



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN**

**ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**

**CARRERA DE ALIMENTOS**

---

Evaluación de la digestibilidad del almidón de un suplemento a partir de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus*) orientado a dietas saludables

---

Informe Final de Trabajo de Integración Curricular, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

**Autora:** Casa Oñate Dania Esthefania

**Tutora:** PhD. Mayra Liliana Paredes Escobar

Ambato-Ecuador

Marzo – 2023

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

PhD. Mayra Liliana Paredes Escobar

### **CERTIFICA:**

Que el presente Informe Final de Integración Curricular ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación del Informe Final de Integración Curricular bajo la modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grado de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

**Ambato, 14 de febrero del 2023.**

---

PhD. Mayra Liliana Paredes Escobar

C.I. 0501873954

**AUTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Dania Esthefania Casa Oñate, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.

A handwritten signature in blue ink that reads "Dania Casa". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

---

Dania Esthefania Casa Oñate

C.I. 1727502815

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

.....  
**Presidente del Tribunal**

.....  
Dr. Rubén Darío Vilcacundo Chamorro

C.I 180273810-2

.....  
Dra. Jacqueline de las Mercedes Ortiz Escobar

C.I. 1802171353

Ambato, 03 de Marzo del 2023.

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final de Integración Curricular o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final de Integración Curricular, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

A handwritten signature in blue ink that reads "Dania Casa". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

---

Dania Esthefania Casa Oñate

C.I. 1727502815

**AUTOR**

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico a mis padres Juan y Rosa, por brindarme su apoyo, amor y por jamás dejarme sola, por su sabiduría y por enseñarme a ser una persona humilde, responsable y respetuosa. Agradezco por todas sus palabras de aliento por confiar en mí y por enseñarme que nada es imposible si uno se lo propone con esfuerzo y dedicación.*

*A mis hermanos Danny y Pamela, quienes han estado siempre a mi lado, apoyándome y brindándome todo su apoyo y cariño. A mi sobrino Nicolás que desde que nació ha sido una de mis motivaciones e inspiración para poder culminar mis estudios.*

*A mi novio Santiago por siempre estar a mi lado, por sus palabras de aliento por ser mi compañero a lo largo de mi carrera universitaria y sobre todo por su amor incondicional.*

*A mi tía Gloria, por ser como una segunda madre, por todos sus consejos, palabras de aliento y por qué jamás nos dejó solos en los momentos más duros como familia.*

*A mi abuelita Victoria, por tampoco abandonarme, por brindarme sus sabios consejos, sabiduría, cariño y bendiciones.*

Con amor

Dania Esthefania Casa Oñate

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios y la Virgencita por darme salud, vida y todas las bendiciones para culminar con éxito mi carrera universitaria y este trabajo.*

*Agradezco a cada miembro de mi familia por su comprensión, apoyo incondicional y sacrificios para poder terminar con mis estudios.*

*Y a todas las personas que conocí a lo largo de la carrera y han formado parte de mi vida universitaria.*

*Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por brindarme todos los conocimientos y por abrirme las puertas de sus aulas.*

*A mi tutora PhD. Mayra Liliana Paredes Escobar, por su paciencia, tiempo y conocimiento durante el desarrollo y culminación de este trabajo.*

*Agradezco al Departamento de Ciencia de los Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional y a los Ingenieros. Pedro Maldonado y Juan José Montenegro por su ayuda brindada durante desarrollo de mi tesis*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
CAPITULO I.....	14
1 MARCO TEORICO.....	14
1.1 Antecedentes Investigativos.....	14
1.1.1 Suplemento alimenticio .....	14
1.1.2 Quinua .....	14
1.1.2.1 Taxonomía de la Quinua.....	15
1.1.2.2 Producción de Quinua en Ecuador.....	15
1.1.2.3 Aporte nutricional de la Quinua.....	16
1.1.3 Amaranto .....	16
1.1.3.1 Taxonomía del Amaranto .....	17
1.1.3.2 Producción del Amaranto en Ecuador .....	17
1.1.3.3 Valor nutricional del Amaranto .....	18
1.1.4 Almidón .....	18
1.1.5 Almidón Resistente.....	19
1.1.6 Índice Glucémico.....	20
1.1.7 Digestibilidad del almidón.....	21
1.2 Objetivos .....	21
1.2.1 Objetivo General.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos .....	21
2 CAPITULO II .....	22

MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
2.1 Materiales.....	22
2.1.1 Materia prima .....	22
2.1.2 Materiales de laboratorio .....	22
2.1.3 Equipos .....	22
2.1.4 Reactivos .....	23
2.2 Métodos.....	23
2.2.1 Obtención del Almidón total .....	23
2.2.2 Obtención del Almidón resistente .....	24
2.2.3 Tasa de digestión de almidón in vitro e Índice glucémico .....	25
CAPÍTULO III .....	28
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	28
3.1.1 Almidón total.....	28
3.1.2 Almidón Resistente.....	30
3.1.3 Tasa de hidrolisis in vitro del almidón e Índice glucémico .....	32
4 CAPITULO IV .....	38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	38
4.1 Conclusiones .....	38
4.2 Recomendaciones .....	39
5 MATERIAL DE REFERENCIA .....	40
5.1 Referencias Bibliográficas .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía de la Quinoa.....	15
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía del Amaranto .....	17
<b>Tabla 3.</b> Dosificación del contenido de maltosa .....	26
<b>Tabla 4.</b> Concentraciones de glucosa para la curva estándar.....	28
<b>Tabla 5.</b> % almidón total - Suplemento sin aditivos y Suplemento con aditivos.....	29
<b>Tabla 6.</b> Concentraciones de glucosa para la curva estándar.....	30
<b>Tabla 7.</b> % almidón resistente - Suplemento sin aditivos y Suplemento con aditivos .....	31
<b>Tabla 8.</b> Tasa de hidrolisis in vitro del almidón por $\alpha$ -amilasa Suplemento sin aditivos ....	32
<b>Tabla 9.</b> Tasa de hidrolisis in vitro del almidón por $\alpha$ -amilasa Suplemento sin aditivos ....	32
<b>Tabla 10.</b> Tasa de hidrolisis in vitro del almidón por $\alpha$ -amilasa-Suplemento con aditivos	33
<b>Tabla 11.</b> Tasa de hidrolisis in vitro del almidón por $\alpha$ -amilasa-Suplemento con aditivos	33
<b>Tabla 12.</b> Promedio de los % de Hidrolisis Suplemento sin aditivos Suplemento con aditivos.....	34
<b>Tabla 13.</b> Concentraciones de maltosa para la curva estándar. ....	36
<b>Tabla 14.</b> Estimación del Índice Glucémico Suplemento sin aditivos y Suplemento con aditivos.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Planta de quinua- <i>Chenopodium quinoa Willd.</i> .....	15
<b>Figura 2.</b> Granos de Amarantos .....	17
<b>Figura 3.</b> Estructura del almidón: (a) amilosa, y (b) amilopectina .....	19
<b>Figura 4.</b> Curva estándar de glucosa – Almidón total .....	29
<b>Figura 5.</b> Curva estándar de glucosa - Almidón resistente .....	30
<b>Figura 6.</b> Relación del % de hidrolisis vs tiempo - Suplemento sin aditivos .....	35
<b>Figura 7.</b> Relación del % de hidrolisis vs tiempo - Suplemento con aditivos .....	36
<b>Figura 8.</b> Curva estándar de Maltosa .....	36

