



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CARRERA QUÍMICA INDUSTRIAL

## MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADA EN QUÍMICA INDUSTRIAL

**Título:** Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua, Agosto 2019 - Marzo 2020

**Autor:**

Bra. Kathia del Carmen Pavón Muñoz

**Tutor:**

Dra. Martha Lorena Lacayo Romero

**Asesor:**

MSc. Samantha Miranda Calero

Ing. Ena Rivers Carcache

MSc. José Prado Arróliga

**Managua, Diciembre 2020**

# ASPECTO GENERALES

## Título

Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua.

## **Dedicatoria**

### **A Dios:**

Por haberme dado salud, sabiduría, guiarme por el camino de bien, infinitamente gracias por estar presente en mis logros y preparación profesional.

### **A mis padres:**

Mi madre Delia Muñoz Rugama y mi padre Enrique Pavón, por ser siempre los pilares de mi vida, sin ellos después de Dios, no hubiera llegado donde estoy, gracias por su apoyo incondicional, los logros que he obtenido se lo dedico a ustedes.

### **A mis hermanos:**

Elmer, Mariela e Isamara Pavón Muñoz por ser parte de mi vida, por brindarme su apoyo emocional, así como inspirarme como hermana mayor para poder superarme y dar un ejemplo a seguir.

### **Demás familiares:**

En especial a la Familia Rojas Muñoz por haberme brindado apoyo y ser mi segunda familia, y a mi madrina Amelia por estar siempre presente en mis estudios.

## **Agradecimiento**

Doy gracias infinitamente a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí y ayudarme a cumplir mi sueño.

Agradezco:

A mis padres por ser el impulso de este logro y darme educación, a pesar de las limitaciones su hija está logrando el sueño familiar; a mi hermano mayor, Elmer Pavón, hermanas menores, Mariela e Isamara Pavón, y sobrino, Elmer Pavón, por ser el motivo para seguir adelante. A mis tías, Salvadora, Amelia Muñoz y Padrino William Rojas, por darme palabras de aliento y apoyo económico en cualquier necesidad. A mi cuñada, Ana Talavera, por su apoyo incondicional.

Al Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), por abrirme las puertas y brindarme el apoyo incondicional para la realización de esta investigación, al igual que a los Fondos para Proyectos de Investigación (FPI) por su cofinanciamiento.

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), en especial a los investigadores Endiana Olivas y Victorino Solís, por brindarme la oportunidad de formar parte de este proyecto de investigación de gran relevancia para nuestro país y por su asesoría en las distintas etapas de este proceso.

A la Dra. Martha Lacayo Romero, Directora del Laboratorio de Biotecnología y también mi tutora. A mis asesores, Ing. Ena Rivers, MSc. Samantha Miranda y MSc. José Luis Prado quienes dedicaron tiempo y aportes a este estudio.

Asimismo, a la Ing. Anielka Dávila, Lic. Martha Jarquín y Nancy Rubio, por su apoyo. A todo el personal investigador del Laboratorio por sus palabras de motivación. Agradezco a mis compañeros Elvis Conde, Justina Rocha, Alejandro Guevara, Shirle Fajardo y Taryn Suazo quienes fueron apoyo en la selección de materia prima y el análisis de las muestras.

## Carta aval de tutor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA

UNAN-MANAGUA

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA



“2020: Año de la Educación con Calidad y Pertinencia”

### CARTA AVAL DEL TUTOR

Managua, noviembre de 2020

**Dr. Frank Medrano Mayorga**  
**Director**  
**Departamento de Química**  
**UNAN-Managua**  
**Su despacho. -**

Estimado Dr. Medrano:

Me dirijo a usted en carácter de tutor de la monografía titulada: **“Evaluación de la composición proximal y bioquímica de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amarantus cruetus* cultivadas en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020”**, presentada por la estudiante: Kathia del Carmen Pavón Muñoz (Nº Carnet: 14040975) para optar al título de Licenciatura en Química Industrial. Este proyecto de investigación fue desarrollado en el Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua en coordinación con el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) y financiando por los Fondos para Proyectos de Investigación (FPI) de la UNAN-Managua, y por este medio hago constar que cumple los requisitos para ser sometido a su presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Atentamente,

Dra. Martha Lacayo Romero  
Directora  
Laboratorio de Biotecnología  
UNAN-Managua

*¡A la libertad por la Universidad!*

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786769 ext.6023, 6227  
[biotecnologia@unan.edu.ni](mailto:biotecnologia@unan.edu.ni)

## Carta aval del asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA**  
**UNAN-MANAGUA**  
**LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA**



“2020: Año de la Educación con Calidad y Pertinencia”

### CARTA AVAL DEL ASESOR TÉCNICO

Managua, noviembre de 2020

**Dr. Frank Medrano Mayorga**  
**Director**  
**Departamento de Química**  
**UNAN-Managua**

Estimado Dr. Medrano:

Por este medio hago constar que la monografía desarrollada por la bachillera kathia del Carmen Pavón Muñoz, carnet 14040975, titulada **“Evaluación de la composición proximal y bioquímica de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amarantus cruetus* cultivadas en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020”**, ha sido concluida y revisada bajo mi asesoría, cumpliendo con todas las disposiciones y requisitos relacionados al área de investigación para optar al título de Licenciatura en Química Industrial.

Saludos cordiales,

Ing. Ena Rivers Carcache  
Investigador

MSc. Samantha Miranda  
Investigador

Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua

*¡A la libertad por la Universidad!*

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786769 ext.6023, 6227  
[biotecnologia@unan.edu.ni](mailto:biotecnologia@unan.edu.ni)



## CARTA AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO



La presente Monografía titulada **"Evaluación de la composición proximal y bioquímica de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 - Marzo 2020"**, ha sido realizado por la bachillera **Kathia del Carmen Pavón Muñoz** bajo la asesoría de mi persona **MSc. José Luis Prado Arróliga**. En mi facultad doy fe de que la bachillera ha cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos en cuanto a la elaboración de la presente investigación para optar al título de Licenciada en Química Industrial, además se declara la autenticidad de la información reflejada en el documento.

Managua, 23 de noviembre de 2020

---

MSc. José Luis Prado Arróliga  
Coordinador Química Industrial  
Departamento de Química  
UNAN-Managua  
**Asesor metodológico**

## Resumen

La presente investigación pretende aportar al conocimiento del amaranto adaptado a Nicaragua por el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Este pseudocereal contiene un alto contenido nutricional, representando una alternativa para la seguridad alimentaria nutricional nicaragüense además del valor agregado de resistencia a sequías. La evaluación de la composición proximal de la harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto (Revancha, Criollo de Amilcingo, Payasa e INTA-Futuro) se realizó empleando métodos de referencia establecidas por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC); mientras para la composición de la actividad antioxidante se aplicó el método Folin-Ciocalteu y el método DPPH para determinar la capacidad antioxidante. Los resultados obtenidos indicaron que las cuatro variedades cumplen los requisitos establecidos por las normas internacionales de alimento para una nutrición saludable. Así como que existe diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) en los parámetros de humedad, materia seca, lípidos, proteína, fibra dietaria, carbohidratos y antioxidante libres causado por el efecto del procesamiento (tostado) de la harina cruda. Esto conlleva a que la temperatura aplicada no interfirió en la composición nutricional principales como proteína, lípidos y carbohidratos.

Palabras clave: *Amarantus cruentus*, Composición proximal, Actividad antioxidante, tratamiento térmico.

## Índice

ASPECTO GENERALES.....	i
Título.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento.....	iii
Carta aval de tutor .....	iv
Resumen .....	vii
Índice.....	viii
Abreviaturas y siglas.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento de problema.....	2
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2.1. Marco teórico.....	7
2.1.1. Origen del amaranto.....	7
2.1.2. Morfología.....	8
2.1.2.1. Planta.....	8
2.1.2.2. Raíz.....	8
2.1.2.3. Tallo.....	8
2.1.2.4. Hoja.....	8
2.1.2.5. Inflorescencia.....	9
2.1.2.6. Fruto.....	9

2.1.2.7. Semilla.....	9
2.1.3. Diversidad de las especies.....	9
2.1.4. Condiciones edafoclimáticas.....	10
2.1.4.1. Clima.....	10
2.1.4.2. Suelo.....	10
2.1.5. Métodos de siembra o propagación.....	11
2.1.5.1. Trasplante.....	11
2.1.5.2. Siembra directa.....	11
2.1.6. Producción nacional.....	11
2.1.7. Composición química del amaranto.....	12
2.1.7.1. Composición proximal.....	13
2.1.7.2. Composición bioactiva.....	18
2.1.8. Procesamiento de alimentos.....	20
2.1.8.1. Harina del grano de amaranto.....	20
2.1.8.2. Tostado.....	21
2.1.9. Producción alimenticia del amaranto.....	23
2.1.10. Tecnología para procesar cereales.....	24
2.1.11. Operaciones unitarias para la obtención de harina de amaranto.....	24
2.2. Antecedentes.....	26
2.3. Hipótesis.....	28
CAPÍTULO III.....	29
3.1. Diseño metodológico.....	29
3.1.1. Descripción del ámbito de estudio.....	29
3.1.2. Tipo de estudio.....	30
3.1.3. Población y muestra.....	30

3.1.3.1. Población.....	30
3.1.3.2. Muestra.....	30
3.2. Variables y operacionalización .....	31
3.2.1. Variables dependientes.....	31
3.2.2. Variables intervinientes.....	31
3.2.3. Variable independiente. ....	31
3.2.4. Operacionalización de variables e Indicadores (MOVI). ....	32
3.3. Materiales y métodos.....	34
3.3.1. Materiales para recolectar información .....	34
3.3.2. Materiales para procesar la información .....	34
3.3.3. Equipos, reactivos y materiales de laboratorio.....	34
3.3.4. Métodos. ....	37
3.3.4.1. Caracterización morfológica del grano de amaranto.....	37
3.3.4.2. Producción de la harina cruda y tostada de amaranto.....	38
3.3.4.3. Métodos para los análisis proximales de harina de amaranto. ....	41
3.3.4.4. Métodos para el análisis de actividad antioxidante de la harina. ....	42
3.3.4.5. Control de calidad. ....	43
3.3.4.6. Análisis estadístico. ....	44
CAPÍTULO IV.....	45
4.1. Análisis de Resultados .....	45
4.1.1. Composición proximal y actividad antioxidante de las muestras de harina cruda y tostada. ....	45
4.1.1.1. Composición proximal.....	45
4.1.1.2. Composición de actividad antioxidante.....	53
4.1.2. Identificar las variedades de la harina cruda y tostada que cumplen los requisitos internacionales recomendados por el comité mixto de FAO y OMS. ....	56

4.1.3. Evaluar el efecto de tostado de la materia prima sobre su composición proximal y actividad antioxidante. ....	59
CAPÍTULO V.....	62
5.1. Conclusiones .....	62
5.2. Recomendaciones .....	64
5.3. Bibliografía.....	65
Anexo .....	75

### Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica del amaranto. ....	7
<b>Tabla 2.</b> Composición proximal (g/100g) del grano de distintas especies de amaranto. ....	13
<b>Tabla 3.</b> Aporte de cenizas del amaranto y otros cereales (g/100g).....	15
<b>Tabla 4.</b> Aporte de proteínas del amaranto y otros cereales (g/100g).....	16
<b>Tabla 5.</b> Lista de materiales empleados. ....	34
<b>Tabla 6.</b> Lista de equipos utilizados.....	36
<b>Tabla 7.</b> Lista de reactivos empleados. ....	36
<b>Tabla 8.</b> Prueba de normalidad .....	59
<b>Tabla 9.</b> Prueba de muestra independiente.....	60
<b>Tabla 10.</b> Prueba de U de Man-Whitney para la determinación de diferencias entre parámetros y tipo de procesamiento .....	61

### Índice de figura

<b>Figura 1.</b> Clasificación de compuesto fenólicos. ....	19
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del sitio de muestreo (INTA-CNIA) en Managua, Nicaragua.....	29
<b>Figura 3.</b> Diagrama de proceso de producción de la harina cruda y tostada de amaranto.....	40

## Índice de grafico

<b>Gráfico 1.</b> Contenido de humedad y materia seca de la harina cruda de las cuatro variedades de amaranto analizadas.....	45
<b>Gráfico 2.</b> Contenido humedad y materia seca de la harina de las cuatro variedades de amaranto con tratamiento térmico .....	46
<b>Gráfico 3.</b> Contenido cenizas de la harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto.....	47
<b>Gráfico 4.</b> Contenido lípido de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto.....	49
<b>Gráfico 5.</b> Contenido de proteína de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto.....	50
<b>Gráfico 6.</b> Contenido de Fibra dietaria de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto.....	51
<b>Gráfico 7.</b> Contenido de carbohidratos totales de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto.....	52
<b>Gráfico 8.</b> Contenido de compuesto polifenolico en harina cruda de las cuatro variedades de amaranto.....	53
<b>Gráfico 9.</b> Contenido de compuesto polifenolicos en harina tostada de las cuatro variedades de amaranto.....	54
<b>Gráfico 10.</b> Contenido de actividad antioxidante de la harina cruda en las cuatro variedades de amarantos.....	55
<b>Gráfico 11.</b> Contenido de actividad antioxidante de la harina tostada en las cuatro variedades de amarantos.....	56

## Abreviaturas y siglas

AACC:	American Association of Cereal Chemist.
ABTS:	2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid).
AOAC:	Association of Official Analytical Chemists (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales).
CEPAL:	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CNIA:	Centro Nacional de Investigación Agropecuaria.
DPPH:	2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl.
ENDESA:	Encuesta Nicaragüense de Demografía y Salud.
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).
GK:	Grano de Kiwicha.
GKT:	Grano de Kiwicha tostado.
HKT:	Harina de Kiwicha tostado.
INETER:	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
INIA:	Instituto Nacional de Innovación Agraria.
INIDE:	Instituto Nacional de Desarrollo.
INTA:	Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria.
MDP:	Ministerio de Desarrollo Productivo.
MINED:	Ministerio de Educación.
MINSA:	Ministerio de Salud.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
OPS:	Organización Panamericana de la Salud.
qq/Mz:	Quintales por manzana.
SAN:	Seguridad Alimentaria y Nutricional.
SPPS:	Statistical Package for the Social Sciences.

## **CAPÍTULO I**

### **1.1. Introducción**

La demanda de alimentos para consumo humano es una necesidad permanente y en constante crecimiento, y hoy en día el público consumidor busca fuentes de sustento saludables y nutritivas. El amaranto es un pseudocereal que es considerado un gran alimento puesto que se posiciona como una de las plantas de mayor provecho ya que es utilizada para la elaboración de productos alimenticios nutritivos. Según la FAO y OMS, el grano de amaranto contiene aminoácidos esenciales y presenta un balance similar al óptimo requerido para la dieta humana puesto que representa 75%, superando a la soja (68%), trigo (60 %) y maíz (44). Asimismo, su contenido de lípidos ronda el 8% aproximadamente y es considerado de buena calidad al ser de origen vegetal. Los hidratos de carbono representan 50 a 60%.

En Nicaragua desde el 2007 se inició a trabajar con amaranto mediante el proyecto: Amaranth: Future-Food, cuyo propósito fue dar a conocer y promover el cultivo de *Amaranthus* debido a su relevancia por su contenido nutricional y resistencia a cambios climáticos. Desde entonces este rubro ha representado una alternativa productiva de calidad para el país, especialmente en zonas afectadas por las sequías. Para el año 2014, el INTA comenzó a fortalecer las investigaciones agronómicas en amaranto a fin de orientar su importancia mediante capacitaciones dirigidas a las familias productoras nicaragüenses.

En esta investigación se pretende analizar las cuatro variedades que han sido cultivadas en las condiciones agroclimáticas de nuestro país por parte del INTA a fin de identificar la variedad adaptada y la mejor composición proximal y actividad antioxidante así como el efecto del tostado sobre las mismas, que como se sabe, es una etapa fundamental para desarrollar un nuevo producto a partir del grano como materia prima, y así contribuir a la industrialización de este alimento, donde las transformaciones o procesamiento a distintas escalas deben generar el mejor beneficio tanto para el vendedor como para el consumidor.

## **1.2. Planteamiento de problema**

En Nicaragua la seguridad Alimentaria Nutricional (SAN) es afectada por múltiples factores. La mala nutrición y la desnutrición han representado una problemática permanente a lo largo de los años debido a la adopción de malos hábitos alimenticios, que no siempre están vinculados a condiciones de pobreza. El estilo de vida moderno ha hecho que la población necesite cada vez, con mayor frecuencia, alimentos fáciles de consumir que puedan ingerirse en cualquier momento y que brinden una sensación de saciedad.

Estos alimentos deberían cubrir sus demandas de energía y nutrientes para mantener una vida sana y activa, sin embargo, la comida chatarra, que ha venido suplantando al alimento que contiene mayor valor nutricional o compuestos no nutrientes pero necesarios para el buen funcionamiento del sistema inmunológico, contiene compuestos que con el paso del tiempo pueden provocar afectaciones a la salud.

Debe mencionarse que esta problemática no afecta solo a adultos. Según la Encuesta Nicaragüense de Demografía y Salud (ENDESA) realizada en el período 2011 al 2012, la desnutrición es una enfermedad que afecta mayormente a los niños menores de cinco años: uno de cada tres niños tiene deficiencia proteica y energética que puede manifestarse en incapacidades de por vida, mayor propensión a sufrir enfermedades y una menor capacidad de aprendizaje.

El cambio climático constituye otra amenaza para la SAN debido a su impacto en el sector agrícola, manifestándose en una tendencia decreciente en la producción, el rendimiento y la calidad de los cultivos, ocasionado principalmente por la incidencia de plagas y enfermedades, así como a la incapacidad de los cultivos de adaptarse al nuevo ambiente. Los cambios en las condiciones climáticas promedio (precipitación y temperatura) del período de 1972 al 2001 se han traducido en pérdida de aproximadamente de 29.1 millones de dólares.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Los cambios futuros que se proyectan incluyen un riesgo creciente, sobre todo para los países en desarrollo con vulnerabilidad socioeconómica y deterioro ambiental como es el caso de Nicaragua, cuya dieta depende fundamentalmente de la producción de maíz y frijol, cultivos que, según el estudio realizado por CEPAL, serán gravemente afectados repercutiendo de manera importante en la economía del país.

En base a todo lo anterior surge la necesidad de estudiar diferentes alternativas de alimentación que puedan aportar nutritivamente a la dieta de la población nicaragüense, y a su vez, que constituyan opciones culturalmente aceptables y adaptables a condiciones ambientales extremas, principalmente en zonas vulnerables como el corredor seco del país.

### **1.3. Justificación**

El amaranto (*Amaranthus* spp.) es un pseudocereal ancestral ampliamente cultivado en México y Sur América con múltiples aplicaciones alimenticias e industriales. Existen estudios de diversas especies dentro de este género, entre ellas *Amaranthus cruentus*, que según investigaciones internacionales es considerado un súper alimento por su composición nutricional, específicamente asociado a su alto contenido proteínico, representando una alternativa para la SAN de los países que lo cultivan.

Otro beneficio del amaranto es su rápido crecimiento debido a que es una de las pocas especies de plantas que, sin ser un pasto, utiliza la ruta C-4 para la fijación de carbono, brindándole la propiedad de crecer de forma silvestre y adaptarse a varios ambientes, es decir, es resistente a altas y bajas temperaturas, alta salinidad y sequías, entre otras condiciones adversas.

En nuestro país, la especie *A. cruentus* no es un cultivo tradicional, razón por la cual no es muy conocida en todas las regiones, sin embargo, debido a todas sus propiedades y adaptabilidad se proyecta como un cultivo con aporte potencial al SAN nicaragüense. Debido a todo lo anterior, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) fomenta el cultivo y consumo de cuatro variedades de *A. cruentus*: INTA Futuro, Criollo de amilcingo, Revancha y Pasaya, que han sido validadas agronómicamente en nuestro país.

Actualmente no se han realizado estudios acerca de la composición proximal y actividad antioxidante de los granos producidos, por lo tanto, esta investigación pretende hacer un análisis de lo antes mencionado a fin de aportar información científica sobre este gran alimento y su potencial valor agregado. Este estudio pretende identificar la variedad con mejor contenido nutricional y dar una valoración del efecto del procesamiento sobre esta materia prima, ya que, según algunas investigaciones, la harina tostada tiene un mayor valor proteico asociado a la reacción Millard.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

El conocimiento sobre el valor nutricional y la adaptabilidad agronómica del amaranto en Nicaragua brindará las pautas para continuar profundizando en este rubro y que la población nicaragüense, principalmente las familias productoras, la conozcan y se apropien de éste como una nueva alternativa que podría llegar a representar un cultivo de gran relevancia para el país, sobre todo en las zonas de mayor vulnerabilidad.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general.**

Analizar la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

1. Determinar la composición proximal y actividad antioxidante de las muestras de harina cruda y tostada de las variedades (Criollo de amilcingo, Payasa, Revancha e INTA-Futuro)

2. Identificar las variedades de la harina cruda y tostada que cumplen los requisitos internacionales recomendados por el comité mixto de FAO /OMS.

3. Evaluar el efecto del tostado de la materia prima sobre su composición proximal y actividad antioxidante.

## CAPÍTULO II

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Origen del amaranto.

Todas las especies del género *Amaranthus* que son utilizadas para la producción son cultivadas mayormente en América, donde su origen es proveniente de este continente según lo encontrado por Mac Nieshs en 1964 (citado por Mapes, 2015) mediante evidencia arqueológica obtenida de excavaciones, así como varios estudios que confirman que los indígenas utilizaban las hojas y las semillas para rituales religiosos y cultivaban esta planta durante la fase Coxcatlán (5 200 a 3 400 a.C.).

El género *Amaranthus* tiene 70 especies: 55 de origen americano y 15 de origen en Europa, Asia, África y Australia. Las especies más investigadas son *Amaranthus cruentus* originaria de Guatemala y el suroeste de México; *Amaranthus caudatus* con mejor adaptación a bajas temperaturas en comparación con otras especies y originaria de los Andes, y finalmente el *Amaranthus hyponchondriacus* cultivado desde el tiempo de los aztecas hasta la actualidad y se encuentra ampliamente distribuida en México (tabla 1).

Tabla 1.

*Clasificación taxonómica del amaranto.*

Reino	Vegetal
División	Fanerógama
Tipo	Embryophytasiphonogama
Subtipo	Angiosperma
Clase	Dicotiledoneae
Subclase	Archyclamideae
Orden	Centrospermales
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Amaranthus</i>
Sección	<i>Amaranthus</i>
Especies estudiadas	<i>cruentus</i>

Fuente: (Chagaray, 2005).

## **2.1.2. Morfología.**

Jiménez (2017) establece la siguiente morfología del amaranto:

### **2.1.2.1. Planta.**

El amaranto es una especie que alcanza gran desarrollo en suelos fértiles; en algunos casos supera los dos metros de altura. Generalmente tiene un solo eje central, aunque también se presentan ramificaciones desde la base y a lo largo del tallo.

### **2.1.2.2. Raíz.**

Es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes. La raíz principal sirve de sostén a la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja. Las raíces primarias llegan a tomar consistencia leñosa que anclan a la planta firmemente y que en muchos casos sobre todo cuando crece algo separado de otras, alcanza dimensiones considerables. En caso de ataque severo de nematodos se observan modulaciones prominentes en las raicillas.

### **2.1.2.3. Tallo.**

Es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada; alcanza de 0,4 a 3,0 m de longitud, cuyo grosor disminuye de la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coincide con el color de las hojas, aunque a veces se observan estrías de diferentes colores, presenta ramificaciones que en muchos casos empiezan desde la base o a media altura y que se originan de las axilas de las hojas. El número de ramificaciones es dependiente de la densidad de población en la que se encuentre el cultivo.

### **2.1.2.4. Hoja.**

Son pecioladas, sin estípulas de forma oval, elíptica, opuesta o alterna con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero, de tamaño variable de 6,5-15,0 cm.

#### **2.1.2.5. Inflorescencia.**

Son numerosas, tiene un comportamiento autógamo en alto porcentaje, pero por acción del viento y los insectos presentan fecundación cruzada. Las flores son pistiladas o estaminadas. Las pistiladas presentan estigmas receptivos varios días antes que maduren los estambres. El androceo está formado por cinco estambres con anteras de color amarillo. El gineceo presenta ovario esférico, súpero, coronado por tres estigmas filiformes y pilosos, que aloja a una sola semilla. Todas las flores (pistiladas y estaminadas) tienen una bráctea y cinco sépalos.

#### **2.1.2.6. Fruto.**

Es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, que a la madurez se abre para dejar caer la parte superior u opérculo, dejando al descubierto la parte inferior llamada urna, donde se aloja la semilla, la misma que se desprende fácilmente dando lugar a una fuerte dehiscencia o caída de las semillas.

#### **2.1.2.7. Semilla.**

La semilla es muy pequeña, lisa brillante, el color varía dependiendo de la especie y de forma ovoide. El número de semillas por panoja es aproximadamente 1 800, de las cuales 82,0% son normales y 18,0% son mal formadas o inmaduras. La semilla es dura, lo que genera dificultad para moler. En el grano se distinguen el episperma o cubierta de las semillas, el endosperma o segunda capa, el embrión formado por los cotiledones y la parte más interna llamada perisperma (anexo 1, figura 1.1).

#### **2.1.3. Diversidad de las especies.**

Las especies de *Amaranthus* se caracterizan por la variabilidad que existe entre ellas, ya sea en el tamaño de la hoja, el color de la semilla u otras características, sin embargo existe mucha confusión en la diferenciación de la nomenclatura y la clasificación del *A. cruentus* y el *A. hypochondriacus*, especies con alta semejanza que comparten distribución geográfica (Greizerstein, 1995) (anexo 1, figura 1.2). Las diferencias morfológicas entre las tres principales especies de amaranto se resumen en

la tabla 1.1 (anexo 1). Cabe mencionar que su diferenciación no es visualmente perceptible en muchos casos.

El interés de la presente investigación se enfoca en la especie *A. cruentus*, de la cual actualmente el INTA ha adaptado cuatro variedades a las condiciones agroclimáticas de Managua y otros departamentos: Payasa, Revancha, INTA Futuro y Criollo de amilcingo. Estas variedades son un grupo de plantas que presentan una serie de características comunes, pero no necesariamente poseen el mismo valor nutricional.

#### **2.1.4. Condiciones edafoclimáticas.**

El amaranto tiene un amplio rango de adaptabilidad tanto a tipos de suelo como a climas. Asimismo, este cultivo presenta una amplia adaptación a condiciones de altitud que van desde el nivel del mar hasta los 3 710 msnm (Jiménez, 2017).

##### **2.1.4.1. Clima.**

El amaranto presenta mejor desarrollo cuando las altas temperaturas diarias alcanzan un promedio no inferior a 15,0°C, razón por la que temperaturas entre 18 y 24°C se consideran óptimas para su cultivo (Grandes, 2015). Cabe mencionar que muchos experimentos han demostrado una excelente germinación en rango de temperaturas de 16,0 y 35,0°C (Agundes, 2018; Jiménez, 2017; Aguilar 2012).

Se debe resaltar que las especies *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* son tolerantes a las altas temperaturas, pero no son resistente a heladas y su crecimiento cesa a temperatura cercanas a 8,0°C sufriendo daño fisiológicos a 4°C (Agundes, 2018).

##### **2.1.4.2. Suelo.**

Se deben preferir suelos de textura franca, con un buen contenido de materia orgánica y nutriente. Asimismo, presenta un mejor comportamiento en suelos arcillosos y anegados con un pH neutro o alcalino generalmente superior a 6 (Grandes, 2015). El amaranto requiere 80% de humedad en el suelo durante la germinación de la semilla y

durante su crecimiento inicial. Luego que las plántulas se han establecido prosperan muy bien en ambientes con humedad limitada (Jiménez, 2017).

### **2.1.5. Métodos de siembra o propagación.**

La semilla de amaranto se encuentra en la panoja. El INTA (2018) estableció que una panoja cultivada en Nicaragua produce como mínimo de 40 a 60 gramos de semilla por planta. Para establecer una manzana se necesitan aproximadamente de 18 onzas de semillas, equivalente a 12 o 15 panojas. La siembra de amaranto puede realizarse de dos maneras en dependencia del tamaño del área a cultivar: por trasplante y mediante siembra directa.

