60% (results expressed as a percentage soluble in 100 grams), this directly depends on the opening distance of the semicrystalline membrane formed by amylose and amylopectin that are responsible for allowing the hydration of the molecule.

Due to its semi-crystalline structure, the flour presents lumps when mixed with water at room temperature, this is due to the helical shape in which the molecules are branched. The research used the water solubility index method (WSI water solubility index) and determined that in a random sampling the nominal data for the solubility of the flour was 34.60 in percentage on 100 grams of sample for non-extruded flour. After several tests it was established that using a temperature of 150 ° C, humidity between (15 – 19) % and pressure of (21 – 25) kg / cm² in the extruder, it was possible to increase the solubility of the flour.

With these parameters, the flour was extruded and the water solubility test was made at room temperature, using the same method. The solubility increased by 1.67%, that is, it increased to 36.27%. By applying the student's t method, it was established that there is a statistical difference in the results, and it was concluded that the extrusion process did improve the solubility of amaranth flour in water at room temperature.

III. Introducción

La harina de semilla de amaranto por su alto índice de proteína es un alimento que reúne características nutritivas importantes, por lo que es considerado como alternativa para procesos alimenticios, sin embargo; debido a sus características moleculares y luego de la investigación realizada se comprobó que la solubilidad que presenta es de 34% (expresados sobre 100 g de muestra), dando como resultados formación de grumos y de consistencia espesa. Esto representa una limitante desde el punto de vista funcional para que la harina de amaranto pueda ser usada en diferentes procesos industriales o como alimento de fácil consumo.

El almidón es uno de los carbohidratos que es sintetizado por plantas y representa entre 52.4% y 70% de base seca en el amaranto Bressani (1989 pág.2), además es el responsable de la solubilidad en agua, la presente investigación evaluó la capacidad de solubilidad de la harina de Amaranto en agua a temperatura ambiente, modificando parcialmente la morfología cristalina de la estructura molecular del almidón, hidratando las cadenas de amilosa y amilopectina presentes en el grano de amaranto.. La expansión entre sus cadenas ramificadas se afectó por parámetros físicos como temperatura, humedad y presión al momento de ser sometida a un proceso de extrusión (Resio, 1999 pág. 56).

Durante la investigación se sometió la harina de amaranto en el proceso de extrusión a una molienda con parámetros controlados de temperatura a 150°C, presión (21 – 25) Kg/cm² y humedad de (15 – 19) % para obtener un cizallamiento medio evitando obtener así una pasta y lograr la expansión requerida en el producto terminado. Asimismo la solubilidad de la harina extruida se analizó por el método de Índice de solubilidad de agua WSI (*water solubility index*) y evaluada estadísticamente mediante un estudio pre y post, la metodología utilizada fue T de student con la cual se estableció que sí existe diferencia estadística en cuanto a solubilidad se refiere, ya que la harina sin extruir tiene una media de 34.60% de absorción, mientras que la harina extruida presenta una media de 36.27% representando un incremento de 1.67% de solubilidad. Esta investigación se llevó a cabo durante los meses de abril a julio del año 2021 en las instalaciones de planta piloto del Centro Universitario de Sur Occidente de la Universidad de San Carlos (CUNSUROC) y el laboratorio de industrias EUZKADI.

IV. Planteamiento del problema

La innovación, como herramienta para la industria alimentaria establece la necesidad de crear productos alimenticios con características nutritivas y de fácil consumo, sin afectar la biodisponibilidad al ser sometidos a cualquier proceso. El amaranto siendo una alternativa viable para procesos industriales y un cultivo de alto valor nutricional por las razones explicadas anteriormente en cuanto a proteína se refiere, se ha explorado de forma limitada y como consecuencia su proyección en innovación de productos alimenticios no es desarrollada. En la actualidad, con el grano de amaranto se puede desarrollar una harina, sin embargo no se ha utilizado como materia prima a nivel industrial, por limitaciones en cuanto a la baja solubilidad que presenta.

El problema de solubilidad se encuentra en las características moleculares del almidón de la harina de amaranto, la molécula hace que no sea soluble en un solvente polar como el agua en condiciones de temperatura ambiente, esto se debe a la estructura semicristalina formada por amilosa y amilopectica, que impiden la hidratación de la molécula manteniéndola estable en soluciones con agua a temperaturas menores a 30°C. Presentando así la formación de grumos en la superficie, además de precipitaciones que lo hacen desagradable a la vista.

Para mejorar la solubilidad, es necesario expandir la capa semicristalina del almidón e hidratarla para producir el hinchamiento, esta acción produce la absorción de agua por los grupos polares hidroxilos, la modificación se puede ocasionar aplicando agentes físicos como calor y presión. En esta investigación se sometió la harina de amaranto a un proceso de extrusión, para provocar la expansión y la hidratación del almidón en simultáneo. En función de lo anterior surgió la siguiente interrogante.

¿Será posible mediante la aplicación del proceso de extrusión, aumentar la solubilidad en agua a temperatura ambiente de la harina de amaranto?

V. Justificación

La presente investigación se realizó con el interés de proporcionar una alternativa alimenticia que pueda consumirse de forma instantánea o como materia prima en procesos a escala industrial sin provocar inconvenientes al mezclarse con agua a temperatura ambiente, evitando formación de precipitados. Para mejorar la solubilidad se exploró modificar la estructura cristalina del almidón de la harina de amaranto formada por amilosa y amilopectina debido a que los enlaces moleculares forman un espiral que crea una capa protectora impidiendo la formación de enlaces con las moléculas de agua. La deformación de la estructura se realizó mediante agentes físicos como presión, temperatura y humedad. La presión y temperatura controladas son capaces de desdoblar el espiral de las cadenas ramificadas, generando oportunidad de hidratar la molécula con agua. Fue necesario que los agentes físicos se aplicaran en simultáneo para deformar la estructura y al mismo tiempo hidratarla. Se necesitó un equipo que fuese capaz de generar los tres aspectos físicos que se necesitan para la investigación, como lo es el extrusor. Por esta razón para mejorar la solubilidad de la harina de amaranto se utilizó el proceso de extrusión. Este proceso básicamente consiste en que mediante un tornillo central, se transportó la harina previamente hidratada a través de un cilindro generando fricción entre ambas superficies, provocando una plastificación en el producto final por el cambio de presión que se generó cuando la masa plastificada salió del cilindro; esperando así obtener las modificaciones deseadas.

Con el fin de contribuir con productos que aporten beneficios a la población en general, se realizó la presente investigación, en la cual se evaluó la capacidad de solubilidad de la harina de Amaranto en agua a temperatura ambiente a través del proceso de extrusión. Y de esta manera obtener una harina soluble en agua y rica en proteínas.

VI. Marco Teórico

1. Principales cultivos de consumo en Guatemala

Guatemala siendo un país de diversidad taxonómica y por la fertilidad de los suelos que posee ha desarrollado sistemas de cultivos tradicionales como lo son huertos familiares y cosechas de forma artesanal para abastecer mercados locales. Estas formas ancestrales de cosecha hacen que exista una diversidad genética y un alto valor nutricional al alcance de los consumidores del área rural. Los cultivos de mayor trascendencia y de gran consumo, se pueden mencionar hortalizas nativas como: la chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*), hierba mora (*Solanum americanum*), chipilín (*Crotalaria longirostrata*), y amaranto (*Amaranthus caudatus*). El amaranto también es conocido como bleo según la región del país (Sánche, Silvana Maselli, 2008 pág. 32).

2. Taxonomía

Alrededor de sesenta géneros de dicotiledóneas están comprendidos dentro de la familia Amaranthaceae y aproximadamente ochenta especies herbáceas tanto anuales como perennes. En el cuadro 9 (ver anexos pág. 42) se puede observar algunas de ellas. Uno de los criterios taxonómicos para poder clasificar a las distintas especies se basa en la clasificación de su estructura floral y sus proporciones, así como los caracteres presentes en el tipo de hoja o de inflorescencia. Sin embargo, es manifiesto el disenso de criterio existente entre los taxonomistas para la clasificación, debido a que la planta posee una plasticidad morfológica extrema, variable juntamente con las condiciones ambientales.

La planta varía en aspecto y puede oscilar entre un tipo arbustivo bajo hasta en ejemplares de dos metros de altura con o sin ramas, rastreras, erectas y de un color verde oscuro.

3. Aspectos nutricionales del grano de Amaranto

En la actualidad la población indígena carece de alimentos altamente nutritivos que aporte la ingesta diaria de biomoléculas que el cuerpo necesita, a continuación se hará mención de las propiedades nutricionales del grano de Amaranto.

3.1. Proteína

El valor nutricional que aporta el grano de Amaranto está relativamente proporcionado por el balance de aminoácidos que posee y que su aporte se encuentra cercano al requerido para la nutrición humana, su aminoácido limitante es la leucina que permite que la proteína del *A. caudatus* se pueda absorber y sea utilizado en un 70% cifra que puede ascender hasta el

79% según sea la variedad. El computo aminoacídico es de 86% en *A. hypochondriacus* y de 77% para *A. cruentus*, cabe mencionar que el valor biológico de la proteína de Amaranto comparada con los computos químicos de la proteína de trigo (73%) y de soya (77%) son significativamente altos, mientras que la proteína de origen animal no posee aminoácidos limitantes (Bressani, 1989, pág. 2).

3.2. Almidón

El almidón es uno de los principales carbohidratos de reserva que son sintetizados por plantas superiores y es la fuente de energía más importante para muchas especies incluyendo los humanos. En algunos tubérculos como papa, camote y yuca representan entre un 60% y 90% de base seca, en algunas frutas como el mango y plátano alcanzan contenidos cercanos al 70% de su peso en base seca. En el Amaranto, el almidón es su principal componente y su contenido dependiendo su especie puede variar entre un 52.4% a un 70% como base seca (Sánchez, 2007, pág. 15).

