

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNAS EN LA SEMILLA TOSTADA DE
AMARANTO (*Amaranthus cruentus*) MEDIANTE EL MÉTODO DE KJELDAHL
TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN

PRESENTADO POR

ANA GABRIELA GARCÍA SIERRA

KAREN BEATRIZ GÓMEZ CASTILLO

PARA OPTAR AL GRADO DE

LICENCIADA EN QUÍMICA Y FARMACIA

SEPTIEMBRE 2024

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LICENCIADO PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANA

MsD. NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

SECRETARIA

LICDA. EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCIÓN GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL (AD-HONOREM)

MAESTRA KATIA LISSETTE MARTÍNEZ DE PALACIOS

TRIBUNAL EVALUADOR

ASESORES:

LICENCIADA KATIA EUNICE LEYTON BARRIENTOS

MAESTRO OSCAR RAÚL AVILÉS FLORES

TUTORA:

MAESTRA MARÍA DEL CARMEN POLÍO MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de El Salvador por tanta enseñanza para nuestro desarrollo profesional y personal, a lo largo de los años.

Nuestros más sinceros agradecimientos al diplomado de especialización de “Análisis Químico de Alimentos” de la Facultad de Química y Farmacia, de la Universidad de El Salvador, el cual proporcionó los lineamientos y herramientas para la realización de este trabajo de grado. Gracias a nuestra Tutora Maestra María del Carmen Polío Martínez por sus recomendaciones y su disposición para guiarnos y acompañarnos en este proceso. A nuestro tribunal evaluador que con sus observaciones enriquecieron nuestro trabajo y nuestra formación profesional.

A nuestras familias y amigos por su constante apoyo y comprensión durante todo este proceso, por brindarnos ese apoyo incondicional, sus palabras de aliento, escucharnos en nuestros momentos difíciles y por contribuir en este proceso.

Ana Gabriela García Sierra

Karen Beatriz Gómez Castillo

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud, por cuidarme, por ser la guía en mi camino y por llenar mi vida de personas maravillosas que han sido un impulso para mí en este camino.

A mis padres Julio y Marlene, por su esfuerzo, apoyo y amor incondicional, por creer en mí e inspirarme a seguir adelante, por ser mi motor y mi ejemplo por seguir.

A mi hermano German, por quedarse y estar conmigo en cada momento, por cada risa y consejo, por estar en las buenas y malas apoyándome.

A Kevin, por su ayuda incondicional, por ser mi compañero de todas, por su paciencia, comprensión y por ser una inspiración para mí.

A mis amigos, compañeros y familiares cercanos, quienes de manera indirecta contribuyeron en mi desarrollo profesional, especialmente a mi tía Berta García, por su apoyo y cariño durante todo el camino.

A mi madrina Ana, por su amor, consejos y compañía.

Ana Gabriela García Sierra

DEDICATORIA

A Dios,

Ya que sin Dios nada somos y todo es posible gracias a él, quien ha sido mi guía durante todo este camino. Y seguirá acompañándome en todo lo que me proponga.

A mis queridos padres,

Con su esfuerzo y sacrificio ha sido posible todo lo que he logrado. Su amor incondicional, apoyo incansable y sabios consejos han sido el pilar que me ha sostenido a través de este camino. A ustedes les dedico este logro alcanzado, reconociendo que, sin ustedes, este camino habría sido mucho más difícil.

A mis hermanos y sobrinos,

Quienes con su presencia han sido una fuente de inspiración y fortaleza para seguir adelante. Sus ánimos y su cariño han sido de gran apoyo durante todo este proceso.

A mis maestros con sus conocimientos y guía han sido esenciales para mi desarrollo académico. Les agradezco por compartir su sabiduría y ayudarme a crecer.

A mis amigos y compañeros ustedes han sido fuente de alegría y apoyo. Gracias por estar conmigo durante este camino y tenerme fe.

Esta dedicatoria representa mi agradecimiento a todos aquellos que han contribuido de manera directa o indirectamente a mi educación y crecimiento profesional. Con su apoyo han hecho realidad este logro.

Karen Beatriz Gómez Castillo

ÍNDICE GENERAL

Pág. N°

ABREVIATURAS

GLOSARIO

RESUMEN

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN 16

CAPÍTULO II 18

2.0 OBJETIVOS 19

CAPÍTULO III 20

3.0 MARCO TEÓRICO 21

3.1 Seguridad alimentaria en El Salvador 21

3.2 Amaranto 23

3.2.1. Historia del amaranto 23

3.2.2. Taxonomía 24

3.2.3. Morfología 26

3.2.4. Requerimientos ambientales para el cultivo del amaranto en El Salvador 27

3.2.3.1 Prácticas agrícolas para el cultivo del amaranto en El Salvador 28

3.2.5 Composición química y valor nutricional 30

3.3. Potencial alimentario del amaranto 34

3.4 Proteínas y nutrición 37

3.4.1. Aminoácidos 38

3.5 Análisis químico de alimentos 39

3.5.1 Metodologías analíticas para la determinación de proteínas en cereales 39

3.5.1.1. Absorción a 280 nm 40

3.5.1.2. Método de Biuret 41

3.5.1.3. Método de Lowry 42

3.5.1.4. Método turbidimétrico 42

3.5.1.5. Unión de colorantes 43

3.5.1.6. Extracción de proteínas (Método de Osborne y Mendel) 43

3.4.1.7. Método de Kjeldahl 43

3.6 Normativas proteínas en alimentos 46

3.6.1. Norma mexicana NMX-F-608-NORMEX-2011. Alimentos – determinación de proteínas en alimentos – método de ensayo (pruebas)	46
3.6.2. Criterios de aceptación	47
3.6.2. Norma mexicana NMX-FF-116-SCFI-2010. Productos agrícolas destinados para consumo humano - grano reventado de amaranto (<i>Amaranthus spp.</i>) Para uso y consumo humano – especificaciones y métodos de ensayo	48
3.6.3 Tabla de composición de alimentos de Centroamérica – Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)	49
3.6.3.1. Consideraciones para el uso de la tabla	50
CAPÍTULO IV	52
4.0 PRODUCTO FINAL	53
CAPÍTULO V	64
5.0 CONCLUSIONES	65
CAPÍTULO VI	66
6.0 RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°		Pág. N°
1	Planta de <i>Amaranthus cruentus</i> cultivado.	26
2	Mal del talluelo que afecta al amaranto.	30
3	Potencial industrial del amaranto.	35
4	Fórmula general de un aminoácido.	38
5	Estructura química de los aminoácidos aromáticos.	41
6	Estructura del complejo entre el cobre y los enlaces peptídicos.	41
7	Esquema general de las reacciones que se llevan a cabo en el método de Lowry.	42
8	Equipo de destilación Kjeldahl.	46
9	Etiqueta identificación de la muestra.	56
10	Muestra de amaranto comercial para análisis	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		Pág. N°
1	Taxonomía del amaranto.	25
2	Composición química de la semilla de amaranto (por 100 g de parte comestible y en base seca).	31
3	Contenido de proteína del amaranto comparado a los principales cereales (g/100 g pasta comestible)	31
4	Características de calidad del colorante según normativa mexicana.	36
5	Usos del colorante amaranto según el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.54:10. Alimentos y bebidas procesadas. Aditivos alimentarios.	37
6	Factores para transformar el nitrógeno a proteína.	47
7	Especificaciones fisicoquímicas para el grano reventado de amaranto.	48
8	Composición de alimentos en 100g de porción comestible.	51
9	Contenido de proteína esperado vs. masa muestra.	59

ÍNDICE ANEXOS

Anexo N°	
1	Muestra de amaranto comercial para análisis.
2	Preparación de la muestra para el desarrollo esquemático de la determinación de proteína por el método de Kjeldahl en muestra de amaranto.
3	Desarrollo esquemático de la determinación de proteína por el método de Kjeldahl en muestra de amaranto.

ABREVIATURAS

AOAC INTERNATIONAL: Asociación de Química Analítica Oficial (AOAC) Internacional (Association of Official Agricultural Chemists)

CENTA: Centro de Tecnología Agrícola

cm: Centímetros

CMA: Cumbre Mundial de la Alimentación

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (The Food and Agriculture Organization)

g: Gramo

has: Hectáreas

INCAP: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá

ISO: Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)

kcal: Kilocalorías

m: Metros

mcg: Microgramos

mg: Miligramos

mm: Milímetros

msnm: Metros sobre el nivel del mar

nm: Nanómetros

NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (National Aeronautics and Space Administration)

NORMEX: Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C.

OMS: Organización Mundial de la Salud

RTCA: Reglamento Técnico Centroamericano

US EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency)

UV: Ultravioleta

° C: Grados centígrados

GLOSARIO

Autógamo: Fecundación de una flor por su propio polen.¹

Estípulas: Estructuras laminares, a veces presentes, a los lados de la base del pecíolo.¹

Panoja: Es una inflorescencia compuesta, con un eje más o menos alargado, que lleva ramificaciones donde se insertan las espiguillas pediceladas. Las ramificaciones pueden ser alternas, verticiladas o semiverticiladas.¹

Pecioladas: Hoja que presenta pecíolo. Es decir, parte de la hoja que une la lámina con el tallo.¹

Pivotante: Raíz en la que el eje principal se halla mucho más desarrollado que sus ramificaciones.¹

Pixidio unilocular: Cápsula con dehiscencia transversal.¹

RESUMEN

Las proteínas son parte importante de la alimentación diaria del ser humano, debido a que contienen aminoácidos que están compuestos por carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y muchas veces también azufre. Los aminoácidos contribuyen a las diferentes funciones de nuestro organismo como la reparación y fortalecimiento de las células; por ello es importante conocer el contenido de proteínas en los alimentos que se consumen. El presente trabajo se enfoca en la detección de proteínas en la semilla tostada de amaranto, ya que el amaranto se considera un alimento de gran importancia por su alto contenido de proteínas en comparación con otros cereales y cercano a los valores de proteínas animales.

El análisis químico de alimentos utiliza diversas técnicas para estudiar las características de los alimentos entre ellas la determinación del contenido de proteínas, utilizando un método estandarizado se propone determinar el contenido de proteínas en la semilla tostada de amaranto estableciendo una práctica de laboratorio basada en el método Kjeldahl que se pueda implementar en la Facultad de Química y Farmacia.

El método Kjeldahl para la determinación de nitrógeno, se basa en tres etapas: digestión, destilación y valoración. La práctica propuesta describe paso a paso la preparación de los reactivos, la muestra, la determinación de nitrógeno y conversión a proteínas siguiendo los pasos de la Norma NMX-F-608-NORMEX-2011 y la interpretación de resultados, los cuales deben ser comparados con la tabla de composición de alimentos del INCAP para evaluar su conformidad para determinar el valor nutricional del amaranto que se cultiva en nuestro país.

El amaranto representa una fuente muy importante de nutrientes que son vitales para la salud humana y para la calidad de vida, este valor se le atribuye por su contenido de proteínas. El marco regulatorio que establece las especificaciones y los métodos de ensayo que aplican al grano de amaranto destinado para consumo humano se encuentra sustentada en la Norma NMX-FF-116-SCFI-2010, misma que se referencia porque no existe base regulatoria en El Salvador.

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN

La alimentación saludable es aquella que aporta a cada individuo todos los alimentos necesarios para cubrir sus necesidades nutricionales, en las diferentes etapas de la vida. En la búsqueda de alternativas alimenticias que sean accesibles a la mayoría de la población se investigan diversos grupos alimenticios, dentro de los más importantes están los que aportan proteínas a nuestro organismo. Las proteínas son compuestos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, son moléculas complejas que están conformadas por unidades más pequeñas llamadas aminoácidos. Existen 20 tipos diferentes de aminoácidos, que se distribuyen en diferentes secuencias y se encuentran en distinta cantidad, dando lugar a los diversos tipos de proteínas.

Nuestro cuerpo necesita proteínas en la dieta para suministrar aminoácidos para el crecimiento y mantenimiento de nuestras células y tejidos, ya que las proteínas participan en casi todas las actividades metabólicas de nuestro cuerpo, por ello es importante su consumo en nuestra dieta.

Una de las fuentes de proteína de origen vegetal poco conocidas en nuestro país es el amaranto; planta propia de la región que tuvo su mayor apogeo en la época precolombina. Diversos estudios han demostrado su factibilidad como cultivo económicamente sustentable, así como el valor nutricional que posee.