## RESUMEN

La presente investigación evaluó la digestibilidad del almidón de un suplemento a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus*) orientado a dietas saludables.

Se determinó el almidón total y el almidón resistente, este último no se digiere y se absorbe lentamente, por lo que se considera fibra dietética. Además, se valoró el porcentaje de hidrólisis y consecuentemente la predicción del índice glicémico en muestras de suplemento con aditivos y sin aditivos para valorar su efecto.

Los valores obtenidos de almidón total para el suplemento sin aditivos fueron de 29,85 por ciento y para el suplemento con aditivos de 33,93 por ciento. El almidón resistente (AR) determinado fue de 13,76 por ciento y 17,28 por ciento en el suplemento sin aditivos y con aditivos, respectivamente. Respecto a los porcentajes de hidrólisis se obtuvieron valores de 33,59 por ciento para el suplemento sin aditivos y para el suplemento con aditivos 88,86 por ciento a los 90 min de la digestibilidad simulada. La predicción del índice glucémico (pIG) fue de 66,18 y 110,56 para el suplemento sin aditivos y con aditivos, respectivamente, mostrando valores bajos en el primer caso. En cuanto más alto sea el índice glucémico, más rápido se descompone el almidón en glucosa.

**Palabras claves:** suplemento alimenticio, quinua, amaranto, almidón, maltosa, digestibilidad in vitro, índice glucémico

## ABSTRACT

The present investigation evaluated the starch digestibility of a supplement made from quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus*) flour aimed at healthy diets.

It runs out of total starch and resistant starch, the latter is not digested and is slowly absorbed, which is why it is considered dietary fiber. In addition, the percentage of hydrolysis and, consequently, the prediction of the glycemic index in supplement samples with additives and without additives were evaluated to assess their effect.

The total starch values obtained for the supplement without additives were 29.85 percent and for the supplement with additives, 33.93 percent. The resistant starch (AR) determined was 13.76 percent and 17.28 percent in the supplement without additives and with additives, respectively. Regarding the hydrolysis percentages, values of 33.59 percent will be obtained for the supplement without additives and 88.86 percent for the supplement with additives at 90 min of simulated digestibility. The prediction of the glycemic index (pIG) was 66.18 and 110.56 for the supplement without additives and with additives, respectively, showing low values in the first case. The higher the glycemic index, the faster the starch is broken down into glucose.

**Keywords:** food supplement, quinoa, amaranth, starch, maltose, in vitro digestibility, glycemic index

## CAPITULO I

### 1 MARCO TEORICO

#### 1.1 Antecedentes Investigativos

##### 1.1.1 Suplemento alimenticio

Los suplementos alimenticios son alimentos fortalecidos con minerales, aminoácidos, vitaminas, fibra y proteínas, lo cual son un aporte al organismo que ayudan a complementar la dieta normal, se suelen comercializar e ingerir en forma de pastillas, sobres en polvo, cápsulas, soluciones líquidas, barras energéticas, etc. (**Castellanos Jankiewicz & Castellanos Ruelas, 2020**). Sin embargo, los suplementos no sustituyen los alimentos que son importantes para una dieta saludable.

##### 1.1.2 Quinoa

Según **Cadena, (2021)**, la quinoa es un alimento con una amplia gama de beneficios para la salud, estas semillas ancestrales brindan muchos nutrientes y son una opción saludable para quienes buscan una dieta nutritiva. Hoy en día, la quinoa se cultiva en muchas partes del mundo, desde los Andes hasta Europa y América del Norte. La quinoa se consume de muchas maneras diferentes, desde comidas, postres, harinas y snacks por su sabor suave y gran versatilidad que contribuye al aumento de su popularidad.

### 1.1.2.1 Taxonomía de la Quinoa

**Tabla 1.** *Taxonomía de la Quinoa.*

Clasificación	Descripción
<b>Reino</b>	Plantae
<b>Orden</b>	Centrospermales
<b>Familia</b>	Chenopodiaceae
<b>Genero</b>	Chenopodium
<b>Especie</b>	quinoa
<b>Nombre científico</b>	Chenopodium quinoa Willd.

**Adaptado de:** (Mina, 2014)



**Figura 1.** Planta de quinoa-  
*Chenopodium quinoa Willd.*

**Fuente:** (Peralta, 2009)

La quinoa es un pseudocereal originario de Perú y Bolivia de hace más de 7000 años perteneciente a la familia *Chenopodiaceae* con su nombre científico *Chenopodium quinoa Willd.*, descrita en la tabla 1. Con más de 750 especies expandidas y cultivadas en los valles andinos de América del Sur, a más de 4000 m sobre el nivel del mar. Este cultivo ha logrado adaptarse a diferentes condiciones ambientales y cambios edafoclimáticos, siendo una planta herbácea que puede llegar a crecer de 2 a 3 m, de colores morado, verde o rojo lo cual depende de la variedad y madurez de la planta (Figura 1). Además, las semillas de quinoa son consideradas como un alimento esencial por su alto nivel nutricional por comunidades andinas y civilizaciones antiguas (**López, 2010**).