#### **2.1.5.1. Trasplante.**

Se utiliza cuando un área de siembra es igual a un cuarto ( $2\ 500\ \text{vr}^2$ ) o media manzana ( $5\ 000\ \text{vr}^2$ ). Se realiza después de 15 a 20 días de la siembra cuando las plántulas presentan de cuatro a seis hojas.

#### **2.1.5.2. Siembra directa.**

Se realiza a chorrillo, cuando el área es igual o mayor a 1 manzana. Para evitar que el viento cause pérdidas de semillas y garantizar una distribución uniforme se recomienda mezclar la semilla con arena. Después de 15 a 20 días de la siembra se realiza el raleo dejando de cuatro a seis plantas por metro lineal. Las distancias de siembra recomendadas entre plantas son de 20 centímetros y de 70 centímetros entre calles o surcos, para obtener aproximadamente 40 000 a 50 000 plantas por manzanas (INTA, 2018).

### **2.1.6. Producción nacional.**

El amaranto no es un cultivo tradicional en Nicaragua, razón por la cual este rubro es poco conocido, sin embargo la planta se comenzó a cultivar en el país desde 2006 por parte de la cooperativa de Chinantlán bajo el proyecto Amaranth: Future-food, investigación financiada por el VI Programa Marco de la Comisión Europea, mediante el cual se realizó la siembra de 12 genotipos distintos demostrándose que solamente el

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

*A. cruentus*, *A. cruentus* mexicano, *A. hypochondriacus*, *hybridus* y tricolor, fueron capaces de adaptarse a las condiciones climatológicas del sitio de estudio. De igual manera se determinó que la especie con mayor adaptabilidad fue el *A. cruentus* produciendo 11 quintales de semilla (Lacayo y Jarquín, 2020).

Por su parte, el INTA a partir de 2014 trabaja en la validación del amaranto con el interés de promoverlo para diversificar las fincas y aportar a la seguridad alimentaria de las familias productoras del país. Se debe mencionar que la población nicaragüense conoce tradicionalmente una especie de amaranto con el nombre común de “Bledo” (*Amaranthus spinosus*), la cual es considerada una maleza que afecta a cultivos importantes como maíz, yuca y maní. Según Oo, Htun, Min & Hlaing (2016) el bledo es un hospedero alternativo de nematodos incluyendo *Meloidogyne acrita* y *Meloidogyne incognita*, y de plagas como *Spoptera litura*; esta maleza también es tóxica para el ganado y sus espinas pueden causar lesiones a las personas.

### **2.1.7. Composición química del amaranto.**

El amaranto en general es un alimento con un alto valor nutricional debido a su alto contenido de proteínas, carbohidratos, grasa y minerales (tabla 2). La calidad nutricional de un alimento depende de la concentración y calidad de los nutrientes presentes. En los cereales, la concentración de nutrientes es influenciada por la variedad del cereal, la región en la cual se cultiva, las prácticas agronómicas que se le aplican y el tipo de procesamiento empleado para su transformación en harina (Repo-Carrasco, 1998 citado por Chamorro, 2018).

Tabla 2.

*Composición proximal (g/100g) del grano de distintas especies de amaranto.*

<b>Componentes</b>	<b><i>A. caudatus</i></b>	<b><i>A. cruentus</i></b>	<b><i>A. hypochondriacus</i></b>
Proteínas crudas	13,0	14,1	15,6
Extracto etéreo	6,0	6,0	6,1
Fibra cruda	4,0	2,9	5,0
Cenizas	2,0	2,7	3,3
Hidratos de carbono	65,0	67,2	62,0
Energía (kcal)	360,0	372,0	370,0

Fuente: Aguilar (2012).

El mayor atributo del amaranto es su contenido proteico y su perfil de aminoácidos, componentes que definen la calidad de una proteína, sin embargo este pseudocereal también presenta un contenido relevante de otros componentes nutritivos (Criollo y Fajardo, 2010).

#### **2.1.7.1. Composición proximal.**

Es un conjunto de métodos utilizados en el análisis cuantitativo de los diferentes macronutrientes de los alimentos e incluye la estimación del contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas y carbohidratos, los cuales son parámetros de interés para el desarrollo de productos, el control de calidad o para fines reglamentarios (Rainsford, 2016).

La determinación de la composición proximal de los alimentos se realiza con el objetivo de identificar y determinar los principales compuestos presentes en los productos alimenticios. En la actualidad la información sobre la composición de los alimentos es enfáticamente demandado por el público consumidor y es indicado en la etiqueta nutricional, constituyendo un requisito fundamental para la comercialización de los productos a escala industrializada y semi-industrializada.

#### *2.1.7.1.1. Humedad y materia seca.*

La determinación del contenido en agua de los alimentos es muy importante para los nutricionistas ya que es un criterio para evaluar la calidad de un alimento. Según la Norma Oficial Mexicana (NOF) (2008), mediante la norma NOM-247-SSA1-2008 el nivel de humedad en los productos terminados y las materias primas, específicamente en cereales, debe mantenerse por debajo del nivel crítico (15,00%) ya que pueden causar pérdidas por la acción de microorganismos y la descomposición.

Por lo antes expuesto resulta necesario conocer el contenido de humedad de los alimentos para determinar el tratamiento adecuado para la eliminación del exceso agua. Asimismo, es mediante el conocimiento de la materia seca que puede estimarse el contenido de nutrientes existentes en un producto alimenticio.

#### *2.1.7.1.2. Cenizas.*

El cuerpo humano requiere algunos minerales que son esenciales para su funcionamiento normal llamados minerales esenciales, los cuales se encuentran en los alimentos a concentraciones relativamente bajas (FEN, 2015). Los minerales presentes en los alimentos de origen animal o vegetal dependen de las prácticas agrícolas, la genética, el suelo, los fertilizantes, los plaguicidas, el agua, por mencionar algunos. Debido a que son hidrosolubles, la mayor parte de sus pérdidas se producen por lixiviación en cualquier etapa en la que exista contacto del alimento con el agua (Badui, 2012).

La determinación del contenido mineral de un alimento se realiza mediante el análisis de cenizas. El contenido de minerales (cenizas) en el amaranto es aproximadamente dos veces más alto que otros cereales (tabla 3) y entre los minerales presentes se encuentra el hierro, el fósforo y el calcio, ubicados en la capa de la aleurona (Criollo y Fajardo, 2010).

Tabla 3.

*Aporte de cenizas del amaranto y otros cereales (g/100g).*

<b>Cereal</b>	<b>Aporte de cenizas g</b>
Maíz amarillo grano entero	1,20
Arroz	0,58
Avena	1,74
Cebada	2,02
Trigo grano duro	1,57
Amaranto seco	3,04

Fuente: INCAP ( 2012).

#### 2.1.7.1.3. Proteínas.

Las proteínas, principalmente de origen vegetal, constituyen una fuente de nutrimentos e ingredientes funcionales de interés; las proteínas vegetales se obtienen principalmente de semillas de leguminosas y cereales. El componente más abundante en el grano de amaranto son las proteínas, y son usadas como ingredientes funcionales en las diferentes formulaciones de alimentos. El contenido de proteínas presentes en este pseudocereal se asemeja a la concentración proteínica existente en la leche de vaca y el huevo de gallina, además que posee un alto de grado de digestibilidad (Chamorro, 2018; Criollo y Fajardo, 2010).

Todas las especies de amaranto son conocidas por su alto contenido de proteínas y su balanceado contenido de aminoácidos según Sánchez (2007) es rico lisina puesto que contiene un alto contenido entre (3,2 a 6,4%) este aminoácido ayuda al cuerpo a absorber el calcio, desarrollar músculo y producir energía y por lo tanto corresponde a casi el doble de lo que contiene el maíz y el trigo (2.2 a 4.5%) y algo menos de lo encontrado en leguminosas importantes como, frijoles y soya (1.4%).

En distintas referencias internacionales se ha determinado que el contenido de proteínas tiene un rango de 14 - 18% (Bressani, 2006; Chamorro, 2018; Criollo y

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Fajardo, 2010; Subía, 2012), superando la concentración de este componente en los cereales más comunes, con la excepción de la avena descascarada (Criollo y Fajardo, 2010) (tabla 4).

Tabla 4.

*Aporte de proteínas del amaranto y otros cereales (g/100g).*

<b>Cereal</b>	<b>Aporte de proteínas g</b>
Maíz amarillo grano entero	9,42
Arroz	6,61
Avena	16,89
Cebada	12,48
Trigo grano duro	12,61
Amaranto seco	14,45

Fuente: INCAP (2012).

#### *2.1.7.1.4. Lípidos.*

Los aceites y grasas son llamados lípidos ya que son sustancia de origen vegetal o animal de apariencia líquida acuosa compuestos mayormente (97-98%) de triglicéridos, los cuales son estructuras constituidas por la esterificación de tres ácidos grasos cuya estructura es dada mediante los ácidos monocarboxílicos y que son superiores a la cadena alifática, también están formadas por un alcohol poli atómico de tres átomo de carbono llamado glicerol o glicerina (Zumbado, 2004). En los alimentos, los lípidos juegan un papel importante, puesto que inciden de forma directa en las características organolépticas de los productos en los cuales están presentes, sobre todo en el sabor y textura (Bressani, 1995).

Los lípidos se encuentran en el embrión y en las células del endospermo del grano de amaranto. El contenido de lípidos libres en amaranto también es superior al de los otros granos (Bressani, 1995), variando entre 7% y 8%. Cabe señalar que en su composición se destaca la presencia del ácido oleico y ácido linoleico (anexo 1, figura 1.3) en aproximadamente 77% (Criollo y Fajardo, 2010; Martirosyan, Miroshnichenko, Kulakova, Pogojeva & Zolodov, 2007). Estos son importantes a nivel nutricional

debido a que forma parte de la dieta convencional humana y se le atribuye propiedades para la protección cardiovascular y la disminución del colesterol (Tavella, Tavella, Santo y Mastroianni, 2016).

Además, el amaranto es una fuente vegetal de escualeno, molécula con importancia en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica. He & Corke (2003) determinaron que este triterpeno con propiedades nutraceuticas se encuentra en un rango de traza a 7.3% en el grano de amaranto, con un promedio de 4.2%. La importancia de este hallazgo se debe a que la fuente principal de escualeno es el aceite de hígado de tiburones y ballenas (40 - 86%), sin embargo debido al riesgo de su extinción, a nivel global se intenta buscar alternativas vegetales para su obtención (Nasirpour-Tabrizi, Azadmard-Damirchi, Javad, & Piravi-Vanak, 2020).

#### *2.1.7.1.5. Hidratos de carbono.*

Son una serie de sustancias de estructuras muy diferentes que presentan una característica común: son el principal combustible del organismo. Aportan el 60% de las calorías diarias requeridas por los humanos. También son denominados carbohidratos, azúcares o glúcidos, siendo este último el término más correcto desde el punto de vista bioquímico (Sánchez, 2007).

#### *2.1.7.1.6. Fibra dietaria.*

Es un elemento importante para la alimentación saludable. Según la definición de Trowell (1976): “se ha considerado como como fibra dietaria a los polisacáridos vegetales y la lignina que se encuentra presente en una planta y que son resistentes al hidrólisis que es provocada por las enzimas digestivas del ser humano”. La AACCC (2001) define “que es la parte comestible de las plantas o análogos de hidratos de carbono que son resistentes y se absorben en el intestino delgado, llegando a una fermentación completa en el intestino grueso”, es decir que la cantidad de fibra dietética presente en cada alimento contribuye a aumentar la movilidad intestinal.

En la semilla de amaranto, la fibra representa alrededor del 20% del grano, y está compuesta por lignina, celulosa, además de hemicelulosa, pectina, gomas y otros carbohidratos no digeribles (Alvarez-jubete, Arendt, & Gallagher, 2010; citado por Cardenas, 2012). La celulosa es un polímero de glucosa, tiene la misma fórmula química del almidón y con enlaces estables  $\beta$  (1,4) su cadena es lineal y larga por lo cual es insoluble además resiste a la degradación enzimática; por su parte la hemicelulosa puede ser soluble o insoluble en agua. Dentro de las paredes celulares de los granos se encuentran también las pentosas o polímeros de azúcares de cinco carbonos como la arabinosa y xilosa (Repo-Carrasco, 1998 citado por Chamorro, 2018).

### **2.1.7.2. Composición bioactiva**

La composición bioactiva es la encargada de estudiar ciertas estructuras que tienen funcionamiento importante en los seres vivos. Existen moléculas que no aportan energías ni nutrientes, pero aportan diversas funciones beneficiosas para la salud, estas se encuentran en pequeñas porciones y están naturalmente en un alimento, ya sea en tejido animal o vegetal, e influyen en la actividad celular y mecanismo fisiológicos.

Existen ciertas moléculas que son llamadas micro-nutrientes y se encuentran en pequeñas porciones y están naturalmente en un alimento, ya sea en tejidos animales o vegetales, pero influyen en la actividad celular, en los mecanismos fisiológicos y presentan efectos beneficiosos para la salud. Entre estos compuestos se encuentran los polifenoles que están vinculados con la capacidad antioxidante de un alimento.

#### **2.1.7.2.1. Polifenoles.**

Son el un grupo muy extenso de sustancias no energéticas que se encuentran presente en los alimentos de origen vegetal. Se ha demostrado que son unos los principales antioxidantes ya que una dieta rica en polifenoles vegetal pueden mejorar la salud del ser humano (Perez-Vizcaino, Duarte, Jimenez, Santos-Buelga, y Osuna, 2009; Schroeter *et al.*, 2006).

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Los polifenoles constituyen un grupo amplio de sustancias químicas, con estructuras, propiedades químicas y actividad biológica diferente. Estas sustancias orgánicas se sintetizan en las plantas y constituyen una de las principales clases de metabolismo secundario; lo cual los hace indispensable para las funciones fisiológicas vegetales (Quiñones, Miguel y Aleixandre, 2012).

Existen varias clases y sub-clases de polifenoles (figura 1) entre los cuales se diferencian dos grandes grupos: los ácidos fenólicos y los flavonoides (antocianina y taninos) (Badui, 2012). A estos compuestos se les atribuye un rol en la prevención de enfermedades degenerativas tal como cáncer y patologías cardiovasculares. Cabe mencionar que el efecto benéfico de los polifenoles dependen de la cantidad consumida y de su biodisponibilidad (Chamorro, 2018).

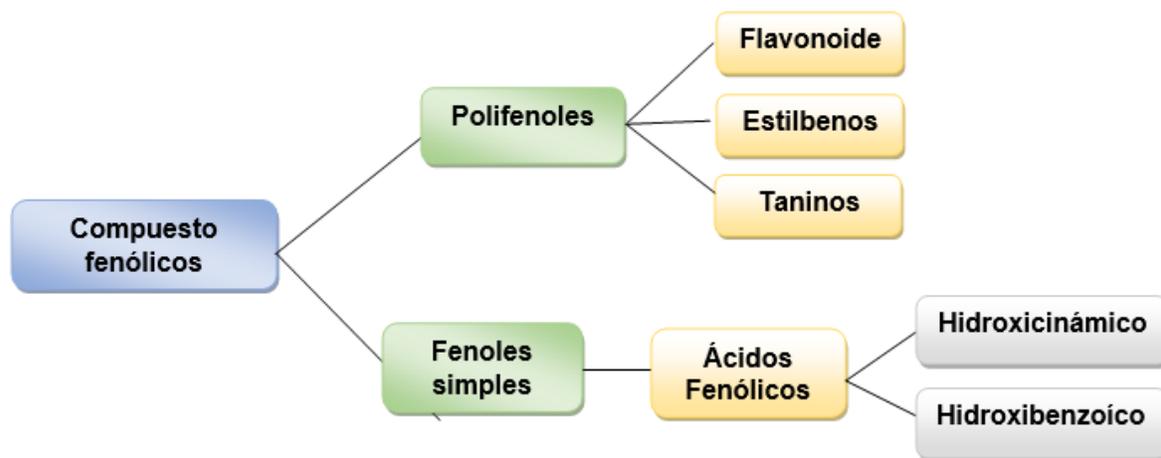


Figura 1. Clasificación de compuestos fenólicos. Fuente: Propia basada en la información descrita por (Pastoriza de la cueva, 2013).

**2.1.7.2.2. Capacidad antioxidante.**

Los compuestos antioxidantes naturales tienen la capacidad de proteger al ADN, las proteínas y los lípidos de las membranas, del daño oxidativo en los sistemas

biológicos y así proporcionan beneficios que se traducen en la prevención de enfermedades y la promoción de la salud (Halliwell, 1996).

La actividad antioxidante es la capacidad de una sustancia para inhibir la degradación oxidativa, de tal manera que un solo antioxidante actúa contra un radical libre determinado y es la medida de los moles de un radical libre específico reducido por una solución prueba, independientemente de los compuestos antioxidantes presentes y depende de la naturaleza y la concentración de los antioxidantes (Vásquez, 2006).

Los términos actividad antioxidante y capacidad antioxidante tienen diferente significado: el término actividad antioxidante se ocupa de la cinética de una reacción entre un antioxidante y el prooxidante de radical que se reduce, mientras que la capacidad antioxidante mide la eficiencia de la conversación termodinámica entre un oxidante al reaccionar con un antioxidante (Apak et al., 2013).

### **2.1.8. Procesamiento de alimentos.**

El principal objetivo de procesar alimentos es contrarrestar la actividad de los microorganismos y retrasar los cambios químicos que podrían alterar la calidad del producto, modificando lo mínimo posible sus características. Las técnicas del procesado de alimentos difieren en principio de las técnicas de conservación en que durante el procesamiento las viabilidades de los tejidos celulares vivos se pierden en la elaboración de diversos productos alimenticios, dada la severidad de estos procedimientos, el producto suele sufrir cambios importantes y, por consiguiente, sus atributos de calidad también se modifican (Domodaran, Parkin, R., y Fennema, 2008).

#### **2.1.8.1. Harina del grano de amaranto.**

Es un producto procesado resultado de varias etapas que inician con la selección de la materia prima, la molienda y el tamizado. Esta harina es industrializable debido a que aporta un alto contenido proteico mediante la sustitución de la harina de trigo o maíz ya sea en la elaboración de panes, tortas, galletas, tortillas o mezclas de las

mismas. En esta investigación se pretende realizar una evaluación de dos tipos de harina a escala laboratorio con el fin de estimar la diferencia en la composición proximal y actividad antioxidante provocada por el procesamiento utilizado; de esta manera se analizarán las muestras de harina cruda y muestras de harina tostada.

### **2.1.8.2. Tostado.**

En general, el tratamiento térmico de alimentos sólidos con bajo contenido de agua como es el amaranto (Saltini, Akkerman, & Frosch, 2013) conduce rápidamente al desarrollo de color y aroma, así como a la degradación de compuesto bioquímicos presentes en las materias primas. El tostado influye en los granos de cereal haciéndolos más suaves debido a la pérdida de la estructura del endospermo y al aumento de la porosidad que podría ser beneficioso según el método de procesamiento y el producto final deseado, sin embargo, afecta la calidad y la estructura de los granos, ya que sus propiedades funcionales tecnológicas, físico-químicas y nutricionales son fuertemente afectados por las relaciones estructura-propiedad (Schoeman et al., 2017).

#### *2.1.8.2.1. Efecto del tostado sobre la composición química de los granos.*

El principal responsable de los cambios producidos por el tostado de los granos se asocia a la reacción de Maillard, también conocida como oscurecimiento no enzimático, que es el resultado de reacciones originadas por las condensaciones entre compuestos carbonilos y derivados de aminas; o por la degradación de compuestos con enlaces dobles conjugados a grupos carbonilo. Este proceso implica la presencia de carbohidratos en el alimento, ya sea sacarosa, glucosa libre o alguno otro (Manzocco, Calligaris, Mastrocola & Raffaele, 2000 citado por Phidut & Jiraporn, 2013).

La reacción de Maillard es excepcionalmente compleja. Ocurre en los alimentos, particularmente en procesos a temperaturas elevadas (asar, cocer, preparar) o durante el almacenamiento por largos periodos. Es importante en las reacciones que producen el sabor en el café y el chocolate. También sucede en los tejidos y tiene un papel importante en las sustancias aromáticas ácidas de color oscuro (“humic”) que hay en

suelos y mares. Los cambios que brinda a los alimentos tienen efectos tanto nutricionales como toxicológicos.

No obstante, la reacción de Maillard puede provocar la reducción en el valor nutritivo de los alimentos al disminuir la biodisponibilidad de los aminoácidos esenciales entre otros elementos primordiales para un alimento. Para poder controlar y poder minimizar la reacción de Maillard es necesario garantizar tratamientos térmicos pocos intensos (Pastoriza de la cueva, 2013). A continuación, se describen los efectos del tostado sobre los principales compuestos químicos presentes en los alimentos.

#### *2.1.8.2.1.1. Proteínas.*

Los tratamientos térmicos consiguen una parcial desestructuración de las proteínas. La pérdida de la estructura terciaria y cuaternaria de una proteína facilita su digestión por parte de las enzimas proteolíticas (Gorrachategui, 2010) y además destruyen algunos inhibidores de proteasas endógenas. El aumento de la digestibilidad sucede simultáneamente con una disminución de la fracción de proteína soluble y con la eliminación o importante reducción de los factores anti-nutricionales termolábiles.

A través de distintos procesamientos los alimentos con frecuencia se induce a cambios en las proteínas mediante las operaciones que involucran (Romo, Rosero, Forero, y Ceron, 2006). Durante el tostado, los granos de amaranto adquieren color marrón lo cual es debido a la reacción de Maillard.

#### *2.1.8.2.1.2. Minerales.*

Los elementos minerales, a diferencia de las vitaminas y de los aminoácidos, no se destruyen por exposición al calor, la luz, los oxidantes, los valores extremos de pH u otros factores que afectan a los nutrientes orgánicos. Esencialmente, los minerales son indestructibles. No obstante, pueden eliminarse de los alimentos por lixiviación o separación física; además su disponibilidad resulta afectada por los factores antes mencionados (Domodaran et al., 2008).

#### *2.1.8.2.1.3. Grasa.*

En oleaginosas y granos, los tratamientos térmicos con aplicación de presión liberan la grasa encapsulada en las células vegetales haciéndola más accesible y aumentando el valor energético (Gorrachategui, 2010).

#### *2.1.8.2.1.4. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.*

Los granos de cereales son ricos en compuestos bioquímicos, nos obstante estos tienen que ser procesados antes de su consumo y durante esta etapa, su composición puede ser afectada, es decir que pueden sufrir modificaciones durante su procesamiento, almacenamiento o prácticas de tratamiento térmico (Padrón, Oropeza, & Montes, 2015).

Existen evidencia experimental donde se muestra que ciertos productos de la reacción Maillard exhiben una fuerte actividad antioxidante, funcionando como secuestradores de oxígeno y descomponiendo cadenas largas de compuestos con el tratamiento térmico que alcanza altas temperaturas, sin embargo la reacción de Maillard es usualmente señalada como responsable de una disminución en la actividad antioxidante de los alimentos debido a la degradación térmica de los componentes naturales presentes en la matriz alimentaria (Bartolo, 2014; Torres, 2019).

### **2.1.9. Producción alimenticia del amaranto.**

Debido a que tienen un alto contenido de proteína y grasa, el amaranto se sitúa por arriba de los cereales desde el punto de vista nutricional. La semilla suele ser utilizada para la elaboración de dulces, tortillas, nachos, barquillos tamales, harinas, atoles, cereal que sirven como alternativa para mejorar nutricionalmente los alimentos tradicionales de nuestro medio. En países como China, utilizan la harina para hacer fideos, panqueques y dulces, asimismo utilizan el tallo para forraje de animales (anexo 1, figura 1.4).

### **2.1.10. Tecnología para procesar cereales.**

A nivel industrial un cereal tiene que ser procesado, y en esta etapa se llevan a cabo distintos tratamientos preliminares mediante la molienda, que consiste en la separación de las capas externas del grano del endospermo obteniendo como producto la harina, la utilización de la técnica de reducción de tamaño se realiza particularmente por procesos mecánicos en el que se manipulan diferentes tipos de molinos.

A nivel de laboratorio se utilizan pequeñas cantidades para realizar análisis químicos, físicos, entre otros, a fin de determinar la calidad de un alimento y definir si es apto para su transformación y comercialización; en este caso se utilizan molinos tradicionales o morteros. La granulometría es una pieza muy importante en los procesos a escala industrial y de laboratorio, ya que esta consiste en obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra. La utilización de tamices es necesaria para poder obtener una harina con partículas de un mismo tamaño.

### **2.1.11. Operaciones unitarias para la obtención de harina de amaranto.**

La operación unitaria es la base de la industria química y la base de transformaciones de materia donde se incorporan materiales, insumos, entre otros, y donde se determinan los equipos necesarios para el procesamiento de alguna materia prima. Según el Amaranth Institute (1987) (citado por Carpio, 2009) (anexo 1, tabla 1.2) existen cuatro métodos para la obtención de harina de amaranto donde las operaciones unitarias son aplicadas:

a) Reventado del grano (popeado, tostado, expansión). Las operaciones aplicadas son:

- Limpieza de grano.
- Secado (a 45 °C en horno de convección por 24 horas).
- Reventado del grano por expansión a una superficie caliente o a una corriente caliente.
- Molienda.
- Tamizado.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

b) Nixtamalizado. Donde se aplican las operaciones:

- Cocción del grano.
- Lavado.
- Secado.
- Moliendo.

c) Molienda proceso seco:

- Acondicionado.
- Limpieza.
- Molienda con rodillos.
- Secado.
- Tamizado.

## **2.2. Antecedentes**

En Nicaragua no se han realizados investigaciones sobre el valor nutricional y actividad antioxidante presente en el *Amaranthus cruentus*, sin embargo, se han realizado investigaciones agronómicas sobre el comportamiento y rendimiento del mismo. A pesar de esto, a nivel internacional se han desarrollado múltiples estudios sobre las ventajas y los potenciales usos de este valioso pseudocereal.

En 2006, Ricardo Bressani realizó un estudio sobre la industrialización del grano de amaranto (*Amaranthus cruentus*) cultivado en Guatemala con el propósito de caracterizar a nivel nutricional los productos intermedios y finales del procesamiento de seis variedades de este grano desde su estado crudo hasta la aplicación de procesos como la expansión, cocción alcalina (nixtamalización), malteado, laminado y fermentado, llegando a la conclusión que en las muestras procesadas hubo un aumento (12%) del contenido proteico y del contenido de grasa.

En 2012, Subía desarrolló una investigación a fin de caracterizar poblaciones nativas de amaranto procedente de los estados centrales de México y dos especies sudamericanas. La investigación se efectuó en cuatro fases: agronómica, bromatológica, genética y se evaluó la tolerancia a la radiación. El resultado de interés para esta investigación fue la determinación bromatológica, donde concluyeron que las especies mexicanas poseen contenido de proteínas similar, mientras que las especies *A. caudatus* y *A. hybridus* difieren en el contenido de cenizas, grasas y fibra cruda con respecto a las otras especies evaluadas.

En 2018, Chamarro llevó a cabo un estudio para determinar el valor nutricional y los compuestos bioactivos de 30 accesiones de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) del INIA-PERÚ, encontrando diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en su composición química; también se encontraron diferencias significativas para todos los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en las accesiones evaluadas. Por otro lado, se llevó a cabo una correlación de compuestos fenólicos con capacidad

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

antioxidante determinada por método DPPH Y ABTS donde muestra un coeficiente de correlación significativo (0,823) obteniendo mejores resultados con el método de ABTS.

El año posterior (2019), Torres Polanco realizó una investigación cuyo objetivo fue evaluar las variaciones producidas en las concentraciones de los constituyentes funcionales y capacidad antioxidante de los productos de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild), cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.), por efecto del tostado en Cusco-Perú. Los resultados de la Kiwicha evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de humedad, fibra cruda y carbohidratos, no así en el contenido de ceniza, proteínas y grasa. El contenido de carbohidratos subió en 15,16% del GK al GKT y descendió en 2,34% del GKT a la HKT.

### **2.3. Hipótesis**

La composición proximal y actividad antioxidante de la harina de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* analizadas no es afectada por el procesamiento térmico controlado (tostado).