El Análisis químico de alimentos se encarga de estudiar las características químicas y físicas de los alimentos y las interacciones que ocurren durante su procesamiento hasta llegar al consumidor final, para determinar la calidad, seguridad y valor nutricional que poseen. La determinación de proteínas en los alimentos es un ejemplo de análisis químico.

Para la determinación de proteínas presentes en los alimentos se utilizan métodos analíticos estandarizados. En la actualidad existen varios métodos como absorción a 280 nm, método de Biuret, de Lowry, entre los que se incluye el método Kjeldahl. Los fundamentos del procedimiento fueron desarrollados en 1883 por el danés Johan Kjeldahl para analizar el nitrógeno orgánico.

El método de análisis implica la determinación indirecta de las proteínas después de la determinación del contenido de nitrógeno total en las muestras de alimentos. Estas se someten a un proceso de digestión con un ácido fuerte, seguido de una etapa de destilación, para que se libere el

nitrógeno que luego se cuantifica mediante una técnica de titulación. La cantidad de proteínas se calcula a partir de la concentración de nitrógeno en el alimento utilizando un factor de conversión.

En la práctica propuesta para determinar proteína en una muestra de semilla tostada de amaranto se ha considerado la utilización de los equipos e insumos de laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia, detallando los pasos a seguir y los cálculos necesarios para obtener la cantidad de proteínas expresado en porcentaje según la Norma NMX-F-608-NORMEX-2011, la cual contempla al método de Kjeldahl, aprobado por organizaciones internacionales como AOAC, para que estos resultados puedan compararse con la tabla de composición de alimentos del INCAP.

CAPÍTULO II

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

Determinar el contenido de proteínas en la semilla tostada de Amaranto (*Amaranthus cruentus*) mediante el método de Kjeldahl.

2.2 Objetivos Específicos:

2.2.1 Exponer la importancia del amaranto relacionado con el aporte nutricional a la salud humana.

2.2.2. Describir un procedimiento esquemático para la determinación de proteínas en la semilla tostada de Amaranto (*Amaranthus cruentus*).

2.2.3. Presentar la Norma Mexicana NMX-FF-116-SCFI-2010 como marco regulatorio de referencia para la determinación propuesta y los resultados compararlos con la tabla de composición de alimentos del INCAP.

CAPÍTULO III

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1 Seguridad alimentaria en El Salvador

El concepto de Seguridad Alimentaria surge en la década del 70, basado en la producción y disponibilidad alimentaria a nivel global y nacional. En los años 80, se añadió la idea del acceso, tanto económico como físico. Y en la década del 90, se llegó al concepto actual que incorpora la inocuidad y las preferencias culturales, y se reafirma la Seguridad Alimentaria como un derecho humano.²

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), desde la Cumbre Mundial de la Alimentación (CMA) de 1996, la Seguridad Alimentaria “a nivel de individuo, hogar, nación y global, se consigue cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana”.²

Para considerar adecuados los alimentos se requiere que además sean culturalmente aceptables y que se produzcan en forma sostenible para el medio ambiente y la sociedad. Por último, su suministro no debe interferir con el disfrute de otros derechos humanos, por ejemplo, no debe costar tanto adquirir suficientes alimentos para tener una alimentación adecuada, que se pongan en peligro otros derechos socioeconómicos, o satisfacerse en detrimento de los derechos civiles o políticos.²

El Salvador es el país más pequeño y más densamente poblado de América Central. Tiene una población de 6,3 millones de personas. En este entorno fuertemente urbanizado, el desempleo, las malas condiciones de vida, la violencia de las bandas y la inseguridad representan los principales problemas para el desarrollo social y el crecimiento económico y son algunas de las principales causas de la migración.³

Desde 2014, la pobreza rural ha disminuido de forma importante, gracias a que la remuneración del empleo en el sector agrícola ha ido aumentando. No obstante, el número de personas en riesgo de caer en la pobreza debido a las perturbaciones económicas ha aumentado, como pudo verse claramente durante los primeros meses de la pandemia de la enfermedad por el coronavirus de 2019 (COVID-19). Como resultado, los empleos informales son sumamente frecuentes entre las personas más pobres y van en aumento.³

En El Salvador, el 8,5 % de la población está subalimentada y el 47,1 % padece inseguridad alimentaria moderada o grave. La pobreza financiera es uno de los principales desafíos que obstaculizan el acceso a alimentos sanos y nutritivos. En las zonas urbanas, los más afectados son los hogares monoparentales encabezados por mujeres, mientras que en las zonas rurales la tasa más elevada de pobreza multidimensional se registra en los hogares encabezados por hombres. Además, la pobreza multidimensional se concentra en los hogares con niños (33,8 %), casi el doble que en los hogares sin niños (17,4 %).³

En los últimos años, en El Salvador han habido ligeros avances en la reducción de la malnutrición, y el retraso del crecimiento ha disminuido considerablemente (aunque de forma desigual). Sin embargo, el alto costo de los alimentos nutritivos y la falta de infraestructura de la cadena de frío han contribuido a cambiar los hábitos alimentarios y aumentar el consumo de alimentos ultra procesados no perecederos. Es por este motivo que el sobrepeso y la obesidad se han convertido en una verdadera epidemia que afecta al 38,4 % de los niños en edad escolar y al 65,2 % de los adultos.³

Los sistemas alimentarios han ido evolucionando hacia un aumento de los monocultivos, en especial de los cultivos comerciales como la caña de azúcar. El país tiene una dependencia considerable de las importaciones de alimentos, sobre todo de hortalizas (el 93,2 % del volumen consumido), cereales (62,5 %) y carne de vacuno (46,3 %). También se importan otros alimentos básicos (frijoles y maíz) en cantidades importantes; sin embargo, el país produce el 97,7 % de los huevos y la leche fresca que se consumen y solo importa el 2,3 % de estos productos. Debido a la falta de demanda interna de alimentos frescos producidos de forma sostenible, no hay unos vínculos sólidos entre los productores locales y los consumidores.³

En 2014, se desarrolló un modelo multisectorial y multiinstitucional para la seguridad alimentaria y nutricional. El Gobierno desempeñó un papel fundamental en la coordinación de esfuerzos conjuntos para apoyar la producción agrícola, la salud y la nutrición, la educación y las compras locales. El programa se alineó con el plan del Gobierno "El Salvador Adelante" y se implementó en tres municipios del departamento de Chalatenango, se centró en fortalecer las políticas públicas de alimentación y nutrición, mejorar la producción local de alimentos para reducir las importaciones, aumentar la resistencia de las comunidades al cambio climático y mejorar el acceso a la información sobre nutrición.⁴

El país dispone de una hoja de ruta completa para unos sistemas alimentarios sostenibles en la que se pone de relieve el compromiso con el objetivo del Hambre Cero a través de tres prioridades: el fomento de un consumo responsable y sostenible para reducir la malnutrición y las enfermedades no transmisibles; la promoción de una agricultura más competitiva, inclusiva, sostenible y con una perspectiva de género, y la mitigación del impacto del cambio climático y otras crisis.³

3.2 Amaranto

3.2.1. Historia del amaranto

Mesoamérica es una de las áreas de origen de la agricultura donde se domesticaron diferentes especies de chiles, calabazas, maíces y amarantos –huauhtli en náhuatl– que fueron granos básicos en los mundos prehispánicos mesoamericano e inca cultivado hace más de 6 000 años. La llegada de la colonización europea alteró la relación de las poblaciones mesoamericanas con el amaranto, al grado de marginarlo a pequeñas parcelas donde experimentó un abandono provocado por la transformación de una agricultura tradicional y de subsistencia a una de tipo comercial, el uso de la tierra para criar ganado y la sustitución de cultivos, entre otros factores.⁵

Desde la década de 1950, el amaranto recuperó el interés científico: En 1967, el experto Jonathan D. Sauer postuló que las tres especies de mayor importancia económica fueron domesticadas en distintas regiones: *Amaranthus caudatus* en Sudamérica; *A. hypochondriacus* en el centro de México, y *A. cruentus* en el sur de México y Guatemala, justo donde florecieron los incas, los aztecas y los mayas, las tres civilizaciones prehispánicas más destacadas en el continente americano.⁵

En 1972 el fisiólogo botánico John Downton descubrió que la semilla de amaranto contiene el doble de lisina que el trigo, tres veces más que el maíz, y de hecho tanta como la que se encuentra en la leche. Durante los años 80, la NASA consideró al amaranto “el mejor alimento de origen vegetal y más completo para el consumo humano”. El primer astronauta mexicano, Rodolfo Neri Vela, llevó amaranto en una nave espacial para hacerlo germinar y florecer durante un vuelo orbital, popularizándose desde entonces como “la planta sagrada que comen los astronautas”.⁵

En las últimas décadas, no sólo se ha cultivado en México y América Central sino también se expandió por América Latina, Asia, Europa y algunos países de África. Actualmente el principal

productor es China con 150 mil has. cultivadas, seguida por India y Perú (1.800 has.), México (900 has.) y Estados Unidos (500 has).⁶

Actualmente, en México el amaranto se produce y se procesa en cooperativas o pequeñas empresas que elaboran dulces, horchata y harina con la que se preparan galletas, obleas y otros productos para los mercados locales. La investigación botánica y nutricional y la experimentación agrícola en México han generado un amplio conocimiento sobre esta planta, que incluye estrategias para fortalecer su cadena de valor, monitorear el aumento de hectáreas dedicadas a su cultivo, documentar las técnicas que se preservan para su producción, enfatizar su importancia como cultivo y alimento estratégicos para transitar hacia modelos alimentarios saludables y su adaptabilidad frente al cambio climático.⁵

En El Salvador a través de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente, de la Universidad De El Salvador se han desarrollado diversos estudios del cultivo del amaranto, sobre su calidad nutricional y varias alternativas de consumo en mezclas balanceadas de alimentos, para consumo humano y animal, como ejemplo de ello es el ‘‘Estudio de la factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto (*amaranthus spp.*)’’, en el cual se evaluaron los contenidos de proteína que posee la harina de amaranto partiendo del grano crudo y tostado, el contenido de proteína para cada tipo de harina fue del 16.42 y del 14.1 % p/p respectivamente. Y por su alto contenido en ceniza se cataloga como harina integral (2.98 y 2.6 % p/p respectivamente). Dadas estas premisas se consideró la evaluación de pre-factibilidad técnica y económica para procesar harina de amaranto tostado en escalas de producción artesanal, de mediana y gran escala, dando como resultado la recomendación técnica de utilizar un tostador de lecho fluidizado a gran escala para tostar 500 Kg por hora de semilla y molerla con molino de rodillos similares a los utilizados con el trigo. La tasa de retorno de inversión antes de impuestos para esta escala es de 19% para el primer año de operación, para el segundo año del 26 % y para el tercero del 32%.⁵

3.2.2. Taxonomía

El amaranto es una dicotiledónea de la familia *Amaranthaceae*. Pertenece al género *Amaranthus* que comprende aproximadamente 70 especies, existiendo una amplia variabilidad genética entre éstas. Las tres principales especies que son cultivadas para la producción de grano son A.

hypochondriacus, originario de México, *A. cruentus*, originario de Guatemala y del sureste de México y *A. caudatus*, cuyo origen es América del Sur. En tabla N°1 se detalla su taxonomía.⁷

Tabla N°1. Taxonomía del amaranto.⁸

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	<i>caudatus, cruentus e hypochondriacus</i>

Las especies más importantes y conocidas son las siguientes:⁹

- *Amaranthus cruentus*: Crece en el sur de México, Guatemala y Estados Unidos. Es la especie más importante de Centro América, en donde es cultivada en montañas para usar como cereal y como hortaliza (Ver Figura 1).
- *Amaranthus caudatus*: Crece en las regiones andinas de Bolivia, Perú y Argentina.
- *Amaranthus hypochondriacus*: Procedente de la parte central de México, hoy en día se encuentra en Nepal, América Central y la India.



Figura N° 1. Planta de *Amaranthus cruentus* cultivado⁹

3.2.3. Morfología¹⁰

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.

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.

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.

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.

Inflorescencia. Son numerosas, tiene un comportamiento autógeno 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.

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.

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 endospermo o segunda capa, el embrión formado por los cotiledones y la parte más interna llamada perisperma.