### 1.1.2.2 Producción de Quinoa en Ecuador

Ecuador es el tercer país productor de quinoa después de Perú y Bolivia, desde el año 2005 la FAO y el MAG han impulsado proyectos para promover la producción de quinoa con la entrega de kit de insumos, semillas, pesticidas y fertilizantes ayudando a los agricultores a mejorar la calidad de sus productos (**Basantes et al., 2022**). La producción de quinoa en el país hasta el año 2020 fue de 4.500 toneladas con una superficie total de 2.957 hectáreas a

nivel nacional (**El Universo, 2020**). Siendo Imbabura, Carchi, Pichincha, Chimborazo y Cotopaxi las provincias con mayor producción de quinua. Teniendo en cuenta que Ecuador es uno de los mayores exportadores de quinua a nivel internacional, especialmente Estados Unidos, seguido de Alemania y Francia (**Álvarez, 2020**).

### **1.1.2.3 Aporte nutricional de la Quinua**

La quinua es un pseudocereal conocido por su alto contenido de macronutrientes, especialmente en proteínas (12-23%), ya que sus valores se encuentran por encima de los granos tradicionales como el trigo (15,4%), cebada (11%), arroz (7,5) y maíz (13,4), considerado un superalimento debido a que su fuente proteica es similar a alimentos de origen animal como la leche, huevos y carne (**Campos, 2019**). Además, la quinua también posee minerales (hierro, cobre, potasio, magnesio, calcio y zinc), vitaminas (C y E), fibra y fitoquímicos que sirven como antioxidantes y ayudan a la alimentación de personas celiacas y diabéticas debido a la ausencia de gluten y bajo índice glucémico. Dada su adecuada composición nutricional la quinua es considerada por la FAO como uno de los súper granos del siglo XXI por su alta digestibilidad de la proteína de la quinua cruda de 91,6% (**Pedrali et al., 2023; Ng & Wang, 2021**). Las propiedades funcionales de las semillas de quinua, como solubilidad, gelificación y retención de agua ayudan a mejorar el valor nutricional y la textura del producto, facilitando su uso en diversas aplicaciones gastronómicas (**Perdon & Holopainen-Mantila, 2020**)

### **1.1.3 Amaranto**

El amaranto es una planta que crece en zonas templadas y tropicales, resistente a la sequía y al frío que otros cereales, con grandes propiedades nutritivas y medicinales. Se cultiva principalmente por sus semillas, que se usan como alimento y también como una fuente de proteína y fibra dietética. La producción de amaranto es una actividad muy diversa y se pueden encontrar variedades de amaranto como el amaranto rojo, amaranto blanco, amaranto morado, amaranto amarillo, amaranto negro y amaranto plateado (**Cai et al., 2004**).

### 1.1.3.1 Taxonomía del Amaranto

**Tabla 2.** *Taxonomía del Amaranto*

Clasificación	Descripción
Reino	Plantae
Orden	Centrospermales
Familia	Amarantháceae
Genero	Amaranthus
Especie	sp
Nombre científico	Amaranthus sp

**Adaptado de:** (Martínez & Rodríguez, 2010)



**Figura 2.** Granos de Amarantos

**Fuente:** (Romero, 2016)

El amaranto es cultivado desde hace más de 5000 años, originario de América del Sur y Central, conocido como sangorache o quinua de castilla, distribuida por América y Europa con más de 70 especies derivadas del género *Amaranthus* descrita en la tabla 2. Esta planta se caracteriza por el tipo de inflorescencia, ramificaciones, colores brillantes que presenta en sus semillas, espigas y hojas, ya que es cultivada a altitudes de 3500msnm y alcanza una altura de 4 m, caracterizada por ser una especie anual (Cai et al., 2004).

### 1.1.3.2 Producción del Amaranto en Ecuador

El amaranto actualmente es poco conocido en el Ecuador, ya que solo el 4% de la población conoce este pseudocereal debido a la falta de cultura de cultivo del grano, es por ello que el INIAP y diversas organizaciones desde el año 2002, han desarrollado programas de apoyo para promover la producción de amaranto en el país, estos programas ofrecen incentivos y financiamiento para ayudar a los agricultores a mejorar la calidad de sus cultivos (Fierro et al., 2020; Lucas, 2021). El amaranto se cultiva en diversas provincias de la sierra a altitudes de 2800 msnm, Además, según el Sistema de Información Nacional de

Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca, Imbabura es la provincia con mayor producción de amaranto con un 37.5% de su territorio total, es decir, 50 hectáreas a un costo de 1.109USD/ha.(Jurado, 2019).

### 1.1.3.3 Valor nutricional del Amaranto

Las semillas de amaranto tienen un excelente perfil nutricional como se muestra en la Figura 2, son ricas en macronutrientes como proteínas, fibra, lípidos y micronutrientes que incluyen vitaminas y minerales. Este pseudocereal también se caracteriza por un alto contenido de lisina y metionina en comparación con otros granos, lo que hace que el amaranto sea valioso y considerado como un alimento nutritivo orientado a las dietas saludables (Flavio, 2013).