3.2.1 El granulo de almidón

En las plantas las moléculas de almidón se presenta como moléculas insolubles en agua, los que tienen una diversidad de formas y tamaños. Cada especie es independiente de la morfología, composición química y condición supramolecular, estas características distinguen la capacidad de solubilidad que puede llegar a tener la misma planta en condiciones procesadas con el agua. Los gránulos de almidón de amaranto son reportados como uno de los más pequeños existentes, teniendo un tamaño aproximado de (1-3 μ m) (Sánchez, 2007, pág. 56).

3.2.2. Caracterización física de los gránulos de almidón

Un factor importante para la apariencia física microscopía del almidón y de suma dependencia es la distribución de la longitud de las cadenas y a sus arreglos de los grupos amilosa y amilopectina, se piensa que la forma en que las moléculas se agrupan generan la matriz semicristalina del granulo.

En la parte interna existen cadenas adyacentes de doble hélice que se agrupan en pequeñas laminillas. Estas laminillas cristalinas se alterna con una laminilla amorfa que se origina en regiones donde inician los puntos de ramificación con una distancia repetitiva de 9 nm. (Sánchez, 2007, pág. 25).

3.2.3. Determinación de índice de solubilidad e hinchamiento

El grado de solubilidad del almidón dependerá de la capacidad de crear enlaces asociativos dentro de los gránulos, cuando el almidón se gelatiniza en agua caliente los gránulos se hinchan disolviéndose un porcentaje del mismo en agua circundante. El grado de hinchamiento y la capacidad de solubilidad dependerán de si el almidón es nativo o modificado, además de la especie de la planta proveniente. (Sánchez, 2007, pág. 34). Se conoce como gelatinización al proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan (60-70°C) y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse y aumentar de volumen. Este fenómeno puede ser observado al microscopio. Al llegar a cierta temperatura, los gránulos alcanzan un volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la birrefringencia.

Existen varios métodos gravimétricos bastante elaborados para determinar la solubilidad, pero para propósitos de rutina, incluida la clasificación, el procedimiento más utilizado es el llamado método de índice de solubilidad, en el que se mezcla una porción de prueba con agua y se centrifuga el producto reconstituido. El volumen, en mililitros, del sedimento finalmente obtenido (es decir, residuo insoluble) es el índice de solubilidad. Dado que el índice de solubilidad está inversamente relacionado con la solubilidad, parece más directo y más racional usar el término "índice de insolubilidad" para describir lo que se determina mediante un método de "solubilidad". En consecuencia, se adoptó el "índice de insolubilidad" para designar lo que se determina en el método de solubilidad en volumen de sedimento descrito en esta Norma Internacional. El uso de esta nueva expresión también sirve para diferenciar el método descrito en esta Norma Internacional del método del índice de solubilidad. (Standardization, 2005).

3.2.4. WSI (índice de solubilidad de agua) y WAI (índice de absorción de agua)

El método implica moler el producto extruido y luego agregar un peso conocido de polvo al agua destilada. A continuación, se agita la muestra y se vierte la suspensión en un tubo de centrífuga tara. Después de la centrifugación, el sobrenadante se seca y el peso de los

sólidos en el sobrenadante se usa para calcular el WSI como porcentaje del peso seco del extruido. El peso del sedimento en el tubo de centrifuga se usa para calcular el WAI como porcentaje del agua unida por 100 g de extruido seco. Todos los valores recopilados se miden de acuerdo con el método anterior. Los valores de WSI y WAI se extienden en un amplio rango de resultados dependiendo de los parámetros específicos aplicados durante cada proceso de extrusión. Los factores que afectan los valores de los índices se pueden clasificar en dos grandes grupos (properties & Oikonomou Krokida, 2012, pág. 87). El WAI y WSI se pueden predecir utilizando un modelo, que considera la dependencia de la ley de potencia de todas las variables independientes:

$$WSI = a \left(\frac{T}{T_0}\right)^b \left(\frac{X}{X_0}\right)^c \left(\frac{S}{S_0}\right)^d \left(\frac{M}{M_0}\right)^e$$

$$WAI = a \left(\frac{T}{T_0}\right)^b \left(\frac{X}{X_0}\right)^c \left(\frac{S}{S_0}\right)^d \left(\frac{M}{M_0}\right)^e$$

T = temperatura de la última sección del extrusor

X = Contenido de humedad de la alimentación del producto alimenticio en base húmeda%

S =Velocidad del tornillo de la extrusora (rpm)

M = %mezcla

El índice de solubilidad en agua determina la cantidad de polisacáridos o liberación de polisacáridos del gránulo en la adición de exceso de agua. WSI es el peso de sólidos seco en el sobrenadante midiendo 0.5 gr sobre 10 ml y centrifugado a 300 rpm durante 30 minutos y es expresado como porcentaje del peso original de la muestra

$$WSI = \left(\frac{\text{Peso del sobrenadante}}{\text{Peso de muestra}} \right) 100$$

3.2.5. Parámetros físicos para producir el hinchamiento

Para lograr una caracterización adecuada del material los índices de solubilidad he hinchamiento puede determinarse por medio de intervalos de temperatura entre (60°C - 95°C)

Pero para fines prácticos se pueden emplear temperaturas de 50°C, 70°C, 80°C y 90°C. Otros de los parámetros físicos de suma importancia para poder producir el hinchamiento del gránulo de almidón es la humedad, puesto que los índices de solubilidad son afectados severamente por el pH, el cual debe ser ajustado en un rango de 4,5 – 7. Para la

determinación de la cantidad de almidón soluble expresada como porcentaje de sólidos solubles se debe determinar de la siguiente manera (Resio, 1999, pág. 45).

$$\text{Porcentaje de sólidos solubles (b.s)} = \frac{\text{peso del almidón soluble (g)}}{\text{Peso de la muestra (b.s.)}}$$

Los gránulos hinchados no disueltos se pueden calcular con la siguiente ecuación

$$\text{Poder de hinchamiento} = \frac{\text{gramos de pasta sedimentada}}{\text{gramos de muestra (b.s.)}} (100 - \% \text{solubles en (b.s.)})$$

4. Propiedades tecnológicas del almidón

En función de la relación de amilosa y amilopectina serán las propiedades funcionales que presente el almidón ante un medio físico, existen dos propiedades fundamentales presentes en el almidón, como lo son absorción y retención de agua y capacidad de gelatinización de la cual depende grandemente la solubilidad del mismo cuando es mezclado con solventes polares como el agua. “Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría” (Yordi, 2009) Según el tipo de almidón cuando los gránulos se sumergen en agua caliente logran gelatinizarse a cierta temperatura, absorbiendo agua y aumentando la viscosidad de la solución, posteriormente durante la pérdida de energía las cadenas de almidón vuelven a interactuar acumulando agua en el interior de su estructura en forma de geles. Tiempo después la interacción de las cadenas del polisacárido aumenta su interacción entre las cadenas de almidón, donde se da origen a la expulsión de agua; a este proceso se le conoce como retrogradación (Yordi, pág. 43).

Las propiedades tecnológicas del almidón están en función de su relación amilosa/amilopectina y puede emplearse en la industria alimentaria.

5. Harina de Amaranto

Se conoce como harina de amaranto al producto terminado obtenido de un proceso de molienda. Para la obtención de la harina de amaranto se debe hacer una desinfección del grano, posteriormente se debe ablandar el grano a través de un agregado de agua (3% p/p) dejando en reposo alrededor de 45 minutos, moviendo la materia prima en intervalos de 10 minutos para garantizar la un ablandado uniforme. Realizada la molienda del grano de amaranto las fracciones generadas son tamizadas para realizar una dispersión de la harina

producida. Uno de los parámetros importantes de controlar es la molienda. (Escobar, 2009, pág. 34).

Previo a cualquier proceso industrial que utilice como materia prima harina derivada de cualquier cereal es importante controlar parámetros como el contenido de humedad, almidón dañado, granulometría y las propiedades químicas que posee.

5.1 Contenido de humedad y granulometría de la harina de amaranto

Uno de los parámetros importantes de calidad para la harina de amaranto es la humedad, que no debe tener un valor mayor al 12% durante el almacenamiento, previo a cualquier proceso se deben realizar los análisis de humedad para determinar la calidad de la misma (Martínez & Mátar, 2017, pág. 89). Uno de los efectos principales que incide en la absorción de agua de una harina es el índice de almidón dañado, solo los gránulos dañados de almidón son susceptibles a la acción de amilasa en un almidón gelatinizado (Escobar, 2009, pág. 23). “El almidón dañado afecta las propiedades de las harinas, fundamentalmente su capacidad de hidratación, ya que absorbe un 100% de su peso en agua, 3 veces más que la que absorbe el almidón en los gránulos sanos” (Ribotta, Pérez, Morcillo, & León, 2003, pág. 67).

Los parámetros de calidad para harinas especificado por la norma del CODEX para harinas de trigo Codex Standard 152-1985 indica en el apéndice que el tamaño de las partículas (granulosidad) el 98% o más de la harina deberá pasar a través de un tamiz (No. 70) de 212 micras y se puede evaluar un método de análisis AOAC 965.22 (ALIMENTARIUS, 1995). El índice de dispersión de la partícula puede ser determinado mediante la siguiente ecuación

$$ID = \frac{(D90 - D10)}{D50}$$

Donde ID: índice de dispersión

D10, D50 y D90: representan los diámetros por donde logra pasar el 10%, 50% y el 90% de la muestra (Locke, Loubes, & Tolaba, 2015, pág. 23).