3.2.4. Requerimientos ambientales para el cultivo del amaranto en El Salvador⁹

De acuerdo con el estudio “AMARANTO Preparación de Alimentos”, desarrollado por el Centro Universitario de Occidente de la Universidad De El Salvador y el Centro De Tecnología Agrícola (CENTA) y patrocinado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP); los requerimientos agronómicos para cultivar Amaranto en El Salvador son los siguientes:

- Tipo de suelo

Aparentemente, los amarantos crecen bien en una variedad de tipos de suelo que van desde muy ácidos y de alto contenido de aluminio, hasta suelos alcalinos y salinos. Están adaptados a tierras que fluctúan entre finas y toscas, siempre que estén bien drenadas

- Altitud

Es bien adaptada al trópico y crece bien entre 50 y 900 msnm.

- Temperatura

La temperatura óptima para la germinación oscila entre 10 ° C y 27 ° C, lo que lo hace comparable con el maíz.

- Agua

La cantidad de agua necesaria para lograr su cultivo es extremadamente importante en las regiones áridas y esta cantidad variará de un medio ambiente a otro. En El Salvador se ha comprobado que necesita más de 360 mm de agua, lo que lo hace más tolerante a la sequía que el maíz y el sorgo.

3.2.3.1 Prácticas agrícolas para el cultivo del amaranto en El Salvador⁹

- Preparación de la tierra

Se necesita tierra suelta pero firme, a fin de ordenar la siembra a una profundidad uniforme (2.5 cm) de modo que la emergencia sea también uniforme.

- Época de siembra

De acuerdo con experiencias en El Salvador, se recomienda sembrar en la segunda quincena de junio, aun cuando se obtienen buenos resultados si esta práctica se realiza en otra época si la temperatura es superior a los 18 ° C y existe humedad adecuada.

- Profundidad de la siembra

La pequeñez de la semilla requiere una siembra poco honda, aunque influye la textura del suelo y la humedad; una profundidad de 2.5 cm parece ser la óptima.

- Tasa de la siembra

Las tasas óptimas dependen de la humedad disponible y del método de cosecha; se recomienda que las tasas de población sean de 300,000 a 500,000 semillas / ha, dependiendo del uso a que se destine la planta, esto es función del interés en grano o follaje (verduras).

- Fertilizantes

La respuesta del amaranto a los fertilizantes varía desde una respuesta nula hasta incrementos considerables; se ha observado que responde a la proporción de la fórmula 16-20-0 en el momento de siembra y la urea y/o sulfato de amonio al tercer raleo y en la floración, pero es muy importante contar con datos de los niveles de nutrientes en el suelo en el momento de la siembra.

- Control de la maleza

No hay herbicida selectivo para el amaranto, lo mejor es hacer un control manual de limpieza, durante los primeros 45 días de desarrollo. el control de las plantas de hoja ancha debe hacerse manual y las gramíneas pueden eliminarse con el herbicida Fluazitop-p-Butil (Fusilade) en dosis de 1.0 litro por hectárea disuelto en 200 litros de agua, aplicarlo cuando los zacates tengan de 2 a 4 hojas.

- Insectos

Aún cuando en el amaranto se ha encontrado un gran número de plagas de insectos, son pocos los problemas que afectan la planta, tales como la tortugilla, insectos chupadores y pulgones por lo que se hacen aplicaciones de plaguicidas, de acuerdo con la incidencia.

- Enfermedades

Se ha encontrado que el mal del talluelo es causa de serias pérdidas de plantas, por lo que la aplicación de un fungicida ayuda a corregir tal enfermedad. Ver figura 2.



Figura N° 2. Mal del talluelo que afecta al amaranto⁹

- Cosecha

La cosecha se hace manual, se cortan las panojas y se ponen al sol durante 72 horas para eliminar humedad, luego se desgranar presionándolas contra una zaranda, posteriormente se hace pasar una corriente de aire alternativamente se puede utilizar una segadora trilladora.

- Método de la siembra

La siembra directa de la semilla es el único procedimiento practicado; aunque se utiliza el trasplante; pero afecta su crecimiento.

- Rendimiento

Los rendimientos que se han obtenido realizando prácticas manuales van desde 1175 kg/ha hasta 3111 kg/ha.

3.2.5 Composición química y valor nutricional¹¹

El amaranto en general es un alimento con un alto valor nutricional debido a su alto contenido de proteínas, carbohidratos, grasa y minerales. Podemos observar en las tablas 2 y 3 en las que se describen las características químicas y el valor nutricional.

Tabla N°2. Composición química de la semilla de amaranto (por 100 g de parte comestible y en base seca).¹¹

Características	Contenido
Proteína (g)	12.0 – 19.0
Carbohidratos (g)	71.8
Lípidos (g)	6.1 – 8.1
Fibra (g)	3.5 – 5.0
Cenizas (g)	3.0 – 3.3
Energía (kcal)	391.0
Calcio (mg)	130.0 – 164.0
Fósforo (mg)	530.0
Potasio (mg)	800.0
Vitamina C (mg)	1.5

Tabla N° 3. Contenido de proteína del amaranto comparado a los principales cereales (g/100 g parte comestible).¹¹

Cultivo	Proteína
Amaranto	13.6 – 18.0
Cebada	9.5 – 17.0
Maíz	9.4 - 14.2
Arroz	7.5
Trigo	14.0 – 17.0
Centeno	9.4 – 14.0

La principal proteína en el amaranto, descubierta y bautizada como amarantina es superior nutricional y funcionalmente a cualquier otra proteína vegetal conocida hasta ahora, ya que presenta un buen equilibrio a nivel de aminoácidos, incluyendo la lisina, esencial en la alimentación humana y que no suele encontrarse (o en poca cantidad) en la mayoría de los cereales. Los niveles

de lisina son superiores a los de todos los cereales, igualmente presenta adecuadas cantidades de triptófano y aminoácidos azufrados, ausentes en otros vegetales.

La transformación de los granos permite un mejor aprovechamiento de sus cualidades nutritivas por medio de la presentación de los productos que se puedan derivar de cada una de las variedades disponibles. La formulación de productos alimenticios saludables y la generación de nuevas materias primas, es una tarea prioritaria para la seguridad alimentaria, siendo de gran interés el grupo de los cereales, granos y semillas, como fuente de alimento.

El grano contiene de 6 a 10% de grasa, que se encuentran principalmente en el germen, que es rico en ácidos grasos polinsaturados (76%), especialmente en ácido linoleico (18:2) y el ácido linolénico (18:3), el cual se encuentra en pequeña proporción. Estos ácidos grasos para el ser humano son de interés vital porque proveen de energía, bajan el colesterol, inhiben la producción de coágulos de sangre y disminuyen el riesgo de enfermedades cardiovasculares. El aceite de amaranto se dice que contiene altas concentraciones de tocotrienoles, formas raras de la vitamina E que inhiben la enzima dominante reguladora de la biosíntesis del colesterol.

El grano no posee gluten por eso recomendado para los celíacos o aquellas personas que son intolerantes a este elemento, y el cereal hecho papilla es recomendado para pacientes con problemas bucodentomaxilares, geriátricos, desnutridos y pacientes oncológicos. Por su contenido energético también es beneficioso para pacientes con requerimientos calóricos elevados.

Según la FAO y la OMS, revela que un valor proteico ideal de 100, el amaranto posee 75, la leche vacuna 72, la soya 68, el trigo 60 y el maíz 44. Además la digestibilidad de su grano es del 93%. Las reducidas dimensiones de este gránulo facilitan su digestión, que resulta de 2 a 5 veces más rápida que el maíz. Cuando se realizan mezclas de harina de amaranto con harina de maíz, la combinación resulta excelente, llegando a índices cercanos de 100, porque el aminoácido que es deficiente en uno abunda en el otro. El grano de amaranto no posee gluten lo que lo hace apto para celíacos.

De igual manera el amaranto contiene minerales entre ellos:

- Hierro Con un valor de alrededor de 9 mg, el amaranto contiene el doble hasta el triple de la cantidad de hierro que llevan el trigo (unos 4,5 mg) y el arroz (alrededor de 3 mg) (el maíz tiene muy poco, solo alrededor de un por ciento).

- Calcio: En la semilla de amaranto encontramos unos 200 mg (arroz: unos 25; trigo: entre 40 y 50 mg).
- Magnesio: El amaranto en 100 g de semillas posee más de 300 mg de magnesio, alrededor del doble de lo que contienen el trigo (alrededor de 140 mg) y el arroz (unos 150 mg).
- Fósforo: Vemos en el amaranto entre 400 y 500 mg (arroz: alrededor de 120 mg; trigo) (harina blanca: alrededor de 75 mg / harina integral: unos 340 mg).
- Grasa: En 100 g del amaranto, de sus aproximadamente 8 a 9 g (arroz y trigo: de 0,5 a 2 g), alrededor del 70% de la grasa son ácidos grasos insaturados, en una combinación muy apropiada para la alimentación humana (arroz blanco y trigo: solo entre 2 y 10%).

Vitaminas

- B1: amaranto: alrededor de 0,8 mg (arroz: 0,4 mg; trigo: 0,4 a 0,5 mg).
- B9/B11: Encontramos en el amaranto como 50 µg por 100 g (arroz: menos de 20 µg; trigo harina blanca: alrededor de 6 µg / harina integral: unos 30 µg).

Fibra: el amaranto nos brinda unos 14 hasta 15 g (arroz: 1 a 4 g; trigo: entre 4 y 12 g, otra vez en dependencia del tipo de la molienda).

Carbohidratos: Los carbohidratos del amaranto por su estructura tan fina, son muy fáciles de digerir, por lo que estos proveedores principales de energía para el cuerpo humano, al consumir éste productos de amaranto, rápido se ponen a nuestra disposición.

En las últimas décadas, las investigaciones en alimentos han enfocado sus esfuerzos a la identificación y cuantificación de compuestos con actividad biológica que pudieran ejercer un efecto benéfico en la salud de los consumidores. La semilla de amaranto posee, además de los nutrientes, cantidad importantes de polifenoles, metabolitos secundarios que promueven la salud al participar en la prevención de enfermedades crónico-degenerativas como obesidad, diabetes, padecimientos cardiovasculares y cáncer.

Los principales compuestos fenólicos presentes en el amaranto son ácidos cafeicos, ácido p-hidroxibenzoico y ácido ferúlico. Además de los polifenoles, el amaranto contiene fitoesteroles en la parte lipídica del pseudocereal, estos compuestos que no pueden ser absorbidos por el intestino humano, poseen una estructura similar a la del colesterol, por lo que inhiben la absorción intestinal

del mismo contribuyendo a la disminución de su concentración en plasma, además de poseer actividad antiviral y antitumoral.⁹

3.3. Potencial alimentario del amaranto

Desde el punto de vista de su utilización el amaranto presenta tres líneas importantes de investigación, las cuales son necesarias para impulsarlo en los sistemas de producción (ver figura 3). La primera de estas líneas es el grano, el cual ha llamado la atención por su contenido relativamente alto de proteína y grasa; además su proteína es una fuente rica en lisina y otros aminoácidos esenciales. Todos estos factores sitúan al amaranto por arriba de los cereales al menos desde el punto de vista nutricional.⁹

Las semillas de amaranto se pueden emplear en muchos platillos:¹²

- Elaboración de sopas (grano y harina).
- Fabricación de productos de panificación: pasteles, galletas, panes (harina, grano entero, grano reventado).
- Elaborar cereales para el desayuno (entero, reventado o germinado y molido).
- Harinas de buen color y sabor que pueden reemplazar parcialmente a las de maíz y de trigo en la elaboración de galletas, fideos, panes y tortas.
- Los granos cocinados de manera similar al arroz pueden ser usados como complemento alimenticio en bebés durante la etapa de destete
- Complemento de la dieta para bovinos y caprinos (forraje y ensilaje)

También se han elaborado tortillas de maíz fortificada con una mezcla de harinas de amaranto (*Amaranthus spp*), frijol (*Phaseolus vulgaris*); ricos en proteína de alto valor biológico, y nopal (*Opuntia ficus-indica*), fuente importante de fibra dietética, principalmente fibra soluble, y de minerales. Mediante análisis sensoriales, se obtuvo una formulación de tortilla fortificada con una mezcla de harinas de frijol, amaranto y nopal en una proporción 90:2:6:2, respectivamente.¹²

Internacionalmente, la semilla ha sido utilizada en la elaboración de dulces (alegrías en México), tortillas, nachos, barquillos, tamales, harinas, atoles, pop – amaranto como cereal para el desayuno,

que sirven como alternativa para mejorar nutricionalmente los alimentos tradicionales de nuestro medio, que, por sus características organolépticas como el color blanco pálido, sabor y aroma agradable, pueden mezclarse bien con la mayoría de los platillos tradicionales, sin alterar su sabor.⁹

Los chinos utilizan la harina para hacer fideos, panqueques y dulces, utilizan el colorante para la salsa de soja, y alcanzan excelentes resultados empleando la planta como forraje para animales.