## CAPÍTULO III

### 3.1. Diseño metodológico

#### 3.1.1. Descripción del ámbito de estudio.

La colecta de las muestras de las cuatro variedades de amaranto se realizó en el CNIA del INTA localizado en el km 14,5 de la carretera norte de Managua, ubicado a 12°07'54.6"N y 86°08'53.2"O, con altura promedio de 68 msnm, temperatura promedio de 27,5°C y precipitación anual de 1 229,6 mm (INETER, 2004 citado por Luna y Laguna 2004). La extensión del área de siembra fue de 200m<sup>2</sup> y las plantas se establecieron a 0,25m y 0,80m entre plantas y surcos. El tipo de suelo de la parcela experimental utilizada en el estudio es franco arenoso y la época de siembra fue en período de noviembre 2018 a febrero 2019. Se realizó siembra directa de las cuatro variedades con manejo plagas y fertilización convencional (química).

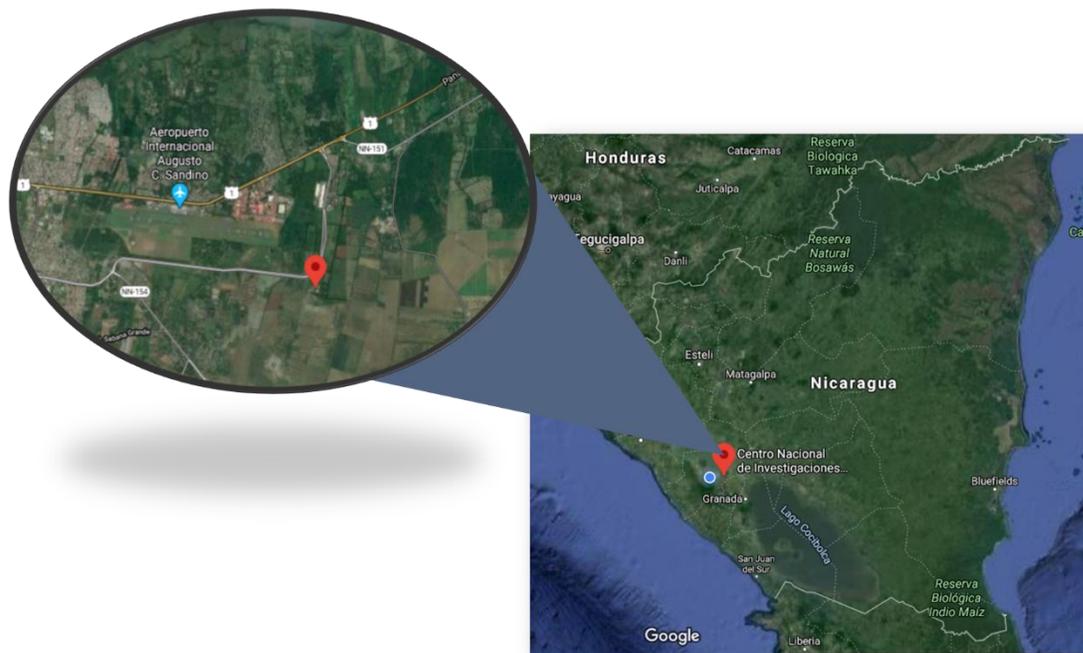


Figura 2. Ubicación geográfica del sitio de muestreo (INTA-CNIA) en Managua, Nicaragua.

Fuente: Google maps [Recuperado: 08 de junio de 2020].

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

La determinación de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina procesada (tostada) y la harina cruda de las cuatro variedades de amaranto se desarrolló en el Laboratorio de Bioquímica/Proximales del Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua ubicado en el Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA), latitud: 12.1508, longitud: -86.2683 12° 9' 3", Norte, 86° 16' 6", Oeste.

Esta investigación pertenece al ámbito de estudio académico de procesos industriales de las líneas de investigación de Química Industrial-UNAN, Managua en el área de alimento con un tema de interés de caracterización Físico-Química de alimentos para consumo humano.

**3.1.2. Tipo de estudio.**

De acuerdo a lo establecido por Hernández, Fernández y Pilar (2014) el presente estudio se considera pre-experimental debido a que cumple el propósito fundamental de la manipulación intencional de la variable independiente y existe un grado de control mínimo sobre el grupo de control. El diseño experimental a utilizar será preprueba / posprueba para cuatro grupos (variedades de amaranto), por tanto, las muestras serán analizadas preliminar y posterior al tratamiento estudiado (tratamiento térmico o tostado) (anexo 2, figura 2.1.).

**3.1.3. Población y muestra.**

**3.1.3.1. Población.**

Granos de cuatro variedades de amaranto cosechados en las parcelas experimentales cultivadas en el CNIA del INTA en ciclo agrícola 2019 (con rendimiento aproximado de 30 qq/mz). El área total de las parcelas fue aproximadamente 800 m<sup>2</sup> (200 m<sup>2</sup> para cada variedad) (anexo 2, figura 2.2).

**3.1.3.2. Muestra.**

Las muestras se obtuvieron de los contenedores de almacenamiento del grano individualizado por variedad. Se colectaron de acuerdo a lo establecido por la Norma para grano de amaranto (*Amaranthus* spp.) para uso y consumo humano –

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Especificaciones y métodos de ensayo (NMX-FF-114-SCFI-2009) (Norma Mexicana, 2009) utilizando un calador único (en lugar de múltiple) en 7 puntos (anexo 2, figura 2.3). Las muestras de cada variedad fueron trasladadas al Laboratorio donde se procesaron siguiendo los requisitos establecidos en la misma norma (cuarteo) a fin de obtener una muestra con características homogéneas. Posteriormente las muestras fueron procesadas para producir harina (con tamaño de 0.595 mm) y realizar los análisis pertinentes.

*3.1.3.2.1. Criterios de inclusión.*

- Granos de amaranto de las variedades Criollo de Amilcingo, Payasa, INTA Futuro y Revancha.
- Granos de amaranto cosechado en el CNIA del INTA durante el ciclo agrícola 2019.
- Granos en buenas condiciones fitosanitarias.

*3.1.3.2.2. Criterios de exclusión.*

- Granos vanos.
- Grano negro.
- Materia Extraña.

**3.2. Variables y operacionalización**

**3.2.1. Variables dependientes.**

- Composición proximal de harina cruda.
- Composición proximal de harina tostada.
- Composición de actividad antioxidante de harina cruda.
- Composición actividad antioxidante de harina tostada.

**3.2.2. Variables intervinientes.**

- Tratamiento térmico.

**3.2.3. Variable independiente.**

- Harinas de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* (anexo 2, figura 2.4).

**3.2.4. Operacionalización de variables e Indicadores (MOVI).**

Objetivos específicos	Variable conceptual	Subvariables o dimensiones	Variable operativa o indicador	Técnicas de recolección de datos e información y actores participantes			Tipo de variable estadística
				Análisis documental	Experimento de laboratorio	Matriz comparativa	
Determinar la composición proximal y actividad antioxidante de las muestras de harina cruda y tostada	1. Composición proximal y actividad antioxidante La determinación de estos compuestos son la base fundamental para la nutrición y beneficios para la salud	1.1. Composición proximal	Humedad Materia seca Cenizas Lípidos Fibra dietaria Proteínas Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos)		X		Continua
		1.2. Composición actividad antioxidante	1.2.1. Polifenoles totales 1.2.2. Polifenoles libres 1.2.3. Capacidad antioxidante a partir de polifenoles totales 1.2.4. Capacidad antioxidante a partir de polifenoles libres		X		Continua

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Objetivos específicos	Variable conceptual	Subvariables o dimensiones	Variable operativa o indicador	Técnicas de recolección de datos e información y actores participantes			Tipo de variable estadística
				Análisis documental	Experimento de laboratorio	Matriz comparativa	
Identificar las variedades que cumplen los requisitos internacionales recomendados por el comité mixto de FAO y OMS	2. Variedad de mejor contenido nutricional La identificación de ciertos alimentos con un alta nutrición	2.1. Composición proximal	2.1.1. Contenido de Lípidos 2.1.2. Contenido Proteico 2.1.3. Contenido de Extracto libre de nitrógeno	X			Nominal
Describir el efecto del tostado de la materia prima sobre su composición proximal y actividad antioxidante	3. Efecto de procesamiento mediante la aplicación de tratamiento térmico u otro proceso industriales donde hay probabilidades de aumento o disminución de diferentes parámetros	3.1. Harina cruda 3.2. Harina tostada	3.1.1. Humedad 3.1.2. Materia seca 3.1.3. Cenizas 3.1.4. Lípidos 3.1.5. Fibra dietaría 3.1.6. Proteínas 3.1.7. Extracto libre de nitrógeno(carbohidratos) 3.1.8. Polifenoles totales 3.1.9. Capacidad antioxidante totales			X	Continua

### **3.3. Materiales y métodos**

#### **3.3.1. Materiales para recolectar información**

Para la elaboración de este documento se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos, monografías de grado, libros en línea, entre otros. Todos ellos enfocados en la calidad nutricional del amaranto. Como criterio de selección se utilizó el período de publicación del 2010 a la fecha. Se realizó una matriz de evaluación de la bibliografía a fin de seleccionar la que presentó mayor vinculación con el presente estudio. Por otro lado, se efectuó una entrevista a personas del INTA y del Laboratorio que han realizado estudios sobre este rubro (anexo 3, entrevista 3.1 y 3.2, tabla 3.1 y tabla 3.2).

#### **3.3.2. Materiales para procesar la información**

Office Word 2016: para procesamiento de texto, elaboración y edición de documento.

Office Excel 2016: para realización de cálculos de resultados, elaboración de gráficos, curvas de calibración y cálculos de error.

SPSS 25: para realizar análisis estadístico; programa que se utilizó la significancia de dos grupos.

#### **3.3.3. Equipos, reactivos y materiales de laboratorio**

Tabla 5.

*Lista de materiales empleados.*

<b>Materiales</b>	<b>Marca</b>	<b>Capacidad/Tamaño</b>	<b>Clase/Tolerancia</b>
Matraces volumétricos	PYREX® Kimax	250 ml	A
		600 ml	
		1000 ml	
		100 ml	
Pipeta volumétrica	Fisher Brand PYREX®	2 ml	A
		5 ml	
		10 ml	
		25 ml	

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

<b>Materiales</b>	<b>Marca</b>	<b>Capacidad/Tamaño</b>	<b>Clase/Tolerancia</b>
Micropipeta	Eppendorf™ Fisherbrand™	1 a 10 ml 1000 μl 500 μl 200 μl	Referencia e investigación
Desecador	Bel-Art™ Kimax	Altura 26 cm	-----
Espátula	-----	-----	-----
Tubos Kjeldahl	Glastron	400 ml	-----
Pinzas	-----	-----	-----
Vernier	-----	-----	-----
Termómetro	-----	-----	-----
Erlenmeyer	PYREX®	125 ml	-----
Kitasato	Kimax	500 ml	-----
Refrigerante	-----	1000 ml	-----
Crisol de porcelana	-----	-----	-----
Mortero con pistilo	-----	-----	-----
Tubo Soxhlet	-----	-----	-----
Balones Soxhlet	PYREX®	250 ml	-----
Probeta	BRAND®	25 ml 50 ml 10 ml 250 ml	A
Beaker	PYREX® Kimax BRAND®	1000 ml 600 ml 250 ml 100 ml 50 ml 10 ml	A

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Tabla 6.

*Lista de equipos utilizados.*

<b>Nombre</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>
Balanza Analítica	EP114 TE124S	Explorer®Pro SARTORIUS
Baño maría	Isotemp 105	FISHER SCIENTIFIC
Baño maría de agitación	Precision Sci waterbath	Thermo Electron 2870
Bomba de vacío	5KH33GN293-KX	Ge-Motors and Industrial Systems
Campana extractora de gases	Kewaunee Scientific	IMAN-UL
Centrifuga	5417R	Eppendorf
Destilador micro Kjeldahl	6500000 rapidstill	Labconco
Digestor micro Kjeldahl	Rapid Digestor-4	Labconco
Espectrómetro (Uv)	CARY 50 BIO UV-Visible	VARIAN
Horno de convección	Precision 25EM	ThermoScientific
Manta de calefacción	EM 250 CE	ELECTROTHERMAL
Mufla	550-58	Thermo Fisher Scientific
PH metro de lápiz	Subota SB50	Miernik PH 55 MILWAUKEE
Plato caliente	Cimarec™	Thermo Scientific™

Tabla 7.

*Lista de reactivos empleados.*

<b>Nombre</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Grado</b>	<b>Marca</b>
Ácido Bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	ACS	Fisher Chemical
Ácido clorhídrico	HCl	ACS PLUS	Fisher Chemical
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ACS PLUS	Fisher Chemical
Agua destilada	dH <sub>2</sub> O	Para Análisis	-----
Alcohol al 70 y al 96 %	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	Reactivo	Productos Verdes
Amyloglucidase	Enzima	Kit	Megazyme
Carbonato de sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Reactivo	Fisher Chemical

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

<b>Nombre</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Grado</b>	<b>Marca</b>
Celite	-----	Analítico	Megazyme
DPPH	1,1-difenil-2-picrilhidrazil	HPLC	SIGMA-ALDRICH
Éter de petróleo	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	ACS	Fisher Chemical
Fenoltaleína	C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	Reactivo	FisherTab™
Folin Ciocalteau	-----	Reactivo para la determinación de nitrógeno	SIGMA-ALDRICH
Hidróxido de Sodio	NaOH		Fisher Chemical
Metanol	CH <sub>3</sub> OH	HPLC	Fisher Chemical
Protease	Enzima	Kit	Megazyme
Rojo de metilo	-----	ACS	Fisher Chemical
Stock de ácido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub> H <sub>2</sub> O	Reactivo	SIGMA-ALDRICH
Sulfato de Sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ACS	Fisher Chemical
Tabletas Kjeldahl	CuSO <sub>4</sub>	-----	Fisher Chemical
Tris-base	(CH <sub>2</sub> OH) <sub>3</sub> CNH <sub>2</sub>	Bioreggente	Fisher Chemical
Verde de bromocresol	C <sub>21</sub> H <sub>14</sub> Br <sub>4</sub> O <sub>5</sub> S	Reactivo	SIGMA-ALDRICH
α-amylase	Enzima	Kit	Megazyme

### **3.3.4. Métodos.**

#### **3.3.4.1. Caracterización morfológica del grano de amaranto.**

Según Ospina (2001) cada especie de granos posee su propia estructura y propiedades físicas y químicas. Estas estructuras deben ser tomadas en cuenta para el correcto almacenamiento y transformación de los alimentos ya que algún cambio puede incidir directamente sobre variables tan importante para su conservación como la humedad. Entre otros parámetros se incluyen las variables:

- A. Tamaño del grano.
- B. Color de grano.
- C. Forma del grano.
- D. Peso promedio de 100 semillas.

Estas variables fueron medidas en las cuatro variedades de amaranto estudiadas utilizando el formato de laboratorio elaborado para tal fin (anexo 3, figura 3.1).

### **3.3.4.2. Producción de la harina cruda y tostada de amaranto.**

La producción y el análisis de la harina cruda y tostada iniciaron con procesos comunes que abarcan desde la recepción y selección de la muestra, hasta la separación de la fracción que fue utilizada para determinar el contenido de humedad y la fracción utilizada para la determinación de los demás parámetros analizados. A partir de ese punto la preparación de ambas matrices difiere (anexo 3, figura 3.3 y 3.4).

#### **a. Recepción y selección de materia prima**

Se denomina como materia prima a las muestras de granos de las cuatro variedades de amaranto proporcionadas por el INTA. En el Laboratorio dicha materia prima fue seleccionada tomando en cuenta los criterios de inclusión y exclusión previamente establecida a fin de eliminar la materia extraña presente. Una vez limpias, se seleccionó una cuarta parte de la muestra de cada variedad para la determinación del contenido de humedad y se homogenizaron mediante molienda para su posterior tamizado. El restante de las muestras fue pre-secado con el fin de eliminar exceso de humedad y expresar los resultados en base al contenido de materia seca. Este proceso se realizó en un horno de convección a 50°C durante 24 horas.

#### **b. Obtención de harina cruda**

- **Molienda**

Tiene como finalidad reducir el tamaño del grano a partículas, los requerimientos de tamaño varían para cada tipo de alimento, el tamaño máximo para la harina de amaranto se ha dejado entre 0,841 mm y 0,595 mm, para tal fin se utilizó un molino manual bajo intervalos de tiempo que eviten un excesivo calentamiento por el efecto mecánico. Finalmente, las porciones que no fueron reducidas por el molino, fueron maceradas.

- **Tamizado**

El tamizado es un método físico para separar mezclas en función del tamaño de sus componentes; las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz y las de mayor grosor quedan retenidas por el mismo. En los granos que son procesados para harinas, la operación unitaria de tamizado permite separar ciertas partes que han quedado sin desintegrarse después de la molienda, usualmente corresponden a trozos de cáscara o pericarpio del grano. Las muestras utilizadas fueron tamizadas con malla número 30 (0,595 mm).

**c. Obtención de harina tostada**

- **Tostado**

Se realizó en un plato caliente, colocando porciones de 15 gramos en un beaker de 1000 ml previamente calentado entre 50-69°C. La duración del tostado fue de siete minutos para evitar el reventado del grano. La temperatura fue controlada mediante un termómetro láser infrarrojo (anexo 3, tabla 3.1)

- **Molienda**

La reducción de tamaño se realizó con el mismo procedimiento que se ha detallado para la obtención de la harina con el grano crudo, se pretendió llevar a las mismas condiciones mecánicas para el grano tostado.

- **Tamizado**

Se tamizo con el mismo número de tamiz (30) utilizado para la elaboración de la harina cruda.

**d. Almacenamiento**

Todas las muestras de harina cruda y tostadas se almacenaron en bolsas con cierre hermético a 4°C hasta su uso.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

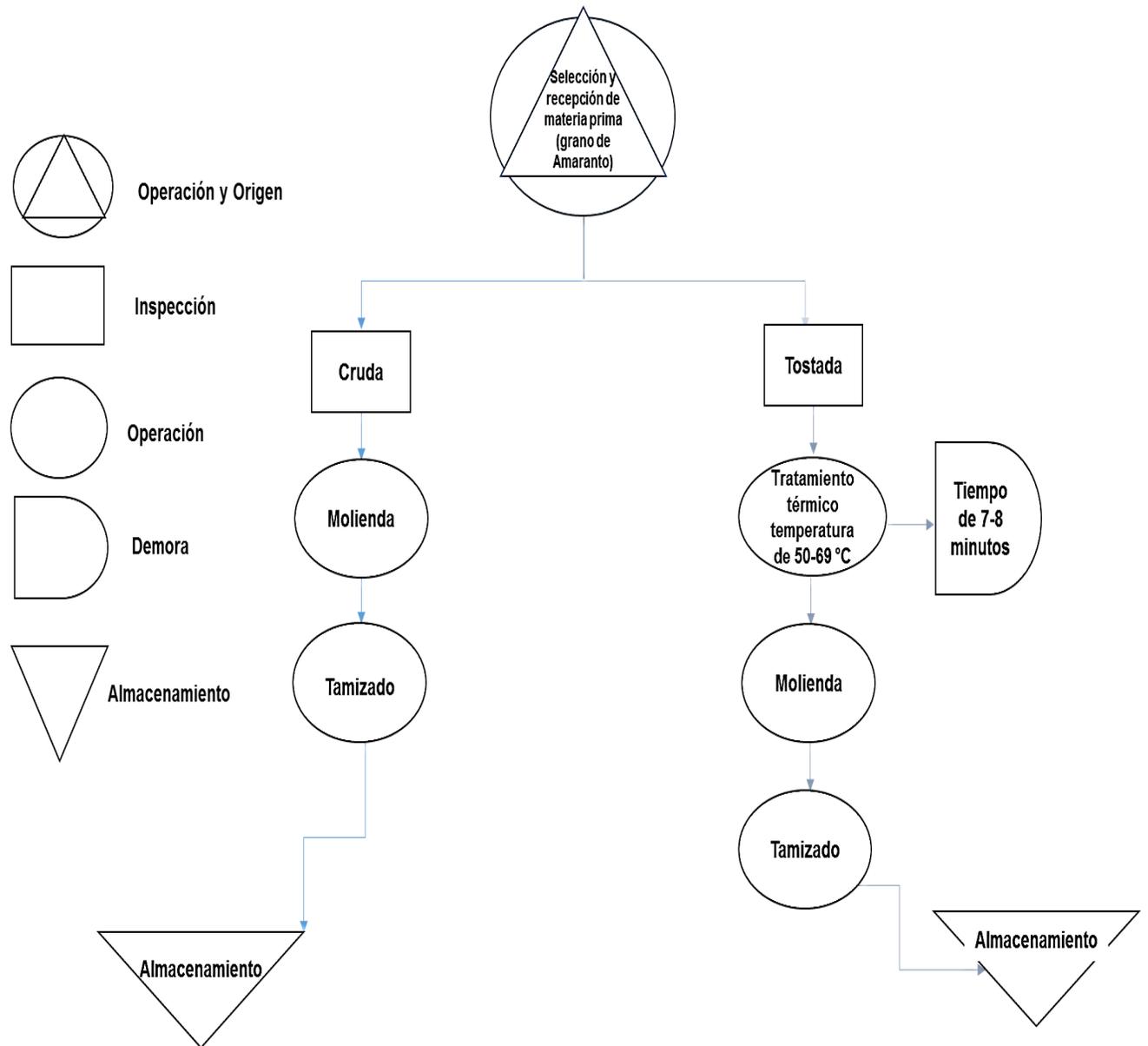


Figura 3. Diagrama de proceso de producción de la harina cruda y tostada de amaranto

### **3.3.4.3. Métodos para los análisis proximales de harina de amaranto.**

Se realizaron de acuerdo los métodos establecidos en la Association of Official Analytical Chemists (AOAC 925.10, 923.03, 2001.11, 920.39, 986.29 y 985.25) (anexo 4).

- **Análisis de humedad (AOAC 925.10).**

Es un método gravimétrico realizado para determinar la pérdida de masa de la muestra sometida a calentamiento (130°C por 6 horas) debido a la eliminación de agua y obteniendo como resultados el contenido de sólidos totales o materia seca. Este normalmente es ejecutado en un horno de convección, pero depende del método utilizado como referencia.

- **Análisis de cenizas (AOAC 923.03).**

El método está basado en la determinación del residuo inorgánico que queda después de la combustión o incineración (600 °C por 6 horas) de la materia orgánica en un producto alimenticio.

- **Análisis de proteínas (AOAC 2001.11).**

El método Kjeldahl determina el contenido de nitrógeno existente en una muestra y comprende las siguientes etapas: digestión, destilación y titulación. Greenfield y Southgate (2006) mencionan que para poder determinar el contenido proteico mediante este sistema proximal, se miden las «proteínas» como el nitrógeno total y es multiplicado por un factor específico. Debido a que no existe un factor de conversión específico para amaranto, se aplica el factor general de 6,25 de acuerdo a las recomendaciones de la FAO/OMS (1973).

- **Determinación de lípidos (AOAC 920.39).**

El método de extracción Soxhlet para la determinación de grasas y aceites, es aplicable para determinar lípidos biológicos e hidrocarburos, ya sean fracciones pesadas o relativamente polares del petróleo, y cuando los niveles de grasas no volátiles pueden alterar el límite de solubilidad del solvente.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Se utilizó el método Soxhlet debido a que las muestras tienen una humedad menor a 10,00%. Cuando las muestras presentan un contenido de humedad superior a 15,00%, debe realizarse un secado previo para facilitar la penetración del solvente en los tejidos, puesto que se conoce que, si el material está húmedo, el solvente penetra más lentamente y la extracción es menos eficiente. Para la selección del solvente se debe considerar este factor; en este caso donde la humedad es menor a 10,00% resulta más viable utilizar éter de petróleo (Zumbado, 2004).

- **Determinación de fibra dietaria (AOAC 985.29).**

El método para determinar la fibra dietaria total (FDT) trata de simular el proceso digestivo: se digieren las muestras enzimáticamente para eliminar el almidón, y se aplican tratamientos sucesivos con proteasa y amiloglucosidasa para digerir las proteínas y los residuos del almidón.

- **Determinación de carbohidratos (extracto libre de nitrógeno) (AOAC 986.25).**

Se calcula por diferencia de 100 menos el contenido proximal de las muestras, de acuerdo a la ecuación:

$$\% \text{ carbohidratos} = 100 - (\% H + \% C + \% P + \% G)$$

% H= porcentaje de humedad

% C = porcentaje de cenizas

% P = porcentaje de proteínas

% G = porcentaje de grasa

#### **3.3.4.4. Métodos para el análisis de actividad antioxidante de la harina.**

Se determinaron los compuestos fenólicos y antioxidantes mediante los métodos de Folin-Ciocalteu y 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH). (anexo 5)

- **Determinación de polifenoles libres, solubles y polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.**

Se utiliza como medida del contenido de compuestos fenólicos en productos vegetales. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765 nm.

- **Determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH.**

Se basa en la estabilidad del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH), atribuida a la deslocalización del electrón desapareado, que también le otorga una coloración violeta caracterizada por una banda de absorción, en solución etanólica, centrada alrededor de 517 nm.

### **3.3.4.5. Control de calidad.**

#### 3.3.4.5.1. Caracterización morfológica del grano de amaranto.

El grano de amaranto está organizado por diferentes especies y variedades, muchos de estos no son comestibles, por lo tanto, es necesario poder identificarlo mediante su caracterización morfológica, se puede identificar mediante su color, forma, tamaño, dureza, textura, sabor, entre otros factores. Esto se puede considerar como una etapa de control de calidad de un grano, debido a que es una parte esencial para un investigador antes de elaborar o procesar cualquier alimento mediante la selección de materia prima que puede ser alimenticio, también se puede reconocer los granos que presentan irregularidades después de la cosecha y así dar una mejora al nivel agronómico.

#### 3.3.4.5.2. Producción de la harina cruda y tostada de amaranto.

Después de cierta selección de grano, para poder procesar una harina en este caso mediante el grano de amaranto y así obtener la calidad de la misma se debe de tomar en cuenta desde el instrumento de molienda hasta su recipiente donde se almacenará, al no considerarlo puede haber una afectación o distorsión de algunos parámetros lo cual puede ser perjudicial para un investigador o industria alimentaria.

#### **3.3.4.5.3. Control de calidad analítico.**

Según Vinagre (1997), la exactitud es el grado en lo cual valor analizado representa o estima un valor "verdadero". Por medio de esto el investigador debe de demostrar que el método elaborado se determina exactamente el nivel de nutriente en un alimento particular (Holden, Schubert, Wolfy, y Beecher, 1997). Se determina mediante la recuperación o recobro del analito que ha sido utilizado para enriquecer. Para esto es utilizado un estándar o compuesto de referencia.

La precisión estima la reproducibilidad del método, es decir la capacidad de aproximación entre los resultados obtenidos al realizar réplicas de un análisis para obtener el nivel de similitud entre los valores numéricos de varias mediciones de la misma propiedad, realizadas bajo las mismas condiciones experimentales. La desviación estándar relativa (RSD, por sus siglas en inglés) es definida por la AOAC (2016) como el parámetro de estimación de la precisión (Greenfield y Southgate, 2006).

#### **3.3.4.6. Análisis estadístico.**

Se realizó utilizando el software SPSS 25 para poder determinar las variables que siguen una distribución normal con prueba de Shapiro-Wilk  $p > 0.05$ , se compararon utilizando una prueba de t-Student para muestra independiente; dentro de esta prueba se realizó también la prueba t-Levene para comparar varianzas iguales que son requeridos para determinar la diferencia significativa de distribución normal en la muestra  $p \leq 0,05$ , sin embargo para las variables que no siguen distribución normal ( $p \leq 0,05$ ) se realizó la prueba no paramétrica de U de Man-Whitney, para determinar si existe o no diferencia significativa.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. Análisis de Resultados

#### 4.1.1. Composición proximal y actividad antioxidante de las muestras de harina cruda y tostada.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de las muestras de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto de la especie *A. cruentus* L. Se definirá primero su composición proximal (anexo 7) y posteriormente los resultados de su análisis de actividad antioxidante (anexo 8).