6. Extrusión

Extruir significa expulsar, diferentes materiales pueden ser extruidos tales como arcilla, cerámica, comestibles, metales y claro está el plástico (Sierra, 2005, pág. 56)

El proceso de extrusión es la acción de forzar, por medio de presión, el fluir de un material fundido a través de una matriz o “boquilla”. Su uso es empleado para la producción de forma continua de productos de sección transversal constante (Verdú, 2016, pág. 43)

La cocción por extrusión como forma especializada de procesamiento, que es única en el la elaboración de productos amiláceos debido a que una de las condiciones de proceso es llevar la materia prima a bajos niveles de humedad, a diferencia de los procesos de horneado convencional o la cocción de masas y pastas. Bajo estos criterios las propiedades físicas como la granulometría de la partícula, la dureza y el grado de plastificación alcanzado durante el proceso de extrusión llegan a ser parámetros determinantes para la formación del producto final. (Cuggino, 2008, pág. 17) Existen diferentes diseños de extrusores en la industria de polímeros, las principales distinciones entre la diversidad existente es el modo de funcionamiento, se clasifican en continuos y discontinuos (Rauwendaal, 2005, pág. 43). En la siguiente tabla se mencionan algunos tipos de extrusores según su funcionalidad.

Tabla 1. Clasificación de extrusores de polímeros

Extrusor de Tornillo (continuo)	Extrusor de un solo tornillo	Alimentado por fusión
		Plastificante
		Etapas únicas
		Multi etapas
Extrusor de disco o tambor (Continuo)	Extrusor de arrastre viscoso	Compuesto
		Tornillo doble
		Bombas de engranaje
		Engranaje planetario
Extrusor de fusión elástica	Extrusor de arrastre viscoso	Multi tornillo (>2)
		Disco en espiral
		Extrusor de tambor
		De paquete de discos
Extrusor de fusión elástica	Extrusor de fusión elástica	De disco sumergido
		Extrusor sin tornillo
		Tornillo o de disco fundido

Fuente: Rauwendaal, 2006 pág 38.

7. Proceso de extrusión

Los principios básicos de la extrusión de alimentos están cercanamente relacionados a aquellos de la extrusión de polímeros sintéticos termoplásticos, no obstante, la naturaleza del material biológico con un comportamiento viscoso no newtoniano, marca una significativa diferencia. En la extrusión de plásticos, excepto en algunas reacciones de polimerización, la viscosidad generalmente disminuye cuando el polímero se funde; por el contrario, en la mayoría de los materiales biológicos la viscosidad se incrementa cuando se eleva la temperatura. La extrusión de alimentos en un sistema de cocción de alta temperatura en corto tiempo (HTS), es utilizado como medio de reestructurar material alimenticio con contenido de almidón y/o proteínas y de esta forma elaborar diferentes tipos de alimentos texturizados. En este proceso, el alimento se somete a altas temperaturas, elevada compresión e intenso esfuerzo cortante (cizallamiento), en periodos cortos, las cuales producen entre otros, los siguientes fenómenos:

- Modificación de las características físicas, químicas y físico-químicas de las macromoléculas.
- Fenómenos como la gelatinización, dextrinización del almidón, desnaturalización y/o texturización de las proteínas y la desnaturalización en menor proporción de macro moléculas sensibles como las vitaminas (Reynaga & Ing. José Luis Soto, 2009, pág. 45).

A continuación se presentan las ecuaciones a considerar para un proceso de extrusión

Balance de materia

$$\Sigma me - \Sigma ms = \Delta msist$$

Caudal entrada – caudal salida = acumulado en el sistema

Cálculo de humedad

$$mq * Xms + mw - me * Xme$$

Reordenando y calculando se obtiene

$$me = 1.873 \text{ kg por minuto}$$

Balance de energía

$$\Sigma Qentrada - \Sigma QsalidaMS * X_{HCS} - me * X_{HCS} = 0$$

El calor específico del producto extruido tiende a ser

$$CP = 1.7877 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

A continuación se detalla algunos parámetros importantes a considerar para el proceso de extrusión

Tabla 2. Parámetros de cizallamiento

Parámetro	Cizallamiento bajo	Cizallamiento medio	Cizallamiento alto
Humedad del producto %	25-75	15-30	5-8
Densidad del producto(g/L)	320-800	160-510	32-200
Temperatura del cilindro (°C)	20-65	55-145	110-180
Presión máxima de cilindro (Kg/cm ²)	6-63	21-42	42-84
Velocidad del tornillo (rpm)	<100	>100	>100
Productos típicos	Pastas, gomas y cárnicos	Soya texturizada, alimentos expandidos, piensos	Cereales y almidones finos de ebullición

Fuente: Reynaga2009 pág. 19

Tabla 3. Determinación de la humedad

Humedad inicial	RPM	Granulo de almidón en micras	% de humedad final (extrusado)	Expansión del extrusado	IAA	ISA
15	364	3,55	11,19	0,68	3,91	31,21
19	364	3,55	9,15	1,03	4,3	29,35
23	364	3,55	6	1,12	4,74	27,77

Fuente: Reynaga 2009 pág. 69

Tabla 4. Determinación del caudal de alimentación

RPM	Diámetro del grano mm	% humedad inicial	Caudal de alimentación Kg/min	Índice de absorción de agua	Índice de solubilidad en agua
325	2,66	19	0,36	4,87	20,3
325	2,66	19	0,48	5,20	20,75
325	2,66	19	0,6	3,90	13,98

Fuente Reynaga 2009 pág. 64

8. Partes y funcionamiento de un extrusor de arrastre viscoso

A medida que la materia prima alimenta la tolva, el flujo es inducido por gravedad garantizando su transferir al canal del tornillo, dentro del cilindro la materia prima es arrastrada por fricción que se crea dentro del cañón hasta que sea derretida como resultado del efecto combinado de transferencia de calor desde el barril (que se vuelve más eficiente en todo el barril a medida que aumenta la presión) y la disipación de energía mecánica debido a las fuerzas de fricción mencionadas.

La fusión de la materia prima no es de forma instantánea, pero sigue un mecanismo relativamente bien ordenado que se va desarrollando a lo largo de varios tornillos giratorios que implica la segregación de la masa fundida de los sólidos sobrevivientes; “el material se derrite principalmente cerca del barril interno y se acumula en una piscina de fusión que coexiste al lado del lecho sólido” (Cobas & Cunha, 2010, pág. 29)

La secuencia global de plastificación se puede clasificar en varios pasos individuales, también conocidos como zonas funcionales. (Cobas & Cunha, 2010, pág. 30)

Las zonas funcionales que se describen a continuación, se explican gráficamente en la sección de anexos página (Ver anexos, *Figura 2*; Pág 44)

1. Sólidos que se transportan en la tolva
2. Arrastre de sólidos que se transportan en las primeras vueltas del tornillo
3. Retraso en la fusión, debido al desarrollo de una película delgada de fundido material que separa los sólidos de las paredes metálicas circundantes
4. Fusión, donde se desarrollan un mecanismo de fusión específico

5. Transporte de fusión, que implica un patrón de flujo helicoidal regular del fluido elementos hacia el dado
6. Fin del flujo (Cobas & Cunha, 2010, pág. 35).

9. Expansión del producto terminado

En un proceso de extrusión de alimentos, la expansión del producto extruido es una propiedad fundamental, que describe la calidad del producto y está directamente relacionado con el grado de cocción. El volumen expandido del alimento disminuye con cantidades crecientes de proteínas, pero aumenta con las cantidades crecientes de almidón. Con el fin de tener en cuenta la expansión del extruido en la extracción del troquel, los índices de expansión longitudinal -LEI- y seccional -SEI-, según Rauwendaal se encuentran en función de las revoluciones del eje central; donde en parámetros normal de expansión en el SEI se encuentran en 200 y 300 rpm, sin embargo se registran caídas significativas de un 39% por debajo SEI inicial a una velocidad 500 rpm; por el contrario el aumento de velocidad aumenta significativamente en la expansión longitudinal en un 46% (Rauwendaal, 2005, pág. 78)

10. Variables principales a controlar en el proceso de extrusión

El grado de cocción (GC) se incrementa al aumentar la temperatura, la relación de compresión del tornillo, al disminuir la humedad y el diámetro de la boquilla. Una mayor velocidad de rotación se traduce en un mayor en un menor tiempo de resistencia y por lo tanto un menor grado de cocción, pero simultáneamente es mayor el gradiente de velocidad y por lo tanto es mayor la intensidad de los esfuerzos de corte producidos. Dicha intensidad dependerá tanto de las características propias del material (dureza, forma y distribución de las partículas) como del nivel de fricción producido dentro del cilindro, que a su vez depende de la presión y humedad.

Es importante destacar que las transformaciones se producen en tiempos cortos y menores al tiempo de resistencia medio. La temperatura es considerada una variable independiente. Las características de la masa que fluyen dentro del equipo y sus propiedades finales son dependientes de su composición: humedad, materia grasa, fibra, almidón, proteína, sales emulsionantes y del diseño particular que provoca mayor o menor interacción que se produce partícula – partícula (Cuggino, 2008, pág. 28).

11. Efectos de las variables de extrusión en la expansión

La textura en los productos procesados por extrusión es uno de los parámetros principales de la calidad, la cual se encuentra relacionada con la expansión del producto. Al respecto cabe mencionar que se ha demostrado que la expansión del producto ocurre en las direcciones longitudinal y radial, la expansión radial es la más simple de determinar y refleja la expansión (Cuggino, 2008, pág. 29).