En Europa y Estados Unidos se consumen en forma de granos integrales, harina, copos, harina integral de amaranto tostado, amaranto reventado al estilo rosetas, polvo pregel de amaranto, aceite de amaranto, barras de cereal, pan de amaranto, tortillas de amaranto y maíz. La harina generalmente se utiliza para enriquecer pastas, panes, galletas y alimentos para bebés. En mezclas con harina de Trigo al 25-30% de Amaranto, se obtiene pan francés de alto valor nutritivo.⁹

La segunda línea de investigación es la del amaranto como verdura. Las hojas en efecto son una fuente rica en carotenos y en hierro, además, contienen niveles proteínicos comparables a las de muchas otras verduras. La proteína es de alto contenido en lisina, siendo muy buen suplemento para los cereales.⁹

La tercera línea es el uso del amaranto, ya sea de la planta completa, la planta sin inflorescencia, sin grano, o bien el residuo de la cosecha como alimento para la producción animal (forraje).⁹

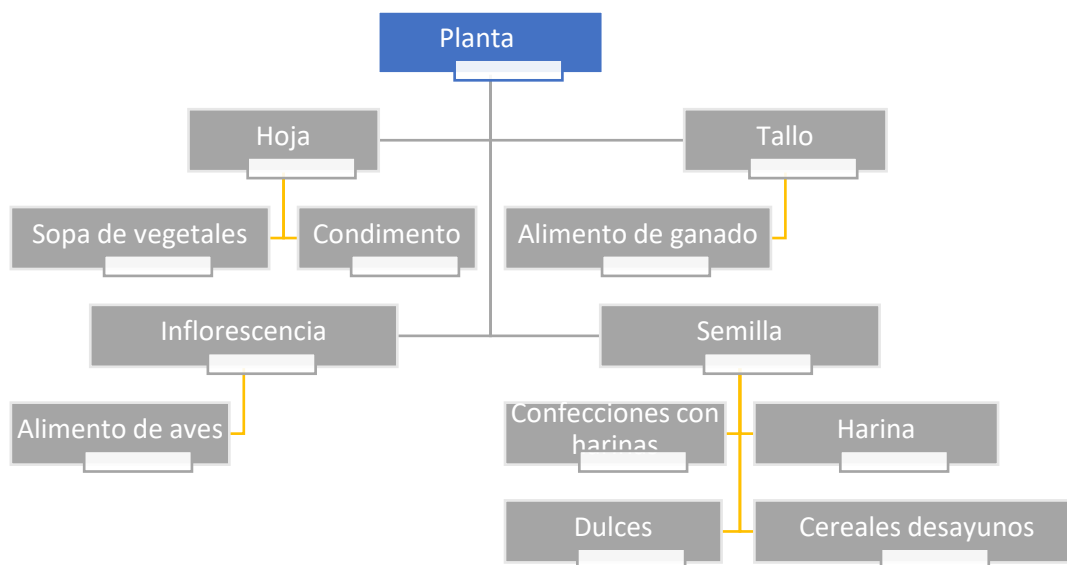


Figura N°3. Potencial industrial del amaranto⁹

- Uso como colorante.¹²

Las especies de amarantos tintóreos, *Amaranthus caudatus*, *A. cruentus*, y *A. hypochondriacus* (cuya intensa pigmentación alcanza a toda la planta con excepción de la semilla, que es negra y carece de valor como grano comestible) proveen un pigmento natural (amarantina) de color rojo – purpúreo, usado desde épocas precolombinas para la tinción de alimentos y bebidas. En la Tabla N°4 podemos observar las características de calidad del colorante de Amaranto según normativa mexicana y en la Tabla N°5 los usos del amaranto con su valor máximo permitido según RTCA.

Colorante rojo No. 2 "amaranto" (C.I. 16185-1956 ver 6.1.).

Con nombre químico; sal trisódica del ácido 1-(4-sulfo-1-naftilazo)2 naftol-3-6-disulfónico.

Con fórmula condensada de $C_{20}H_{11}N_2O_{10}S_3Na_3$.

Con peso molecular de 604.5 g/mol Con fórmula estructural.

Tabla N°4. Características de calidad del colorante de Amaranto según normativa mexicana.¹²

CARACTERISTICAS	VALOR
Concentración (base seca)	85% min
Plomo (expresado como Pb)	10 ppm máx.
Arsénico (Expresado como As_2O_3)	1.4 ppm máx.
Material volátil a (135°C)	10% máx.
Material insoluble en H_2O	0.5 % máx.
Extractos etéreos	0.2 % máx.
Óxidos mixtos	1.0 % máx.
Metales pesados (expresado como Pb)	Trazas
Colorantes subsidiarios	4.0 % máx.
Cloruros y sulfatos de sodio	5% máx.
Olor y sabor	Exento de olores y sabores extraños

Tabla N°5. Usos del Amaranto como colorante según el reglamento técnico centroamericano RTCA.¹³

AMARANTO ISN 123			
Función: Colorante			
N° Categoría de alimentos	Categoría de alimentos	Nivel máximo	Observaciones
09.3.3	Sucedáneos de Salmon. Caviar y otros productos pesqueros a base de huevas	30 mg/kg	Nota 50
14.2.4	Vinos (distintos de los de uva)	30 mg/kg	
14.2.7	Bebidas alcohólicas saborizadas (p.ej., cerveza, vino y bebidas espirituosas tipo refresco, refrescos con bajo contenido de alcohol)	30 mg/kg	

3.4 Proteínas y nutrición

Las proteínas están formadas en mayor cantidad por Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno, coinciden en que son fundamentales en los sistemas biológicos; conforman el código genético en conjunto con los ácidos nucleicos. desempeñan un papel esencial en la alimentación humana por su aporte de aminoácidos a la dieta y por sus propiedades funcionales, las que aportan características específicas en los alimentos, Siempre que se consuman de manera balanceada en la dieta, participan en la estabilidad del sistema inmune, desarrollo neuronal y cognitivo, además de la prevención de diversas patologías.⁶

Las proteínas, principalmente de origen vegetal, constituyen una fuente de nutrientes e ingredientes funcionales de interés. En países en desarrollo, los cereales y las legumbres son la fuente más importante de proteínas alimentarias, ya que comprenden el 95 % de su dieta. Por su parte los granos de cereales proveen el 50 % del requerimiento proteico básico del hombre. Las proteínas de las legumbres (ej. soja) están disponibles en gran medida y son de buena calidad, pero son deficientes en aminoácidos azufrados y también se han presentado casos de alergias a estas proteínas.¹⁰

En años recientes, el crecimiento de la población mundial impulsó el interés por proteínas de menor costo y de buena calidad nutricional que complementen a las de cereales y legumbres. Esto incrementó la investigación de nuevas fuentes alternativas de proteínas. El grano de amaranto es uno de los 36 cultivos alimenticios más prometedores del mundo según la US National Academy of Science, teniendo un gran potencial para convertirse en una importante fuente de proteínas dietarias. 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 grado de digestibilidad.¹⁰

3.4.1. Aminoácidos¹⁴

Aminoácidos Compuestos orgánicos que contienen grupos funcionales amina (-NH₂) y carboxilo (-COOH), adyacentes a un grupo R que es único para cada aminoácido.

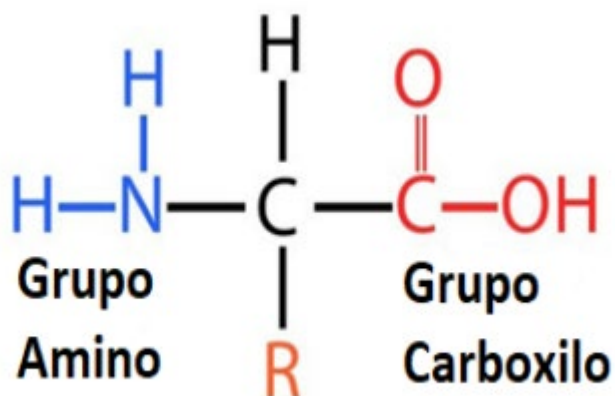


Figura N°4. Fórmula general de un aminoácido¹⁴

Al combinarse, los aminoácidos participan en la estructuración o formación de proteínas, ejercen actividades hormonales, de transporte, y enzimáticas. Por su fisiología se los puede distinguir como esenciales a aquellos que al no ser sintetizados por el cuerpo humano deben ser suplementados por la ingesta de alimentos, y los no esenciales que son producidos netamente por el organismo.

3.5 Análisis de químico de alimentos

La importancia de la alimentación como necesidad vital es un hecho incuestionable conocido por todos. Si bien es importante comprender esta verdad, también es necesario conocer como nos alimentamos, es decir cuál es la calidad de los alimentos que ingerimos, sobre todo por la gran relación que se ha demostrado que tiene la alimentación con la salud. La alimentación por ser un acto reiterado, a largo plazo y vital, constituye el factor ambiental que más influye en la etiología, es decir la causa, de numerosas enfermedades como el cáncer, la obesidad, la aterosclerosis, etc.¹⁴

Los alimentos no son compuestos estáticos, sino dinámicos y consecuentemente las ciencias alimentarias deben estudiar la composición de los alimentos y los efectos que sus componentes provocan en el curso de los diferentes procesos a que están sujetos, investigando y descubriendo las conexiones que existen entre la estructura de los diferentes compuestos y sus propiedades organolépticas, así como su capacidad de deterioro en función de su composición química. La caracterización de los alimentos proviene de los resultados de los diferentes ensayos a que puede someterseles utilizando diferentes métodos de evaluación, los cuales pueden agruparse en función de los objetivos que persigan y los principios en que se fundamentan. Así, la evaluación de los alimentos involucra tres tipos de análisis: análisis fisicoquímico, análisis microbiológico y análisis sensorial.¹⁴

Para poder realizar el análisis químico de los alimentos, hay que auxiliarse de una de las más antiguas e importantes ramas de la química: “la química analítica”, la cual brinda las herramientas necesarias para poder determinar quiénes son las sustancias que están presentes en los alimentos y en qué cantidades ellas se encuentran. Así, esta puede definirse como la rama de la química que se ocupa de la identificación y cuantificación de un componente químico en una sustancia dada. De esta definición se deriva que la química analítica se divide en dos grandes campos de actuación: el análisis cualitativo, cuyo objeto es identificar cuáles son los componentes que están presentes en una muestra, y el análisis cuantitativo, a través del cual se determina cuánto hay de cada componente en la muestra evaluada.¹⁵

3.5.1 Metodologías analíticas para la determinación de proteínas en cereales¹⁶

El contenido proteínico de los alimentos puede determinarse por medio de diversos métodos como lo son Absorción a 280 nm, método de Biuret, Lowry y Kjeldahl. La forma más habitual es su

cuantificación de forma indirecta y aproximada, bien a partir del contenido en nitrógeno de la muestra, o bien deduciendo su cantidad a partir del contenido de uno o dos aminoácidos particulares que conforman la proteína, fáciles de identificar y de cuantificar por su reactividad química específica. Este segundo procedimiento conlleva una mayor inexactitud. Desde hace más de 100 años se está utilizando el método Kjeldahl para la determinación del nitrógeno en una amplia gama de muestras (alimentos y bebidas, piensos, forrajes, fertilizantes) para el cálculo del contenido en proteína.

También se utiliza el método Kjeldahl para la determinación de nitrógeno en aguas residuales y suelos. Es un método oficial descrito en múltiples normativas: AOAC, USEPA, ISO, Farmacopeas y distintas Directivas Comunitarias. La convención general, sobreentendida, es que la totalidad del nitrógeno de la muestra está en forma proteica, aún cuando la realidad es que, según la naturaleza del producto, una fracción considerable del nitrógeno procede de otros compuestos nitrogenados (bases púricas y pirimidínicas, creatina y creatinina, urea, amoníaco, etc.), por ello se denomina “proteína bruta” o “proteína total” a la obtenida por este método. Con este análisis, sin embargo, no se determina el nitrógeno nítrico, el cianhídrico, el de la hidracina, el de grupos azo y el nitrógeno de un núcleo cíclico.