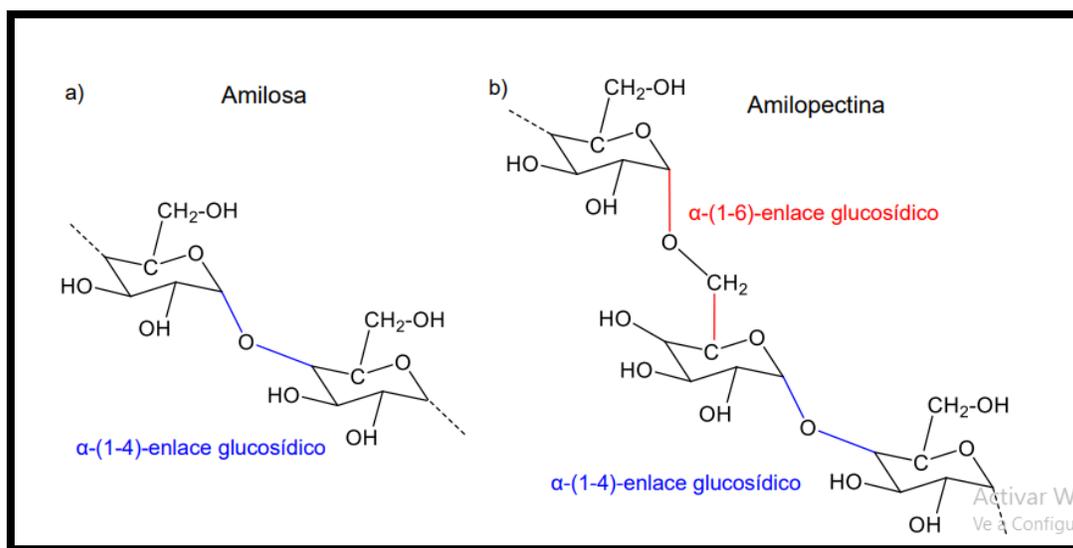
Según Dincă et al., (2018), menciona que las hojas poseen un alto contenido proteico y son ricas en oxalatos, calcio, folatos, polifenoles, saponinas, taninos y vitaminas (A y C), ya que las hojas son tan nutritivas como las semillas. El amaranto tiene sabor a nuez y una textura cremosa que se utiliza para la elaboración de productos de granola, barras energéticas, galletas, harinas, etc.

### 1.1.4 Almidón

El almidón es un polisacárido que proporciona del 70% al 80% de calorías al cuerpo y se extrae en forma granular de una variedad de fuentes vegetales como el maíz, papas, trigo, arroz y patatas. La funcionalidad del almidón está determinada por la estructura del gránulo en la forma, tamaño y el peso molecular dependiendo del origen botánico de la planta. El almidón, además se usa ampliamente en varias industrias, principalmente en la industria alimentaria y sirve como espesante, agente gelificante, texturizante y aglutinante (Horstmann et al., 2017).

La estructura del almidón está compuesta por el 20 % de amilosa y 80% de amilopectina.(Sumba, 2019). La amilosa es un polímero que tiene una estructura lineal de

cadena de glucosídico  $\alpha$ -D conectadas por enlaces (1-4), representando del 15 a 35% del peso del almidón. Un alto porcentaje de amilosa hace que el almidón sea menos viscoso y tenga una temperatura de gelatinización más baja. Mientras que la amilopectina tiene una estructura ramificada con cadenas de 1,4- $\alpha$ -D glucosídico unidas a enlaces  $\alpha$ -(1-6) glucosídico (**Gutiérrez, 2020**).



**Figura 3.** Estructura del almidón: (a) amilosa, y (b) amilopectina

**Fuente:** (Gutiérrez, 2020)

### 1.1.5 Almidón Resistente

El almidón resistente es la parte del almidón que no se puede digerir en el intestino delgado por la acción de las amilasas y por la fermentación de la microbiota en el colon, con la generación de ácidos grasos de cadena corta y con ello la reducción del pH, impidiendo el desarrollo de microorganismos patógenos. El almidón resistente (AR), ayuda a la prevención de enfermedades o inflamaciones intestinales, y es considerado como beneficioso para la salud por la acción prebiótica. Diversos estudios mencionan que se debe agregar a la ingesta diaria el consumo de almidón resistente ya que puede actuar como fibra dietética reduciendo el índice glicémico (**Li et al., 2023**). Según **Adam-Perrot et al. (2009)**, menciona que en EE UU la ingesta de fibra para las mujeres es de 13 gramos por día y para hombres de 18 gramos por día.

**Englyst et al., (1996)** clasificó en 5 categorías al almidón resistente, según su digestibilidad:

- Almidón resistente tipo 1: tiene una matriz que no se puede hidrolizar dificultando la digestibilidad del almidón, granos enteros y granos sin procesar
- Almidón resistente tipo 2: almidón no es digerible y es resistente al hidrolisis enzimático que contiene un alto contenido de amilosa como las papas crudas, plátanos verdes
- Almidón resistente tipo 3: almidón retrogradado por la formación de estructuras lineales y hélices dobles que no se hidrolizan por las enzimas digestivas, esto ocurre por la gelatinización de alimentos tanto cocidos y enfriados.
- Almidón resistente tipo 4: almidón modificado con enlaces químicos lo que hace que su estructura sea resistente a la digestión de las amilasas, lo que hace que sean difíciles de digerir como las papas cocidas y algunos cereales
- Almidón resistente tipo 5: almidón con amilosa de cadenas largas que interaccionan con alcoholes y ácidos grasos, difícil de digerir y son los alimentos que tienen complejos de amilosa-lípidos naturales.

### **1.1.6 Índice Glucémico**

El índice glucémico (IG) cuantifica la cantidad de carbohidratos que son consumidos en una ingesta, mediante los niveles de glucosa en la sangre, midiendo el área bajo la curva en relación a un alimento específico y un alimento de referencia (pan), permitiendo evaluar la respuesta glicémica de diferentes alimentos (**Vargas, 2018**). Los alimentos con un índice glucémico  $\geq 70$ , se digieren rápidamente lo que provoca picos en el nivel de azúcar en la

sangre debido al consumo de alimentos procesados, bebidas azucaradas y cereales. Por el contrario, los alimentos con un índice glucémico bajo están en una escala de 0-55, estos se digieren mucho más lentamente y ayudan al cuerpo a reducir enfermedades (**Félix, 2015**).

Según **Goñi et al. (1997)**, se puede predecir el índice glicémico mediante la determinación del porcentaje de hidrólisis con la ecuación obtenida  $GI = 39.21 + 0.803(H_{90})$ . Y poder clasificar los alimentos sobre su respuesta posprandial de glucosa en la sangre.