De las distintas variables que afectan la expansión, la humedad es la más significativa, aunque cabe mencionar que la temperatura alcanzada por el material antes de pasar por la boquilla, la relación de compresión, diámetro de la boquilla y la velocidad del tornillo también son relevantes. Además para los productos extruidos, el consumo específico de energía mecánica (CEEM) es un buen indicador del grado de cocción, debido a que representa la energía mecánica entregada al material (Cuggino, 2008, pág. 30). (Ver tabla 11 pág.45)

La energía mecánica se calcula mediante la siguiente formula:

$$\text{CEEM}[\text{Joule/g}] = 61,3 * 10^{-3} \text{ Torque} * \frac{\text{RPM}}{\text{Caudal másico}}$$

A mayor CEEM, mayor será la intensidad de las transformaciones del almidón. Sin embargo a medida que aumenta el grado de cocción (grado de destrucción de la estructura cristalina y granular), la expansión crece hasta un valor máximo. Por su parte la temperatura está relacionada directamente con el grado de cocción, por ende la expansión mostrará un máximo con la temperatura experimentada (Cuggino, 2008, pág. 23).

Similarmente, a mayor relación de compresión y menor diámetro de boquilla, mayor será la presión alcanzada y por lo tanto mayor será el grado de cocción (Cuggino, 2008, pág. 23).

12. Método estadístico T de student

El test de posición para dos muestras, por el cual se comprueba si las medias de dos poblaciones distribuidas en forma normal son iguales. El test de hipótesis nula por el cual se demuestra que la diferencia entre dos respuestas medidas en las mismas unidades estadísticas es cero. Éste método es aplicable cuando se evalúan dos tratamientos, y la muestra tiene 30 elementos o menos. En la prueba de t de student se dan los siguientes casos:

- a. Cuando ambas muestras o tratamientos tienen el mismo número de elementos o repeticiones.

- b. Cuando ambas muestras o tratamientos tienen distinto número de elementos o repeticiones.
- c. Cuando una muestra se analiza antes y después de aplicarle un tratamiento determinado.

El procedimiento seguido para el inciso “c” fue el siguiente:

- Obtener la media aritmética de ambos grupos
- Encontrar la varianza de las muestras 1 (sin extraer) y 2 (extraído)
- Calcular el error estándar de la diferencia entre medias
- Operar la ecuación para encontrar T calculado
- Comparar el resultado de t encontrado con t tabulado. (Ver anexo cuadro 12 pág. 46)
- Establecer si hay o no diferencia estadística entre ambas.

VII. Objetivos

1. General:

1. Evaluar la capacidad de solubilidad de la harina de Amaranto (*Amaranthus spp.*) en agua a temperatura ambiente a través del proceso de extrusión.

2. Específicos:

1. Controlar los parámetros de las variables físicas (temperatura, humedad y presión) en el proceso de extrusión para la modificación parcial de la estructura cristalina del almidón de amaranto
2. Analizar las muestras obtenidas de producto terminado mediante el método fisicoquímico índice de solubilidad en agua WSI (*water solubility index*)
3. Comparar mediante la prueba T Student (antes – después), si existe diferencia estadística en la solubilidad de la harina de Amaranto extruida con una muestra de la harina sin extruir

VIII. Hipótesis

El proceso de extrusión de la harina de Amaranto (*Amaranthus spp.*), no mejorará la solubilidad de la misma en agua a temperatura ambiente.

IX. Recursos

1. Humano

- Coordinador Técnico de investigación del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá
- Ph. D. Oscar F. Ramos
- Asesor principal de trabajo de investigación
- Dr. Sammy Alexis Ramírez Juárez
- Asesores adjuntos
- Inga. Silvia Marisol Guzmán Téllez
- MSc. Ángel Alfonso Solórzano
- Estudiante tesista
- T.U. Keneth Oswaldo Hernández Rendón

2. Institucionales

- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Ciudad de Guatemala (INCAP)
- Centro Universitario de Sur Occidente (CUNSUROC) USAC; Mazatenango, Suchitepéquez

3. Físicos

- Planta piloto, CUNSUROC, USAC
- Laboratorio de industrias Euzkadi
- Laboratorio CUNSUROC
- Instrumentos de cristalería
- Computadora
- Extrusor de harinas
- Molino
- Cristalería
- Taller de tornos

4. Materiales

- Balanza analítica
- Balanza mecánica
- Termómetro digital
- Cristalería de laboratorio

- Probetas
- Tartaletas
- Paletas de madera
- Tamices tamaño 70 mesh

5. Naturales

- Harina de Amaranto (*Amaranthus spp.*)

6. Económicos

- La materia prima (harina de amaranto) fue proporcionada por el INCAP
- Los fondos para la reparación del extrusor de harinas fueron proporcionados por la carrera de Ingeniería en Alimentos del Centro Universitario de Sur Occidente
- Los análisis de la harina extruida se realizaron en el laboratorio de industria EUZKADI ubicado en jurisdicción de Chicacao, Suchitepéquez; Guatemala.

X. Marco Operativo

Antes de iniciar el proceso, la harina se tamizó para retirar cualquier contaminante físico. La granulometría utilizada es importante debido a que fue necesario garantizar que la masa viscosa se pudiera transportar en las cámaras del extrusor. Por ello se utilizó una partícula de 212 micras en el que un 98% de la harina o más pasó a través de un tamiz (No. 70) como está especificado en la normativa del CODEX CXS 152-1985. De esta forma se evitó saturaciones posteriores dentro de las cámaras de cocción internas del extrusor. El harina por ser un alimento higroscópico fue necesario conocer el contenido de agua libre que presenta, y de ser necesario eliminar o bien reducirlo.

1. Primera etapa “calibración del extrusor”

Fue necesaria esta etapa debido a que no es conveniente fallas significativas durante el proceso de investigación. Las calibraciones realizadas fueron las siguientes:

1.1 Calibración flujo másico

Para calibrar el flujo másico se tomó en cuenta dos factores; la alimentación que se produce en la tolva alimentadora y la velocidad del tornillo sin fin que es el que produce que el flujo másico sea transportado hacia el final creando presión y elevando la energía.

1.1.1 Calibración de la alimentación

Se evaluó el tornillo sin fin, y se calibró a una velocidad de 20 rpm con el fin de no saturar el extrusor y evitar de esta manera fundir las cámaras de precocción y saturación del tornillo

1.1.2 Calibración del tornillo dentro del extrusor

Se instalaron los tornillos con calibración respecto a las guías de las cámara de cocción, es decir de mayor a menor para aprovechar la energía mecánica del mismo, disminuyendo así el juego axial que podría presentar al momento del movimiento giratorio del tornillo

1.2 Instalación de las camisas de los cilindros

Las camisas de fricción tienen la misma medida y se colocaron una por una hasta formar todo el cilindro

1.3 Calibración del tamaño de salida de la plastificación

1.3.1 Elección de abertura de la salida del extrusor

Para fines de investigación no fue relevante la forma de plastificación para producto terminado

1.3.2 Torque

Se calibró a 90° para la abertura del plastificador

2. Segunda etapa “determinación de la humedad de la harina sin extruir”

2.1 Muestreo para análisis

Se utilizó la metodología simple al azar para muestreo; en donde se numeró de 1 a 5 y se seleccionó de forma aleatoria.

2.1.1 Peso del recipiente que se utilizó para medir la humedad

El recipiente pesó 5 gramos

2.1.2 Calibración del horno a 110° C

La calibración del horno para llegar a 110°C duró 10 minutos

2.1.3 Eliminación de humedad en cristalería

Se utilizaron crisoles para determinar la humedad de la harina, se colocaron durante media hora dentro del horno para eliminar cualquier humedad y se procedió a registrar el peso.

2.1.4 Selección de muestras de harina

Para la determinación de humedad de la harina se realizó un muestreo aleatorio de 5 muestras y se procedió a pesar 10 gramos por cada muestra en una balanza analítica

2.1.5 Secado

Se procedió a identificar las muestras con el registro de ingreso al horno, anotando el peso tara de los crisoles, así como el peso neto. Se procedió a ingresar las muestras al horno para evaporar la humedad y así disminuir el error en los resultados, se registró un total de 5 mediciones para determinar la humedad de la harina de amaranto, utilizando una temperatura promedio de 110°C durante 10 h. Dando como resultados los siguientes parámetros

La fórmula utilizada para determinar el porcentaje de humedad fue la siguiente:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{[p2 - p3]}{[p2 - p1]} \times 100$$

$p1 = \text{peso del crisol}$

$p2 = \text{peso del crisol} + \text{muestra}$

$p3 = \text{peso del crisol} + \text{muestra seca}$

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro que se muestra a continuación

Tabla 5. Determinación de humedad de harina sin extruir

Peso en gramos media:8.6						
muestra	fecha	tiempo	Peso tara	Peso bruto	Crisol+ muestra seca	% humedad
1					49.1	9
2					49.5	5
3		10 horas	40	50	49	10
4					48.9	11
5	26.5.2021				49.2	8

Fuente: elaboración propia 2021, resultados expresados en agua evaporada en 100 gramos de muestra

Llegando a la conclusión que la humedad media de la harina es de 8.6%

3. Tercera etapa “Proceso de extrusión”

El proceso de extrusión se desarrolló de la siguiente manera:

3.1 Limpieza de la tolva de alimentación

Se verificó que la tolva de alimentación no presentara índices de humedad, es decir que estuviera completamente seca, debido a que la materia prima es altamente higroscópica evitando de esta manera inconvenientes para el caudal de alimentación, fue necesario previo al proceso limpiar la superficie de la misma con una toalla de papel.

3.2 Flujo de alimentación en la tolva

Fue necesario alcanzar parámetros óptimos de alimentación en el tornillo sin fin para que modificarán la estructura cristalina de amilosa y amilopectina del almidón, para ello se utilizó una alimentación de la tolva a un 80% de su capacidad y la velocidad del tornillo de alimentación se calibró a 0,72 Kg/min.