3.5.1.1. Absorción a 280 nm¹⁶

La mayoría de las proteínas muestra una absorción a 280 nm, la cual se atribuye al grupo fenólico de la tirosina, al grupo indólico del triptófano y al grupo aromático de la fenilalanina (Fig. 5). La cuantificación de proteínas basada en la absorción en la región de UV tiene la ventaja de que no es necesario utilizar reactivos, y la muestra no se daña o destruye durante la determinación. Se toma en cuenta la absorción del disolvente, ya que este puede absorber en la misma región. Este método sufre interferencias de compuestos que contengan anillos de purina y pirimida. Se realiza una comparación con una proteína estándar, de la que se debe conocer su composición.

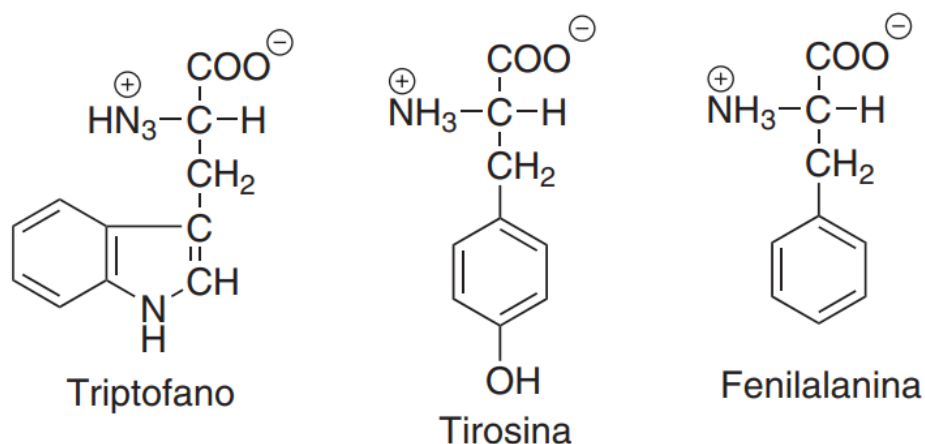


Figura N°5. Estructura química de los aminoácidos aromáticos¹⁶

3.5.1.2. Método de Biuret¹⁶

El método comprende un ensayo colorimétrico de un paso donde se cuantifica la formación de un complejo estable entre el enlace peptídico de las proteínas y el cobre (II). El complejo presenta un color violeta característico, que se puede observar a 310 nm o 540-560 nm, el cual se da por la coordinación de un átomo de cobre con cuatro átomos de nitrógeno. El complejo se basa en la desprotonación de los grupos amida para formar el enlace con el cobre (II), o por el establecimiento de un enlace coordinado entre el metal y los pares de electrones libres de los átomos de oxígeno y de nitrógeno del péptido (Ver Fig. 6). Después de la adición del reactivo de cobre, se requiere tiempo para desarrollar una coloración de Biuret estable; es necesario considerar la posible influencia de aminoácidos libres que forman buffer en configuración tris y amoniaco.

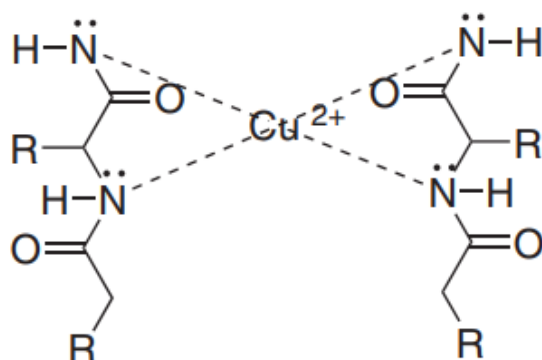


Figura N° 6. Estructura del complejo entre el cobre y los enlaces peptídicos¹⁶

3.5.1.5. Unión de colorantes¹⁶

Controlando el pH y la fuerza iónica del medio, los grupos funcionales ácidos y básicos de las proteínas pueden interactuar con grupos orgánicos de carga opuesta. Al realizarse la unión, se presenta coloración o bien un cambio de ésta. Comúnmente se usan colorantes sulfonados, los cuales reaccionan a pH ácido con el grupo α -amino de la lisina y el grupo guanidina de la arginina, el imidazol de la histidina y un número limitado de α -amino terminales

3.5.1.6. Extracción de proteínas (Método de Osborne y Mendel)¹⁶

El método se fundamenta en la relación estructura-solubilidad de las proteínas. Por ejemplo, se sabe que la zeína que es soluble en un alcohol fuerte o en disoluciones alcalinas diluidas, pero es insoluble en agua o en soluciones neutras inorgánicas. Las glutelinas, por ejemplo, son insolubles en agua, en soluciones salinas y en alcohol, y bastante soluble, en sosa y potasa. Es importante notar que la mayor parte de nitrógeno proveniente de proteínas es soluble en alcohol y en disoluciones alcalinas. Las globulinas, albúminas y prolinas son solubles en disoluciones alcalinas diluidas.

3.4.1.7. Método de Kjeldahl¹⁷

La determinación de nitrógeno tiene una larga trayectoria en el campo de la química analítica. Johan Kjeldahl presentó el método Kjeldahl por primera vez en 1883 en una reunión de la "Sociedad Química Danesa". Johan Kjeldahl, entonces director del laboratorio de Carlsberg, recibió el encargo de observar científicamente los procesos involucrados en la elaboración de la cerveza. Mientras estudiaba las proteínas durante la producción de malta, desarrolló un método para determinar el contenido de nitrógeno que era más rápido y preciso que cualquier método disponible en ese momento.

En el trabajo de rutina se determina mucho más frecuentemente la proteína total que las proteínas o aminoácidos individuales. En general, el procedimiento de referencia Kjeldahl determina la materia nitrogenada total, que incluye tanto las no proteínas como las proteínas verdaderas. El método que se basa en la determinación de la cantidad de nitrógeno contenido en productos alimentarios.

Procedimiento¹⁵

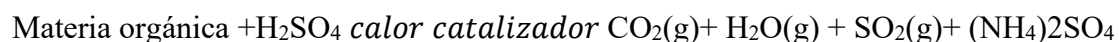
El contenido en nitrógeno que se expresa como nitrógeno total o proteína bruta ($N \times 6.25$), se determina casi siempre por combustión líquida en la que se convierte el nitrógeno primero en sulfato amónico y finalmente en amoníaco; el amoníaco formado se destila, se recoge en ácido bórico y se titula con una disolución ácida normalizada (fig. 8). Este método, ideado por J. Kjeldahl en 1883, ha sufrido numerosas modificaciones, no en lo fundamental, sino en lo que se refiere a los catalizadores aplicados para acelerar o hacer más completa la digestión, en general consiste en:

- Oxidación de la muestra con H_2SO_4 y un catalizador, durante la cual la materia orgánica se destruye y el nitrógeno se convierte en sulfato ácido de amonio.
- Descomposición del sulfato ácido de amonio por medio de un exceso de álcali fuerte para liberar el amoníaco, el cual se recoge por destilación sobre ácido bórico.
- Titulación del borato de amonio formado con solución patrón de HCl o de H_2SO_4 , usando como indicadores de punto final una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno o una mezcla de rojo de metilo y verde de bromocresol.

Los fundamentos de cada una de las etapas se describen a continuación:

- Digestión:

Se emplea ácido sulfúrico concentrado y sulfato de cobre como catalizador, que con ayuda de calor y sulfato de potasio oxidan la materia orgánica hasta CO_2 y agua y transforman todo el nitrógeno amínico (NH_2) e imínico ($NH=NH$) provenientes de proteínas y aminoácidos en ión amonio (NH_4^+). La reacción general que tiene lugar es la siguiente:



Varios catalizadores han sido empleados, entre ellos: mercurio, cobre y selenio. Cuando la digestión termina, la solución queda transparente, libre de partículas carbonosas. En el caso de haber empleado como catalizador el sulfato de cobre, la solución toma un color azul verdoso.

- Destilación:

La muestra digerida se trata con un álcali (NaOH 40% m-V) añadido en exceso, el cual reacciona descomponiendo el sulfato de amonio en amoníaco, que es volátil y se destila por arrastre con vapor.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:

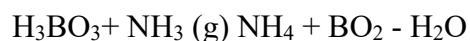


El amoníaco destilado se recoge en un Erlenmeyer con una mezcla de indicadores (bromocresol verde-rojo de metilo) y solución alcohólica de ácido bórico. La reacción que ocurre es:



- Valoración:

El borato de amonio formado se valora entonces utilizando como patrón valorante una solución estandarizada de ácido clorhídrico, según:



El punto final de la valoración estará a pH ácido, por la presencia de ácido bórico finalmente formado.

La cantidad de proteína bruta se obtiene multiplicando el porcentaje de nitrógeno total (N) por un factor de conversión (F) y el resultado (N x F) se expresa como proteína: para las proteínas vegetales cuyo contenido en nitrógeno oscila entre 16.4% y el 18% aproximadamente se aplica el factor de conversión 5.7 (N x 5.7) (pudiéndose aplicar otros particulares para cada vegetal); para las proteínas animales que contienen aproximadamente el 16% de nitrógeno se aplica el factor de 6.25 (N x 6.25). Como caso particular, para la caseína de la leche, que contiene el 15.5% el factor utilizado es 6.38 (N x 6.38), para la gelatina 5.55 (N x 5.55).

Este método, así como otros, se basa en la medición del amoníaco formado por todo el nitrógeno presente en la muestra (nitrógeno en ácidos nucleicos y sales de amonio, también el nitrógeno ligado de compuestos aromáticos como pirazina, pirrol y oxazol, así como también el nitrógeno orgánico ligado de las vitaminas como la B1, la B2 y la nicotinamida), por lo tanto, el valor obtenido no es el real a no ser que de alguna manera se elimine el nitrógeno no proteico en la preparación de la muestra.

No obstante, como por lo general los alimentos solo contienen cantidades traza de compuestos aromáticos nitrogenados y de vitaminas, el error cometido se considera despreciable; además, este método da una apreciación cuantitativa de la proteína presente, mas no orientan sobre la calidad de esta, su riqueza en aminoácidos y capacidad de asimilación, factores que determinan el valor nutricional de la proteína.

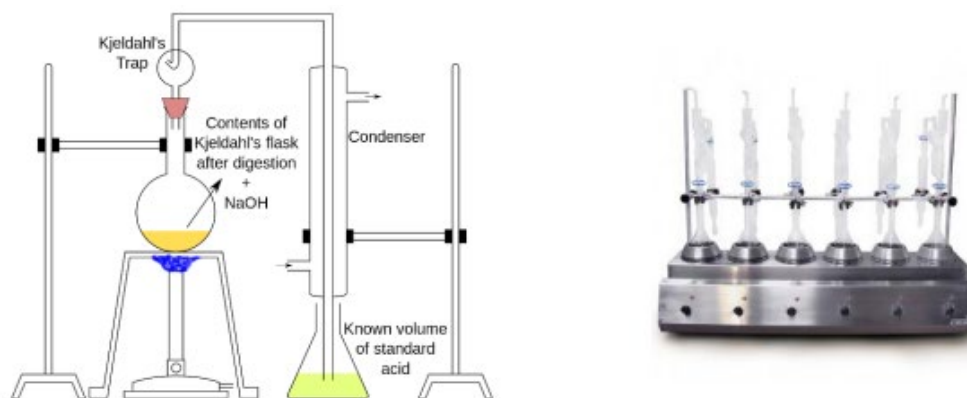


Figura N° 8. Equipo de destilación Kjeldahl¹⁵

3.6 Normativas proteínas en alimentos

3.6.1. Norma mexicana NMX-F-608-NORMEX-2011. Alimentos – determinación de proteínas en alimentos – método de ensayo (pruebas)¹⁸

De acuerdo con esta normativa, la proteína es un nutrimento básico en los procesos de producción, se considera como parámetro de calidad e influye en el color y sabor de los alimentos, por lo que es necesario conocer el contenido proteico de los alimentos el cual se estima a partir del Nitrógeno orgánico. Para ello, se utiliza el método Kjeldahl, el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra y la oxidación de la materia orgánica con ácido sulfúrico utilizando una mezcla de catalizadores.

El nitrógeno orgánico se fija como sulfato de amonio y esta sal se hace reaccionar con una base fuerte para liberar el amoniaco que se destila por arrastre de vapor y se recibe en un ácido débil que se titula con un ácido fuerte de concentración conocida.