### **1.1.7 Digestibilidad del almidón**

La digestibilidad del almidón varía según la estructura del grano, se clasifica de acuerdo al grado de susceptibilidad del almidón: almidón de digestión rápida (ADR), almidón de digestión lenta (ADL) y almidón resistente (AR) (**Cornejo et al., 2015**). La digestión del almidón empieza en el tracto gastrointestinal en donde es hidrolizada por la enzima amilasa rompiendo los enlaces de almidón en moléculas más pequeñas como maltosa, dextrinas y maltotriosas. La hidrólisis inicia en un pH ácido secretando alfa-amilasa pancreática y como resultado se obtiene la molécula de almidón hidrolizado y liberación de glucosa que es absorbida y transportada al torrente sanguíneo. La velocidad y digestión del almidón dependen de los azúcares que han sido digeridos y con ello la respuesta del índice glucémico (**Toutounji et al., 2019**).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar la digestibilidad del almidón de un suplemento elaborado a partir de una mezcla de harinas de quinua y amaranto precocidas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el almidón resistente del suplemento
- Determinar la digestibilidad del almidón del suplemento
- Estimar el índice glucémico del suplemento

## **2 CAPITULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 Materiales**

##### **2.1.1 Materia prima**

Se trabajó con un suplemento a base de harinas precocidas de amaranto y quinua.

- Suplemento con aditivos
- Suplementos sin aditivos

##### **2.1.2 Materiales de laboratorio**

- Matraz
- Vasos de precipitación
- Probetas
- Micropipetas
- Puntas para pipetas
- Termómetro
- Pinzas
- Tubos eppendorf
- Papel aluminio

##### **2.1.3 Equipos**

- Incubadora (VWR)
- Balanza analítica (VWR-224AC)

- Centrifuga (Eppendorf)
- Agitador vórtex (VWR)
- Espectrofotómetro (Fisher Scientific)
- Baño María (WisBath)
- Plancha de calentamiento (VWR)
- pH-metro (Thermo Scientific)

#### **2.1.4 Reactivos**

- Agua destilada
- Hidróxido de potasio
- Cloruro de hidrogeno
- Tampón de fosfato
- Reactivo de Dinitrosalicílico
- Maltosa anhidra (solución estándar de 2mg/ml)
- Termamyl -100 (Novo)
- Buffer acetato de sodio 0,4 M, pH 4.75, que contiene 20 mM CaCl<sub>2</sub>
- Enzima amilglucosidasa (Boeringer Mannheim No. 102857)
- Buffer KCl-HCl, pH 1.5
- Buffer Tris-maleato 0.1M, pH 6.9, que contiene 4mM CaCl<sub>2</sub>
- Pepsina (Merck No. 7190, 2000 FIT- u/G): solución que contiene (1 g de pepsina en 10ml tampón HCl-HCl)
- Enzima  $\alpha$ -amilasa (Sigma Tipo IA 1200U/mg)
- Enzima  $\alpha$ -amilasa pancreática (Sigma A-3176): solución que contiene (40 mg de  $\alpha$ -amilasa por ml del tampón tris-maleato)
- Kit de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD/POD Boehringer Mannheim No. 676543)

## **2.2 Métodos**

### **2.2.1 Obtención del Almidón total**

El almidón total se cuantificó mediante el método descrito por **Tovar et al.(1990)** con modificaciones. Para lo cual se tomó 500mg de muestra y se añadió 10ml de agua destilada. Luego se agregó lentamente 10ml de KOH 4N y se dejó a temperatura ambiente por 30 min, con agitación magnética cada 10 min. Se ajustó la mezcla a un pH de 6.5 a 7, con HCL 5M. Se añadió 100 µl de α-amilasa (Termamyl) y se dejó baño maría por 20 min en agitación constante. Consecuentemente se dejó enfriar a temperatura ambiente y luego transvasó el contenido a un matraz aforado de 100ml.

En un tubo de ensayo se añadió 1ml de tampón de acetato de sodio y se agregó 0,5ml de la disolución anterior. Luego se agregó 25 µl de amilogucosidasa y se incubó por 30min a 60°C en agitación constante. Se transfirió el contenido a un matraz y se lavó con agua destilada. Finalmente, se tomó 100 µl del matraz y se agregó 2 ml del reactivo GOD/POD y se midió el contenido de glucosa en un espectrofotómetro a 505 nm.

Considerando que el microgramo de glucosa se expresó en 100 µl de la dilución final en unidades de ug/ml, el factor de dilución 200.

Por último, el contenido de almidón se calculó mediante la **Ecuación 1**.

$$\% \text{ almidon total} = \frac{\text{ug glucosa/ml} * 0.001 * 100 * 200 * 0.9}{\text{peso muestra mg}} * 100$$

**Donde:**

0,001= transformación de microgramos a miligramos

100= Factor de dilución

200= Factor de dilución

0,9= factor de transformación de glucosa a glucano

### **2.2.2 Obtención del Almidón resistente**

Para determinar el contenido de almidón resistente se empleó la metodología descrita por **Goñi et al., (1996)**, con pocas modificaciones. Se pesó 100 mg de muestra, añadiendo 10ml

de KCl-HCl tampón y HCl 2M de Se añadió 0,2ml de solución pepsina (1 g de pepsina/10 ml tampón KCl-HCl), en agitación constante por 60 min. Esta mezcla se dejó enfriar y se adicionó 9ml de Tris Maleato 0,1 M. Luego se adicionó 1 ml de solución de  $\alpha$ -amilasa y se incubó por 16h a 37°C, también se humectó la muestra con 3ml de KOH 4M por 30 min. Se mezcló 5,5 ml de HCl 2M, 3 ml de Tampón de acetato de sodio al 0,4% y 80 $\mu$ l de enzima glucosidasa, se dejó actuar por 45 min en un baño de agua a 60°C con agitación constante. Luego se centrifugó por 15 minutos y se añadió 1 ml del reactivo del kit de determinación de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD/PAP Boehringer Mannheim No. 676543). Finalmente se leyó entre 5 y 45 min después de la incubación.

Para el contenido de almidón resistente se utilizó la **Ecuación 2**.

$$\% AR = \frac{\mu g \text{ de glucosa/ml} \times \text{Volumen} \times \text{Dilución} \times 100 \times 0.9}{1000 \times \text{peso de muestra seca (mg)}}$$

**Donde:**

0.9 = Conversión de factores de glucosa a almidón

0.5/1.5 = Factor dilución

50 = Volumen

### **2.2.3 Tasa de digestión de almidón in vitro e Índice glucémico**

Para la tasa digestión de almidón in vitro se empleó la metodología descrita por (**Holm et al., 1985**) con modificaciones. Y para el Índice glucémico se empleó la fórmula empírica descrita por **Goñi et al., (1997)**.