3.3 Pruebas de calibración con carga

Se procedió a encender el extrusor a 325 rpm sin previo calentamiento del cilindro, se alimentó la tolva con harina de amaranto al 9% de humedad y un tamaño de grano de 2.66 mm. A un caudal de 0.72 kg/ min. Observándose a la salida de la última camisa del prototipo el extruido, no se percibió ningún sonido, vibración o rozamiento durante la extrusión del grano. Durante los primeros segundos se observó una masa viscosa en la salida del tornillo central, a medida que continuó la extrusión comenzó a calentarse las camisas de cocción y amasado incluyendo al tornillo, llegando a una temperatura de 92°C.

3.4 Determinación del caudal adecuado para los tornillos de amasado, cocción de hilo simple

Se calibró la velocidad de alimentación de la tolva a 0.72 kg/min para obtener un extruido teórico de 91% de gelatinización según Arturo Reynaga (ver cuadro 4 Pág. 14) Calculando % Humedad inicial y diámetro del grano de harina.

3.5 Registro de la temperatura y presión de extrusión del equipo

Tabla 6. Variable física de proceso

Temperaturas y presiones de trabajo durante la extrusión				
fecha	inicio	zona	temperatura	presión
	9:00		0°C	0 Kgf/cm ²
	9:15	amasado	45°C	5 Kgf/cm ²
	9:35		85°C	9 Kgf/cm ²
	9:05		20°C	2 Kgf/cm ²
31.5.2021	9:15	cocción	65°C	8 Kgf/cm ²
	9:35		130°C	18 Kgf/cm ²
	9:10		115°C	14 Kgf/cm ²
	9:15	salida	135°C	18 Kgf/cm ²
	9:20		150°C	21 Kgf/cm ²

Fuente: elaboración propia 2021

3.6 Determinación del fluido de agua y extrusión

Para calcular la cantidad del fluido se realizaron las siguientes mediciones por medio de la siguiente formula (Túpac, Guevara Pérez, & Encina Zelada, 2012, pág. 54).

$$m_{\text{agua}} = m_1 \left(\frac{h_2 - h_1}{h_2} \right)$$

m1: masa inicial del producto

magua: masa de agua a añadir

h1: humedad inicial del producto

h2: humedad final del producto

masa de agua agregar: 288 cc/min

Esta operación se llevó a cabo calibrando mediante una probeta la cantidad de agua para ajustar el parámetro de humedad. Luego se accionó el equipo para extruir la harina de amaranto, controlando temperatura

4. Cuarta etapa “determinación de humedad y molienda de producto extruido”

4.1 El cálculo de humedad del producto extruido se realizó de la siguiente manera:

- i. Se pesó 20 gramos en una balanza mecánica.
- ii. Se calibró el horno a 110° C
- iii. Se colocó las muestras dentro del horno durante 10 horas máximo hasta que el peso fuera constante
- iv. Se calculó la humedad mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{[p2 - p3]}{[p2 - p1]} \times 100$$

p1 = peso del vidrio de reloj

p2 = peso del vidrio de reloj + muestra

p3 = peso del vidrio de reloj + muestra seca

Tabla 7. Determinación de humedad producto terminado

Peso en gramos media: 4.1							
muestra	fecha	tiempo	Peso tara	Peso bruto	Crisol+	muestra seca	% humedad
1						24.3	3.5
2						24.5	2.5
3	26.5.2021	10 horas	5	25		24	5
4						24	5
5						24.1	4.5

Fuente: elaboración propia 2021, resultados expresados en agua evaporada en 100 gramos de muestra

Llegando a la conclusión de 4.1% de humedad en la harina extruida.

4.2 Proceso de molienda del producto extruido:

- i. Se redujo el tamaño del producto expandido a un tamaño de 15 cm debido a que son cilindros alargados y el tamaño normal afectaría la molienda
- ii. Se pesaron 15 gramos del producto y se colocaron en la tolva del molino
- iii. Se molió hasta tener una apariencia de harina nuevamente
- iv. Se midió la granulometría en un tamiz No.7

XI. Resultados y discusión

1. Resultados

1.1 Humedad de harina sin extruir

La humedad que presentó la harina sin extruir fue de 8.6% de agua en 100 gramos de muestra, humedad que favoreció al proceso debido que se obtuvo un rango con mayor amplitud para explorar mediante la adición de agua la cantidad deseada de humedad en producto terminado. Adicional la humedad de la harina que se utilizó para la investigación cumplió con todos los parámetros de calidad establecidos por el CODEX alimentarius, esto representó mayor confiabilidad para trabajar el proceso de extrusión sin tener inconvenientes dentro del cilindro.

1.2 Variables físicas durante el proceso

Las presiones obtenidas en las diferentes zonas del extrusor son las siguientes:

Zona de amasado: 9 Kgf/cm²

Zona de cocción: 18 Kgf/ cm²

Zona de salida: 21 Kgf/cm²

Las temperaturas obtenidas en las diferentes zonas del extrusor son las siguientes:

Zona de amasado: 85°C

Zona de cocción: 130°C

Zona de salida: 150°C

La humedad controlada dentro del proceso fue la siguiente:

4.1% agregando 288 cc/min dentro del proceso

Las variables utilizadas fueron controladas durante el proceso mediante una rúbrica, esto favoreció para evitar que las altas temperaturas debido a la fuerza mecánica ejercida dentro del cilindro no fundiera la materia prima, los rangos que se establecieron: presión ejercida en la salida del tornillo (21 Kg/cm²), humedad 4.1% (expresado sobre 100 gr de muestra) obtenida por 288 cc/min y a la temperatura aplicada (150°C), fueron los necesario y los óptimos para la apertura de la membrana semicristalina formada por amilosa y amilopectina del almidón de la harina de amaranato.

1.3 Análisis fisicoquímico WSI índice de solubilidad (water solubility index)

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico para las harinas evaluadas son los siguientes:

Harina sin extruir grupo A: 34.60% expresados como porcentaje soluble en 100 gramos

Harina extruida grupo B: 36.27% expresados como porcentaje soluble en 100 gramos

1.4 Método estadístico

Se operó la ecuación para T calculado

$$T_c = -4.64$$

Se comparó el resultado de T calculado (T_c) con T tabulado (T_t)

Como el resultado de T_c queda fuera de la zona de aceptación o valor crítico de t , se establece que existe diferencia estadística entre la solubilidad de las muestras

$$T_t = 2.09; T_c = -4.64$$

2. Discusión de resultados

La humedad de la harina de amaranto utilizada fue de 8.9% según los resultados obtenidos en el proceso de secado previo a ser obtenida, uno de los parámetros importantes de calidad para la harina de amaranto es la humedad, que no debe tener un valor mayor al 12% durante el almacenamiento, (Martínez & Mátar, 2017, pág. 25). Uno de los efectos principales que incide en la absorción de agua de una harina es el índice de hinchamiento del almidón; el cual se produce manteniendo presión y temperatura constante. La calidad de la harina favoreció a la investigación debido a que se pudo mantener un margen 3.4% del límite de calidad para llegar a condiciones óptimas al proceso de extrusión. Los resultados de la harina de amaranto después del proceso de extrusión refieren a un 4.1% de humedad, parámetros que sirvieron para poder comparar las naturalezas de ambas muestras.

Dentro del cilindro la materia prima fue arrastrada por fricción creada dentro del cañón hasta transformarse en una masa viscosa como resultado del efecto combinado de transferencia de calor desde el barril (que se vuelve más eficiente en todo el barril a medida que aumenta la presión) y la disipación de energía mecánica debido a las fuerzas de fricción mencionadas. Para que la materia prima no tuviese daños internos en el proceso y evitar así obtener producto terminado quemado, fue necesario llegar a un 19%

de humedad dentro del cilindro. La masa de agua que se agregó fue de 288 cc/min para tener una humedad interna de 15% en 100 gramos de muestra.

De los resultados obtenidos, cabe mencionar que debido a la presión ejercida en la salida del tornillo (21 Kg/cm^2) y a la temperatura aplicada (150°C) en la estructura semicristalina de amilosa y amilopectiva fue efectivo hidratar la molécula de almidón y aumentar de una media aritmética previo al proceso de 34.60 (porcentaje soluble en 100 gramos de agua) a 36.27 (porcentaje soluble en 100 gramos de agua), estos parámetros se produjeron manteniendo la alimentación en la tolva de 0.72 kg/min; manteniendo así el trabajo mecánico constante sobre la uniformidad del producto.

Con las condiciones explicadas con anterioridad, y mantenidas, fue posible lograr una mejor solubilidad de la harina de amaranto, luego del proceso de extrusión, en agua a temperatura ambiente. Ya que la harina sin extruir tiene un porcentaje como media aritmética de absorción de 34.60 (resultado expresado como porcentaje en 100 gramos de muestra) mientras que la harina ya extruida el porcentaje de absorción aumento a 36.27 (resultado expresado como porcentaje en 100 gramos de muestra). Es decir una mejora del 1.67%. Este aumento en porcentaje representa una mejora en la solubilidad de la harina de Amaranto en agua a temperatura ambiente, comparada con harina sin ningún tratamiento previo. Los resultados de la centrifugación se operaron consecutivamente para analizar el índice de solubilidad en agua (water solubility index) (ver resultados en cuadro 11 pág 37).

Donde el sobredenante (líquido que se mantiene en la superficie del tubo de ensayo) indica la cantidad de almidón soluble en la muestra, esto responde a los resultados obtenidos, qué; en las muestras extruidas se logra obtener mayor peso en el sobredenante y por ende mayor harina soluble en cada muestra. Dado a los cuidados que se manejaron durante el proceso, la respuesta al evaluar mediante la metodología estadística T de student (antes-después) fue que sí existe diferencia estadística en el proceso.