En la tabla N°6 se muestran algunos factores utilizados para transformar el Nitrógeno a proteína en algunos productos o semillas, entre ellos el amaranto.

Tabla N° 6. Factores para transformar el nitrógeno a proteína.¹⁸

Producto	Factor
Cereales trigo entero, molido o harina	5.83
Harina de trigo (baja o mediana extracción)	5.70
Macarrones, espagueti o pastas de trigo	5.76
Salvado de trigo	6.31
Arroz todos los productos	5.95
Centeno, avena, cebada Mijo blanco, Mijo rojo, Trigo duro, Trigo blando (todos los productos)	5.83
Leguminosas, nueces y semillas, nueces de tierra	5.46
Soya y subproductos	5.71
Almendras	5.18
Nuez de Brasil	5.46
Otras nueces	5.30
Coco, castañas, semillas (ajonjolí, cártamo, girasol) otras semillas	5.30
Leche y productos de leche	6.38
Otros alimentos gelatina	5.55
Huevo	6.68
Yema de huevo	6.62
Galletas y productos de panadería	5.70
Ajonjolí, Alberjón, Amaranto, Avena con cascarilla, Avena sin cascarilla, Frijol flor de mayo, Frijol Negro, Frijol San Francisco, Garbanzo, Haba, Linaza, Lenteja, Maíz blanco, Maíz Dorado	6.25

3.6.2. Criterios de aceptación¹⁸

En términos de repetibilidad, la diferencia permitida entre dos resultados al efectuar un análisis por duplicado en la misma muestra y en forma simultánea por el mismo analista, no deberá exceder 0.10 g de nitrógeno por 100 g de muestra.

En cuanto a la reproducibilidad, la diferencia entre dos resultados obtenidos por dos analistas, trabajando en el mismo o en diferentes laboratorios, siguiendo el mismo método, analizando la misma muestra, utilizando diferente equipo; no debe exceder 0.20 g de Nitrógeno por 100 g de muestra.

3.6.2. Norma mexicana NMX-FF-116-SCFI-2010. Productos agrícolas destinados para consumo humano - grano reventado de amaranto (*amaranthus spp.*) Para uso y consumo humano – especificaciones y métodos de ensayo.¹⁹

Esta norma establece las especificaciones y los métodos de ensayo que aplican al grano de amaranto (*Amaranthus spp.*) reventado destinado para consumo humano.

De acuerdo con su grado de calidad el grano reventado de amaranto debe cumplir con las especificaciones fisicoquímicas descritas en la tabla N° 7.

Tabla N° 7. Especificaciones Fisicoquímicas para el Grano reventado de amaranto.¹⁹

Especificación	Grado de calidad		Método de ensayo
	Categoría I	Categoría II y categoría III	
Humedad (g/100g)	0.1 a 2.8	2.9 a 3.5	NOM-116-SSA1-1994
Proteína bruta (g/100g)	≥14.0	≤13.9	NMX-F-608-NORMEX-2011
Extracto etéreo (g/100g)	≥8	≤7.9	NMX-F-615-NORMEX-2004
Cenizas (g/100g)	2 a 2.9		NMX-F-607-NORMEX-2002
Fibra cruda (g/100g)	2 a 5.4		NMX-F-613-NORMEX-2003
Densidad kg/hL	≤14.3	≥14.4	NMX-FF-034-2-SCFI-2003
Índice de Peróxidos (meq peróxidos/kg)	≤7.0	7.1 a 9.0	NMX-F-614-NORMEX-2004

Tabla N° 7. (Continuación)

Metales pesados (mg /Kg)	Plomo: 0.5 Cadmio: 0.1 Mercurio: 0.01 Arsénico: 0.2	NOM-117-SSA1-1994
--------------------------	--	-------------------

3.6.3 Tabla de composición de alimentos de Centroamérica – Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) ²⁰

Desde hace mucho tiempo Centroamérica, a nivel regional y nacional, ha estado promocionando la iniciativa de Seguridad Alimentaria y Nutricional, una de las seguridades humanas más fundamentales, entendiéndola como el derecho de toda persona a tener acceso a alimentos inocuos, de buena calidad nutricional, en suficiente cantidad, para garantizar la adecuación nutricional y óptima salud nutricional de toda la población. ¿Cuáles alimentos consume la población centroamericana, en qué cantidad, preparación y frecuencia?, así como en términos de su aportación en energía y nutrientes, se constituye entonces en información clave para la corrección de las deficiencias, excesos e imbalances alimentarios y nutricionales, así como en acciones preventivas y en la promoción de la salud nutricional de todos los centroamericanos.

El instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), en la década de los años noventa llevó a cabo una revisión, ampliación e impresión de la Base de Datos sobre Composición de Alimentos usada en la región centroamericana, principalmente para la evaluación y la planificación de dietas, el cálculo de necesidades alimentaria, definición de la canasta básica de alimentos, y otra serie de aplicaciones.

A partir de la base de datos revisada, actualizada y ampliada, se elaboró una Tabla que fue publicada en 1996, por primera vez, con el título de “Valor Nutritivo de los alimentos de Centroamérica. Primera sección”. Esta tabla incluye para 1,169 productos valores del contenido de energía, proteína, grasa total, carbohidratos, cenizas, calcio, fosforo, hierro, tiamina, riboflavina, niacina, vitamina C y vitamina A expresada en equivalentes de retinol. En el 2000, se publicó la segunda sección de la tabla, que incluye para los mismos productos de la primera sección, el contenido de fibra dietética, ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados, colesterol, sodio, potasio, magnesio, zinc, vitamina B12, vitamina B6 y ácido fólico.

La tabla de Composición de Alimentos del INCAP, ha tenido una creciente demanda, como una herramienta imprescindible para los profesionales relacionados con la nutrición, la alimentación y la dietética, la producción e industria de alimentos (técnicos, docentes e investigadores, entre otros), y también por la población en general. Es por ello que se decidió llevar a cabo unas nuevas ediciones de la misma, que comprendería no solo la actualización de los valores anteriores, sino también la incorporación de datos de otros productos.

En la segunda edición de la Tercera reimpresión de febrero 2012, con el propósito de que pueda ser fácilmente aplicada por un mayor número de usuarios se decidió integrar las dos secciones anteriormente publicadas y hacerla disponible tanto en formato impreso como en formato electrónico para que sea más accesible al usuario. La preparación de la nueva edición comprendió una serie de procesos extensos y complejos, los que se detallan a continuación: se agregaron nuevos productos procesados, productos para alimentación infantil, contenido de fibra dietética, se revisaron los valores de la vitamina A, entre otros.

3.6.3.1. Consideraciones para el uso de la tabla

Las tablas de composición de alimentos constituyen un instrumento fundamental e imprescindible para profesionales en campos afines a la nutrición y la alimentación, tanto para aquellos interesados en investigación nutricional clínica o de tipo epidemiológico, como también para profesionales involucrados en nutrición aplicada.

Entre las aplicaciones relevantes se encuentra:

- Evaluación de la ingesta de nutrientes, en una población determinada, para evaluar posibles carencias o excesos.
- Realización de estudios sobre la calidad de la dieta y determinados procesos patológicos.
- Elaboración de dietas o menús individuales o colectivos para distintos grupos de edad y condiciones socioeconómicas.
- Elaboración de dietas terapéuticas.
- Planificación de actividades de asistencia alimentaria.
- Referencia para programas de fortificación o enriquecimiento de alimentos de uso común.
- En la industria alimentaria para la formulación del etiquetado nutricional, y la formulación de nuevos productos.

- Como herramienta para la elaboración de las hojas de balance, definición de la canasta básica de alimentos y guías alimentarias.
- En la planificación de intervenciones de seguridad alimentaria y nutricional (producción agropecuaria, ayuda alimentaria en situaciones de emergencia).
- En acciones de educación alimentaria nutricional y de orientación al consumidor.
- Poner a disposición del público información concreta sobre el valor nutritivo de los alimentos que habitualmente consume.

En la tabla N°8 Se puede observar la composición del Amaranto (grano seco) en 100g de Porción comestible el cual se encuentra en el ítem 13. Cereales, granos secos, harinas, pastas, cereales de desayuno y otras harinas de la Tabla de composición de alimentos de Centroamérica – Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).

Tabla N° 8. Composición de Alimentos en 100g de Porción comestible.²⁰

13. Cereales, granos secos, harinas, pastas, cereales de desayuno y otras harinas		
Código: 13001	Nombre: AMARANTO, GRANO SECO	
Agua (%): 9.84	Energía (Kcal): 374	Proteína (g): 14.45
Grasa total (g): 6.51	Carbohidratos (g): 66.17	Fibra dietética total (g): 9.30
Ceniza (g): 3.04	Calcio (mg): 153	Fósforo (mg): 455
Hierro (mg): 7.59	Tiamina (mg): 0.08	Riboflavina (mg): 0.21
Niacina (mg): 1.29	Vita C (mg): 4	Vit. A Equiv. Retinol (mcg): 0
Ac. Graso mono-insat. (g): 1.43	Ac. Graso poli-insat. (g): 2.89	Ac. Grasos saturados: 1.66
Colesterol (mg): 0	Potasio (mg): 366	Sodio (mg): 21
Zinc (mg): 3.18	Magnesio (mg): 266	Vit. B6 (mg): 0.22
Vit. B12 (mg): 0.00	Ac. Fólico (mcg): 0	Folato Equiv. FD: 49
Fracción comestible (%): 1.00		

CAPÍTULO IV

4.0 PRODUCTO FINAL

1. TÍTULO DE LA PRACTICA

Determinación del contenido de proteínas en la semilla tostada de Amarantho (*Amaranthus cruentus*) mediante el Método de Kjeldahl.

2. INTRODUCCIÓN

Las proteínas son macromoléculas formadas por unidades estructurales llamadas aminoácidos. Siempre contienen en su estructura carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y muchas veces también azufre. Estas desempeñan un papel fundamental para la vida y son las biomoléculas más versátiles y diversas. Son imprescindibles para el crecimiento del organismo estructural, reguladora, transportadora, defensiva, enzimática y contráctilmente.

La semilla de amaranto ha capturado la atención de investigadores y productores de alimentos debido a su contenido de nutrientes, donde destaca en primera instancia el alto contenido de proteínas (12-18%) rica en lisina y con niveles aceptables de triptófano y metionina, que generalmente se encuentran en bajas concentraciones en cereales y leguminosas de consumo cotidiano, además, cabe destacar que la biodisponibilidad de la proteína de este pseudocereal es alta en comparación con cereales comunes y cercano a los valores de proteínas animales.

Se han desarrollado numerosos estudios e investigaciones en diversas partes del mundo con el objetivo de rescatar, revalorar, caracterizar y utilizar el amaranto en diversos productos alimenticios ya que ofrece múltiples ventajas como la facilidad de cultivo, sus propiedades nutricionales y sensoriales, su versatilidad para incorporarse a diversos platillos y además de sus características como alimento funcional y nutracéutico.

La importancia de la alimentación como necesidad vital es un hecho incuestionable conocido por todos. Si bien es importante comprender esta verdad, también es necesario conocer como nos alimentamos (físicoquímica, microbiológica y sensorialmente), es decir cuál es la calidad de los alimentos que ingerimos, sobre todo por la gran relación que se ha demostrado que tiene la alimentación con la salud. La alimentación por ser un acto reiterado, a largo plazo y vital, constituye el factor ambiental que más influye en la etiología, es decir la causa, de numerosas enfermedades como el cáncer, la obesidad, la aterosclerosis, etc.

3. OBJETIVOS

- Comprender los fundamentos del método Kjeldahl para la determinación del contenido en proteína de un alimento.
- Cuantificar el contenido de nitrógeno en semilla tostada de amaranto utilizando el método de Kjeldahl según NMX-F-608-NORMEX-2011.
- Determinar la cantidad de proteínas en semilla tostada de amaranto utilizando factor de conversión establecido.
- Comparar el valor obtenido de proteína con la tabla de composición de alimentos del INCAP para dos muestras de diferente origen de semilla tostada de amaranto.