Se tomó 500mg de muestra y se adicionó 50 ml de tampón fostato. Se colocó a baño maría a 37°C con agitación constante hasta estabilizar la temperatura. Antes de los primeros 5 min de adicionar la enzima, se tomó dos alícuotas de 0.2ml como tiempo 0 y muestra 0 (0min y 0m) y con ello se determinará el contenido de maltosa. Luego a intervalos de 30 segundos, se añadió 1.25ml de solución de la enzima  $\alpha$ -amilasa y se incubó a 37° C por 1h en agitación constante. Se tomó alícuotas de 0.2ml a los tiempos de 5, 15, 30 y 60 minutos y

se añadió agua destilada y 1 ml de la solución estándar de maltosa de 3.5 Dinitrosalicílico en los diferentes tubos de ensayo, descrito en la tabla 3.

**Tabla 3.** *Dosificación del contenido de maltosa*

	<b>ml H2O</b>	<b>ml estándar</b>	<b>ml DNS</b>	<b>ml muestra</b>
<b>0 m</b>	0.3	0.5	1.0	0.2
<b>0 min</b>	0.3	0.5	1.0	0.2
<b>5 min</b>	0.8	0	1.0	0.2
<b>15 min</b>	0.8	0	1.0	0.2
<b>30 min</b>	0.8	0	1.0	0.2
<b>60 min</b>	0.8	0	1.0	0.2
<b>Blanco-tampón</b>	0.8	0	1.0	0.2 tampón

Se calentó los tubos por 10 min y se dejó enfriar a temperatura ambiente por 2 min. Luego se adicionó 15 ml de agua destilada y finalmente se leyó las absorbancias a 530 nm.

El % de hidrólisis se calculó mediante una curva de calibración de maltosa en mg/ml, según la ecuación 3.

**% Hidrolisis a tiempo 0 – Ecuación 3.**

$$\% \textit{hidrolisis} = \frac{(\text{mg maltosa a 0 min} - \text{mg maltosa 0m})}{1.82} * 0.95 * 100$$

**% Hidrólisis a tiempo 5-60 min – Ecuación 4.**

$$\% \textit{hidrolisis} = \frac{\text{mg maltosa} - (\text{mg maltosa 0m} - 1.0)}{1.78} * 0.95 * 100$$

La predicción del Índice Glucémico se calculó a partir de las curvas de  $\alpha$ -amilólisis, propuesta por **Goñi et al., (1997). Ecuación 5.**

$$GI = 39.21 + 0.803(H_{90}).$$

**Donde:**

GI = Índice glucémico

HI = Contenido de hidrolisis a los 90 min.

## CAPÍTULO III

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis y discusión de los resultados

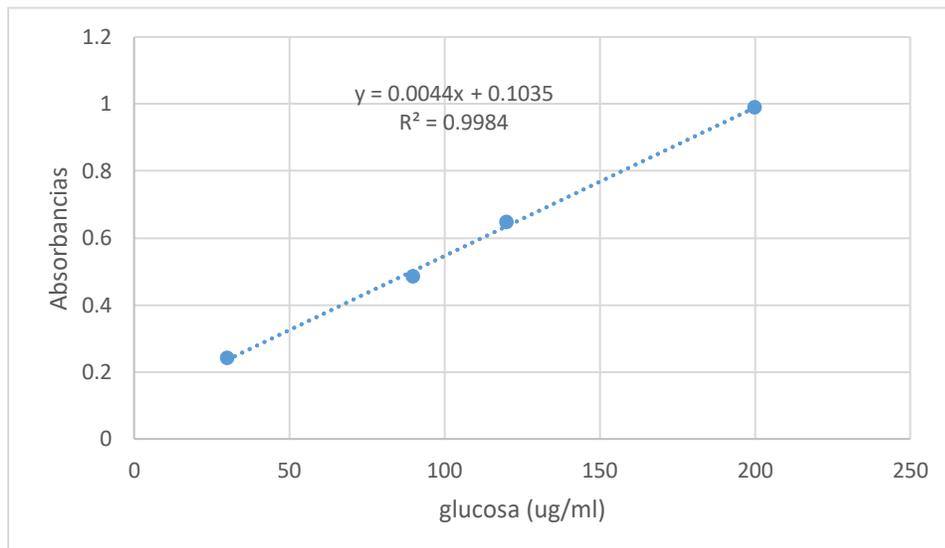
##### 3.1.1 Almidón total

Para la obtención del almidón total se realizó una curva de calibración en relación a los ug/ml de glucosa y la absorbancia de 505nm descrita en la tabla 4. Con un coeficiente de determinación de 0,9984 por el cual más cercano a 1 sea el  $R^2$ , mejor se ajustarán los datos en relación al análisis estudiado como se muestra en la figura 4.

**Tabla 4.** Concentraciones de estándar

*glucosa para la curva*

Absorbancias (505 nm)	Glucosa (ug/ml)
0,989	200
0,647	120
0,485	90
0,24175	30



**Figura 4.** Curva estándar de glucosa – Almidón total

**Tabla 5.** % almidón total - Suplemento sin aditivos y Suplemento con aditivos

<b>Muestra</b>	<b>% de almidón total</b>
<b>Suplemento sin aditivos</b>	29,85
<b>Suplemento con aditivos</b>	33,93

Los valores obtenidos de almidón total de las muestras de suplemento sin aditivos fueron de 29,85% y de la muestra del suplemento con aditivos de 33,93% respectivamente, como se muestra en la tabla 5. El suplemento nutricional contiene una cantidad adecuada de almidón total comparada con aquellos reportados por **Goñi et al., (1997)**. reporta valores de 18, 9 a 76% de almidón total en muestras de alverja congelada y pan blanco, respectivamente. El objetivo primordial es proporcionar nutrientes esenciales de forma concentrada. Sin embargo, algunos suplementos nutricionales también contienen almidón para aumentar la cantidad de calorías y proporcionar una fuente de energía (**Luisillo, 2014**)

Considerando que no existió una diferencia significativa entre la muestra de suplemento sin aditivos y suplemento con aditivos, podemos mencionar que la presencia de aditivos no afectó la determinación de éste parámetro. **Grajales (2010)**, reportó valores de una mezcla de maíz de alta calidad proteínica y frijol negro de 66,75 % en relación a 100g, estos valores pueden ser atribuidos a la variedad de leguminosas y su contenido de almidón. Mientras que **Carrasco (2015)**, menciona que para una mezcla de harinas de cascarilla de cacao de diferentes variedades, el almidón total fue de 35,50%, el cual son valores similares a los reportados en la tabla 5. También **Remolcoy (2014)**, menciona que el porcentaje de almidón total de suplementos en polvo puede variar entre un 10% y un 20% de su contenido, lo cual es similar al determinado en este estudio.