XII. Conclusiones

1. Se rechaza la hipótesis planteada, puesto que si existe diferencia estadística entre la solubilidad de la harina de Amaranto sin extruir con la solubilidad de la harina de Amaranto extruida. Es decir que el proceso de extrusión de la harina de Amaranto (*Amaranthus spp.*) sí mejora la solubilidad de la misma en agua a temperatura ambiente.
2. Los parámetros de las variables físicas (temperatura 150°C, humedad 15-19% y presión 21 Kg/cm²) establecidos en el proceso de extrusión para la modificación parcial de la estructura cristalina del almidón de amaranto fueron las adecuadas y sí influyeron en la solubilidad de la harina extruida aumentara en un 1.67%.
3. Al analizar las muestras obtenidas de producto terminado mediante el método fisicoquímico WSI (*water solubility index*) se expresó una media para la harina sin extruir de 34.60 y para la harina extruida 36.27%.ambos resultados expresados como porcentaje soluble en 100 gramos, según estos datos, quiere decir que la harina extruida aumento en la solubilidad en un 1.67%.
4. Los resultados obtenidos al evaluar mediante la metodología estadística T de Student fue Tc=-4.64 y para Tt= 2.09, indicando así que existe diferencia entre ambas muestras.

XIII. Recomendaciones

1. Realizar un estudio para evaluar las condiciones sensoriales, de harina extruida con harina sin extruir; utilizando una prueba duo-trío, esto por medio de estudio de prefactibilidad para determinar el perfil de aceptación a nivel de costos.
2. Evaluar las características fisicoquímicas de la harina extruida y comparar la calidad obtenida con harina sin extruir.
3. Considerar mediante otros procesos como alternativa si los diferentes parámetros de humedad permiten aumentar el porcentaje de solubilidad de la harina de amaranto en agua a temperatura ambiente.
4. Considerar en otro estudio similar la combinación de harina de Amaranto en diferentes proporciones con otras harinas previo a ser extruidas, luego verificar el porcentaje de solubilidad utilizando el WSI para constatar si hubo o no aumento.

XIV. Referencias bibliográficas

- Acosta, D. F. (2015). *Métodos de molienda seca y húmeda en molino planetario para la obtención y caracterización de fracciones de amaranto y su aplicación como agente encapsulante. (Tesis Ingeniería Química)* Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. facultad de ingeniería, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-013-1050-7>
- ALIMENTARIUS, C. (1995). Codex Stand 152-1985. *Norma Codex Alimentarius*, (pág. 4). Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Arias-García, R. M., Pérez-Palacios, G., & Durán-de-Bazúa, C. (2007). *Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina. (Tesis Ingeniería Química)* Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C, México D.F., México., de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48222203.pdf>
- Bressani, R. (1989). *The proteins of grain amaranth*. Guatemala: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.
- Chavarrías, M. (9 de junio de 2016). *Propiedades reológicas y organolépticas de harina de Amaranto (Tesis Ingeniería Química)* <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/propiedades-organolepticas-de-los-alimentos.html>
- Cobas, J. A., & Cunha, A. G. (2010). *Polymer extrusion- setting the operating conditions and defining the screw geometry*. Institute for Polymers and composites/13 N, University of Minho, Campus de Azurém, Guimaraes, Portugal. Recuperado el 25 de octubre de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/55615376.pdf>
- Cuggino, M. I. (2008). *Desarrollo de alimentos precocidos por extrusión a base de maíz-leguminosas. (Tesis Ingeniería Química)* Facultad de Ingeniería Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina. Recuperado el 12 de agosto de 2019, de <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/handle/11185/60>

- Escobar, J. M. (2009). *Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto. (Tesis Ingeniería Química)* Facultad de Ingeniería Universidad de El Salvador, San Salvador. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/177785628/Harina-de-Amaranto>
- Galicia, S. E. (2003). *Evaluación de variedades de Amaranto Amaranthus sp. para la producción de grano y forraje, en el municipio de Chiantla, Huehuetenango. (Tesis Ingeniería Química)* Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Guzmán, R. d. (s.f.). *Investigación nutricional de Amaranto* Obtenido (Tesis Ingeniería Química) Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=184:seguridad-alimentaria-y-nutricional&Itemid=254
- Guy, R. (2000). *Extrusion cooking technologies and applications*. Washington D. C.: woodhead publishing limited. Recuperado el 10 de septiembre de 2019
- Locke, J. C., Loubes, M. A., & Tolaba, M. (2015). *Efecto de la granulometría de la harina de arroz en el volumen y alveolado del pan de molde libre de gluten*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) Argentina, Buenos Aires Argentina. Recuperado el 22 de octubre de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/318429922_Efecto_de_la_granulometria_de_la_harina_de_arroz_en_el_volumen_y_alveolado_del_pan_de_molde_libre_de_gluten
- López, E. C., Jaimez, J., Porras, G., Juárez Santillán, L. F., Añorve Morgan, J., & Villanueva Rodríguez, S. (2010). *Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de harinas para prepara atole de amaranto. (Tesis Ingeniería Química)* Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, Hidalgo, México. Recuperado el 23 de octubre de 2019, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222010000200012

- Martínez, E. S., & Mátar, I. D. (2017). *Elaboración de harina de amaranto*. (Tesis Ingeniería Química) Facultad de Ingeniería UTN Facultad regional San Rafael. Recuperado el 22 de Octubre de 2019
- Morales, P. A., & Bornacelli Castillo, J. F. (s.f.). *Metodología para el diseño de tornillos de máquinas extrusoras monohusilo*. (Tesis Ingeniería Química) Facultad de Ingeniería Universidad autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Recuperado el 25 de octubre de 2019, de <https://editorial.uao.edu.co/media/pdf-g/metodologia-para-el-diseno.pdf>
- Peláez, J. M. (2013). *Harina y derivados, féculas y almidones*. (Tesis Ingeniería Química) Facultad de Ingeniería Universidad autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Recuperado el 15 de febrero de 2018, de <https://editorial.co/media/pdf>
- Hernández Garciadiego Raúl, G. H. (1998). *Amaranto historia y promesa. Horizonte del tiempo Vol. 1*, 1-3.
- Rauwendaal, C. (s.f.). *Polymer Extrusion* (Vol. 3 edición). Estados Unidos: Hanser Publisher Cincinnati. Recuperado el 24 de octubre de 2019, de https://www.academia.edu/19085427/Polymer_Extrusion_5E_Rauwendaal?auto=download
- Resio, A. N. (1999). Almidón de Amaranto: *Obtención y evaluación de sus características fisicoquímicas*. (Tesis de Postgrado). Facultad de Postgrados Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Ribotta, P. D., Pérez, G., Morcillo, M., & León, A. E. (2003). *Influencia del contenido de almidón dañado sobre calidad galletitera en harina de triticale*. (Tesis Ingeniería Química) Facultad de Ingeniería Universidad autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Recuperado el 25 de octubre de 2019, de <https://editorial.uao.edu.co/media/pdf-g/metodologia-para-el-diseno.pdf>

Sánchez, C. S. (2007). *Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de amaranto (Amaranthus hypocondriacus) (Tesis Ingeniería Química)* Facultad de Ingeniería Universidad autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Recuperado el 25 de octubre de 2019, de <https://editorial.uao.edu.co/media/pdf-g/metodologia-para-el-diseno.pdf> *cultivado en San Luis Potosí*. San Luis Potosí: IPICYT.

Sánchez, Silvana de;. (diciembre de 2008). *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/i1500e/Guatemala.pdf>

Sierra, L. F. (2005). *Aplicación de una herramienta de ingeniería asistida por computadora para el análisis unidimensional de tornillo de extrusión de termoplásticos. (Tesis Ingeniería Química)* Facultad de Ingeniería Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Recuperado el 5 de julio de 2019

Tello, C. (s.f.). Obtenido de *Descripción de la unidad de extrusor*: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tello_c_vr/capitulo3.pdf

Verdú, G. M. (2016). *Estudio, diseño, simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico. (Tesis Ingeniería Química)* Facultad de Ingeniería Universidad Politécnica de València campus D'Alcolí, Valencia. Recuperado el 15 de agosto de 2019. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/72723/MOYA>

Vo. Bo. 
Lcda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria CUNSUROC. 

XV. Anexos



Figura 1. Semilla de Amarantho (*Amaranthus spp.*)

Fuente: Evaluación de variedades de *Amaranthus spp.*

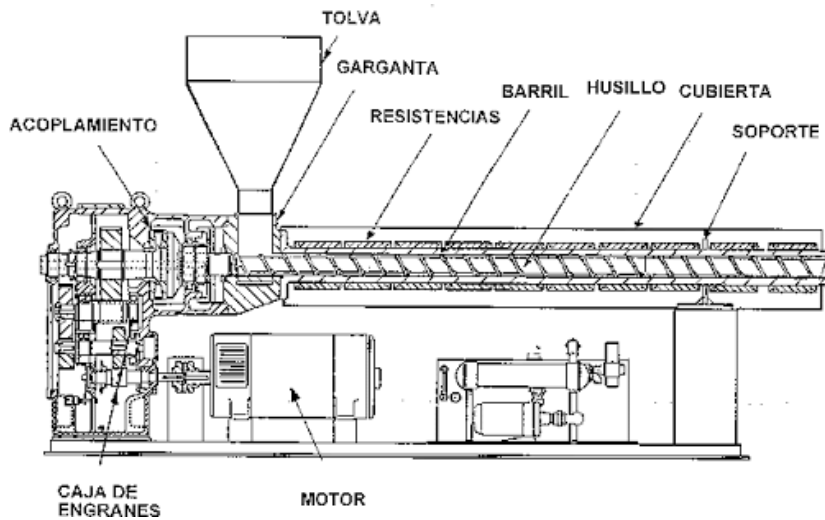


Figura 2. Componentes generales de una máquina extrusora

Fuente: empaque de plástico México S.A. de C.V. 2010

Tabla 8. Uso del almidón en la industria

Uso en la industria	Especificación
Espesante	Por su capacidad de hinchamiento en solución, el almidón es un espesante utilizado en productos alimenticios, gomas y adhesivos
Vehículo	Su compatibilidad con ingredientes diversos lo hacen un excelente vehículo o extensor de diversos productos farmacéuticos
Gelificante	Las cualidades de retrogradación de los almidones permiten usarlos como gelificantes en diversos productos
Sustrato de fermentación	Excelente funcionalidad como fuente de carbohidratos fermentables
Agente de Acabado	La propiedad de formar películas resistentes y lisas, es aprovechada para dar acabados en superficies en diferentes tipos de industria
Aglutinante	La capacidad de formar pastas viscosas permite al almidón la posibilidad de uso como ligante o aglutinante
Control de Textura	El almidón funciona como un medio eficaz para el control de la consistencia
Agente de moldeo	El almidón crudo tiene la capacidad de retener formas estampadas sobre su superficie