4. TIPO DE MÉTODO DE ANÁLISIS Y FUNDAMENTO

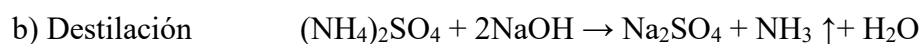
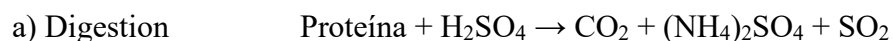
MÉTODO DE KJELDAHL¹

El método que se basa en la determinación de la cantidad de nitrógeno contenido en productos alimentarios, compromete dos pasos consecutivos:

- a) La descomposición de la materia orgánica bajo calentamiento en presencia de ácido sulfúrico concentrado.
- b) El registro de la cantidad de amoníaco obtenida de la muestra.

Durante el proceso de descomposición ocurre la deshidratación y carbonización de la materia orgánica, combinada con la oxidación de carbono a dióxido de carbono. El nitrógeno es transformado a amoníaco que se retiene en la disolución como sulfato de amonio. La recuperación del nitrógeno, y la velocidad del proceso pueden ser incrementadas adicionando sales que abaten la temperatura de descomposición (sulfato de potasio), o por la adición de oxidantes (peróxido de hidrógeno, tetracloruro, persulfato o ácido crómico) y por la adición de un catalizador.

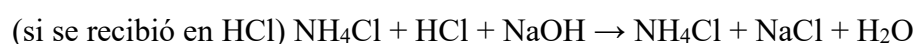
El método de Kjeldahl consta de las siguientes etapas:



(recibiendo en HCl)



c) Titulación



En la mezcla de digestión se incluye sulfato sódico para aumentar el punto de ebullición y un catalizador para acelerar la reacción, tal como sulfato de cobre. El amoníaco en el destilado se retiene, o bien por un ácido normalizado, y se valora por retroceso, o en ácido bórico y valora directamente. El método Kjeldahl no determina, sin embargo, todas las formas de nitrógeno, a menos que se modifiquen adecuadamente; esto incluye nitratos y nitritos.

Para convertir el nitrógeno a proteína, se emplea el factor de 6.25, el cual proviene de la consideración de que la mayoría de las proteínas tienen una cantidad aproximada de 16% de nitrógeno.

$$\text{Factor} \frac{100 \text{ g Proteína}}{16 \text{ g Nitrógeno}} = 6.25$$

5. INFORMACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA

Tipo de matriz

Alimento seco, semilla de *Amaranthus cruentus*

Información del muestreo

Las muestras se obtendrán en tiendas que comercializan productos orgánicos (the green corner, El Salvador organics, ecolandia) en San Salvador, de cada tienda se comprará 1 libra de Semilla de Amaranto (*Amaranthus cruentus*). Las muestras recolectadas se rotularán de la siguiente manera:

Nombre:	
Lugar de obtención:	
Fecha:	
Peso neto:	
Número de lote:	
Fecha de vencimiento:	
Observaciones:	

Figura N°9. Etiqueta identificación de la muestra.

Fuente: Elaboración propia

Forma de almacenamiento de la muestra

Luego de obtener las muestras estas deberán ser conservadas en un lugar fresco y seco, en su empaque original dentro de una bolsa ziploc identificada con la etiqueta sugerida en Figura N°9. Se trasladarán a la Facultad de Química y Farmacia teniendo el cuidado de que las bolsas se mantengan cerradas y no se escape ningún grano.

6. REACTIVOS²

- Ácido sulfúrico concentrado.
- Ácido Clorhídrico.
- Sulfato de potasio.
- Sulfato de cobre pentahidratado.
- Catalizadores ó mezcla de catalizadores (Kjeltabs)
- Hidróxidos de sodio en lentejas.
- Indicador Rojo de metilo.
- Indicador verde de bromocresol.
- Agua destilada.
- Carbonato de sodio (MRC) o de pureza no menor a 99.95%.

7. MATERIALES Y EQUIPOS²

- Tubo o matraces de digestión de 250 mL, de 850 mL o los que apliquen al equipo digestor.
- Matraces volumétricos.
- Pipetas volumétricas.
- Perlas de vidrio.
- Bureta de vidrio.
- Vasos de precipitado de diferentes capacidades.
- Matraces Erlenmeyer de diferentes capacidades.
- Balanza analítica.
- Papel film.
- Parrilla de calentamiento con agitación, con regulador de temperatura.
- Digestor de proteínas automatizado con control de temperaturas, Kjeldahl tradicional o cualquier otro equipo con características de funcionamiento similares.
- Destilador de proteínas tradicional.
- Soporte de laboratorio
- Papel tornasol

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES²

El agua que se utilice para la preparación de las soluciones debe ser destilada.

Hidróxido de sodio 1:1.

Pesar 500 g de hidróxido de sodio y disolver en 300 mL de agua. Tener precaución, ya que esta es una reacción altamente exotérmica, preferentemente introducir el recipiente donde se haga la solución en un baño de agua-hielo. Cuando la solución esté fría, agregar 200 mL de agua y agitar o preparar la solución a la concentración que recomiende el fabricante del destilador.

Ácido bórico al 1% con indicadores.

Pesar 10 g de ácido bórico y disolver en aproximadamente 800 mL de agua caliente en un matraz volumétrico de 1000 mL. Por separado disolver 20 mg de rojo de metilo en 60 mL de alcohol etílico y 100 mg de verde de bromocresol en 60 mL en alcohol etílico. Adicionar los indicadores al matraz volumétrico de 1000 mL, completar el volumen al aforo con agua destilada. Ajustar el pH de esta

solución a 4.5 o 4.7 ó preparar la solución a la concentración que recomienda el fabricante del destilador.

Ácido Clorhídrico 0.1 N

Diluir 8.5 mL de ácido Clorhídrico concentrado con agua en matraz volumétrico de 1000 mL o bien, realizar los cálculos estequiométricos necesarios para preparar la solución que tenga una concentración diferente. Aforar al volumen con agua o preparar la solución a la concentración que recomienda el fabricante del destilador.

Rojo de Metilo S.I. 0.1%

Pesar 100 mg de rojo de metilo y disolver con 70 mL de alcohol etílico en un matraz volumétrico de 100 mL. Agitar y llevar al volumen con alcohol etílico.

Sulfato de Amonio 0.1 N

Disolver 3.3 g de sulfato de amonio con agua destilada, en un matraz volumétrico de 250 mL. Llevar al volumen con agua.

1. PROCEDIMIENTO²

Preparación de la muestra

Alimento seco

Para cada muestra:

1. Utilizando un vidrio de reloj pesar 200 g de muestra en balanza analítica.
2. Pulverizar en un mortero hasta obtener harina.
3. Homogeneizar.
4. Guardar muestra homogeneizada en bolsa ziploc debidamente rotulada.

Pasos para seguir

Realizar para cada muestra:

1. Pesar la cantidad de muestra previamente molida y homogeneizada, necesaria de acuerdo con el contenido de proteína esperado, utilizar como referencia la Tabla No.9, con una precisión de 0.1 mg, anotar el peso.

Tabla N° 9. Contenido de proteínas vs. masa de muestra.²

Contenido de proteínas (%)	Masa de muestra (g)
<10%	1.0 – 5
11 a 20	0.7 – 3.0
21 a 30	0.5 – 1.5
>30	0.2 – 1.0

2. Colocar el papel con la muestra dentro del tubo o matraz de digestión, adicionar 10 g de Sulfato de Potasio y 1.14 g de Sulfato de Cobre Pentahidratado ó dos tabletas Kjeltabs Cu/3.5 y dependiendo de la muestra, se utilizará la cantidad de Ácido Sulfúrico concentrado, resbalando este último por las paredes del matraz. Los reactivos pueden cambiar las concentraciones o cantidades dependiendo del tipo de equipo digestor que se utilice.

3. Preparar un blanco de reactivos, el cual deberá elaborarse diariamente o cada vez que se cambie algún reactivo.

4. Colocar los matraces o tubos de digestión dentro del equipo Digestor, el cual se precalienta e incrementa la temperatura de acuerdo con el equipo que se utilice.

Digerir y destilar al mismo tiempo el blanco de reactivos.

Nota: El uso del sistema de remoción de vapores, reduce el tiempo de la digestión y se tiene mayor control sobre los vapores del Ácido Sulfúrico, que se desprenden durante la digestión, los cuales son tóxicos. La temperatura no deberá exceder de 410 °C.

5. El tiempo de digestión varía dependiendo del equipo que se use (puede variar de 45 min a 2 h), verificar que se obtenga una solución translúcida, en la cual no debe observarse presencia de puntos negros, de lo contrario volver a colocar los matraces o tubos en el equipo digestor.

6. Dejar enfriar los matraces a temperatura ambiente, adicionar 100 mL de agua destilada, por las paredes del matraz o tubo, mezclar con precaución debido a que esta es una reacción altamente exotérmica, colocar el matraz o tubo en el equipo destilador.

7. En un matraz Erlenmeyer de 500 mL, adicionar 50 mL de Ácido Bórico con indicador, e introducir la alargadera o punta de salida del refrigerante dentro del mismo. Encender el destilador, adicionar lentamente 50 mL de hidróxido de sodio con la concentración de acuerdo con el equipo que se utilice. Destilar aproximadamente 200 mL o lo indicado por el fabricante, verificar que se ha destilado todo el amoníaco presente en la muestra.

Lavar la extremidad de la alargadera por el interior y exterior con agua destilada, la cual debe formar parte del destilado.

Nota: Debe asegurarse de que el destilado se mantenga a una a una temperatura menor a 28 °C, con la finalidad de que se recupere todo el amoníaco que se está destilando. La manera de verificar que la destilación ha sido completa, consiste en colocar una tira de papel tornasol a la salida de la alargadera, y que este no cambie o sea neutra, lo cual nos indicará que ya sólo se destila agua.

8. Efectuar la titulación del amoníaco con Ácido Clorhídrico 0,1 N, hasta vire del indicador de verde-azul a ligeramente rojizo, o bien ayudarse de un potenciómetro, previamente verificado con soluciones buffer; el punto final de la titulación tiene lugar a pH de 4.6. Anotar el número de mililitros gastados de Ácido Clorhídrico.

5. CÁLCULOS INVOLUCRADOS

$$\%N \text{ en muestra} = \frac{\left(\frac{\text{mL de ácido de muestra}}{\text{en titulación}} - \frac{\text{mL de ácido del blanco}}{\text{rn titulación}} \right) \times \frac{N}{\text{del ácido}} \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra en gramos}}$$

0.014= miliequivalente de Nitrógeno

Proteína cruda = % N x 6.25.

6. NORMATIVAS NACIONALES O INTERNACIONALES A UTILIZAR, PARA PODER INTERPRETAR LOS RESULTADOS

Norma mexicana NMX-F-608-NORMEX-2011. Alimentos – determinación de proteínas en alimentos – método de ensayo (pruebas)³

Tabla N° 6. Factores para transformar el nitrógeno a proteína.³

Producto	Factor
Cereales trigo entero, molido o harina	5.83
Harina de trigo (baja o mediana extracción)	5.70
Macarrones, espagueti o pastas de trigo	5.76
Salvado de trigo	6.31
Arroz todos los productos	5.95
Centeno, avena, cebada Mijo blanco, Mijo rojo, Trigo duro, Trigo blando (todos los productos)	5.83
Leguminosas, nueces y semillas, nueces de tierra	5.46
Soya y subproductos	5.71
Almendras	5.18
Nuez de Brasil	5.46
Otras nueces	5.30
Coco, castañas, semillas (ajonjolí, cártamo, girasol) otras semillas	5.30
Leche y productos de leche	6.38
Otros alimentos gelatina	5.55
Huevo	6.68
Yema de huevo	6.62
Galletas y productos de panadería	5.70
Ajonjolí, Alberjón, Amaranto, Avena con cascarilla, Avena sin cascarilla, Frijol flor de mayo, Frijol Negro, Frijol San Francisco, Garbanzo, Haba, Linaza, Lenteja, Maíz blanco, Maíz Dorado	6.25

Tabla de composición de alimentos de Centroamérica – Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).⁴

Tabla N° 8. Composición de alimentos en 100g de porción comestible. ⁴

Tabla de composición de alimentos – INCAP, en 100 gramos de porción comestible		
13. Cereales, granos secos, harinas, pastas, cereales de desayuno y otras harinas		
Código: 13001	Nombre: AMARANTO, GRANO SECO	
Agua (%): 9.84	Energía (Kcal): 374	Proteína (g): 14.45
Grasa total (g): 6.51	Carbohidratos (g): 66.17	Fibra dietética total (g): 9.30
Ceniza (g): 3.04	Calcio (mg): 153	Fósforo (mg): 455
Hierro (mg): 7.59	Tiamina (mg): 0.08	riboflavina (mg): 0.21
Niacina (mg): 1.29	Vita C (mg): 4	Vit. A Equiv. Retinol (mcg): 0
Ac. Graso mono-insat. (g): 1.43	Ac. Graso poli-insat. (g): 2.89	Ac. Grasos saturados: 1.66
Colesterol (mg): 0	Potasio (mg): 366	Sodio (mg): 21
Zinc (mg): 3.18	Magnesio (mg): 266	Vit. B6 (mg): 0.22
Vit. B12 (mg): 0.00	Ac. Fólico (mcg): 0	Folato Equiv. FD: 49
Fracción comestible (%): 1.00		

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sandoval FIJ. Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas [Internet]. Universidad Nacional Autónoma de México; 2011. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1><http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7><http://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024><https://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103><http://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>
2. Alimentos-Determinación de Proteínas en Alimentos - Método de Ensayo (Pruebas). Norma Mexicana NMX-F-608-NORMEX-2011 México; 2011 p.
3. Secretaría de Economía. Norma Mexicana. NMX-FF-116-SCFI-2010. Productos agrícolas destinados para consumo humano-grano reventado de amaranto (*Amaranthus spp.*) para uso y consumo humano- especificaciones y métodos de ensayo. Norma Mex Nmx-Ff-116-Scfi-2010 [Internet]. 2010;1–23. Disponible en: https://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-116-SCFI-2010_amaranto.pdf
4. Instituto de nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Organización Panamericana de la Salud (OPS). Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. 2012. p. 128.