##### 4.1.1.1. Composición proximal.

La harina cruda que exhibió mayor contenido de humedad fue Payasa ( $9,954 \pm 0,043$ ) seguido de Revancha ( $9,822 \pm 0,023$ ) y las variedades Amilcingo e INTA-Futuro ( $9,663 \pm 0,110$  y  $9,548 \pm 0,068$ , respectivamente). Por ende, la variedad con mayor contenido de materia seca fue Amilcingo ( $90,337 \pm 0,110$ ). En el gráfico 1 se presentan los resultados de las cuatro variedades sin tratamiento térmico (harina cruda).

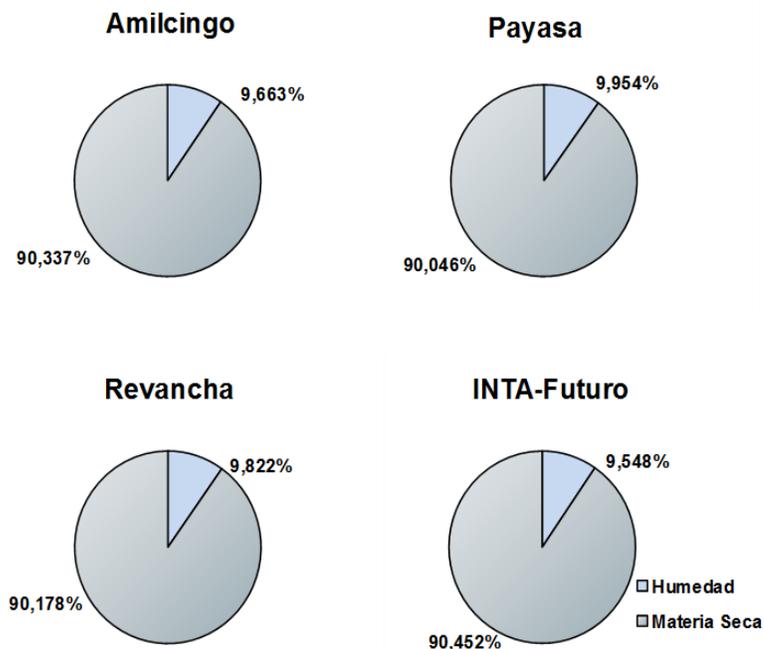


Gráfico 1. Contenido de humedad y materia seca de la harina cruda de las cuatro variedades de amaranto analizadas. Fuente: Esta investigación.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Al contrastar los resultados obtenidos de humedad y materia seca con las investigaciones realizadas por Bressani ( 2006) en Guatemala, donde determinó un rango de humedad de 10,00 a 14, 00% para *A. cruentus*, y Chamorro (2018) en Perú, que reportó de 10,18% a 11.85 % para la especie *A. caudatus*, se puede apreciar que los valores obtenidos en Nicaragua son menores. Esto puede deberse a las condiciones edafoclimáticas en las que fueron cultivadas, así como la diferencia entre las especies e incluso de variedades.

Al analizar las harinas tostadas se determinó que Amilcingo contiene el mayor contenido de humedad ( $2,756 \pm 0,040$ ) seguido de INTA-Futuro ( $2,731 \pm 0,035$ ), Revancha ( $2,535 \pm 0,012$ ) y Payasa ( $2,526 \pm 0,013$ ), por ende, el contenido de materia seca fue inversamente proporcional (figura 4.2). Debe mencionarse que en los resultados de humedad se observó un descenso aproximado de 22 % con respecto a la harina cruda.

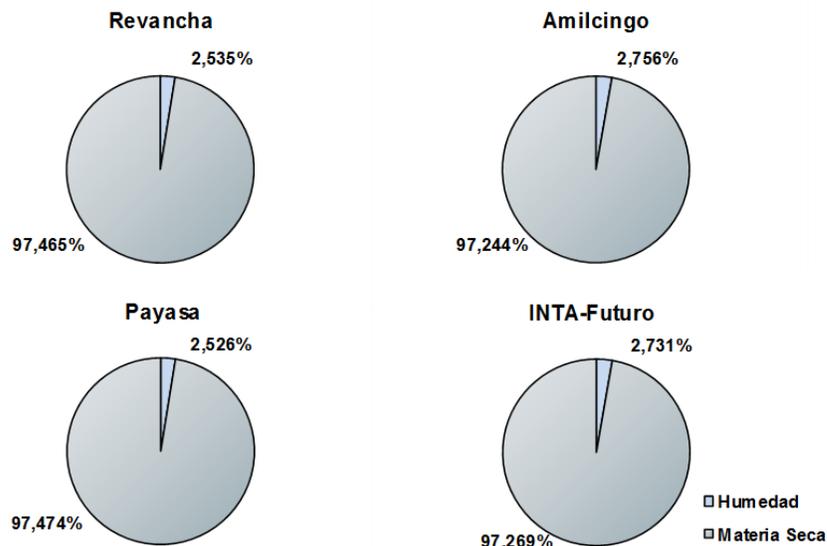


Gráfico 2. Contenido humedad y materia seca de la harina de las cuatro variedades de amaranto con tratamiento térmico. Fuente: propia.

Los resultados obtenidos difieren totalmente al 4,76 % de humedad reportado por Torres ( 2019) al analizar harinas tostadas de *A. caudatus* (10,31%). Esto puede

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

deberse no solo a la diferencia de especie, sino también a los intervalos de temperatura utilizados.

El contenido de humedad de la harina cruda, como de la harina tostada de las cuatro variedades, se encuentra categorizada como óptimo de acuerdo a la especificación sanitaria definida en la norma mexicana NOM-247-SSA1-2008 (NOF, 2008). Asimismo, cumple lo establecido por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012), mediante la norma NTE INE 2646:2012, que indica que, para la comercialización y procesamiento del amaranto, el contenido de humedad no debe ser mayor al 12,00 %.

Al observar el contenido de cenizas de la harina cruda (gráfico 3), se identificó a la variedad Revancha ( $2,820 \pm 0,014$ ) con mayor contenido, seguido de INTA-Futuro ( $2,611 \pm 0,026$ ), Payasa y Amilcingo ( $2,582 \pm 0,026$ ), ( $2,303 \pm 0,024$ ). De igual manera harina tostada con mayor contenido de cenizas fue la producida a partir de la variedad Revancha tostada ( $3,011 \pm 0,021$ ), seguida de Payasa tostada ( $2,821 \pm 0,024$ ), Futuro tostada ( $2,766 \pm 0,016$ ) y Amilcingo tostada ( $2,494 \pm 0,016$ ).

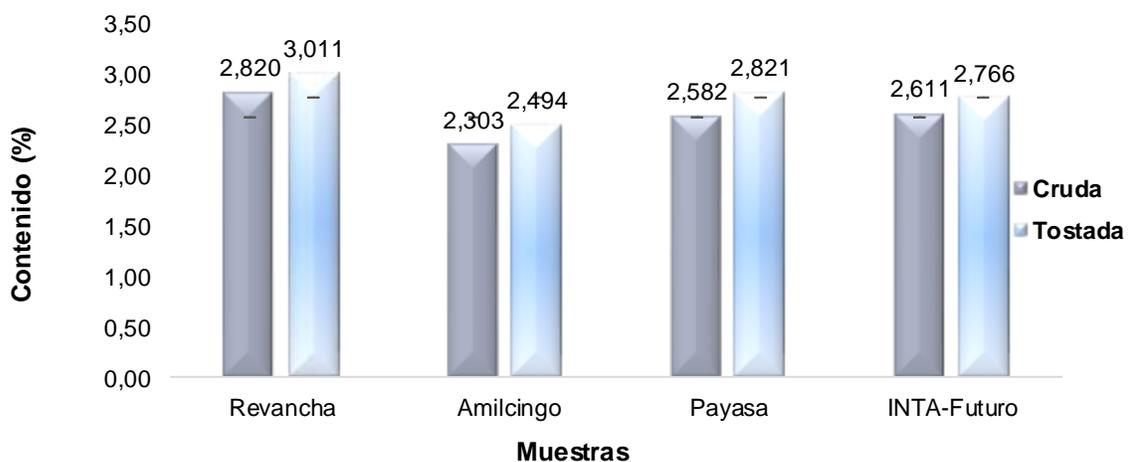


Gráfico 3. Contenido cenizas de la harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto. Fuente: propia.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Los resultados se aproximan a lo reportado por Bressani (2006) (2,3% a 3,1%) y Subía (2012) (4.05% a 2,69%) para *A. cruentus*, al igual que las investigaciones de chamorro con (1,96 % y 3,67%) y Torres (2019) (2,40%) en *A. caudatus*.

Para los resultados obtenidos para la harina que se le realizó el tratamiento térmico no se asemejan con los proporcionados por Torres (2019) (4,76%) para la harina tostado, esto puede estar vinculado a la elaboración de la harina ya que se realiza en la investigación de Torres a una temperatura mayor de 100 °C y entre otros factores.

En la tabla 3 se observa que los resultados obtenidos con respecto a otros cereales aún sigue siendo superior; según la tabla nutricional del INCAP (2012). Para el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012), mediante su norma establecida, NTE INE 2646:2012 indica que para la comercialización y procesamiento del amaranto el porcentaje de cenizas debe de tener como mínimo el 3,00 %, sin embargo, esto depende del tratamiento del suelo donde se cultiva.

En esta investigación el mayor contenido de lípidos se obtuvo en la harina cruda (gráfico 4), la variedad Payasa con un contenido de lípidos de 5,987%; siguiendo el orden la variedad Amilcingo 5,885% e INTA-Futuro 5,534 y con el menor contenido la variedad Revancha 5,187 ( $\pm 0,009$ ; RSD 0,184 %).

En cuanto a la harina tostada (gráfico 4) tenemos aun liderando a la variedad Payasa con 6,677%, seguida de Criollo de Amilcingo con 6,517 %, INTA-Futuro con 6,356 % y Revancha tostada con 5,504%.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

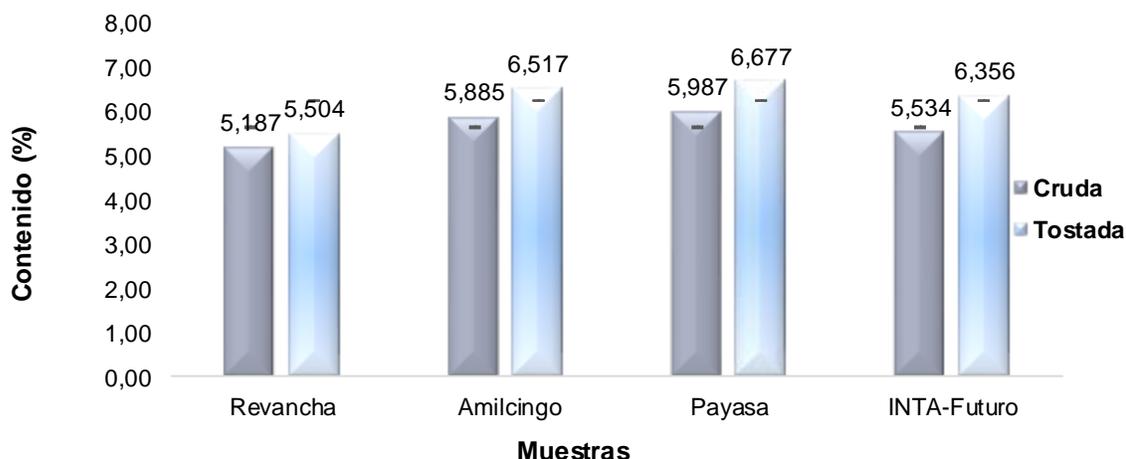


Gráfico 4. Contenido lípido de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto  
Fuente: propia.

Los datos obtenidos de la harina cruda no se asemejan a los resultados de Bressani (2006) (6,30 a 6,90%), Subía (2012) (6,650 a 8,700%), Chamorro, (2018) (6,88 a 9,67%) y Torres (2019) que analizó el grano crudo (9,480%); esto puede ser debido a que no pertenecen a la misma especie a excepción de Bresanni, lo cual se debe tomar en cuenta que no se utilizó la misma variedad influyendo en los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos difieren completamente por los reportados por Torres (2019) con harina tostada que obtuvo un rango de (7,8535%), como se dijo anteriormente la temperatura que fue elaborado la harina fue mayor del 100 °C y no pertenece a la misma especie. En general según otro estudio realizado por Bressani (1995) afirma que los granos de amaranto en general contienen desde 4,1 hasta 10 % de lípidos, tanto en su forma expandida (o tostada) como cruda.

No obstante mediante la comparación de otros cereales (maíz y trigo) establecidos en la tabla nutricional del INCAP (2012) se verifican que el amaranto tiene mayor contenidos de lípidos. Para el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012) en su norma NTE INE 2646:2012 indica que, para la comercialización y procesamiento del amaranto, el contenido de lípidos no debe ser mayor del 7,00%.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

En el gráfico 5 se encuentran el contenido de proteína en la harina cruda y tostada. En donde para la harina cruda se tiene a la muestra Payasa con mayor contenido 16,952%, seguido de INTA-Futuro 16,226% y, Amilcingo con 15,569% y Revancha 15,497%.

En la muestra que se le aplicó tratamiento térmico, aun teniendo con mayor contenido de proteína Payasa con 17,618%, seguido de INTA-Futuro 17,159 y Amilcingo 16,519% se asume a Revancha con 16,332(±0,057; RSD 0,352). Debe mencionarse que las muestras de harinas tostadas presentaron un incremento promedio de 5%, aproximadamente.

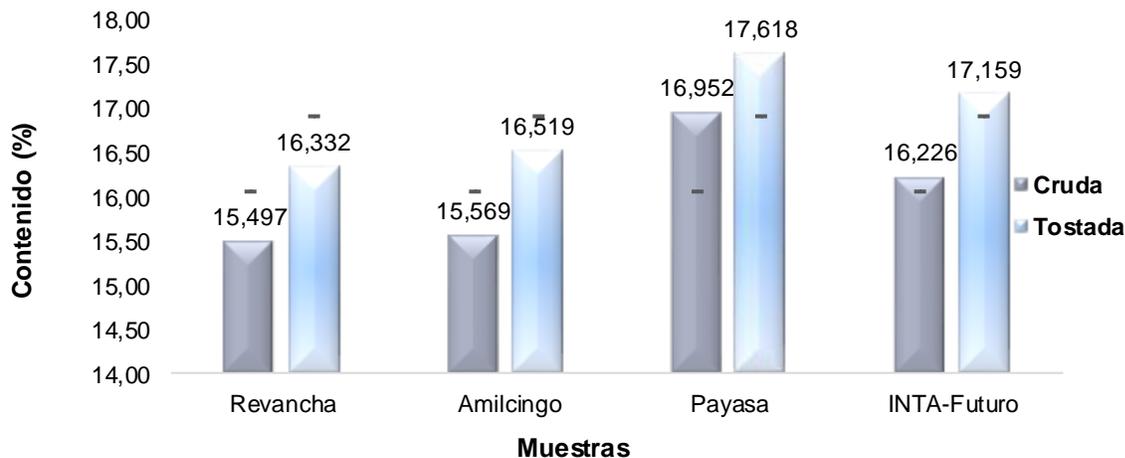


Gráfico 5. Contenido de proteína de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto. Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos se asemejan a los alcanzados en esta investigación por Bressani (2006) (15,1 a 16,98%), Subía (2012) (12,20, a 16,19%), Chamorro (2018) (14,13 a 16,59%), no siendo así para Torres (2019) en el grano crudo para el cual obtuvo 12,253%.

Para la harina tostada los resultados obtenidos difieren con las investigaciones hechas por Bressani (2006) (17,8 a 18,5%) y Torres (2019) (12,0533%). La divergencia entre estos puede ser debido al tratamiento de expansión térmica, el tipo de especie y variedades.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

La variación del contenido de proteínas depende del tipo de suelo y de las diferentes condiciones de cultivo, o el tratamiento para la elaboración de dichos productos estos pueden afectar principalmente la concentración de nutrientes. Aunque para el Instituto Ecuatoriano de normalización (2012) en la norma NTE INE 2646:2012, indica que para la comercialización y procesamiento del mismo el contenido de proteína cruda debe ser mayor del 14,00%.

En el gráfico 6 se observa el contenido de fibra dietaria de las dos harinas de las cuatro variedades, donde en la harina cruda obtuvo un contenido para Revancha con (12,242%) seguida de INTA-Futuro (10,648%), Amilcingo (10,418%) y Payasa (10,374%). Para la harina tostada el contenido fue dado para la variedad Revancha (12,365%), Amilcingo (11,165%), Payasa (11,004%) e INTA-Futuro (10,875%).

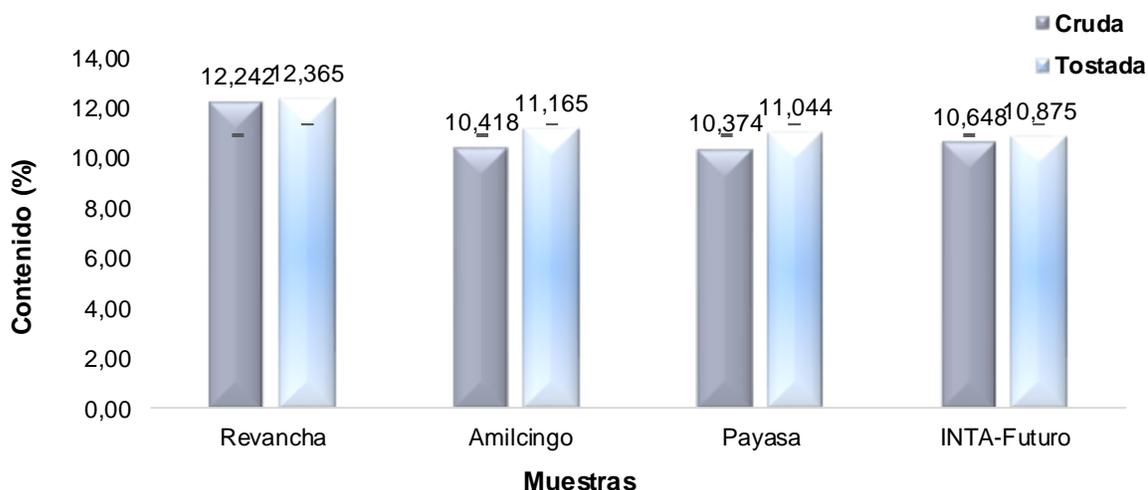


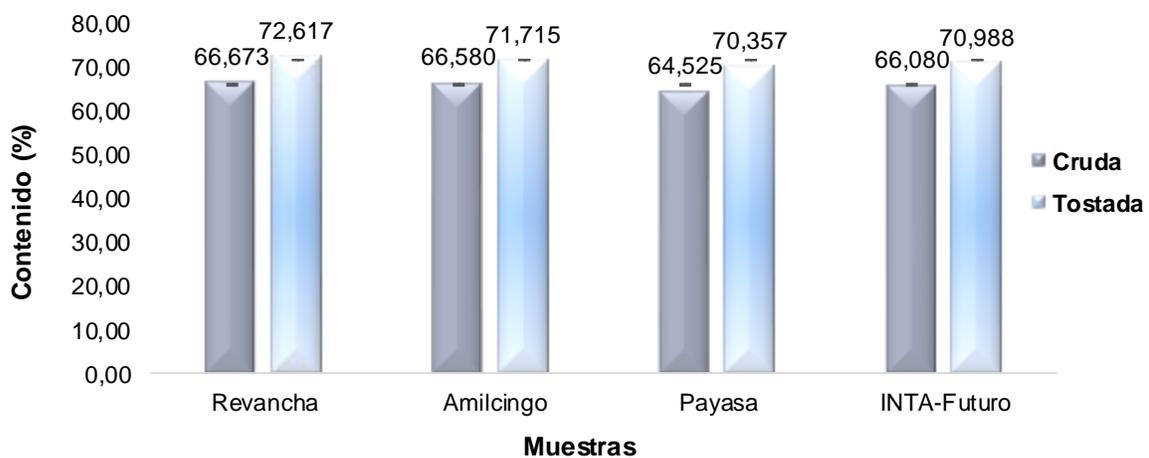
Gráfico 6. Contenido de Fibra dietaria de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto. Fuente: Propia.

Las muestras nicaragüenses presentaron similitud con los resultados obtenido por Chamorro (2018) que presentaron un rango de 7,50% a 14,12% para sus 30 accesiones de *A. Caudatus*. Con respecto a otro estudio hecho por Samanez, Repocarrasco, Zelada, Bernabé y Quinde-Axtell (2012) el rango del contenido de fibra dietaria para amaranto va desde 10,9-11,3%. Para la harina tostada no se encontraron resultados publicados para fibra dietaria.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

En el gráfico 7, se presentan el contenido de los carbohidratos totales o también conocidos como hidratos de carbono, para la harina cruda en la variedad de Revancha se tiene con 66,673%, Amilcingo de 66,580%, INTA-Futuro 66,080% y Payasa de 64,525% de carbohidratos totales.

En la mismo Gráfico 7, para la harina que se le aplico el tratamiento térmico se tiene a la variedad Revancha de 72,617% seguido de Amilcingo con 71,715%, INTA-Futuro 70,988% y Payasa con 70,357% de carbohidratos totales.



*Gráfico 7.*Contenido de carbohidratos totales de harina cruda y tostada de las cuatro variedades de amaranto .Fuente: Propia.

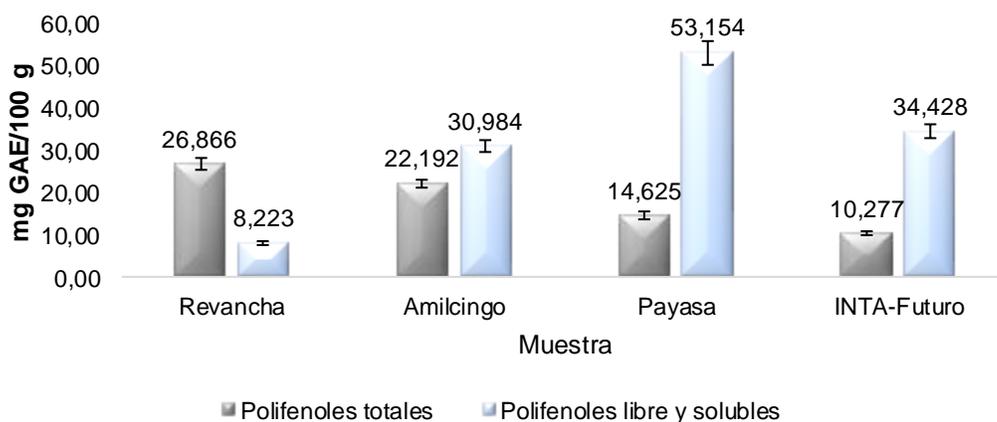
Los resultados obtenidos en este estudio de la harina cruda se encuentran similares en cuanto a la investigación de Bressani (2006) que reporta un rango de (56,5-69,1%), no siendo de eso modo los estudios pertinentes hecho por Chamorro (2018) (72,04 a 75,26%) y Torres (2019) para el grano crudo (61,886%).

En la harina tostada los contenidos obtenidos no se asemejan con los obtenidos por Torres (2019) (69,6%), pero si se encuentra similitud con el grano tostado que reporto (71,266%). La investigación de Torres se observa un descenso para la harina tostada y ascenso para el grano tostado.

#### **4.1.1.2. Composición de actividad antioxidante.**

En el gráfico 8 se encuentran los resultados de las cuatro variedades de harina cruda y tostada de polifenoles totales y libres-solubles de esta investigación, en donde se observa que éstos presentaron mayor contenido polifenólico en Revancha (26,866 mg GAE/100g), seguido de Amilcingo (22,192 GAE/100 g), Payasa (14,625 mg GAE/100 g) e INTA-Futuro (10,227 mg GAE/100 g).

Con respecto a la determinación de los polifenoles libres y solubles que se derivan de los totales, se reporta un aumento en las concentraciones determinadas a excepción de Revancha (8,223 mg GAE/100). La muestra de harina cruda de Payasa reportó 53,154 mg GAE/100g, la variedad INTA-Futuro de 34,428 mg GAE/100 y Amilcingo de 30,984 mg GAE/100 g.



*Gráfico 8.* Contenido de compuesto polifenólico en harina cruda de las cuatro variedades de amaranto. Fuente: Propia.

La comparación que se realizó con otros estudios fue específicamente para polifenoles totales, ya que para polifenoles libre y solubles no es muy común, donde los resultados obtenidos difieren con lo investigado por Chamarro (2018) obteniendo un rango de 52,75 a 75,69 mg GAE/100 g, sin embargo, se encuentra en el rango con lo reportado por Torres (2019) con el grano crudo 33,348 mg GAE/100 g, aunque en otros

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

estudios se concluyó que el rango encontrado para el amaranto es de 39,17 a 56,08 mg GAE/100 g (Klimczak, Małecka, & Pacholek, 2002).

En el gráfico 9 se encuentran el contenido de polifenoles totales y libre-solubles de harina tostada. Para los polifenoles totales, la variedad de INTA-Futuro exhibió el mayor contenido (47,686 mg GAE/100 g), presentando una gran diferencia con respecto a las variedades Revancha (14,005 mg GAE/100 g), Amilcingo (12,826 mg GAE/100 g) y Payasa (12,710 mg GAE/100 g).

El contenido de polifenoles libres y solubles determinado superó a los polifenoles totales. El mayor contenido polifenólico se determinó en la variedad Revancha con 143,959 mg GAE/100 g, seguido de Amilcingo 67,878 mg GAE/100 g, Payasa 46,756 mg GAE/100 g e INTA-Futuro 26,402 mg GAE/100 g.



**Grafico 9.** Contenido de compuesto polifenólicos en harina tostada de las cuatro variedades de amaranto. Fuente: Propia.

La comparación se realizó solo para polifenoles totales, en donde no se encuentra similitud de lo obtenido con lo reportado por Torres (2019) ya que con el grano tostado se obtuvo 40,096 (mg GAE/100 g) y en harina tostada 76,086 (mg GAE/100 g) a excepción de la variedad INTA-Futuro que se encontró en el rango por parte del grano tostado de dicha investigación.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Pese a que los polifenoles son compuestos muy estudiados no existen normas que rigen un nivel límite en relación a los resultados de cualquier alimento según lo reportado por González *et al.*, (2017). Según Morillas-ruiz y Delgado, (2012), la variación del contenido polifenólico principalmente en vegetales puede ser influenciado por muchos factores tales como la especie o el tipo de variedad, de cultivo, así como características medio ambientales, sin embargo los compuestos fenólicos totales del amaranto son asimilables para el organismo humano. Según lo recomendado por Hooppe y Aedin (2006), el consumo de polifenoles debe ser mayor a 100 mg al día. El consumo de 25 mg de amaranto diariamente cubre entre 10 y 25 % de esta recomendación (Repo-carrasco y Encina, 2008).

En el gráfico 10 se encuentran los resultados de la actividad antioxidante que presentan los polifenoles totales, libres y solubles mediante el porcentaje de capacidad de radicales libres presente en las harinas con y sin tratamiento térmico de las cuatro variedades de amaranto.

La actividad antioxidante obtenido a partir de polifenoles totales de Payasa fue 45,913%, INTA-Futuro de 44,460%, Revancha de 44,268% y Amilcingo de 40,787%; en lo obtenidos de la capacidad antioxidante de los polifenoles libres y solubles para la variedad de Revancha fue 69,965% seguido de INTA-Futuro con 69,191%, Amilcingo con 69,246 y Payasa con 68,742 %.