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería de Guatemala 2008

Tabla 9. Caracterización de Variables del proceso de extrusión

Variables independientes	Humedad
	Tipo y composición del material
	Intercambio de calor
	Temperatura
	Grado de alimentación
	RPM
Variables independientes del diseño	Geometría
	Cilindro
	Tornillo
	Boquilla
	Presión
	Temperatura
Respuestas	Caudal Másico
	E. mecánica
	Distribución de tiempo de residencia
	Propiedades del producto

Fuente: desarrollo de alimentos pre cocidos por extrusión de maíz leguminosas 2012

Tabla 10. Valores críticos de la distribución T de Student

Nivel de significancia DOS COLAS

	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.36	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07
27	0.68	1.18	1.31	1.69	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06
28	0.68	1.17	1.31	1.69	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05
29	0.68	1.17	1.31	1.69	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04
30	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03
31	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.000
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.000
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
39	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
40	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97
	0.250	0.125	0.100	0.05	0.025				

XVI. Apéndice

Tabla 11. Resultados expresados porcentaje soluble sobre 100 gramos

No.	Grupo A (sin extraer)	Grupo B (extraído)
1	35.00	37.67
2	36.67	36.00
3	32.67	35.67
4	33.67	34.67
5	34.33	36.67
6	35.33	36.33
7	33.33	37.67
8	32.67	36.67
9	37.33	36.33
10	34.33	37.33
11	34.00	35.00
12	33.67	36.67
13	34.67	36.00
14	35.67	35.33
15	35.33	36.67
16	34.67	36.33
17	34.33	33.33
18	35.67	36.67
19	34.33	36.67
20	34.33	37.67

Fuente: elaboración propia 2021

XVII. Glosario

- 1. Almidón:** es un polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas, constituido por amilosa y amilopectina. Proporciona el 70-80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. (Ecured, 2010)
- 2. Almidón modificado:** el Almidón Modificado es un aditivo ampliamente utilizado en la industria de alimentos por su versatilidad al permitir otorgar características a prácticamente todos los segmentos del mercado. (Ecured, 2010)
- 3. Almidón nativo:** los almidones nativos se obtienen a partir de las fuentes de cereales (a partir de grano o subproductos) conservando la estructura nativa del almidón, su utilidad consiste en que regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades gelificantes y espesantes. (Ecured, 2010)
- 4. Aminoácido:** los aminoácidos son moléculas que se combinan para formar proteínas. Los aminoácidos y las proteínas son los pilares fundamentales de la vida. (Ecured, 2010).
- 5. Amilopectina:** la amilopectina es un polisacárido que se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular parecida a la de un árbol: las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 25-30 unidades lineales de glucosa. (Ecured, 2010)
- 6. Amilosa:** la amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos, que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D--glucana cuya unidad repetitiva es la a-maltosa. (Ecured, 2010)
- 7. Analito:** en química analítica un analito es el componente (elemento, compuesto o ion) de interés analítico de una muestra. Son especies químicas cuya presencia o concentración se desea conocer. (Ecured, 2010)
- 8. Balance de energía:** es un conjunto de relaciones de equilibrio que cuantifica los fluidos del proceso de producción, intercambio, transformación y consumo final de energía, expresados en una unidad común Joules (PJ). (Ecured, 2010)
- 9. Camisas:** las camisas de cilindros son piezas perforadas de forma cilíndrica, por la cual se desplazan los émbolos, cuyas paredes interiores son de superficies lisas y en algunos casos cromadas para mayor resistencia al desgaste. (Ecured, 2010)

- 10. Calibración:** la calibración significa utilizar un estándar de medición, para determinar la relación entre el valor mostrado por el instrumento de medición y el valor verdadero. La confiabilidad de un instrumento de medición se puede garantizar al calibrarlo de acuerdo con un estándar de medición. (Ecured, 2010)
- 11. Cenizas:** a todos los componentes inorgánicos de los alimentos se les llama colectivamente ceniza, aunque algunos de ellos se volatilizan al quemar los alimentos. (Ecured, 2010)
- 12. Centrifugación:** la centrifugación es un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos de diferente densidad por medio de una fuerza giratoria. (Ecured, 2010)
- 13. Ceroso:** que tiene alguna de las características propias de la cera, como el color, la textura, etc. (Ecured, 2010)
- 14. Compresión:** la compresión es la aplicación de fuerzas hacia adentro equilibradas a diferentes puntos de un material o estructura, es decir, fuerzas sin suma neta o torque dirigidos para reducir su tamaño en una o más direcciones. (Ecured, 2010)
- 15. Contenido de agua ligada:** el agua ligada representa sólo una pequeña parte del total de agua presente. Corresponde aproximadamente a la primera capa de moléculas de agua adyacentes a los grupos hidrofílicos. (Ecured, 2010)
- 16. Codex Alimentarius:** el Codex Alimentarius es una colección de normas, códigos de práctica, directrices y otras recomendaciones internacionalmente reconocidas relacionadas con los alimentos, la producción de alimentos y la inocuidad de los alimentos. (Ecured, 2010)
- 17. Densidad:** relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón. (Ecured, 2010)
- 18. Desnaturalización de proteína:** la desnaturalización de una proteína a menudo implica el cambio desde una conformación globular o fibrosa específica hasta una estructura al azar. (Ecured, 2010)
- 19. Dextrinación:** proceso por el cual las moléculas de almidón se rompen en componentes de color oscuro y dulces por exposición al calor seco. (Ecured, 2010)

- 20. Energía Mecánica:** la energía mecánica de un cuerpo o de un sistema físico es la suma de su energía cinética y la energía potencial. (Ecured, 2010)
- 21. Engrudo:** el engrudo es un material adhesivo que se emplea para pegar carteles o papel pintado y realizar obras de artesanía con papel y cartón o papel maché. (Ecured, 2010)
- 22. Enlace alfa:** existen dos tipos de enlace glucosídico, el llamado enlace O glucosídico, mediante el cual se unen monosacáridos, y el enlace N glucosídico (el cual se describirá más adelante), mediante el cual se unen un azúcar y un compuesto aminado. (Ecured, 2010)
- 23. Enlaces moleculares:** un enlace químico es el proceso químico responsable de las interacciones atractivas entre átomos y moléculas, y que confiere estabilidad a los compuestos químicos diatómicos y poliatómicos. (Ecured, 2010)
- 24. Estructura semicristalina:** Un polímero semicristalino es un polímero que contiene dos regiones claramente definidas en su estado sólido. ... Los polímeros están formados por cadenas muy largas de unidades repetitivas llamadas monómeros, esto diferencia a este tipo de materiales de los formados por moléculas pequeñas, como el agua o el octano. (Ecured, 2010)
- 25. Fluido newtoniano:** un fluido newtoniano es un fluido cuya viscosidad puede considerarse constante. (Ecured, 2010)
- 26. Flujo helicoidal:** se denomina flujo helicoidal a un proceso momentáneo que tiene lugar desde el interior de la curvatura hacia su exterior. (Ecured, 2010)
- 27. Gelatinización:** la gelatinización es un proceso irreversible de transición de fase, donde los gránulos de almidón se unen para formar una red polimérica amorfa. Posterior a la hinchazón, se presenta la desestructuración del gránulo y la solubilización de las moléculas de amilosa y amilopectina en el solvente. (Ecured, 2010)
- 28. Gelificante:** los espesantes y gelificantes alimentarios, a veces llamados, gomas hidrosolubles o hidrocoloides, son macromoléculas que se disuelven o dispersan fácilmente en el agua para producir un aumento muy grande de la viscosidad y en ciertos casos, un efecto gelificante. (Ecured, 2010)

- 29. Germoplasma:** el germoplasma es el conjunto de genes que se transmite por la reproducción a la descendencia por medio de gametos o células reproductoras. (Ecured, 2010)
- 30. Glucomananos:** esta fibra se convierte en una pasta viscosa en el estómago, mezclada con la comida. De esta manera, ayuda al tránsito intestinal, como otras fibras hidrosolubles. (Ecured, 2010)
- 31. Glucosa:** la glucosa es un monosacárido con fórmula molecular $C_6 H_{12} O_6$. Es una hexosa, es decir, contiene 6 átomos de carbono, y es una aldosa, esto es, el grupo carbonilo está en el extremo de la molécula. (Ecured, 2010)
- 32. Glutinoso:** compuesto que tiene la propiedad de pegar o unir una cosa con otra.
- 33. Gradiente térmico:** el gradiente térmico es la variación de temperatura por unidad de distancia. La unidad del gradiente térmico en el sistema internacional es el Kelvin/metro. (Ecured, 2010)
- 34. Herbácea:** planta que tiene el aspecto o las características de la hierba. (Ecured, 2010)
- 35. Humedad:** cantidad de agua evaporada que se genera por calentamiento. (Ecured, 2010)
- 36. Husillo:** un husillo es un tipo de tornillo largo y de gran diámetro, utilizado para accionar los elementos de apriete tales como prensas o mordazas, así como para producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros de fresadoras y tornos, o en compuertas hidráulicas. Puede ser metálico, de madera o PVC. (Ecured, 2010)
- 37. Inflorescencia:** conjunto de flores que nacen agrupadas de un mismo tallo. (Ecured, 2010)
- 38. Imperceptible:** que no se puede percibir. (Ecured, 2010)
- 39. Lisina:** lisina es un aminoácido componente de las proteínas sintetizadas por los seres vivos. Tiene carácter hidrófilo, es uno de los 10 aminoácidos esenciales para los seres humanos, y consecuentemente debe ser aportado por la dieta. (Ecured, 2010)
- 40. Moldeo por inyección:** en ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero, cerámico o un metal en estado

fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. (Ecured, 2010)