CAPÍTULO V

5.0 CONCLUSIONES

1. El amaranto representa una fuente importante de nutrientes que son vitales para la salud humana y para la calidad de vida, esta cualidad radica en su contenido de proteínas que oscila entre un 12% a 18%, además contiene antioxidantes, vitaminas, carotenos (vitamina A), folatos o ácido fólico (B9), luteína y zeaxantina y minerales. Todos estos componentes presentes en este pseudocereal son parte importante de una dieta orientada al correcto funcionamiento de nuestro organismo, de tal forma que la NASA durante los años 80, lo consideró como “el mejor alimento de origen vegetal y más completo para el consumo humano”.
2. La presente investigación ha permitido describir un proceso esquemático para la determinación del contenido de proteínas en la semilla tostada de amaranto por el método Kjeldahl, enumerando las etapas de preparación de la muestra, el uso y preparación de reactivos, prestando importancia a los parámetros críticos del proceso analítico como lo son la temperatura, tiempo de digestión y pH, de tal forma que el procedimiento descrito permitirá resultados exactos y precisos.
3. El marco regulatorio que establece las especificaciones y los métodos de ensayo que aplican al grano de amaranto se encuentra sustentado en la Norma NMX-FF-116-SCFI-2010, dentro de la cual enumera a la determinación de proteína bruta por el procedimiento que describe la NMX-F-608-NORMEX-2011, que es el método de Kjeldahl, el cual está autorizado por organizaciones como AOAC, US EPA, ISO, DIN y farmacopeas, este representa una técnica analítica muy común, que posee alta confiabilidad y disponibilidad para su desarrollo. El cumplimiento de los resultados se compara con lo descrito en la tabla de composición de alimentos del INCAP. Es importante mencionar que se utilizan estas normas porque no hay base regulatoria en El Salvador.

CAPÍTULO VI

6.0 RECOMENDACIONES

1. A los futuros investigadores, se propone estudiar más a fondo la factibilidad del cultivo de Amarantho en el país, ya que su siembra es compatible con el suelo salvadoreño y tiene características de rápido crecimiento, buen potencial y bajos costos de producción, además este sería una respuesta a la búsqueda de nuevas fuentes de alimento, y una alternativa para satisfacer la demanda del consumo de comida en cantidad y calidad, por su alto valor nutritivo puede aprovecharse y considerarse como fuente principal de proteínas en sustitución de alimentos de origen animal.
2. A los analistas que realicen la determinación se recomienda asegurarse de realizar la práctica de acuerdo con el procedimiento sugerido, tener el cuidado de pesar con precisión la muestra antes de la digestión, considerando que la digestión con ácido sulfúrico debe ser completa y se debe mantener una temperatura constante ya que, según la teoría descrita, las variaciones pueden afectar los resultados, asegurarse que la destilación sea total y que todo el amoníaco liberado se capture en la solución ácida. Es conveniente utilizar indicadores apropiados en la titulación e Incluir blancos (muestras sin nitrógeno) y controles (muestras con contenido conocido de nitrógeno) para verificar la precisión del método.
3. A futuras investigaciones llevar a cabo estudios comparativos del contenido de proteína entre las diferentes variedades de amaranto y con alimentos procesados los cuales se encuentran en el supermercado, para conocer el contenido de los alimentos que consumimos o que necesitamos incluir en nuestra dieta como alternativa a lo que normalmente frecuentamos.
4. A futuros egresados o profesionales Químicos Farmacéuticos, experimentar en el estudio y ejecución de otras técnicas de análisis instrumental para la determinación de proteínas, como lo puede ser la absorción a 280 nm, la cual posee alta sensibilidad, el método de Biuret, en el que no hay interferencias de aminoácidos libres y el método de Lowry el cual es fácil de operar, esto con el objetivo de identificar, analizar y seleccionar otro método que probablemente sea más beneficioso teniendo en cuenta las desventajas del método de Kjeldahl.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Glosario de términos Botánicos. Fac Agron UNLPampa [Internet]. :24. Disponible en: https://sistematicavegetal.weebly.com/uploads/8/0/5/2/8052174/glosario_de_terminos_botanicos_facagronomaunlapa.pdf
2. Seguridad Alimentaria Nutricional, Conceptos Básicos. PESA [Internet]. 2011;3:8. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f1bb882a-b059-4368-9022-c70840d77ce5/content>
3. Alimentos PM de. Período de sesiones anual Proyecto de Plan estratégico para El Salvador (2022-2027) [Internet]. Roma; 2022. Disponible en: https://executiveboard.wfp.org/es/document_download/WFP-0000138996
4. Ekaterina Dorodnykh. Estudio de Caso EL SALVADOR: SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL PARA LA NIÑEZ Y LOS HOGARES SALVADOREÑOS (SANNHOS) [Internet]. Fondo para los objetivos de desarrollo sostenible 2014 p. 5. Disponible en: https://www.sdgifund.org/sites/default/files/case_study_el_salvador_sp_vgd.pdf
5. Curiel C. El amaranto como alimento indígena: [Internet]. Vol. 5, Encartes. 2022. 203–233 p. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/363731405%0AEI>
6. Castel M V. Estudio de las propiedades funcionales, tecnológicas y fisiológicas de las proteínas de amaranto [Internet]. 2010. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11185/212>
7. Luis GM, Hernández Hernández BR, Peña Caballero V, Torres López G, Martínez Espinoza VA, Ramírez Pacheco L. Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus* spp.). *Jonnpr* [Internet]. 2018;3(6):423–36. Disponible en: <https://www.jonnpr.com/PDF/2410.pdf>
8. Chagaray A. Estudio de factibilidad del cultivo del Amaranto. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo. Provincia de Catamarca; 2005. p. 28.
9. Salvador J. Estudio de la Factibilidad técnica para la producción de Harina de amaranto *Amaranthus* spp. [Internet]. Universidad De El Salvador. Universidad de El Salvador; 2009. Disponible en: http://ri.ues.edu.sv/2006/1/Estudio_de_factibilidad_tecnica_para_la_produccion_de_harina_de_amaranto_%28Amaranthus_spp.%29.pdf

10. Kathia del Carmen Pavón Muñoz. 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. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua; 2020.
11. Alemán R. Evaluación de harina de amaranto (*Amaranthus spp*) variedad INTA soberano en productos de panificación en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria [Internet]. Universidad Nacional Agraria; 2022. Disponible en: <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnq02a367.pdf>
12. *Amaranthus spp* . “ AMARANTO .” 2019. p. 13.
13. Reglamento Técnico Centroamericano de Alimentos y Bebidas Procesadas: Aditivos Alimentarios RTCA 67.04.54:10. Vol. 2012, 2012. 2012.
14. Maria SD, Garcia L. Manual de Laboratorio de Análisis de Alimentos. Universidad Tecnológica de Pereira. UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA; 2010.
15. Méndez L. Manual de Análisis de Alimentos [Internet]. Facultad de Química Farmacéutica Biológica de la Universidad Veracruzana. 2020. Disponible en: <https://www.uv.mx/qfb/files/2020/09/Manual-Analisis-de-Alimentos-1.pdf>
16. Sandoval FIJ. Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas [Internet]. Universidad Nacional Autónoma de México; 2011. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1><http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-><http://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024><https://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103><http://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>
17. Segovia FEG. Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte. [Internet]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16338/Determinación de proteínas.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16338/Determinación%20de%20proteinas.pdf?sequence=1)
18. Alimentos-Determinación de Proteínas en Alimentos - Método de Ensayo (Pruebas). Norma Mexicana NMX-F-608-NORMEX-2011 Mexico; 2011 p. 15.
19. Secretaría de Economía. Norma Mexicana. NMX-FF-116-SCFI-2010. Productos agrícolas destinados para consumo humano-grano reventado de amaranto (*Amaranthus spp.*) para uso y consumo humano- especificaciones y métodos de ensayo. Norma Mex Nmx-Ff-116-Scfi-2010 [Internet]. 2010;1–23. Disponible en: https://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-116-SCFI-2010_amaranto.pdf

20. Instituto de nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Organización panamericana de la salud (OPS). Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. 2012. p. 128.

ANEXOS

ANEXO N° 1



Figura N°10. Muestra de Amaranto comercial para análisis

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 2

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL DESARROLLO ESQUEMÁTICO DE LA DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA POR EL MÉTODO DE KJELDAHL EN MUESTRA DE AMARANTO

Preparación de la muestra



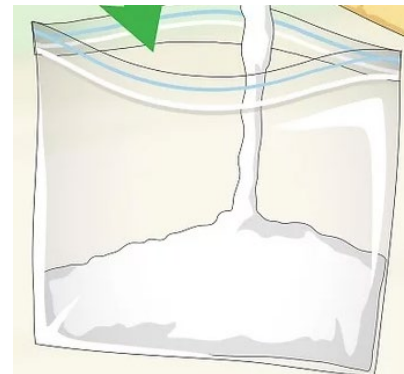
Pesar 1 g de muestra en balanza analítica



Pulverizar cuidadosamente en un mortero hasta obtener



Homogeneizar



Guardar la muestra homogeneizada en bolsa ziploc debidamente rotulada.

Fuente: Elaboración propia con base en¹

ANEXO N° 3

**DESARROLLO ESQUEMÁTICO DE LA DETERMINACION DE PROTEÍNA POR EL
MÉTODO DE KJELDAHL EN MUESTRA DE AMARANTO**

Digestión



Pesar 0.7 g de muestra en papel film utilizando la balanza analítica



Agregar en tubo o matraz digestor muestra, adicionar 10 g K_2SO_4 y 1.14 g de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (ó dos tabletas Kjetltabs Cu/3.5) (dependiendo de la mx se utilizará ácido sulfúrico concentrado)



Colocar tubos en aparato digestor, conectar bomba de vacío y colector de humo

El tiempo de digestión puede variar 45 mins a 2h (la sln debe quedar traslucida)



Destilación

Dejar enfriar a t° ambiente, adicionar 100 mL de agua destilada por las paredes

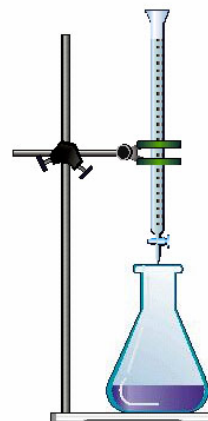


Adicionar lentamente 50 mL de solución de NaOH



Colocar 50 mL de solución de ácido bórico y 3-4 gotas de solución indicadora

↓
Destilar aproximadamente
200 mL



Titulación

Titular con Ácido
Clorhidrico 0.1 N hasta
que vire el indicador de
verde-azul a ligeramente
rojizo

Llevar un blanco usando los mismos reactivos, el mismo tiempo de digestión y el mismo volumen de destilación que la muestra.

Fuente: Elaboración propia con base en¹⁸