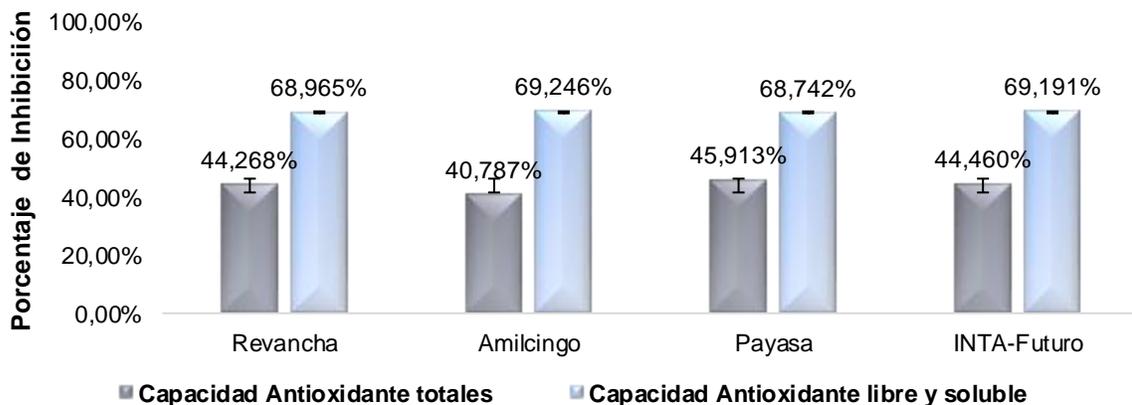


Gráfico 10. Contenido de actividad antioxidante de la harina cruda en las cuatro variedades de amarantos. Fuente. Propia.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

En el gráfico 11 se presenta la actividad antioxidante de la harina tostada en polifenoles totales. INTA-Futuro presentó la mayor capacidad con 45,045%, Payasa con 44,995%, Amilcingo con 44,723% y Revancha con 44,163%; en los polifenoles libres y solubles con mayor contenido se encontró a Payasa con 69,610%, Revancha con 69,487%, INTA-Futuro con 69,427% y Amilcingo con 69,076%.

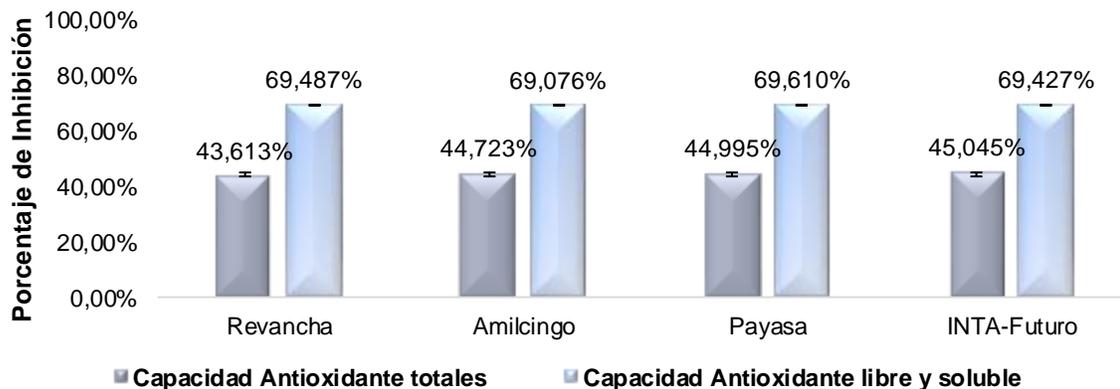


Gráfico 11. Contenido de actividad antioxidante de la harina tostada en las cuatro variedades de amarantos. Fuente: Propia.

Los resultados de las harinas crudas y tostadas previamente indicadas no fueron comparadas con los estudios realizados por Chamarro, (2018) y Torres, (2019) debido a que utilizaron un método diferente y reportan en la unidad:  $\mu\text{g ET/g ms}$ . Existe un estudio realizado por Echaverria *et al.* (2019) que utilizó la misma metodología de acuerdo a este estudio, y determinó que el amaranto sin procesar presentaba de 19.29 a 63.73 % de inhibición para el DPPH.

#### **4.1.2. Identificar las variedades de la harina cruda y tostada que cumplen los requisitos internacionales recomendados por el comité mixto de FAO y OMS.**

Según la FAO (2015) para poder determinar un alimento de calidad nutricional se debe de utilizar el contenido de proteínas, lípidos e hidratos de carbono, estos son considerados los macronutrientes que el organismo necesitan en mayores cantidades puesto que son fundamentales para la obtención de energía, por lo tanto, serán utilizados para la identificación.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Para las cuatro variedades tanto para la harina cruda y tostada, los resultados fueron similares debido a que se mantuvieron en la misma categoría en los parámetros de lípidos, proteínas y carbohidratos totales (anexo 9). Los requisitos internacionales para un alimento nutritivo están dados por el comité mixto de la FAO y OMS.

La FAO (2012) recomienda una ingesta diaria de nutriente para un alimento lo cual debe de aportar en lípidos entre 20% y 35% de energía. En la harina cruda y tostada el contenido de lípidos se obtuvo un contenido de 5 a 6 % en base al 100%, dando un aporte energético de 46-53 kcal, asumiendo que por cada gramo o porcentaje otorga una energía de 9 kcal dicho por la FAO (2015), ocupando una ingesta nutritiva de 12-14%.

La necesidad proteica para el ser humano es esencial debido a que específicamente para un adulto su organismo posee entre 18 y 19 % de proteína, lo cual se descomponen y reponen constantemente en los tejidos, también restablecen otras funciones estructurales del cuerpo, la pérdida de proteína es inevitable por lo que es necesaria respaldar y producir más proteínas, al ingerir algunos alimentos podemos proporcionar cierta cantidad de proteína (FAO y OMS, 1975).

Según la OMS/FAO (2003) recomiendan en los alimentos para la prevenir enfermedades crónicas, una ingestas de nutriente de un alimento en proteína debe aportar entre 10 y 15 % de energía. Los resultados de proteína total, tanto de harina cruda como tostada, oscilaron entre 15 y 17 %. De acuerdo a la FAO (2015) el aporte energético por cada gramo o porcentaje es de 4 kcal por lo tanto da una contribución de 61-67 kcal para una ingesta de nutriente de 16-17 %.

Es importante señalar que los contenidos de proteínas total del amaranto superan lo recomendado por la FAO y OMS, no obstante, otras organizaciones como la Institute of Medicine of the National Academies (2001) recomienda que la proteína debe aportar de 10-35 %, tomando en cuenta la importancia de poder sustentar más proteína para el buen funcionamiento de cuerpo humano.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

En los cereales y pseudocereales lo que más prevalece son los carbohidratos estos son la fuente principal de energía (kcal) (FAO, 2002). De acuerdo a las ingestas de nutriente sugeridos por OMS/FAO (2003) los carbohidratos de un alimento deben de aportar de 55-75% de energía. En los resultados obtenidos por la muestra de amaranto se obtuvo un aproximado de 64 y 72 % de carbohidratos. De acuerdo a las FAO (2015) por cada gramo los carbohidratos aportan 4 kcal de energía. Esto significa que el contenido de carbohidratos de las harinas de amaranto analizadas aporta de 258-290 kcal, equivalente a 67-71% de energía aportado por este nutriente.

El aporte energético total de las harinas cruda y tostada está entre 379-405 kcal, esta cantidad es muy satisfactoria de acuerdo a lo recomendado por las organizaciones alimentaria puesto que otros cereales según la FAO y OMS (2009) aportan solamente 200-270 kcal. Estos resultados pueden estar favorecidos por el buen manejo agronómico que se le dio en suelos nicaragüenses.

**4.1.3. Evaluar el efecto de tostado de la materia prima sobre su composición proximal y actividad antioxidante.**

Se realizó diferentes pruebas estadísticas para determinar un supuesto de normalidad en las muestras de harina cruda y tostada, como se observa en la tabla 8, los parámetros que cumplieron los requisitos de variables son: Humedad g/100, materia seca g/100g, Cenizas g/100g, Antioxidante totales (%) y Antioxidante libres (%) las especificaciones del análisis se encuentran en el anexo 10.

Tabla 8.

*Prueba de normalidad*

Parametros	Tipo de procesamiento	Shapiro-Wilk			Normalidad
		Estadístico	gl	p-valor	
Humedad g/100 g	Cruda	0,929	12	0,374	✓
	Tostada	0,804	12	0,056	✓
Materia seca	Cruda	0,929	12	0,374	✓
	Tostada	0,804	12	0,049	✓
Cenizas g/100g	Cruda	0,89	12	0,118	✓
	Tostada	0,892	12	0,124	✓
Lipidos g/100g	Cruda	0,848	8	0,092	✓
	Tostada	0,785	8	0,02	✗
Proteinas g/100g	Cruda	0,785	8	0,02	✗
	Tostada	0,86	8	0,119	✓
Hidratos de carbono	Cruda	0,74	8	0,006	✗
	Tostada	0,893	8	0,249	✓
Fibra Dietaria	Cruda	0,664	8	0,001	✗
	Tostada	0,709	8	0,003	✗
Polifenoles Totales	Cruda	0,877	8	0,178	✓
	Tostada	0,591	8	0	✗
Polifenoles Libre	Cruda	0,873	8	0,162	✓
	Tostada	0,814	8	0,041	✗
Antioxidant e totales	Cruda	0,837	8	0,07	✓
	Tostada	0,907	8	0,335	✓
Antioxidant e Libres	Cruda	0,837	8	0,069	✓
	Tostada	0,854	8	0,105	✓

A los parámetros que obtuvieron normalidad se le aplicó una prueba de t Student para muestras independientes; se utiliza un nivel de significancia  $\rho \leq 0,05$ .

Como resultado se obtuvo que no existe diferencia significativa en antioxidantes totales y cenizas, por otro lado, se encontró diferencia significativa en antioxidantes libres, humedad y materia seca (Tabla 9).

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Tabla 9.

*Prueba de muestra independiente.*

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias				Diferencia de medias	
		F	p-valor	t	gl	p-valor			
Antioxidantes totales (%)	varianzas iguales	5,089	0,041 $\neq$	-0,971	14	0,348	-0,73663		
	varianzas diferentes			-0,971	8,579	0,358	-0,73663	=	
Antioxidantes Libres (%)	varianzas iguales	0,13	0,724 =	-3,362	14	0,005	-0,363807	$\neq$	
	varianzas diferentes			-3,362	13,99	0,005	-0,363807		
Humedad g/100 g	varianzas iguales	3,523	0,074 =	119,635	22	0,000	7,109792	$\neq$	
	varianzas diferentes			119,635	19,12	0	7,109792		
Materia seca g/100g	varianzas iguales	3,523	0,074 =	-119,635	22	0	-7,109792	$\neq$	
	varianzas diferentes			-119,635	19,12	0	-7,109792		
Cenizas g/100g	varianzas iguales	0,001	0,97 =	-2,453	22	0,0523	-0,19377	=	
	varianzas diferentes			-2,453	22	0,0523	-0,19377		

En cuanto a las variables que no cumplieron la normalidad como lípidos, proteínas, hidratos de carbonos, fibra dietaria, polifenoles totales y libres-solubles se le fue asignadas pruebas no paramétricas con un nivel de significancia de  $\rho \leq 0,05$  encontrándose que existen diferencias significativas en los lípidos, proteína, fibra dietaria y carbohidratos como se observa en la tabla 10.

En cuanto a los parámetros de polifenoles libres y totales hubo una cierta distorsión debido a los valores atípicos; estos pueden tener un efecto desproporcionado en los resultados estadísticos, como la media que se observa en la tabla 10, pero tomando en cuenta los datos no se encuentra diferencia significativa  $\rho \leq 0,05$  en polifenoles libres y polifenoles totales, las especificaciones del planteamiento se encuentran en (anexo 10).

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

Tabla 10.

*Prueba de U de Man-Whitney para la determinación de diferencias entre parámetros y tipo de procesamiento*

<b>Hipótesis nula</b>	<b>p-valor</b>	<b>Decisión</b>
La distribución de Lípidos g/100g es la misma en harina cruda y tostada	0,021	Rechazar la hipótesis nula. $\neq$
La distribución de Proteínas g/100g es la misma en harina cruda y tostada	0,012	Rechazar la hipótesis nula. $\neq$
La distribución de Hidratos de carbono g/100g es la misma en harina cruda y tostada	0,000	Rechazar la hipótesis nula. $\neq$
La distribución de Fibra Dietaria g/100 g es la misma en harina cruda y tostada	0,038	Rechazar la hipótesis nula. $\neq$
La distribución de Polifenoles Totales es la misma en harina cruda y tostada	0,721	Retener la hipótesis nula. $=$
La distribución de Polifenoles libres es la misma en harina cruda y tostada	0,105	Retener la hipótesis nula. $=$

## **CAPÍTULO V**

### **5.1. Conclusiones**

- La composición proximal de las harinas crudas presentó aproximadamente: 10% de humedad, 90% de materia seca, 2% de ceniza, 5% de lípidos, 15-16 % de proteínas, 10-12% de fibra dietaria y 64-66% de carbohidratos totales. Las harinas procesadas térmicamente presentaron aproximadamente: 3% de humedad, 97% de materia seca, 2-3% de ceniza, 5-6% de lípidos, 16-17% de proteína, 10-12% de fibra dietaria y 70-72% de carbohidratos totales.

Las composiciones de actividad antioxidante de las muestras de harinas crudas reportan polifenoles totales desde 10-26 mgGAE/100G con una actividad antioxidante mediante su porcentaje de inhibición 40-45% y polifenoles libres-soluble de con 8-53 mgGAE/100 con actividad antioxidante de 68-69%. En la harina tostada se determinaron polifenoles totales de 12-47 mg GAE/100g, con una actividad antioxidante de 43-45% y polifenoles libres y solubles de 26-143 g GAE/100g con actividad antioxidante 69 %.

- Se identificó que las harinas crudas y tostadas de las cuatro variedades analizadas (Payasa, Revancha, Criollo de Amilcingo e INTA-Futuro) se encuentran en los porcentajes de nutrientes que recomiendan el comité mixto de la FAO y OMS.
- Se analizó el efecto del tostado en la harina cruda, concluyendo, con un nivel de significancia  $p \leq 0,05$ , que existe diferencia significativa en los parámetros de humedad, materia seca, lípidos, proteína, fibra dietaria, carbohidratos y antioxidante libres para ambas matrices.

Al evaluar la composición proximal y actividad antioxidante de las harinas crudas y las harinas sometidas a una temperatura menor de 100 °C (tostadas), y tomando

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

en cuenta el pequeño incremento en el contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos posterior al tostado, se determinó que no hubo una disminución del contenido nutricional de las harinas sometidas a este procesamiento térmico, aceptando la hipótesis planteada. Debe mencionarse que la temperatura debe ser tomada en cuenta en el procesamiento a nivel industrial o artesanal de cualquier alimento para evitar pérdidas en su calidad.

## **5.2. Recomendaciones**

Se exhorta realizar las siguientes recomendaciones de las cuatro variedades de amaranto que fueron adaptados en Nicaragua:

- Para la UNAN-Managua, específicamente para los estudiantes de Química Industrial, evaluar otra influencia de temperatura  $>100$  °C en distintos tiempos y determinar sus componentes nutricionales.
- Para la UNAN-Managua, para los estudiantes de Química, caracterizar y evaluar los componentes nutricionales y bioactivos presentes en el grano y la hoja.
- A los estudiantes de la UNAN-MANAGUA, se requiere evaluar la influencia sobre su composición proximal y bioquímica de granulometrías o utilización de las operaciones unitarias con diversas muestras de harina de amaranto.
- Para el INTA, para los investigadores del rubro, realizar estudios para determinar la composición proximal y bioquímico del grano nixtamalizado, extruida u otros procesos.
- Al INTA, continuar con la fortificación de alimento a base de amaranto, tanto de tortilla (actualmente en producción), galleta y fideos, y comparar con alimentos industrializados.

### **5.3. Bibliografía**

- Aguilar, H. (2012). *Perfil de expresión a nivel transcripcional en respuesta a estrés salino en dos especies de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. y *Amaranthus hypochondriacus* L.)*. (Tesis doctoral). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C, San Luis Potosí-México.
- Agundes, F. (2018). *El cultivo del amaranto en México (*Amaranthus* spp.)*. Universidad Autónoma Agraria Narro, Saltillo-México.
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science and Technology*, 21(2), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
- American Association of Cereal Chemists. (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46(3), 112–125. Recuperado de <https://www.cerealsgrains.org/initiatives/definitions/Documents/DietaryFiber/DFDef.pdf>
- Association of Official Analytical Chemists. (2016). Appendix F: Guidelines for Standard Method Performance Requirements. AOAC Official Methods of Analysis, 1–17.
- Apak, R., Gorinstein, S., Böhm, V., Schaich, K. M., Özyürek, M., & Güçlü, K. (2013). Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC Technical Report). *2010 10th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Humanoids 2010*, 85(5), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICHR.2010.5686322>
- Badui, S. (2012). *Química de los Alimentos* (5 ed; Educación Pearson, Ed.). México.
- Bartolo Estrella, D. E. (2014). *Influencia de la temperatura de tostado sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de la Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) variedad Cupi*. (Tesis pesgrado). Universidad Peruana Union, Lima-Perú.
- Bressani, R. (1995). Amaranto: Composición Química y valor nutritivo del Grano. *En Agroindustria rural recursos técnicos y alimentación* (INCAP, Vol. 1, pp. 83–114). Guatemala.
- Bressani, R. (2006). Estudios sobre la industrialización del grano de amaranto,

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

- caracterización química y nutricional de productos intermedios y finales del procesamiento. *Proyecto FODECYT*, (23–2002), 275.
- Botanical. (2019). Característica del amaranto. Recuperado de Equipo de Botanical website: <https://www.botanical-online.com/botanica/amaranto>
- Brenner, D. (1990). *Seed Shattering Control with Indehiscent Utricles in Grain*. 1(3), 2–3.
- Cardenas, A. (2012). “*Composicion química, características de calidad y actividad antioxidante de pasta enriquecida con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratado*”. (tesis maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Carpio, J. (2009). *Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto (Amaranthud ssp.)*. (Tesis pesgrado). Universidad del el Salvador, San Salvador-Salvador.
- Castrillon, A., Navarro, P., & Garcia, T. (1996). Tuna protein nutritional quality changes after canning. *Journal of food science*, 61(6), 1250–1253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb10972.x>
- Chagaray, A. (2005). *Estudio de Factibilidad de Cultivo del Amaranto*. Recuperado de <https://pdfslide.net/download/link/13-estudio-de-factibilidad-del-cultivo-de-amaranto-1>
- Chamorro, R. (2018). *Valor nutricional y compuesto bioactivos de 30 accesiones de kiwicha del INIA-Perú*. (tesis maestría). Universidad Nacional Agraria, Lima-Perú.
- Criollo, P. y Fajardo, S. (2010). *Valor nutricional y funcional de la harina de amaranto (Amaranthus hybridus) en la preparacion de galletas*. (tesis pesgrado). Universidad de Cuenca, Cuenca-Salvador.
- Domodaran, S., Parkin, K. L., R., O., y Fennema. (2008). *Química de los alimentos* (ed. 3). Zaragoza, España.
- Echaverria, J., Wong-Ram, B., Rodríguez, C., Magaña, E., Chávez, P., y Ledesma, I. (2019). Actividad antioxidante de harinas de amaranto obtenidas por extrusión y análisis parcial de su calidad proteica in vivo. *Revista de Ciencias Biologica y de la salud*, 1, 24–31.
- FEN(Fundación Española de Nutrición). (2015). Principales funciones de los minerales. Recuperado de [fen.org.es](http://www.fen.org.es) website: <http://www.fen.org.es/blog/principales->

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

funciones-de-los-minerales-en-la-alimentacion/

- Fomsgaard, I.S., Añon, M.C., Barba de la Rosa, A.P., Christophersen, C., Dusek, K., Délano-Frier, J., Espinoza Pérez, J., Fonseca, A., Janovská, D., Kudsk, P., Labouriau, R.S., Lacayo Romero, M.L., Martínez, N., Matus, F., Matusová, K., Mathiassen, S.K., Noellemeyer, E. J., Pedersen, H.A., Stavelikova, H., Steffensen, S.K., de Troiani, R.M., Taberner, A. (2010). Adding Value to Holy Grain: Providing the Key Tools for the Exploitation of Amaranth - the Protein-rich Grain of the Aztecs. Results from a Joint European - Latin American Research Project. Department of Integrated Pest Management, Aarhus University, Faculty of Agricultural Sciences, Denmark. ISBN 978-87-91949-62-3. 79 pp
- García, B., González, S., y Jornet, J. (2010). SPSS: Prueba T para muestras independientes. En Universidad de Valencia: Grupo de Innovación Educativa. Recuperado de [https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS\\_0701b.pdf](https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0701b.pdf)
- González, I. N., Periago, M. J., y Alonso, F. J. G. (2017). Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(4), 320–326. <https://doi.org/10.14306/renhyd.21.4.357>
- Gorrachategui, M. (2010). *Efecto del tratamiento de las materias prima sobre su valor nutricional*. Madrid-España: XXVI Curso de Especialización FEDNA. Madrid.
- Grandes Román, G. N. (2015). *Caracterización morfológica y evaluación agronómica de 8 líneas de amaranto (*Amaranthus spp*) provenientes de Rusia en el Barrio Tigualo (Salcedo) y en el Barrio Las Manzanas (SIGCHOS)*. Cotopaxi. 2014. (tesis pesgrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga-Ecuador.
- Greenfield, H., y Southgate, D. (2006). Datos de composición de alimentos (ed. 2; FAO, Ed.).
- Greizerstein, E. J. (1995). *Estudios citogenéticos y de electroforesis de proteínas seminales en el género *Amaranthus* (*Amaranthaceae*)*. ( Tesis Doctoral). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires- Argentina.
- Halliwell, B. (1996). Antioxidants in Human Health and Disease. *Annual Review of Nutrition*, 16(1), 33–50. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.16.070196.000341>
- He, H., & Corke, H. (2003). Oil and Squalene in Amaranthus Grain and Leaf. *Agricultural and food chemistry*, (51, 27, 7913–7920), 8.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

<https://doi.org/https://doi.org/10.1021/jf030489q>

- Hernandez, R., Fernandez, C., y Pilar, B. (2014). Metodología de la investigación (ed. 6; McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, Ed.). México.
- Hernández, R., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V., y Pacheco, L. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus* spp.). *Journal of Negative and No Positive Results*, 3(6), 14–14. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2410>
- Hoope, L., & Aedin, C. (2006). A review of the health care potential of bioactive compounds. *Journal of the science of food and agriculture*, 86, 1805–1813. <https://doi.org/10.1002/jsfa>
- Holden, J. M., Schubert, A., Wolfy, W., & Beecher, G. R. (1997). Sistema para evaluar la calidad de los datos publicados de nutrientes. En Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Ed.), Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición (p. 243). Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ah833s.pdf>
- Institute of medicine of the national Academies. (2001). *DIETARY REFERENCE INTAKES for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids* (USDA). Washington, DC.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica* (ed. 2; M. Menchú & H. Méndez, Eds.). Guatemala: INCAP/OPS, 2007.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2646 : 2012, Granos y cereales. Granos de amaranto. Requisitos e inspección. En *INEN*. Quito-Ecuador. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2646.pdf>
- Instituto Nacional de Información y Desarrollo y Ministerio de Salud (2013). *Encuesta Nicaragüense de Demografía y Salud 2011 / 12 Informe Preliminar* Recuperado de [https://www.inide.gob.ni/endesa/Endesa11\\_12/HTML/endesa11/assets/common/downloads/Informepreliminar.pdf](https://www.inide.gob.ni/endesa/Endesa11_12/HTML/endesa11/assets/common/downloads/Informepreliminar.pdf)
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2018). *Recomendaciones para la producción de Amaranto*. 3. Recuperado de <http://inta.gob.ni/wp-content/uploads/2019/02/Recomendaciones-produccion-Amaranto-2018-.pdf>

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

- Jiménez, E. (2017). Caracterización morfológica, física y fenológica de cuatro variedades de amaranto (*Amaranthus* sp.) para las condiciones meteorológica del cantón cevallos. (tesis pesgrado). Universidad Tecnica de Ambato, Cevallos-Ecuador.
- Klimczak, I., Małecka, M., & Pacholek, B. (2002). Antioxidant activity of ethanolic extracts of amaranth seeds. *Nahrung - Food*, 46(3), 184–186. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20020501\)46:3<184::AID-FOOD184>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20020501)46:3<184::AID-FOOD184>3.0.CO;2-H)
- Lacayo Romero, M., y Jarquin, M. (2020). *Factores sociales y culturales del cultivo de amaranto como alimento nutricional. Manuscrito no publicado*. UNAN-RURMA.Managua- Nicaragua.
- Luna, H., y Laguna, R. (2004). Evaluación preliminar de 30 genotipos de sorgo (sorgo bicolor L. Moench (tesis pesgrado) . Universidad Nacional Agraria; Vol. 40. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnq02r741.pdf>
- Lupano, C. E. (2013). *Modificaciones de componeneste de los alimentos: cambios químicos y bioquímico por procesamiento y almacenamiento* (ed. 1; Universidad Nacional de la Plata, Ed.). Plata-Argentina.
- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., & Raffaele, C. (2000). Review of nonezymeatic browing and antioxidant capacity in processed food. *Trends in foof Science & Techonology*, 11, 340–346.
- Mapes, E. (2015). El amaranto. *Revista Ciencia*. 8–15. Recuperado de [http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66\\_3/PDF/Amaranto.pdf](http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf)
- Martirosyan, D. M., Miroshnichenko, L. A., Kulakova, S. N., Pogojeva, A. V., & Zoloedov, V. I. (2007). Amaranth oil application for coronary heart disease and hypertension. *Lipids in Health and Disease*, 6, 1–12. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-6-1>
- Ministerio de Desarrollo Productivo. (2016). Amaranto,una pequeña gran semilla. En *nutricion y educacion alimentaria, Ficha N° 58*. Argentina.
- Morillas-Ruiz, J. M., y Delgado-Alarcón, J. M. (2012). Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria*, 32(2), 8–20.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

- Nasirpour-Tabrizi, P., Azadmard-Damirchi, S., Hesari, J., & Piravi-Vanak, Z. (2020). Amaranth Seed Oil Composition. En *Nutritional Value of Amaranth* (IntechOpen, p. 14). <https://doi.org/10.5772/intechopen.91381>
- Norma Mexicana. (2009). *Norma mexicana. NMX-FF-114-SCFI-2009, Grano de amaranto(Amaranthus spp.) para uso y consumo humano- especificaciones y métodos de ensayo* (Vol. 3). Recuperado de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5106745&fecha=25/08/2009](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5106745&fecha=25/08/2009)
- Norma Oficial Mexicana. (2008). NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de. En *Nom-247-Ssa1-*. Recuperado de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/NOMcereales\\_12434.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/NOMcereales_12434.pdf)
- Oo, S. P., Htun, Z. L. M., Min, S. S., & Hlaing, H. H. (2016). *Amaranthus spinosus*. Recuperado de <https://www.plantwise.org/FullTextPDF/2017/20177800538.pdf>
- Ospina, E. (2001). *Estructura y morfología* (1a ed.; Unversidad Nacional de Colombia, Ed.)  
Recuperado de [https://books.google.com.ni/books?id=2DWmqb6xP3wC&pg=PA15&lpg=PA15&dq=morfologia+en+granos&source=bl&ots=IBFkThHaix&sig=ACfU3U3egNKZWYg3wep3rgKOFVBOIYCi-g&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiUqpO6\\_OznAhXpm-AKHYxgDKwQ6AEwEnoECAoQAQ#v=onepage&q=morfologia en granos&f=false](https://books.google.com.ni/books?id=2DWmqb6xP3wC&pg=PA15&lpg=PA15&dq=morfologia+en+granos&source=bl&ots=IBFkThHaix&sig=ACfU3U3egNKZWYg3wep3rgKOFVBOIYCi-g&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiUqpO6_OznAhXpm-AKHYxgDKwQ6AEwEnoECAoQAQ#v=onepage&q=morfologia%20en%20granos&f=false)
- Organización de las naciones Unidas para las Agricultura y la Alimentación.(1971).*Necesidades de energía y de proteína*. [https://doi.org/https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38646/WHO\\_TRS\\_522\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://doi.org/https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38646/WHO_TRS_522_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, y Organización Mundial de la Salud. (1973). Energy and protein requirements. Recuperado de Report of a Joint FAO/OMS Ad Hoc Expert Committee. FAO Nutrition Meetings Report Series No. 52/WHO Technical Report Series No.522. Roma, FAO/Ginebra, Suiza, OMS. website: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41042/WHO\\_TRS\\_522\\_eng.pdf?se](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41042/WHO_TRS_522_eng.pdf?se)

quence=1&isAllowed=y

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, y Organización Mundial de la Salud. (1975). Manual sobre necesidades nutricionales del hombre. En FAO/OMS (Ed.), *Fao & Oms*. Ginebra. Recuperado de [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/41420/1/9243400614\\_es.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/41420/1/9243400614_es.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, y Organización Mundial de la Salud. (2009). Programa conjunto fao/oms sobre normas alimentarias comisión del codex alimentarius. Recuperado de [http://www.fao.org/tempref/codex/Reports/Alinorm10/al33\\_13s.pdf](http://www.fao.org/tempref/codex/Reports/Alinorm10/al33_13s.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). Macronutriente:carbohidratos,grasas y proteínas. En Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29 (Ed.), *Nutrición humana en el mundo en desarrollo* (Vol. 1, p. 520). Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm>
- Organización Mundial de la Salud, & Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2003). Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas, Informe de una Consulta Mixta de Expertos. *Serie de informes técnicos 916, 1*, 1–152.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). *Grasas y ácidos grasos en nutrición humana Consulta de expertos* (FAO). Ginebra.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). Macronutrientes y micronutrientes. Recuperado de [http://www.fao.org/elearning/Course/NFSLBC/es/story\\_content/external\\_files/Macronutrientes\\_y\\_micronutrientes.pdf](http://www.fao.org/elearning/Course/NFSLBC/es/story_content/external_files/Macronutrientes_y_micronutrientes.pdf)
- Padrón, C., Oropeza, R., y Montes, A. (2014). Semillas de quinua ( *Chenopodium quinoa* Willdenow ): composición química y procesamiento . Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 166–218.
- Pastoriza de la cueva, S. (2013). *Efecto de la ingesta de compuestos avanzados de la reacción de Maillard sobre el metabolismo gastrointestinal*. (Tesis Doctoral).Universidad de Granada,Granada-España.