- 41. Moldeo por soplado:** el moldeo por soplado es un proceso utilizado para fabricar piezas de plástico huecas gracias a la expansión del material. Esto se consigue por medio de la presión que ejerce el aire en las paredes de la preforma, si se trata de inyección-soplado, o del párison, si hablamos de extrusión-soplado. (Ecured, 2010)
- 42. Moltura:** se le llama moltura al proceso de molienda. (Ecured, 2010)
- 43. Nanómetros:** el nanómetro es la unidad de longitud del Sistema Internacional de Unidades que equivale a una mil millonésima parte de un metro o a la millonésima parte de un milímetro. (Ecured, 2010)
- 44. Parámetro:** un parámetro, generalmente, es cualquier característica o medición que pueda ayudar a definir o clasificar un sistema particular un elemento. (Ecured, 2010)
- 45. Polímeros:** los polímeros son macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros. Estos forman largas cadenas que se unen entre sí por fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas. (Ecured, 2010)
- 46. Solubilidad:** la solubilidad es la capacidad de una sustancia de disolverse en otra llamada solvente. Implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto que se puede disolver en una cantidad determinada de disolvente, a determinadas condiciones de temperatura, e incluso presión. (Ecured, 2010)
- 47. Supramolecular:** estudia las interacciones supramoleculares, esto quiere decir entre moléculas. (Ecured, 2010)
- 48. Troquel:** el troquel es un instrumento o máquina de bordes cortantes para recortar o estampar, por presión, planchas, cartones, cueros, etc. (Ecured, 2010)
- 49. ISA:** índice de solubilidad en agua.
- 50. IAA:** índice de absorción de agua.

Mazatenango, Suchitepéquez 16 de septiembre de 2,021

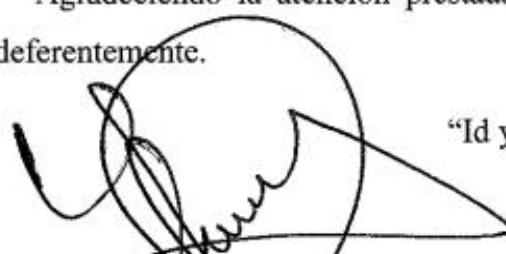
Señores miembros
Comisión de trabajo de graduación
Ingeniería en Alimentos
Centro Universitario de Sur Occidente

Estimados señores:

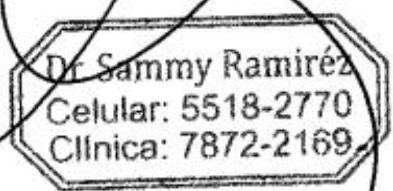
Atentamente, nos dirigimos a ustedes deseándoles toda clase de éxitos en sus actividades cotidianas.

El objeto de la presente es para hacer de su conocimiento que, como asesores, hemos revisado el trabajo de graduación (Seminario II) elaborado por el estudiante T.U. Keneth Oswaldo Hernández Rendón, quién se identifica con el número de carné 201044503, titulado “Evaluación de la capacidad de solubilidad de harina de amaranto (*amaranthus spp.*) en agua a temperatura ambiente a través del proceso de extrusión”. El cual consideramos llena todos los requisitos del reglamento de trabajo de graduación, por lo que solicitamos asignación de fecha para someterse a la evaluación correspondiente.

Agradeciendo la atención prestada y sin otro particular, nos suscribimos de ustedes deferentemente.

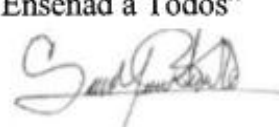


Dr. Sammy Ramirez Juarez
Asesor principal




Dr. Sammy Ramirez
Celular: 5518-2770
Clínica: 7872-2169

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Silvia Guzmán Téllez
Asesor adjunto



Ing. Ángel A. Solorzano
Asesor adjunto



Ing. Alfonso Solorzano
Ing. en Alimentos
Colegiado 633

Comisión Trabajo de Graduación
Carrera Ingeniería en Alimentos
Centro Universitario de Sur Occidente
Pte.

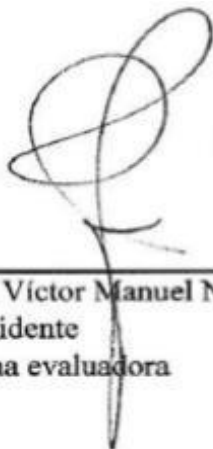
Respetable comisión:

Respetuosamente nos dirigimos a ustedes deseándole toda clase de éxitos en sus labores cotidianas. El objeto de la presente es para hacer de su conocimiento que hemos revisado el Trabajo de Graduación, en su fase de Seminario II, elaborado por el **T.U. Keneth Oswaldo Hernández Rendón con número de carné 201044503 titulado:**

“Evaluación de la capacidad de solubilidad de harina de Amarantho (*Amaranthus spp.*) en agua a temperatura ambiente a través del proceso de extrusión”

El cual consideramos llena todos los requisitos del Reglamento de Trabajo de Graduación, exigidos por la Carrera de Ingeniería en Alimentos, para que continúe con el proceso correspondiente.

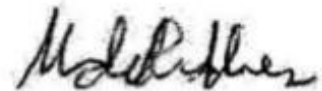
Sin otro particular nos suscribimos de ustedes,



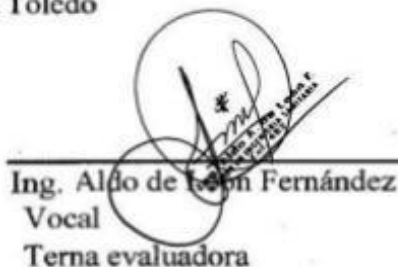
Ing. Víctor Manuel Nájera Tolledo
Presidente
Terna evaluadora

Atentamente,

ID Y ENSEÑAR A TODOS



Dr. Marco Antonio Del Cid Flores
Secretario
Terna evaluadora



Ing. Aldo de León Fernández
Vocal
Terna evaluadora

Mazatenango, 15 de noviembre de 2021.

M.Sc. Ing. Víctor Manuel Nájera Toledo
Coordinador Carrera de Ingeniería en Alimentos.
CUNSUROC –USAC–.
Presente.

Le escribo cordialmente, deseándole éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente, es para informarle que la Comisión de trabajo de graduación ha recibido el informe revisado de los asesores nombrados y las correcciones correspondientes de la terna evaluadora de la evaluación de seminario II, del Trabajo de Graduación titulado: “Evaluación de la capacidad de solubilidad de harina de amaranto (*Amaranthus spp.*) en agua a temperatura ambiente a través del proceso de extrusión” del (la) estudiante: Keneth Oswaldo Hernández Rendón, identificado (a) con número de carné: 201044503.

El documento antes mencionado presenta los requisitos establecidos de redacción y corrección, para que proceda con los trámites correspondientes, para obtener el **Imprimase**.

Deferentemente.



M.Sc. Ing. Marvin Manolo Sánchez López.
Secretario de Comisión de Trabajo de Graduación
Carrera de Ingeniería en Alimentos

Mazatenango, 15 de noviembre de 2021.

Ph.D. Mynor Raúl Otzoy Rosales

Coordinador Centro Universitario de Sur Occidente.

CUNSUROC –USAC–.

Presente.

Le escribo cordialmente, deseándole éxitos en sus labores diarias.

De conformidad con el cumplimiento de mis funciones, como Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Alimentos del Centro Universitario del Suroccidente – CUNSUROC-, de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC–, he tenido a bien revisar el informe de trabajo de gradación titulado: **“Evaluación de la capacidad de solubilidad de harina de amaranto (*Amaranthus spp.*) en agua a temperatura ambiente a través del proceso de extrusión”** el cual ha sido presentado por el (la) estudiante: **Keneth Oswaldo Hernández Rendón**, quien se identifica con número de carné: **201044503**.

El documento antes mencionado llena los requisitos necesarios para optar al título de Ingeniero en Alimento, en el grado académico de Licenciado, por lo que solicito la autorización del **Imprímase**.

Deferentemente.



M.Sc. Ing. Victor Manuel Nájera Toledo
Coordinador
Carrera de Ingeniería en Alimentos.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-104-2021

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, el veintidós de noviembre dos mil veintiuno_____

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del Asesor y Revisor, se autoriza la impresión del Trabajo de Graduación Titulado: **“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOLUBILIDAD DE HARINA DE AMARANTO (*Amaranthus spp.*) EN AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE A TRAVÉS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN”**, del estudiante: **Keneth Oswaldo Hernández Rendón** Carné 201044503 CUI: 1740 05784 1001 de la Carrera Ingeniería en Alimentos.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Lic. Luis Carlos Muñoz López
Director

A large, dark, handwritten signature is written over the name and title of the director. To the right of the signature is a circular official stamp of the Centro Universitario del Sur Occidente, U.S.A.C. Mazatenango, with the word "DIRECCION" in the center.

/gris