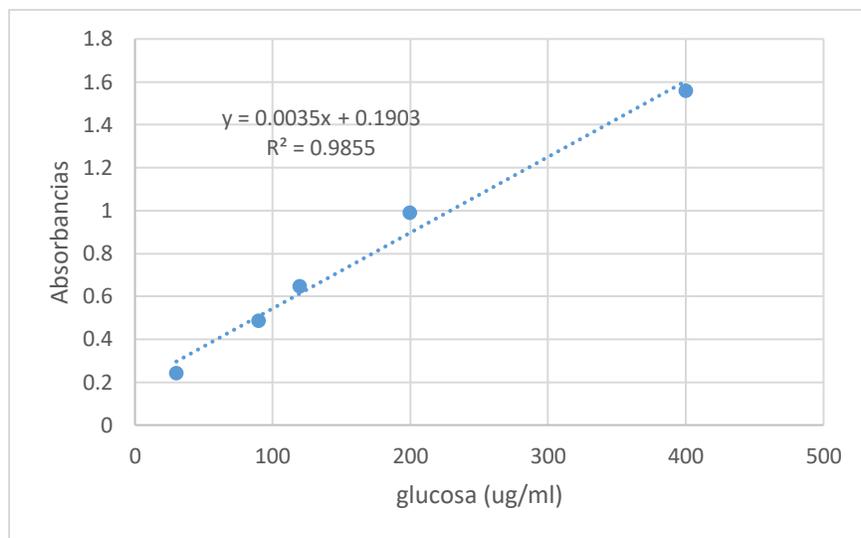
### 3.1.2 Almidón Resistente

Para la obtención del almidón resistente se trabajó con los datos descrito en la tabla 6. Obteniendo un coeficiente de determinación de 0,9855 ajustándose a lo datos de (ug/ml) de glucosa descrita en figura 5.

**Tabla 6.** Concentraciones estándar

*de glucosa para la curva*

Absorbancias (505 nm)	Glucosa (ug/ml)
1,55775	400
0,989	200
0,647	120
0,485	90
0,24175	30



**Figura 5.** Curva estándar de glucosa - Almidón resistente

**Tabla 7.** % almidón resistente - Suplemento sin aditivos y Suplemento con aditivos

<b>Muestra</b>	<b>% de almidón resistente</b>
<b>Suplemento sin aditivos</b>	13,76
<b>Suplemento con aditivos</b>	17,87

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos para los suplementos sin aditivos y con aditivos en relación al almidón resistente. **Pérez et al. (2007)** reporta valores obtenidos a partir de una mezcla de harina de maíz y harina de frejol de lima de 6,79%. Mientras **Zambrano et al. (2013)** menciona que una barra de cereales-leguminosas con una sustitución del 30 % *Phaseolus vulgaris* y 70% de maíz y avena presento un 21,11% de almidón resistente mucho más alto a los valores reportados.

El almidón resistente se encuentra naturalmente en diferentes alimentos como el arroz, el mijo, la avena, el sorgo, el trigo y principalmente en legumbres, como la flor de mayo que tienen un 2,43% de almidón resistente, la mayocoba un 6,4% y el frejol peruano un 5,41 % (**Vargas-Torres et al., 2006**). Presentado respuestas fisiológicas beneficiosas como la reducción en el tiempo de tránsito intestinal, la reducción de la absorción de glucosa y lípidos, y una disminución en el índice glucémico. Según **Hanes et al. (2022)**, menciona que existe beneficios para el consumo de fibra dietética o almidón resistente de 15g/día y para personas con diabetes tipo 2 su consumo va del 15-40g/día. Por otro lado, **Andrade et al. (2021)** menciona que uno de los métodos que se utiliza para la obtención de almidón resistente es el método de altas presiones que consiste en reducir el proceso de gelatinización reduciendo el índice glucémico.

### 3.1.3 Tasa de hidrolisis in vitro del almidón e Índice glucémico

Englyst et al. (1992), menciona que la glucosa se convierte en maltosa de 20-30 minutos y se digiere lentamente a una temperatura aproximadamente 37°C convirtiéndose en maltosa, para un rango de 120 minutos bajo las condiciones anteriores se convierte en glucosa rompiendo los enlaces glucosídicos, si el sustrato amiláceo se resiste a la acción de las enzimas digestivas.

En la tabla 8, se describe los valores obtenidos del % de hidrolisis del suplemento sin aditivos con valores de 12,82% en tiempo 0 y 31,83% en 195 min en relación a los mg de maltosa con las Abs-Blanco.

**Tabla 8.** Tasa de hidrolisis in vitro del almidón por  $\alpha$ -amilasa Suplemento sin aditivos

-	Tiempo (min)	Tiempo (horas)	ABS prom.	ABS-BLANCO	Maltosa (mg)	%Hidrolisis
<b>0</b>	<b>0</b>	0	0,52	0,39	1,11	12,82
0m			0,43	0,30	0,86	
<b>1</b>	30	0,5	0,33	0,20	0,58	25,44
<b>2</b>	60	1	0,35	0,22	0,63	27,90
<b>3</b>	90	1,5	0,36	0,24	0,68	30,56
<b>4</b>	195	3,25	0,37	0,25	0,70	31,83
<b>BLANCO</b>			0,127			

En la réplica 2 del suplemento sin aditivos, se obtuvo datos similares en relación al suplemento sin aditivos de la tabla 8, con valores de 1,28% a 0min y 39,16% a 195min descrita en la tabla 9.