**Análisis de la composición proximal y actividad antioxidante de la harina cruda y tostada de cuatro variedades de *Amaranthus cruentus* cultivados en Managua. Agosto 2019 a Marzo 2020**

- Perez-Vizcaino, F., Duarte, J., Jimenez, R., Santos-Buelga, C., & Osuna, A. (2009). Antihypertensive effects of the flavonoid quercetin. *Pharmacological Reports*, 61(1), 67–75. [https://doi.org/10.1016/S1734-1140\(09\)70008-8](https://doi.org/10.1016/S1734-1140(09)70008-8)
- Phidut, N., & Jiraporn, B. (2013). Characteristics and antioxidant activity of Maillard reaction products derived from chitosan-sugar solution. *International Food Research Journal*, 20(3), 1077–1085.
- Quiñones, M., Miguel, M., y Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición hospitalaria*, 27(1), 76–89. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418>
- Rainsford K. (Ed.). (2016). Proximate Composition Analysis. *Progress in drug research*, 71, 21–31. Springer Basel Editorial. Basel, Switzerland.
- Ramírez, D., Mora, J., Ordaz, J. L., Acosta, A., y Serna, B. (2010). *Nicaragua Efecto del Cambio Climático sobre la Agricultura*. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25925/lcmexl964.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Repo-Carrasco, R. (1998). Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y granos andinos. Agraria. Lima, Perú, 137 páginas.
- Repo-carrasco, R., y Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista de la sociedad química del Perú*, 2, 85–99.
- Rivas, R., Moreno, J., y Talavera, J. O. (2013). Investigación clínica XVI Diferencias de medianas con la U de Mann-Whitney. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, 51(4), 414–419.
- Rizanenکو, T. (s/f). Red amaranth (*Amaranthus cruentus*) inflorescence closeup on sunny day. Recuperado de [https://es.123rf.com/photo\\_109552837\\_red-amaranth-amaranthus-cruentus-inflorescence-closeup-on-sunny-day.html](https://es.123rf.com/photo_109552837_red-amaranth-amaranthus-cruentus-inflorescence-closeup-on-sunny-day.html)
- Romo, S., Rosero, A., Forero, C., y Céron, E. (2006). Potencial nutricional de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* w) variedad piartal en los andes colombianos primera parte. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 4(1), 112–125.
- Royo Bordonada(coord.), M. (2017). *Nutrición en salud pública* (Escuela Na; I. de salud

C. III, Ed.). Madrid.

- Rubio, M., y Berlanga, V. (2012). Como aplicar les proves paramètriques bivariades t de Student i ANOVA en SPSS. Cas pràctic. Revista d'Innovació i Recerca en Educació, 5(2), 83–100. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>
- Saltini, R., Akkerman, R., & Frosch, S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29(1), 167–187. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.054>
- Samanez, C. A. L., Repo-carrasco, R., Zelada, C. R. E., Bernabé, I. H., y Quinde-Axtell, Z. (2012). Extracción con soluciones neutra y alcalina para el aislamiento de fibra soluble e insoluble a partir de salvado de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen.). *Revista de la sociedad química de Perú*, 78(1), 53–64.
- Sánchez, C. (2007). *Caracterización fisicoquímica amaranto (Amaranthus hypochondriacus) cultivado en San Luis Potosí*. (tesis Doctoral). Intituto Potosino de Investigación Científica y Tecnología, A.A.C, San Luis Potosí-México.
- Schoeman, L., Plessis, A., Verboven, P., Nicolaï, B. M., Cantre, D., & Manley, M. (2017). Effect of oven and forced convection continuous tumble (FCCT) roasting on the microstructure and dry milling properties of white maize. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44(July), 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.021>
- Schroeter, H., Heiss, C., Balzer, J., Kleinbongard, P., Keen, C. L., Hollenberg, N. K., ... Kelm, M. (2006). Epicatechin mediates beneficial effects of flavanol-rich cocoa on vascular function in humans. *National Academy of Sciences*, 103(4), 1024–1029. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.0510168103>
- Subía, C. (2012). *Caracterización agronómica, bromatológica, isoenzimática y radiosensibilidad de poblaciones de amaranto (Amaranthu spp.) colectadas en las principales áreas de producción de México*. (tesis master). Intitución de enseñanza e investigación en ciencias Agrícola. Montecillo, México.
- Tapia, M. (2000). Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Recuperado de [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/pro](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/pro)

dveg/cdrom/contenido/libro01/Cap2.htm

- Tavella, M. V., Tavella, J. M., Gamboa-Santos, J., Lamelo, M. J., y Mastroianni, M. (2016). Hacia una Argentina libre de grasas trans. *Revista Chilena de Nutricion*, 43(4), 408–415. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000400011>
- Tavitas, L., Hernández, L., Urbina, R., y Isidro, E. (2015). *Caracterización morfológica y agronómica de progenitores de amaranto (Amaranthus spp)* (ed. 1; A. y P. SAGARPA-Institución Nacional de Investigación Forestal, Ed.). Zacatepec-México: Publicación Especial No.56.
- Torres, J. (2019). *Efecto comparativo de las variaciones producidas en los constituyentes funcionales y capacidad antioxidante durante el procesamiento de harina tostada de Quinoa (Chenopodium quinoa Wild), Cañihua (Chenopodium pallidicatum Aellen) y Kiwicha (Amaranthus caudatus)*. (tesis Pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú.
- Trowell, H. (1976). Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *American Journal of Clinical Nutrition*, 4(29), 417. <https://doi.org/doi:10.1093/ajcn/29.4.417>
- Vásquez, F. de M. (2006). Digestibilidad in vitro de proteína y compuesto bioactivo en accesiones de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L. 1753) tostada. (tesis Maestría). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú.
- Vinagre, J. (1997). Calidad de método analítico. En Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Ed.), *Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición* (p. 137). Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ah833s.pdf>
- Zumbado, H. (2004). Análisis Químico de los Alimentos. (Ed. 2; Instituto de Farmacia y Alimentos, Ed.). Habana-Cuba.

**Anexo**

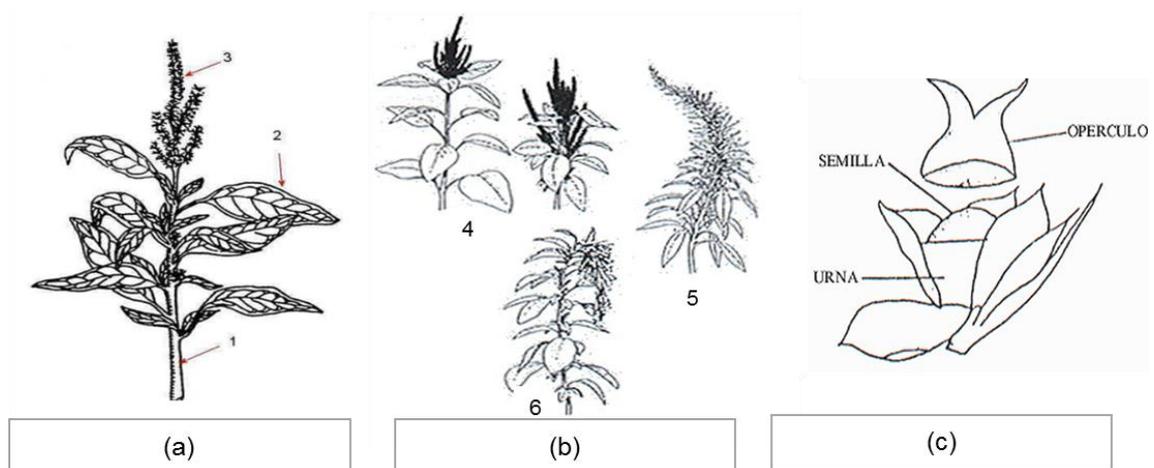


Figura 1.1. (a) Morfología general de la planta de amaranto: tallo (1), hojas (2) e inflorescencia (3). (b) Morfología de las inflorescencias de las especies: *Amaranthus hypochondriacus* L. (4), *A. cruentus* (5) y *A. caudatus*. (6). (c) Pixidio unilocular del amaranto.

Fuente: (a) Botanical, 2019. (b) Tapia, 2000. (c) Brenner, 1990.

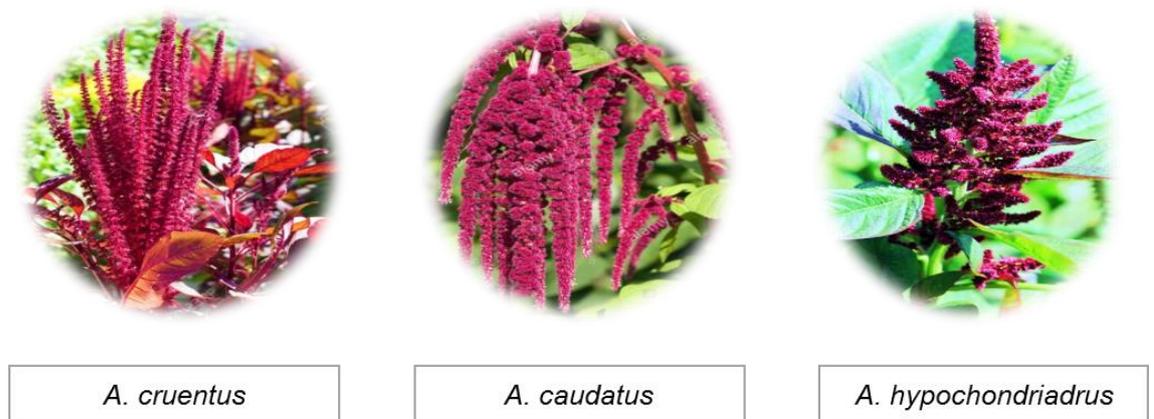


Figura 1.2. Inflorescencia de tres especies de amaranto. Fuente: Rizanenko s/f.

Tabla 1.1.

*Diferencias entre las especies de amaranto.*

<b>Especies</b>	<b>Altura</b>	<b>Ramificación</b>	<b>Hoja</b>	<b>Inflorescencia</b>	<b>Frutos</b>
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	1.5- 2 m	Tallo ramificado desde la base y marcado con estrías longitudinales	Son largas, pecioladas y ovadas. Miden 15 cm de largo y poseen color verde completo o con el borde algo rosadas	En panículas terminales y axilares muy ramificadas de aproximadamente de 50 cm de largo de colores verde, rojos o púrpuras con numerosas flores de 4 a 5 mm, masculinas y femeninas	Es una cápsula pequeña dehiscente que contiene una sola semilla blanca, lisa y brillante, ligeramente aplanada pero también se encuentra semillas café pardas y negras mezclada con las blancas
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	2 m	Escasamente ramificado	Formas variables. Existen elípticas, ovatinadas, lanceoladas o rombo-ovatinadas	Normalmente es laxa con panículas o espigas extremadamente largas o colgante con una apariencia glomerular que es distintiva de esta especie	Las semillas son blancas, con bordes rojos, rosas o negras. Las plantas con semilla de color claro son las que se utilizan para producción de grano
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	2 m	Tallos ascendentes, simples o ramificados, algunas veces vellosos en las parte superior	Elípticas rombo-aovados, verdes o púrpuras, ligeramente vellosas	Flores en panículas de espigas terminales o axilares	

Fuente: Tavitas, Hernández, Urbina, y Isidro (2015) y entrevista a investigadores del INTA (2020).



Figura 1.3. Estructura del ácido linoleico y ácido alfa.

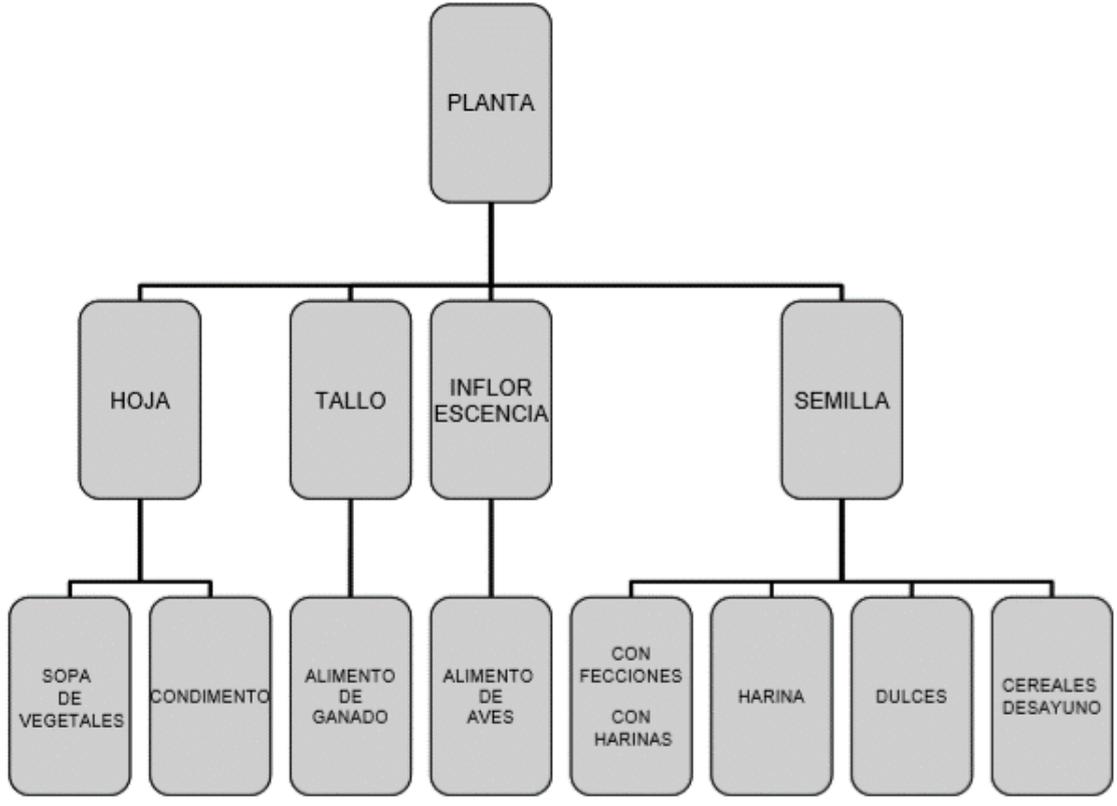
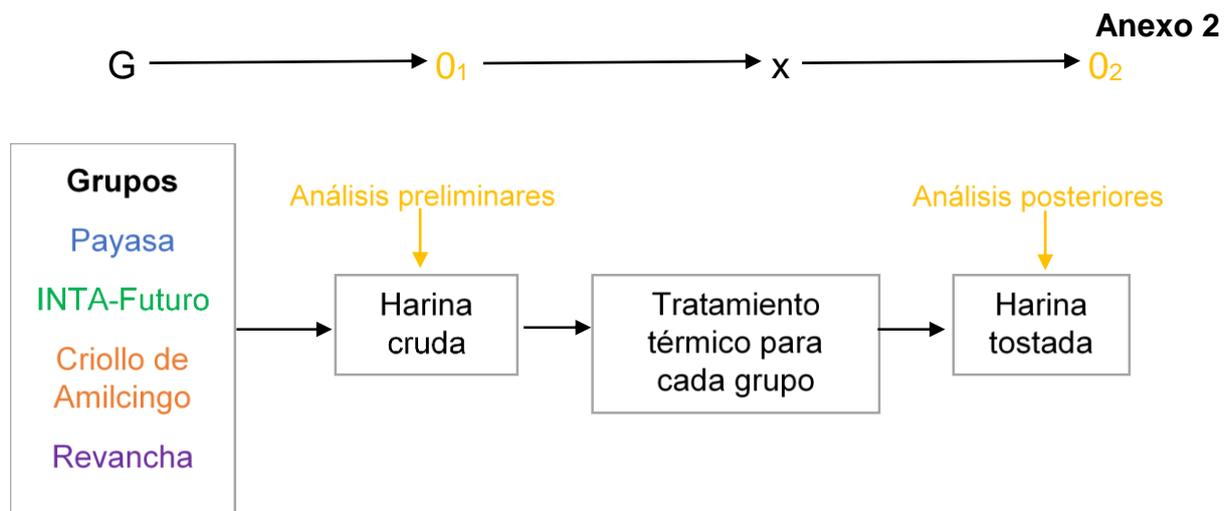


Figura 1.4. Industrialización de la planta de amaranto. Fuente:(Carpio, 2009)

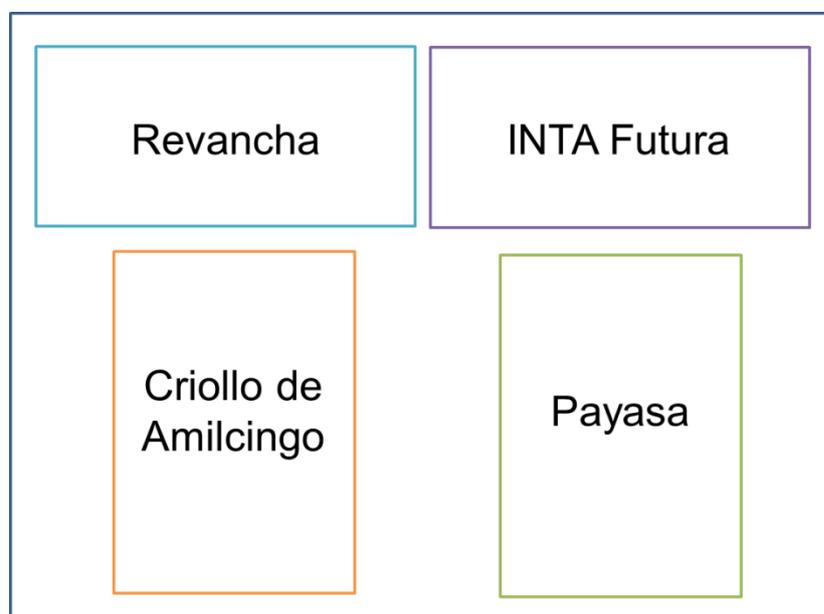
*Tabla 1.2.*  
 Detalles técnicos del procesado del amaranto.

<b>Operación</b>	<b>Proceso artesanal</b>	<b>Proceso industrial</b>
Limpieza	Separación manual (utilización de pinzas) o con zarandas de semillas no deseadas	Maquinas separadoras por densidad, utilizan aire y tamices
Reventado	Cómales o planchas calientes en un rango de 180 ° C a 200 ° C por 15 segundos	Tostadores de lecho fluidizado en el que la semilla entre en contacto con aire caliente 160 °C por 10 segundo
Tamizado	Separación de semilla o de harina con un tamices o colador	Serie de tamices colocados dentro de cajas con movimiento de vaivén
Molienda	Molino de piedra, mortero o licuadora	Molinos de rodillos ranurados lisos, de martillos, de pines, etc.

Fuente: Amaranth Institute (1987); citado por (Carpio, 2009)



*Figura 2.1.* Esquema del experimento según el diseño de preprueba / posprueba con un solo grupo. Según lo establecido por Hernández, Fernández y Pilar (2014), se realizó una medición o prueba (análisis proximal y bioquímico) a la harina de amaranto cruda de cada grupo o variedad previo al estímulo ( $O_1$ ) y posteriormente, se analizó el contenido proximal y bioquímico de las harinas de cada grupo después del tratamiento térmico (tostado) ( $O_2$ ). Este diseño ofrece una ventaja ya que existe un punto de referencia para comparar el nivel inicial de las variables dependientes de los grupos previo al estímulo.



*Figura 2.2.* Distribución de las parcelas experimentales de las cuatro variedades de amaranto cultivadas en el CNIA del INTA.

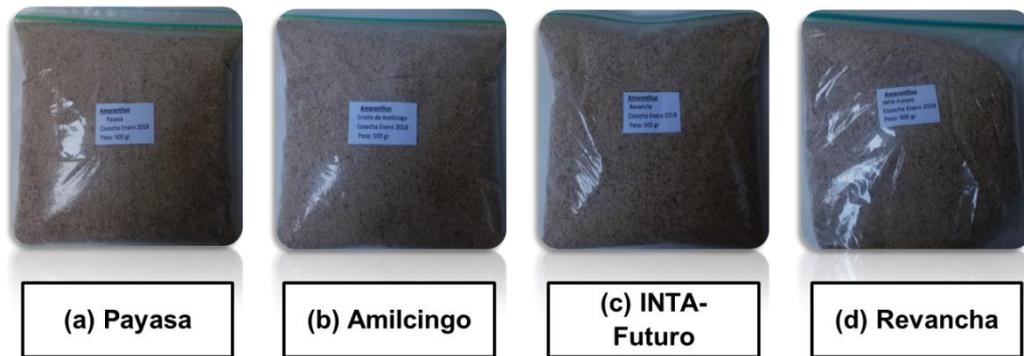


Figura 2.3. Muestras de cuatro variedades de amaranto colectadas.

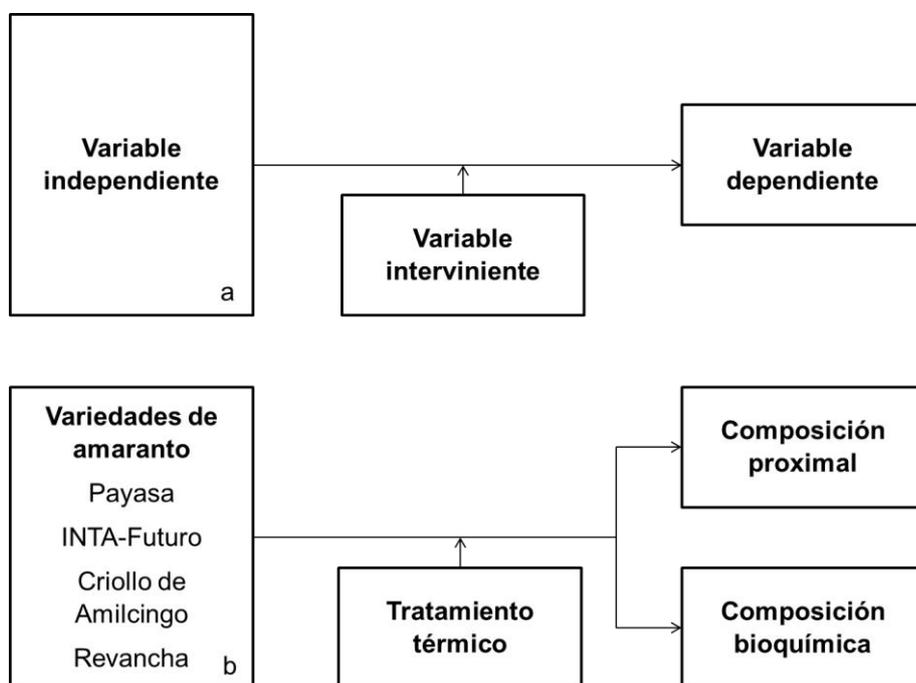


Figura 2.4. Esquema de la relación de las variables del estudio. (a) Esquema establecido por Hernández, Fernández y Pilar (2014). (b) Esquema de la presente investigación donde se colocan las variables estudiadas según su clasificación en base al esquema a.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, Managua**

**UNAN-Managua**

**Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés**

**RURMA**

**Laboratorio de Biotecnología**

**3.1. Entrevista realizada a técnicos del INTA**

**En base a su experiencia en el rubro de amaranto para su validación y adaptabilidad a la población nicaragüense.**



1. ¿Qué método de siembra utilizan, directo o por trasplante?
2. Distancia de siembra entre planta y entre surco, cuantas plantas totales sembraron
3. Qué tipo de formulación de fertilizante utilizan y que cantidad
4. ¿Qué si hubo alguna presencia de plaga que producto utilizaron?
5. ¿Qué tipo de suelo es el lugar donde sembraron?
6. ¿En qué época sembraron el amaranto?
7. ¿Cuánto tiempo dilata para cosechar?
8. ¿Todas las variedades utilizan el mismo método de siembra o hay excepciones?
9. ¿Aproximadamente cuánto es el peso promedio de la panoja, para todas las variedades tienen mismo peso?
10. ¿Cuál de las 4 variedades en estudio le ha dado mejor rendimiento a nivel agronómico?
11. ¿Para obtener un quintal cuantas plantas necesitan aproximadamente?

**Tabla 3.1.****Resultados de entrevista realizada**

<b>Nº</b>	<b>Preguntas</b>	<b>Repuestas</b>
1	Método de siembra	Siembra directa.
2	Distancia de planta y total plantadas	0.25 m y 0.80 m En un área de 200 m <sup>2</sup>
3	Formulación de fertilizante/Cantidad	Urea 46 % (25 dds) a razón de 2 qq/mz 12-30-10 (45 dds) a razón de 2 qq/mz.
4	Presencia de plagas y productos para combatir	Se utilizó cipermetrina para el control de Mariquita, utilización de riendo (doltometrina), Imidalclopid para control de minadores.
5	Tipo de suelo	Franco Arenoso.
6	Época de siembra de la última parcela cosechada	Época de riego (noviembre 2019, febrero 2020).
7	Tiempo de cosecha	105 días para Tres variedades 95 día para Revancha
8	Mismo método de siembra de variedades	Sin excepción.
9	Aproximación de peso promedio	Para Payasa el peso por planta es 27,45 g, Criollo de Amilcingo 24,43 g, INTA-Futuro 23,21g, Revancha 22,30 g.
10	Mejor rendimiento agronómico	De 4 variedades en condiciones edafoclimatica de Managua sobre salió Payasa con 30,06 qq/mz.

---

11 Producción por quintal

Va en dependencia de muchos factores

- a) Variedad
- b) Arreglo de siembra
- c) Condiciones climáticas
- d) Manejo Agronómico

Sin embargo, existe mucha información con el genotipo adaptado I-Futuro, que en base a sus componentes de RTO se puede estimar con mayor precisión para tener una idea próxima a los esperado que puede ser 2 mil y 3 mil plantas.

---



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, Managua

UNAN-Managua

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés

RURMA

Laboratorio de Biotecnología



### 3.2. Entrevista realizada analista del Laboratorio Linceda Martha Jarquín

En base a su experiencia al rubro de amaranto

1. ¿Cuándo comenzó Chinantlán a cultivar el amaranto?
2. ¿Qué variedades se cultivaron?
3. ¿En qué época se siembras el amaranto?
4. ¿Cuánto tiempo dilata para su crecimiento y producción?
5. ¿Qué variedad se obtuvo un mejor rendimiento Agrícola?
6. ¿Cuándo comenzó el INTA a cultivar este rubro?

**Tabla 3.2. Resultados de entrevista**

Nº	Preguntas	Repuestas
1	Comienzo de Chinantlán a cultivar el amaranto	En el 2007 mediante un proyecto Amarth-Future Food lo cual se capacito a 42 mujeres de cierta cooperativa.
2	variedades que se cultivaron	12 genotipos proveniente de Argentina, donde hubo una adapatacion para <i>Amaranthus cruentus</i> mexicano.
3	Época de siembra	Invierno y verano.
4	Crecimiento y Producción	3 meses para obtener la semilla completa.
5	Rendimiento Agrícola	<i>Amaranthus Cruentus</i> mexicano con 760,60 kg/ha.
6	Comienzo del INTA	En el 2014.

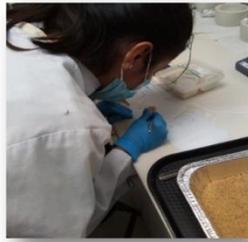


FORMATO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SEMILLAS DE AMARANTO ( <i>A. cruentus</i> L.)	FCM-BIOTEC-003
LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA UNAN-MANAGUA	2019.08.14 Revisión No 1 Página 1 de 1

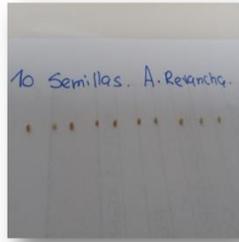


<b>Nombre del proyecto/cliente:</b>	
<b>Identificación de muestra:</b>	
<b>Datos de semilla:</b>	
<b>1.1) Forma de semilla:</b>	
1) Redonda _____	
2) Elipsoidal _____	
3) Ovoide _____	
4) Otras (especificar) _____	
<b>1.2) Color de semilla :</b>	
1. Blanco _____	
2. Amarillo _____	
3. Naranja _____	
4. Café claro _____	
5. Café _____	
6. Rosado _____	
7. Negro _____	
8. Blanco-Rosado _____	
9. Otros (especificar) _____	
<b>1.3) Diámetro (mm):</b>	
<b>1.4) Peso de 100 semillas:</b>	
<b>Bibliografía:</b> Jiménez E.2017. Caracterización morfológica, física y fenológica de cuatro variedades de amaranto ( <i>Amaranthus</i> sp.) para las condiciones meteorológicas del cantón Cevallos.	

Figura 3.1. Formatos para la caracterización del grano de 4 variedades de *Amaranthus cruentus*.



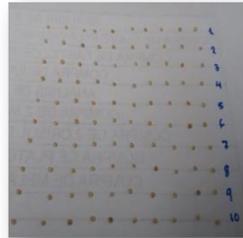
**(a) Selección del grano**



**(b) Granos seleccionados para caracterización morfológica**



**(c) Medición de diámetro**



**(d) Granos seleccionados para peso promedio**



**(e) Pesaje de granos**

*Figura 3.2. Caracterización morfológica de las muestras.*

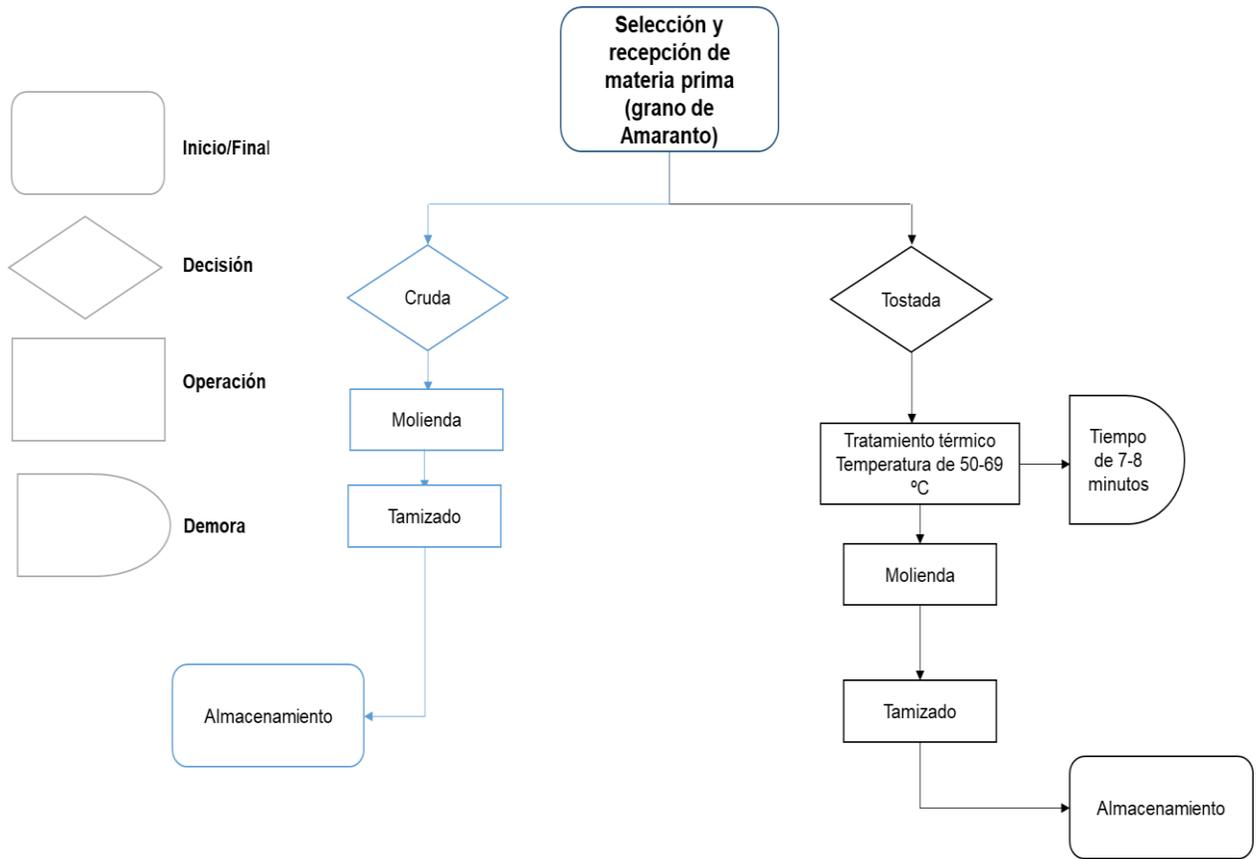


Figura 3.3. Diagrama para la obtención de harina cruda y tostada de *A. cruentus*

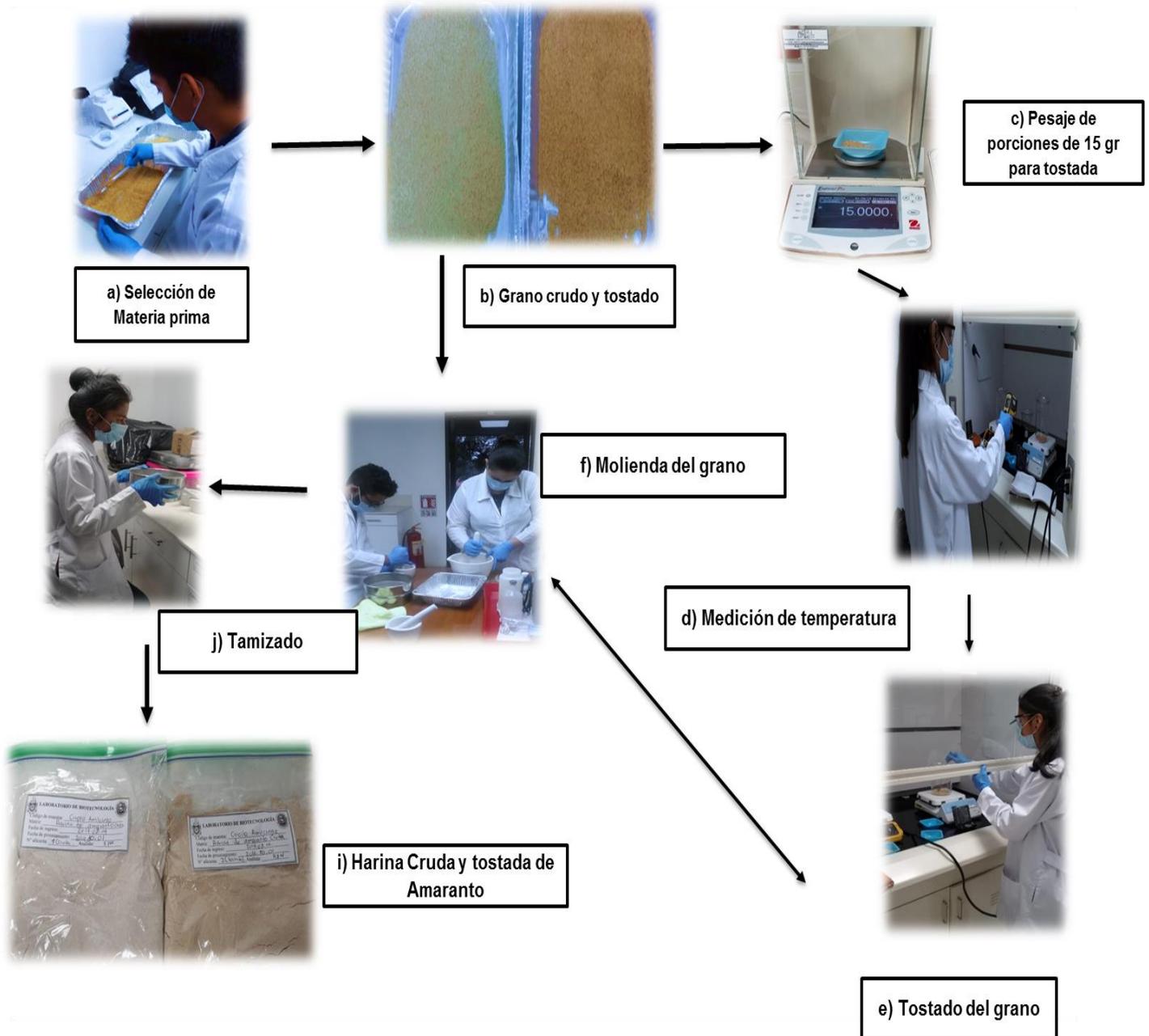


Figura 3.4. Proceso para la obtención de harina cruda y tostada de *A.cruentus*

Tabla 3.1.

*Proceso térmico para el grano de amaranto de cuatros variedades*

<b>Muestra</b>	<b>Temperatura (°C)</b>		
	3 minutos	6 minutos	8 minutos
Criollo de Amilcingo	53	55	56
INTA-Futuro	53	55	58
Payasa	56,62	57,8	58,59
Revancha	50	53	55

Se tomaron porciones de 15 g para tostar en un beaker de 1000 ml aproximadamente 15 cm de ancho.

#### 4.1. Protocolos para determinación de composición proximal

- **Análisis de humedad (AOAC 925.10)**

El método se basa en la determinación de gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra, hasta masa constante a una temperatura determinada. Se ejecutó el análisis de humedad por secado en horno de convección.

- Pesar 2 gramos en crisoles que están a peso constante.
- Poner a secar en un horno de convección durante 6 horas a 130 °C.
- Enfriar en desecador por 90 minutos y pesar la muestra seca si es posible a peso constante.
- Calcular el contenido de humedad con peso perdido de la muestra durante el secado según la siguiente ecuación.

Quantificación del contenido de humedad y solidos totales

$$\% \text{Humedad} = \left( \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \right) \times 100$$

$$\% \text{Solidos totales} = \left( \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \right) \times 100$$

**Donde**

P<sub>1</sub>= peso de crisol

P<sub>2</sub>= peso de crisol + muestra humedad

P<sub>3</sub>= peso de crisol + muestra seca

- **Análisis de cenizas (AOAC 923.03)**

El método está basado en la determinación de la pérdida de peso del material sometido a incineración a una temperatura de 600°C. La determinación de cenizas permite verificar la adición de materias orgánicas al alimento. El procedimiento es el siguiente:

- De la muestra utilizada en humedad se procede a incinerar en mufla a 600°C por 6 horas hasta que la muestra presente un color gris.
- Dejar enfriar la mufla a 40 °C y sacar los crisoles e introducir a un desecador para enfriar a temperatura ambiente (45 minutos) y pesar.

- Calcular el porcentaje de cenizas totales por diferencia de peso. Mediante la ecuación.

$$\% \text{ cenizas } = \left( \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \right) \times 100$$

**Donde**

P<sub>1</sub>= peso de crisol

P<sub>2</sub>= peso de crisol + muestra humedad

P<sub>3</sub>= peso de crisol + muestra incinerada

- **Análisis de proteínas por método micro Kjeldahl (AOAC 2001.11)**

El método micro Kjeldahl determina el contenido de nitrógeno de origen orgánico. Se utilizará este método con ligeros cambios que comprenden las siguientes etapas:

**a. Digestión**

- Pesar 0.6 gramos de muestra y colocar la muestra en un tubo Kjeldahl con 4 perlas de ebullición.
- Añadir 1 tableta Kjeldahl (sulfato cálcico CaSO<sub>4</sub> al 4% y sulfato de potasio K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 96%), añadir previamente 10 ml de 98 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Colocar los tubos Kjeldahl dentro del bloque calefactor que debe estar a 400 °C por una hora.
- A los 60 minutos se apaga el equipo y se enfría por 5 minutos agregándole posteriormente 30 ml de agua destilada y agitar.

**b. Destilación**

- Añadir a un Erlenmeyer (125 ml) 25 ml de ácido bórico al 4 %, agregando 4 gotas de rojo de metilo y 4 gotas de bromocresol.
- Colocar el Erlenmeyer debajo del extremo del tubo colector del destilador, asegurándose que el tubo este sumergido en el Erlenmeyer encender el equipo de destilación y regular la temperatura en posición 9, esperar el punto de ebullición del agua contenido en el balón de resistencia.
- Añadir la muestra que fue digerida en el embudo luego proceder a agregar 50 ml de NaOH al 40% cuidadosamente hasta que la muestra debe adquirir color café.

- Esperar 8 min hasta concluir el proceso de destilación

### **c. Titulación**

La muestra destilada se titula con 0.1 N de HCl, hasta el punto de cambio de coloración. Este reactivo se llevó a la concentración dicho según la AOAC.

#### **c.1. Cuantificación del compuesto de interés**

$$\% \text{ proteínas} = \frac{Vg \cdot N \cdot 14 \cdot 100}{1000 \cdot m} F$$

Vg=Volumen gastado de HCl (0.1N)

N= Normalidad de HCl

m= masa de la muestra

F= factor de conversión para proteína (6.25)

- **Determinación de lípidos (AOA 945.39)**

El método por solvente caliente o Soxhlet, necesita que las muestras sean deshidratadas previamente, luego se desarrolla según los siguientes pasos:

- ✓ Pesar 10 gramos de muestra, dentro del dedal de celulosa.
- ✓ Colocar el balón (ya llevado a peso constante) sobre la manta calefactora y añadir 100 ml de éter de petróleo, proceder a colocar el dedal de celulosa con los 10 gramo de muestra dentro de los tubos de condensadores y agregar 20 ml de éter de petróleo.
- ✓ Fijar la pieza sobre el balón, completar el montaje del dispositivo de extracción (refrigerante, mangueras de flujo de agua).
- ✓ Tapar la parte superior de reflujo con sulfato sódico anhídrido envuelto en un pedazo de algodón, conectar la manta calefactora y regular la temperatura en un rango 30-54°C.
- ✓ Mantener el reflujo con un aproximado de 6 horas. Durante este tiempo los lípidos se irán acumulando en el balón. Retirar el condensador, extraer el dedal y retirar de la manta el balón contenido éter recuperado.
- ✓

Cuantificación del contenido de grasa

$$\% \text{ Grasa} = \left( \frac{m_2 - m_1}{M} \right) \times 100$$

**Donde**

$m_1$ = masa en gramo del balón vacío

$m_2$ = masa en gramo del balón con grasa después de secado

$M$ = masa de la muestra en gramos

• **Determinación de fibra dietaria ACC 32.05.01 y AOAC 985.29 (se siguió el procedimiento de Megazyme®)**

1. Adicionar a los blancos y muestras 50 ml de buffer fosfato y ajustar el pH a (6.0 ± 0.1).
2. Adicionar 50 ml de la enzima  $\alpha$ -amylase.
3. Colocar muestras en el baño maría a 100 por 15 minutos, agitar cada 5 minutos.
4. Dejar reposar por 30 minutos para bajar la temperatura de las muestras.
5. Ajustar pH (7.5 ± 0.1) y adicionar 5ml de NaOH, luego agregar con el gotero hasta alcanzar el pH deseado aproximadamente 10 ml.
6. Adicionar 100ml de la enzima  $\alpha$ -proteasa.
7. Colocar las muestras en el baño maría a 60 °C con agitación por 30 minutos.
8. Dejar reposar as muestras por 30 minutos (a temperatura ambiente).
9. Ajustar pH (4.5 ± 0.2) con HCl aproximadamente 10 ml.
10. Adicionar 200  $\mu$ l de amiloglucosidase.
11. Someter a incubación en baño maría a 60 °C con agitación continua.
12. Adicionar 280 ml de Et OH 95% precalentado a 60 °C (dejar reposar por 1 hora).
13. Filtrar las muestras en el crisol que contiene celite, de la siguiente manera:
  1. Formar una estructura plana de celite, para ello se debe adicionar Et OH 70%.
  2. Filtrar la muestra y los blancos poco a poco adicionar 6 porciones de 10 ml de Et OH 70% y dos porciones de 10 ml de Et OH 95% y por ultimo 2 porciones de 10ml de acetona.
14. Colocar las muestras en el horno de convección por 16 h 00 a 105 °C.
15. Apagar el horno y esperar que baje la temperatura a 70 °C, sacar las muestras y dejar por 2 horas en el desecador para estabilizar la temperatura.
16. Pesas las muestras y colocar en la mufla a 550 ° C por 5 h 00.

17. Colocar en el desecador y esperar 1 h 00.

18. Registrar peso de crisoles.

- **Determinación de carbohidratos**

La determinación de carbohidratos por diferencia se calcula de 100 menos los contenidos proximales. La ecuación matemática utilizada fue:

$$\% \text{ carbohidratos} = 100 - (\% H + \% C + \% P + \% G)$$

% H = porcentaje de Humedad

% C = porcentaje de cenizas

% P = porcentaje de proteínas

% G = porcentaje de grasa

## ANEXO 5.

### 5.1. Protocolos para determinación de composición de Actividad antioxidante

- **Extracción de poli fenoles libres y solubles.**

1. Pesar 10 mg (0.01000 g) de muestra de amaranto en un tubo eppendorf de 1.5 ml
2. Agregar 1.3 ml de metanol al 50 %
3. Incubar la muestra en el baño maria a 65 °C por 30 minutos, agitando la muestra en intervalo de 10 minutos en vórtex por un minuto a 10 rpm
4. Dejar enfriar la muestra a temperatura ambiente durante 5 minuto
5. Centrifugar a 700 rpm a 20 °C por 10 minuto
6. Extraer el sobrenadante cuidadosamente y trasferir a un nuevo tubo eppendorf

- **Extracción de polifenoles totales**

1. Pesar 10 mg (0.01000 g) de muestra de amaranto en un tubo eppendorf de 1.5 ml
2. Agregar 1.3 ml de 1.2 M HCl
3. Incubar la muestra en el baño maria a 42 °C por 30 minutos, agitando la muestra en intervalo de 10 minutos en vórtex por un minuto a 10 rpm.
4. Dejar enfriar la muestra a temperatura ambiente durante 5 minutos.
5. Centrifugar a 700 rpm a 20 °C por 10 minutos.
6. Extraer 500 µl de sobrenadante cuidadosamente y transferirlo a un nuevo tubo eppendorf.
7. Añadir 800 µl al 50 % de metanol.

Estas muestras se almacenarán a -20 °C hasta su análisis.

- **Determinación de polifenoles libres y totales**

Preparación de curva de calibración para determinación de polifenoles libre y totales en harina de amaranto.

1. A partir de la solución stock de 100 µg/ml ácido gálico realizar diluciones de 0, 10, 15, 20, 25,50 y 100 µg/ml en 50 % de metanol

Tubo N°	Solución concentrada de ácido gálico 100 µg/ml (mL)	Metanol al 50% (mL)	Volumen total (mL)	Concentración Mg acido gálico /MI
AG1	0	10	10.0	0
AG2	1	9	10.0	10
AG3	1.5	8.5	10.0	15
AG4	2	8	10.0	20
AG5	2.5	7.5	10.0	25
AG6	5	5	10.0	50
AG7	10	0	10.0	100

2. Realizar la reacción colorimétrica tomando 100 µl de cada disolución y transferirlas a un nuevo tubo falcón de 15 ml
3. Adicionar 200 µl Folin-Ciocalteu
4. Agregar 1.7 ml de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
5. Incubar las muestras en baño maria a 42 °C por 10 minuto
6. Dejar enfriar las muestras a temperatura ambiente por 5 minutos, protegerlas de la luz.
7. Tomar la muestra y transferirlas a las cubetas de medición, leer la concentración a una absorbancia de 765 nm.

- **Determinación de capacidad antioxidante con el método DPPH**

Los extractos son los de polifenoles libre y totales, se determinará la capacidad antioxidante libre y total

Preparación de curva de calibración para determinación de actividad antioxidante en harina de amaranto.

1. A partir de la solución stock de 100 µg/ml ácido gálico realizar diluciones de 0,10, 20, 40, 60,80 y 100 µg/ml en 50 % de metanol

Tubo N°	Solución concentrada de ácido gálico 100 µg/ml (mL)	Metanol al 50% (mL)	Volumen total (mL)	Concentración Mg acido gálico /MI
AG1	0	10	10.0	0
AG2	1	9	10.0	10
AG3	2	8	10.0	20
AG4	4	6	10.0	40
AG5	6	4	10.0	60
AG6	8	2	10.0	80
AG7	10	0	10.0	100

Medición actividad antioxidante por método de DPPH

1. Tomar 100 µl de extracto de polifenoles y transferirlo a un tubo falcón
2. Adicionar 900 µl de 50 mM de Tris-HCl.
3. Adicionar 1.8 ml de 0.1 mM de DPPH.
4. Dejar reposar a temperatura ambiente por 30 minutos.
5. Tomar la muestra y transferirlas ala cubetas de medición, leer la concentración a una absorbancia de 517 nm.

Los resultados fueron expresados como porcentaje de decoloración del radical DPPH utilizando la siguiente fórmula:

$$\%Decoloracion\ DPPH = 1 \frac{Am - Abm}{DPPH} \times 100$$

Donde  $A_m$  es la absorbancia de la mezcla de reacción (DPPH + extracto),  $A_{bm}$  Absorbancia del blanco de la muestra (Tris HCl), y  $A_{DPPH}$  la absorbancia de DPPH

Controles de calidad blancos

Nº de controles	Sumatorio de reactivo (ml)	Total (ml)
B1	1 DPPH + 1 Tris-HCl + dH <sub>2</sub> O	3 ml
B2	2 Tris-HCl	2ml
B3	1 DPPH +1 Tris-HCl	2 ml
B4	2 DPPH	2 ml

## Anexo 6



**a) Peso constante de crisoles**



**b) Pesaje de muestra**



**c) Muestra en Horno a 130 °C por 3 horas**



**d) Muestra con materia seca**

*Figura 6.1. Determinación de Humedad*



**a) Equipo para determinar ceniza**



**b) Crisoles para su incineración**



**c) Crisoles con muestra incinerada**



**d) Pesaje de la muestra incinerada**

*Figura 6.2. Determinación de Cenizas*

## Proteína por método Micro Kjeldahl

### Digestión

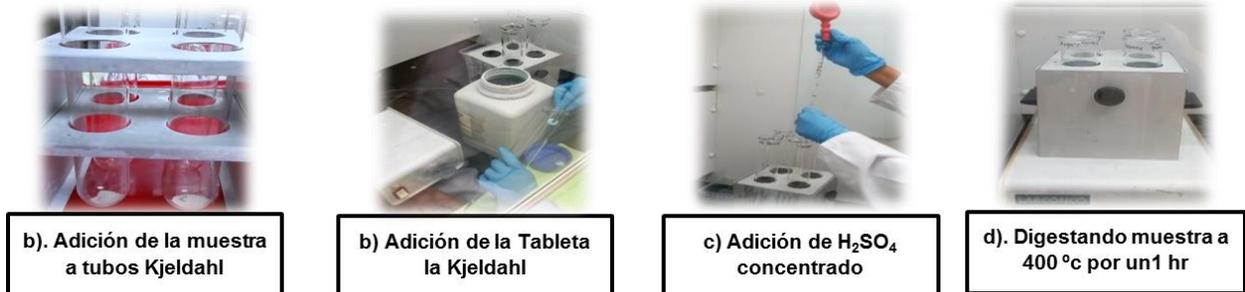


Figura 6. 3. Primera etapa de para determinar proteína

### Destilación

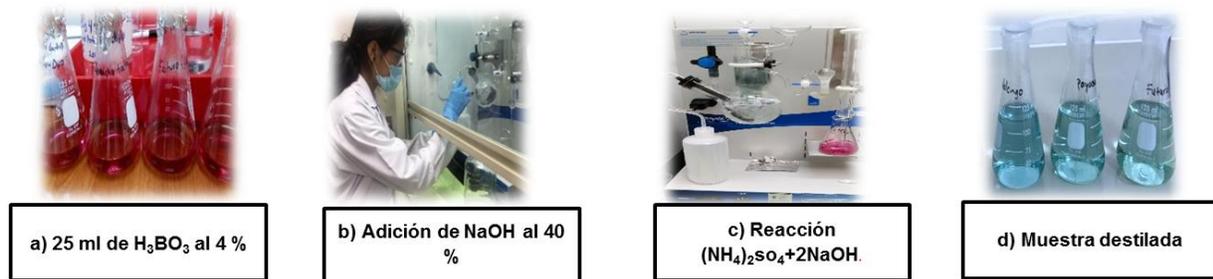


Figura 6.4. Segunda etapa de para determinar proteína

### Titulación



Figura 6.5. Tercera etapa de para determinar proteína



Figura 6.6. Determinación de Extracto etéreo



Figura 6.7. Determinación de Fibra dietaría



*Figura 6.8.* Determinación de Polifenoles totales y Libres, solubles y Actividad Antioxidante

**7.1. Harina cruda**

**7.1.1. Control de calidad del lote de amaranto determinación de humedad**

*Tabla 7.1.*

*Muestra por triplicado A. Criollo de Amilcingo*

Código	% Humedad corregido	% Materia seca corregida		
			SD	%RSD
			0,1101	1,1390
			% RSD < 1,9% PASA	
Muestra	9,5883	90,4117		
Muestra-Dup	9,7892	90,2108		
Muestra-Trip	9,6109	90,3891		
Promedio	9,6628	90,337		

*Tabla 7.2.*

*Muestra por triplicado de A. Payasa*

Código	% Humedad corregido	% Materia seca corregida		
			SD	%RSD
			0,0436	0,4380
			% RSD < 1,9% PASA	
Muestra	9,9604	90,0396		
Muestra-Dup	9,9938	90,0062		
Muestra-Trip	9,9073	90,0927		
Promedio	9,9538	90,046		

Tabla 7.3.

Muestra por triplicado de IN-Futuro

Código	% Humedad corregido	% Materia seca corregida			% RSD < 1,9% PASA
			SD	%RSD	
			0,0681	0,7132	
Muestra	9,6016	90,3984			
Muestra-Dup	9,5714	90,4286			
Muestra-Trip	9,4715	90,5285			
Promedio	9,5482	90,452			

Tabla 7.4.

Muestra por triplicado de A. Revancha

Código	% Humedad corregido	% Materia seca corregida			% RSD < 1,9% PASA
			SD	%RSD	
			0,0226	0,2300	
Muestra	9,8322	90,1678			
Muestra-Dup	9,8384	90,1616			
Muestra-Trip	9,7965	90,2035			
Promedio	9,8224	90,178			

### 7.1.2. Control de calidad para Lote de Amaranto en cenizas.

Tabla 7.5.

Muestra por triplicado de A. Criollo de Amilcingo

Código	% Cenizas	SD %RSD	
		0.026	0.994
Muestra	2,5936	% RSD < 1,9% PASA	
Muestra-Dup	2,6006		
Muestra-Trip	2,5531		
Promedio	2,582		

Tabla 7.6.

Muestra por triplicado de A. Payasa

Código	% Cenizas	SD %RSD	
		0,026	0,994
Muestra	2,5936	% RSD < 1,9% PASA	
Muestra-Dup	2,6006		
Muestra-Trip	2,5531		
Promedio	2,582		

Tabla 7.7.

Muestra por triplicado de A. IN-Futuro

Código	% Cenizas	SD %RSD	
		0,026	1,009
Muestra	2,6210	% RSD < 1,9% PASA	
Muestra-Dup	2,5814		
Muestra-Trip	2,6313		
Promedio	2,611		

Tabla 7.8.

Muestra por triplicado de A. Revancha

Código	% Cenizas	SD %RSD	
		0,014	0,482
Muestra	2,8121	% RSD < 1,9% PASA	
Muestra-Dup	2,8132		
Muestra-Trip	2,8362		
Promedio	2,820		

### 7.1.3. Control de calidad de extracto etéreo

Tabla 7.9.  
Muestra control Revancha

Código	% Lípidos	SD	%RSD
		0,0096	0,1845
Rev	5,1941	% RSD < 1,9% PASA	
Rev-Dup	5,1805		
Promedio	5,187		

Tabla 7.10.  
Las tres variedades

Código	% Lípidos
Amilcingo	5,885
Payasa	5,987
Futuro	5,534

Tabla 7.11.

Muestra enriquecida de muestra control Revancha (determinación de exactitud)

Código	Porcentaje de recuperación	SD	RSD
		0,0388	0,5145
Revancha	99,1094	RSD < 1,9 PASA % RECOBRO 98 -102% PASA	
Revancha-Dup	99,8419		
Promedio	99,476		

### 7.1.3. Resultados de proteína de las 4 variedades de amaranto

Tabla 7.12.

Muestra control Revancha

Código	% Proteína	SD	%RSD
		0,135	0,872
Revancha	15,3416	% RSD < 1,3% PASA	
Revancha-Dup	15,5841		
Revancha-Trip	15,5660		
Promedio	15,497		

Tabla 7.13.

Tres Variedades

Código	% Proteína
Amilcingo	15,5686
Payasa	16,9517
Futuro	16,2264

### 7.1.4. Resultados de fibra dietaria calculo Megazyme

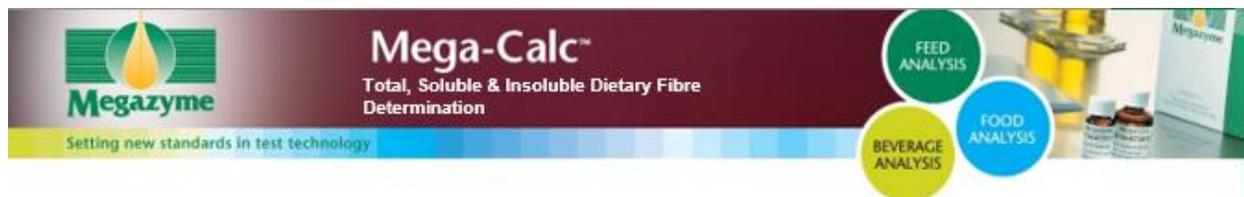


Tabla 7.14.

Cuatro variedades

Código	% Fibra dietaria
Revancha	12,242
Amilcingo	10,418
Payasa	10,374
INTA-Futuro	10,648

### **7.1.5. Resultados de Carbohidratos**

**% Carbohidratos Totales= 100- (%H+%C+%G+%P)**

#### **7.1.5.1. Revancha**

**100 - (9,822 + 2,820 + 5,187 + 15,497)**

**% Carbohidratos totales= 66,673%**

#### **7.1.5.2. Amilcingo**

**100 - (9,663 + 2,303+ 5,885 + 15,569)**

**% Carbohidratos totales= 66,580%**

#### **7.1.5.3. Payasa**

**100 - (9,954 + 2,582 + 5,987 + 15,952)**

**% Carbohidratos totales= 64,525%**

#### **7.1.5.4. INTA-Futuro**

**100 - (9,548 + 2,611 + 5,534+ 15,226)**

**% Carbohidratos totales= 66,080%**

## 7.2. Harina tostada

### 7.2.1. Control de calidad del lote de amaranto determinación de humedad

Tabla 7.15.

Muestra por triplicado A. Criollo de Amilcingo

Código	% Humedad	% Materia Seca	SD	%RSD
	corregido	corregido		
Muestra	2,7918	97,2082	0,0400	1,4513
Muestra-Dup.	2,7625	97,2375		
Muestra-Trip.	2,7127	97,2873		
promedio	2,756	97,244		
			% RSD < 1,9% PASA	

Tabla 7.16.

Muestra por triplicado A. Payasa

Código	% Humedad	% Materia seca	SD	%RSD
	Corregida	corregido		
Muestra	2,5414	97,4586	0,0130	0,5160
Muestra-Dup.	2,5191	97,4809		
Muestra-Trip.	2,5186	97,4814		
promedio	2,526	97,474		
			% RSD < 1,9% PASA	

Tabla 7.17.

Muestra por triplicado A. INTA-Futuro

Código	% Humedad	% Materia seca	SD	%RSD
	Corregida	corregido		
Muestra	2,6900	97,3100		
Muestra-Dup.	2,7538	97,2462	0,0353	1,2928
Muestra-Trip.	2,7481	97,2519		
Promedio	2,731	97,269		
			% RSD < 1,9% PASA	

Tabla 7.18.

Muestra por triplicado A. Revancha

Código	% Humedad	% Materia seca	SD	%RSD
	Corregida	corregido		
Muestra	2,5499	97,4501	0,0126	0,4982
Muestra-Dup.	2,5272	97,4728	% RSD < 1,9% PASA	
Muestra-Trip.	2,5289	97,4711		
Promedio	<b>2,535</b>	<b>97,465</b>		

### 7.2.2. Control de calidad para lote de Amaranto en cenizas.

Tabla 7.19.

Muestra por triplicado de A. Criollo de Amilcingo

Código	% Ceniza	SD	%RSD
Muestra	2,5022		
Muestra-Dup.	2,5029	0,014	0,568
Muestra-Trip.	2,4780		
Promedio	2,494		

Tabla 7.21.

Muestra por triplicado de A. IN-Futuro

Código	% Ceniza
Muestra	2,7800
Muestra-Dup.	2,7689
Muestra-Trip.	2,7483
Promedio	<b>2,766</b>

SD	%RSD
0,016	0,582
% RSD < 1,9% PASA	

Tabla 7.20.

Muestra por triplicado de A. Payasa

Código	% Ceniza	SD	%RSD
Muestra	2,8312	0,024	0,862
Muestra-Dup.	2,8391		
Muestra-Trip.	2,7936		
Promedio	2,821		

Tabla 7.22.

Muestra por triplicado de A. Revancha

Código	% Ceniza
Muestra	3,0291
Muestra-Dup.	3,0168
Muestra-Trip.	2,9880
Promedio	<b>3,011</b>

SD	%RSD
0,021	0,701
% RSD < 1,9% PASA	

### 7.2.3. Control de calidad en extracto etéreo

**Tabla 7.23.**

*Muestra control Revancha*

<b>Código</b>	<b>% Proteína</b>
Muestra	5,5735
Muestra-Dup.	5,4346
Promedio	5,504

<b>SD</b>	<b>% RSD</b>
0,0983	1,7851

% RSD < 1,9%  
PASA

**Tabla 7.24.**  
*Las tres variedades*

<b>Código</b>	<b>% Proteína</b>
Payasa	6,677
Futuro	6,356
Amilcingo	6,517

**Tabla 7.25.**

*Muestra enriquecida de muestra control Revancha (determinación de exactitud)*

<b>Código</b>	<b>% Recuperación</b>
Muestra	99,0806
Muestra-Dup.	98,2467
Promedio	98,664

<b>SD</b>	<b>% RSD</b>
0,0476	0,599

% RSD < 1,9 %

PASA

% RECOBRO 98 -102% PASA

### 7.2.4. Resultados para lote de Amaranto Proteína

**Tabla 7.26.**

*Muestra control Revancha*

<b>Código</b>	<b>% Proteína</b>
Muestra	15,5764
Muestra-Dup.	16,3726
Muestra-Trip.	16,2914
Promedio	16,0801

<b>SD</b>	<b>%RSD</b>
0,438	2,725

% RSD 1,3%

NO PASA

Tabla 7.27.

Límites de confianza superior e inferior

Promedio	SD	Int.Conf. (95%)	Límite superior	Límite inferior
16,0801	0,4381	0,4958	16,5759	15,5843

Los datos para un intervalo de confianza del 95% para  $\alpha$  0,05 no debe ser superior 16,5759 y debe ser inferior de 15,5848, por lo tanto de los 3 datos obtenido dos están en el rango de los límites, mientras que el primer datos no, por lo tanto se elimina la primera muestra.

Tabla 7.28.

Muestra control Revancha

Código	% Proteína	SD	%RSD
Muestra-Dup.	16,3726	0,057	0,352
Muestra-Trip.	16,2914	% RSD > 1,3%	
Promedio	16,3320	PASA	

## 7.2.5. Resultados de fibra dietaria calculo Megazyme



Tabla 7.29.

Cuatro variedades de amaranto

Código	% Fibra dietaria
Revancha	12,365
Amilcingo	11,165
Payasa	11,044
INTA-Futuro	10,875

### **7.2.6. Resultados de Carbohidratos**

**% Carbohidratos Totales= 100- (%H+%C+%G+%P)**

#### **7.2.6.1. Revancha**

**100 - (2,535+ 3,011+ 5,504 + 16,332)**

**% Carbohidratos Totales= 72,617%**

#### **7.2.6.2. Amilcingo**

**100 - (2,756 + 2,494+ 6,517 + 16,519)**

**% Carbohidratos Totales= 71,715%**

#### **7.2.6.3. Payasa**

**100 - (2,526 + 2,821+ 6,677 + 17,618)**

**% Carbohidratos Totales= 70,357%**

#### **7.2.6.4. INTA-Futuro**

**100 - (2,731 + 2,766 + 6,356+ 17,159)**

**% Carbohidratos Totales= 70,988%**

### Curva de Calibración de Polifenoles

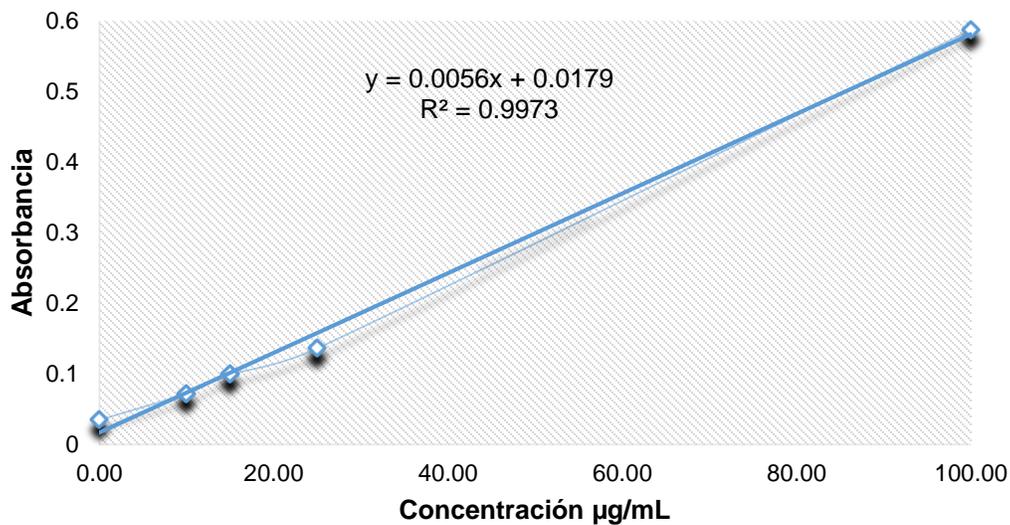


Figura 8.1. Curva de calibración de Ácido Gálico para la determinación de Polifenoles totales por el método Folin- Ciocalteu

Tabla 8.1.

Resultado de Absorbancia

Patrón	Concentración $\mu\text{g/mL}$	Media (Absorbancia)
Patrón 1	0,00	0,0348
Patrón 2	10,00	0,0723
Patrón 3	15,00	0,0998
Patrón 5	25,00	0,1362
Patrón 7	100,00	0,5867

Absorbancia =  $0,00566 \cdot \text{Concentracion} + 0,01346$

Concentración=  $\text{Absorbancia} - 0,01346 / 0,0056$ .

Tabla 8.2.

*Polifenoles totales en Harina cruda y Tostada*

Código	Concentración $\mu\text{g/mL}$	GAE (mg/g)
Revancha	3,1343	26,866
Criollo de Amilcingo	2,3746	22,192
Payasa	1,5795	14,625
INTA-Futuro	1,1201	10,277
Revancha Tostada	1,527	14,005
Criollo de Amilcingo Tostada	1,3852	12,826
Payasa Tostada	1,341	12,710
INTA-Futuro	5,0071	47,686

Tabla 8.3.

*Polifenoles libres y solubles en Harina cruda y tostada*

Código	Concentración $\mu\text{g/mL}$	GAE (mg/g)
Revancha	0,8905	8,223
Criollo de Amilcingo	3,3463	30,984
Payasa	5,6343	53,154
INTA-Futuro	3,7527	34,428
Revancha Tostada	15,4841	143,959
Criollo de Amilcingo Tostada	7,1272	67,878
Payasa Tostada	5,0247	46,756
INTA-Futuro	2,7986	26,402

### Curva de Calibración de Antioxidante

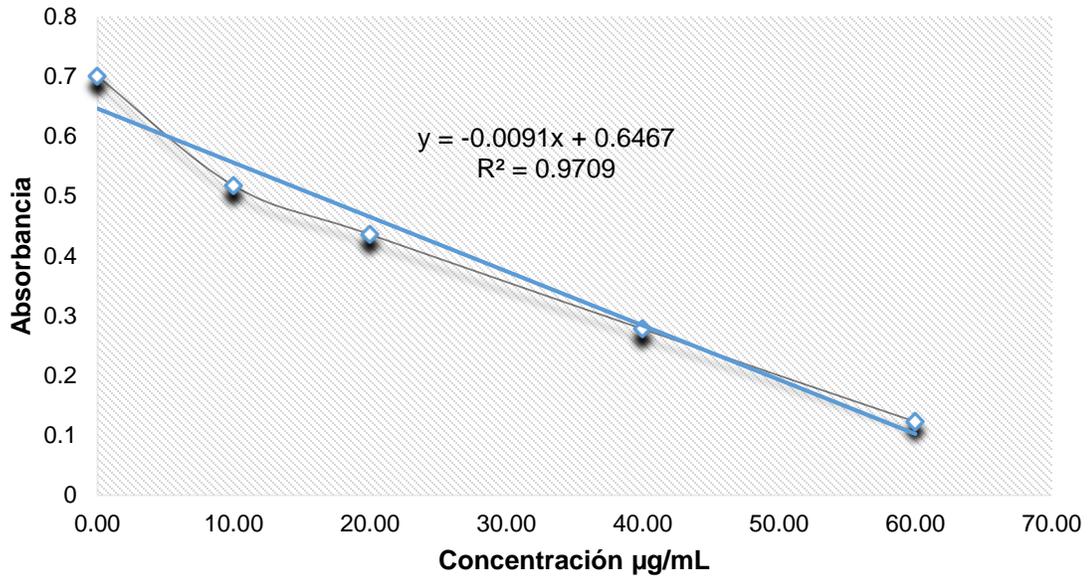


Figura 8.2. Curva de Calibración de Ácido Gálico para la determinación de Actividad Antioxidante en Polifenoles por método de DPPH

Tabla 8.4.

Resultados de Absorbancia

Patrón	Concentración µg/mL	Media
Patrón 1	0,00	0,7006
Patrón 2	10,00	0,5173
Patrón 3	20,00	0,4358
Patrón 4	40,00	0,2778
Patrón 5	60,00	0,1228

$A_{bm}$  Absorbancia del blanco de la muestra  
(0,0098)

$A_{DPPH}$  Absorbancia de la solución de DPPH  
(0,4955)

$A_m$  Absorbancia de la muestra

$$\% \text{ Decoloración de DPPH} = 1 - \frac{A_m - A_{bm}}{A_{DPPH}}$$

Tabla 8.5.

*Antioxidante total a partir de polifenoles totales*

<b>Código</b>	<b>A<sub>m</sub></b>	<b>% Decoloración DPPH</b>
Revancha	0,2860	44,268%
Criollo de Amilcingo	0,3032	40,787%
Payasa	0,2778	45,913%
INTA-Futuro	0,285	44,460%
Revancha Tostada	0,2892	43,613%
Criollo de Amilcingo Tostada	0,2837	44,723%
Payasa Tostada	0,2824	44,995%
INTA-Futuro	0,2821	45,045%

**A<sub>bm</sub>** Absorbancia del blanco de la muestra  
(0,0166)

**A<sub>DPPH</sub>** Absorbancia de la solución de DPPH  
(1,9926)

**A<sub>m</sub>** Absorbancia de la muestra

Tabla 8.6.

*Antioxidante libre y soluble a partir de Polifenoles*

<b>Código</b>	<b>A<sub>m</sub></b>	<b>% Decoloración DPPH</b>
Revancha	0,635	68,965%
Criollo de Amilcingo	0,6294	69,246%
Payasa	0,6395	68,742%
INTA-Futuro	0,6305	69,191%
Revancha Tostada	0,6246	69,487%
Criollo de Amilcingo Tostada	0,6328	69,076%
Payasa Tostada	0,6222	69,610%
INTA-Futuro	0,6258	69,427%

### Harina Cruda cuatros variedades

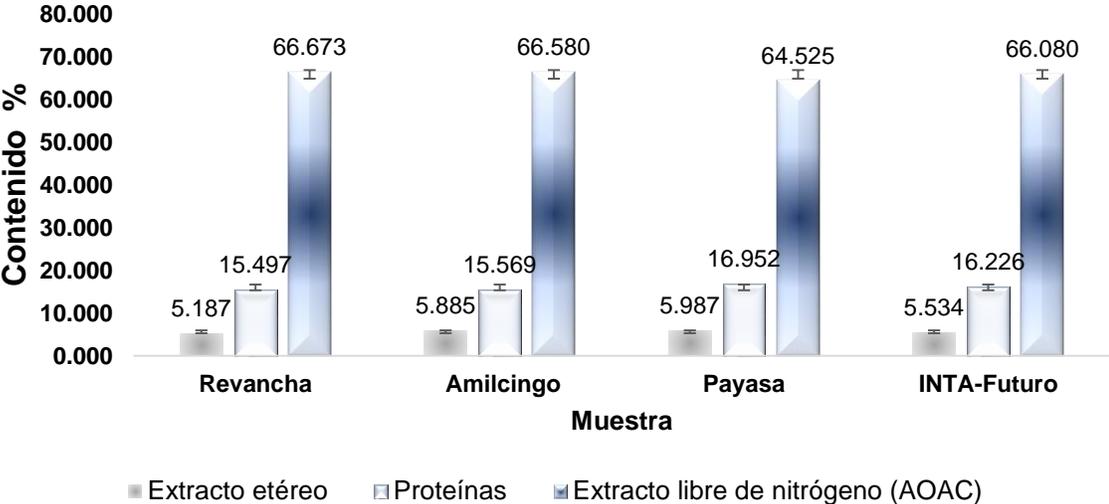


Figura 9.1. Comparación de las 4 variedades mediante los macronutrientes importantes.

### Harina Tostada 4 variedades

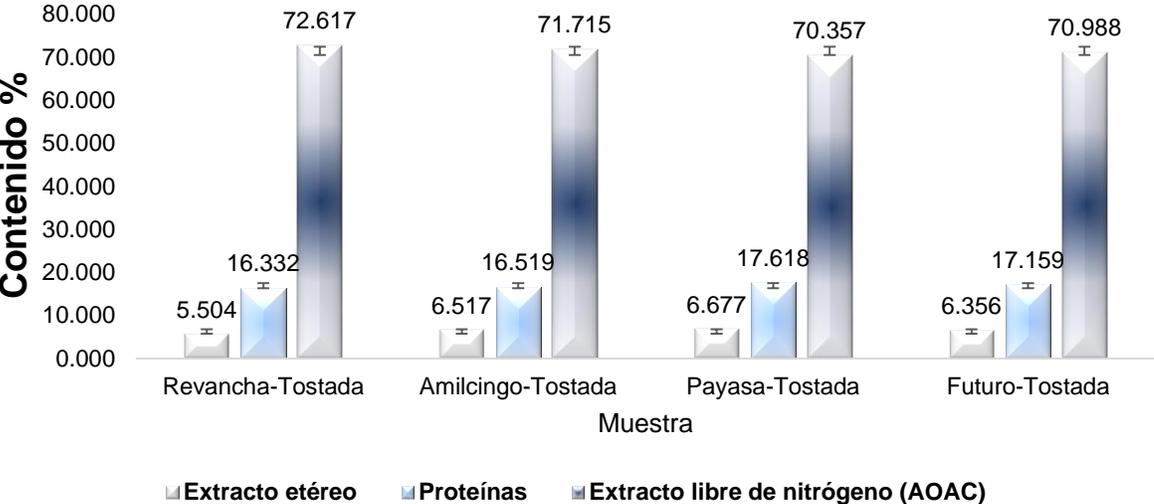


Figura 9.2. Comparación de las 4 variedades mediante los macronutrientes importantes.

**10.1. Análisis estadístico que se realizó en la muestra de harina cruda y tostada.**

Según Rubio y Berlanga, (2012), Las prueba paramétricas Bi-variada son utilizadas para cuantificar el nivel de significancia estadísticas entre una variable cuantitativa, lo cual hay requisitos para su aplicación como la distribución normal de la variable cuantitativa, la homogeneidad de varianza y para una n muestra no inferior 30. un incumplimiento de esta conlleva a una necesidad de recurrir a pruebas no paramétricas, la muestra puede ser evaluada de manera independiente y dependiente como se observa en el esquema 10.1.

**10.1. Esquema de análisis estadístico comparativo para muestra independientes.**



Fuente Propia

Prueba de normalidad					
Parametros	Tipo de procesamiento	Shapiro-Wilk			Normalidad
		Estadístico	gl	p-valor	
Humedad g/100 g	Cruda	0.929	12	0.374	✓
	Tostada	0.804	12	0.056	✓
Materia seca	Cruda	0.929	12	0.374	✓
	Tostada	0.804	12	0.049	✓
Cenizas g/100g	Cruda	0.89	12	0.118	✓
	Tostada	0.892	12	0.124	✓
Lípidos g/100g	Cruda	0.848	8	0.092	✓
	Tostada	0.785	8	0.02	✗
Proteínas g/100g	Cruda	0.785	8	0.02	✗
	Tostada	0.86	8	0.119	✓
Hidratos de carbono	Cruda	0.74	8	0.006	✗
	Tostada	0.893	8	0.249	✓
Fibra Dietaria	Cruda	0.664	8	0.001	✗
	Tostada	0.709	8	0.003	✗
Polifenoles Totales	Cruda	0.877	8	0.178	✓
	Tostada	0.591	8	0	✗
Polifenoles Libre	Cruda	0.873	8	0.162	✓
	Tostada	0.814	8	0.041	✗
Antioxidante e totales	Cruda	0.837	8	0.07	✓
	Tostada	0.907	8	0.335	✓
Antioxidante e Libres	Cruda	0.837	8	0.069	✓
	Tostada	0.854	8	0.105	✓

Fuente propia

Figura 10.1. Prueba de normalidad aplicando la prueba de Shapiro-wilk  $n < 30$  donde  $\rho > 0.05$ .

Los parámetros con una distribución normal fueron Humedad, Materia seca, Cenizas, Antioxidante totales y libres. Se le aplicara pruebas para muestra independiente según García, González, y Jornet, (2010) el procedimiento prueba T para muestras independientes debe ser utilizadas para una comparación de las medias de dos grupos de casos en este caso sería la media de harina cruda y tostada.

La prueba t de Levene puede ser aplicada para determinar la igualdad de varianzas y así indicar si podemos o no suponer varianzas iguales. Así si la probabilidad asociada al estadístico Levene es  $\rho > 0,05$  – suponemos varianzas iguales, si es  $\rho < 0.05$  se supone varianzas distintas en la siguiente figura se observará los datos donde se le aplico esta prueba.

**Prueba de muestras independientes**

Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias					
		F	p-valor	t	gl	p-valor	Diferencia de medias
Antioxidantes totales (%)	varianzas iguales	5.089	0.041 $\neq$	-0.971	14	0.348	-0.73663
	varianzas diferentes			-0.971	8.579	0.358	-0.73663
Antioxidantes Libres (%)	varianzas iguales	0.13	0.724 $=$	-3.362	14	0.005	-0.363807
	varianzas diferentes			-3.362	13.99	0.005	-0.363807
Humedad g/100 g	varianzas iguales	3.523	0.074 $=$	119.635	22	0.000	7.109792
	varianzas diferentes			119.635	19.12	0	7.109792
Materia seca g/100g	varianzas iguales	3.523	0.074 $=$	-119.635	22	0	-7.109792
	varianzas diferentes			-119.635	19.12	0	-7.109792
Cenizas g/100g	varianzas iguales	0.001	0.97 $=$	-2.453	22	0.0523	-0.19377
	varianzas diferentes			-2.453	22	0.0523	-0.19377

Fuente

propia

**Figura 10.2. Pruebas de nuestra independiente, prueba de leven y prueba t para igualdad de medias**

Como se observa en la figura 11.2. Se debe de tomar la decisión de acuerdo a las varianzas iguales o diferentes en este caso el único parámetro que difirió de acuerdo a su varianza fue antioxidante totales.

La prueba t para muestra independiente está dado por:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_i = \mu_1 \neq \mu_2$$

Ejemplo:

H<sub>0</sub>: La Humedad es la misma en los tipos de procesamiento (cruda y tostada)

H<sub>i</sub>: La Humedad difiere según el tipo de procesamiento (cruda y tostada)

Se rechazará la hipótesis nula H<sub>0</sub> si la prueba t de igualdad de varianza  $\rho < 0.05$ , para la humedad como  $\rho < 0,05$  [**0,0001 < 0,05**]. Se acepta la hipótesis alternativa lo cual quiere decir que difiere según el tipo de procesamiento.

Así mismo ha sucedido con los parámetros de materia seca y antioxidante libre como se observa en la figura 11.2 el valor de  $\rho < 0,05$ . En donde los parámetros de antioxidante totales y ceniza es la misma en cuanto los tipos de procesamiento se acepta la hipótesis nula  $\rho > 0,05$ .

Para la muestra que no se encontraron una distribución normal como lípidos, proteínas, hidratos de carbono, fibra dietaria, polifenoles totales y libres. Se le aplico la prueba no paramétrica llamada U de Man-Whitney ya que según Rivas, Moreno, y Talavera, (2013) es empleada para las muestra independiente no paramétrica esta contrasta las medianas de dos grupos independientes con libre distribución (harina cruda y tostada).

Tabla 8.1. Resultados de la prueba U de Man-Whitney para la determinación de diferencias entre parámetros y tipo de procesamiento

Hipótesis nula	p-valor	Decisión	
La distribución de Lípidos g/100g es la misma en harina cruda y tostada	0,021	Rechazar la hipótesis nula.	≠
La distribución de Proteínas g/100g es la misma en harina cruda y tostada	0,012	Rechazar la hipótesis nula.	≠
La distribución de Hidratos de carbono g/100g es la misma en harina cruda y tostada	0,000	Rechazar la hipótesis nula.	≠
La distribución de Fibra dietaria g/100 g es la misma en harina cruda y tostada	0,038	Rechazar la hipótesis nula.	≠
La distribución de Polifenoles Totales es la misma en harina cruda y tostada	0,721	Retener la hipótesis nula.	
La distribución de Polifenoles libres es la misma en harina cruda y tostada	0,105	Retener la hipótesis nula.	

La prueba U de Man-Whitney para muestra independiente está dado por:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 \quad \rho > 0,05$$

$$H_i = \mu_1 \neq \mu_2 \quad \rho < 0,05$$

Ejemplo:

H<sub>0</sub>: Los lípidos es la misma en los tipos de procesamiento (cruda y tostada)

H<sub>i</sub>: Los lípidos difiere según el tipo de procesamiento (cruda y tostada)

Se rechazara la hipótesis nula si y solo si  $\rho < 0,05$ , para lípidos se acepta la hipótesis alternativa ya que  $0,021 < 0,05$  y es rechazada la hipótesis nula. Para los demás parámetros también se rechaza la hipótesis nula existe una diferencia significativa, a excepción de polifenoles libre y totales ya que hay valores atípicos y esto provoca un distorsiamiento en los datos al nivel estadística por lo tanto no se tomará en cuenta para saber su nivel de significancia.