**Tabla 9.** Tasa de hidrolisis in vitro del almidón por  $\alpha$ -amilasa Suplemento sin aditivos

-	Tiempo (min)	Tiempo (horas)	ABS prom.	ABS-BLANCO	Maltosa (mg)	%Hidrolisis
<b>0</b>	<b>0</b>	0	0,53	0,46	1,28	17,48
0m			0,41	0,33	0,94	
<b>1</b>	30	0,5	0,35	0,27	0,76	35,03
<b>2</b>	60	1	0,36	0,28	0,81	37,55
<b>3</b>	90	1,5	0,36	0,28	0,79	36,62
<b>4</b>	195	3,25	0,38	0,30	0,84	39,16
<b>BLANCO</b>			0,079			

En la tabla 10, se obtuvo el % de hidrolisis del suplemento con aditivos con valores de 16,14% a tiempo 0 y un tiempo máximo de 300 min con 94,08%, siendo valores superiores a los suplementos sin aditivos.

**Tabla 10.** Tasa de hidrolisis in vitro del almidón por  $\alpha$ -amilasa-Suplemento con aditivos

-	Tiempo (min)	Tiempo (horas)	ABS prom.	ABS-BLANCO	Maltosa (mg)	%Hidrolisis
<b>0</b>	0	0	0,52	0,45	1,27	16,14
0m			0,41	0,34	0,96	
<b>1</b>	30	0,5	0,26	0,19	0,56	24,19
<b>2</b>	60	1	0,32	0,25	0,72	32,66
<b>3</b>	90	1,5	0,73	0,66	1,84	92,83
<b>4</b>	120	2	0,75	0,68	1,90	95,83
<b>5</b>	150	3	0,74	0,68	1,88	94,88
<b>6</b>	175	2,916	0,73	0,66	1,85	93,20
<b>7</b>	300	5	0,74	0,67	1,87	94,08
<b>BLANCO</b>			0,066			

En la tabla 11, se describe que un tiempo de 300 min se obtuvo un valor de 115,97 % de hidrolisis siendo menor al descrito en la tabla 10, mientras que el min 150 no se obtuvo datos debido a que se dañó la alícuota analizar.

-	Tiempo (min)	Tiempo (horas)	ABS prom.	ABS-BLANCO	Maltosa (mg)	%Hidrolisis
<b>0</b>	0	0	0,56	0,48	1,34	20,01
0m			0,42	0,34	0,95	
<b>1</b>	30	0,5	0,34	0,26	0,75	34,25
<b>2</b>	60	1	0,36	0,28	0,80	36,86
<b>3</b>	90	1,5	0,69	0,61	1,70	84,89
<b>4</b>	120	2	0,87	0,79	2,20	111,61
<b>5</b>	150	2,5	-	-	-	-
<b>6</b>	175	2,916	0,908	0,827	2,296	116,90
<b>7</b>	300	5	0,902	0,820	2,278	115,97
<b>BLANCO</b>			0,082			

**Tabla 11.** Tasa de hidrolisis in vitro del almidón por  $\alpha$ -amilasa-Suplemento con aditivos

**Tabla 12.** Promedio de los % de Hidrolisis Suplemento sin aditivos Suplemento con aditivos

Tiempo (min)	Promedio % Hidrolisis Suplemento sin aditivos	Promedio % Hidrolisis Suplemento con aditivos
0	15,15	18,08
30	30,23	29,22
60	32,73	34,76
90	33,59	88,86
120	-	98,06
150	-	94,88
175	-	105,05
195	35,50	-
300	-	105,03

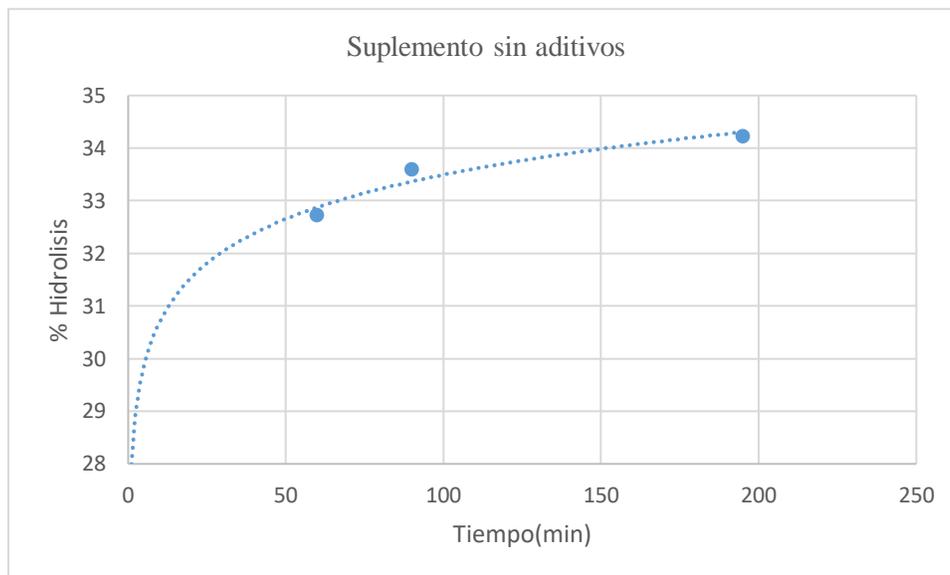
La tasa de hidrólisis del almidón se dio por la acción de la enzima  $\alpha$ -amilasa obteniendo rango de hidrolisis para la muestra de suplemento sin aditivos los 30 min oscilo entre el 30,23%, mientras para el suplemento con aditivos fue de 29,22% descrito en la tabla 12. A los 195 min de digestión se observó una tasa de hidrolisis menor en la muestra suplemento sin aditivos, con 35,50% en comparación de la muestra suplemento con aditivos 103,72% presentando un almidón rápidamente hidrolizado por  $\alpha$ -amilasa que descompone el almidón en azúcares más simples, como glucosa, absorbiendo fácilmente en el intestino.

Los resultados reportados por **Grajales (2010)**, menciona que la mezcla de maíz de alta calidad proteínica y frijol negro obtuvo un % de hidrolisis de 45 y 55.5 en un tiempo de 30 y 90 min respectivamente, en cuanto a los resultados obtenidos en la tabla 12, mostraron cambios significativos a los 90 minutos asociados con el 88,86% de las muestras suplemento con aditivos. La digestibilidad del almidón depende de cómo se procesa el almidón, ya que el procesamiento afecta la estructura del almidón y, por lo tanto, se vuelve más fácilmente digerible para el organismo.

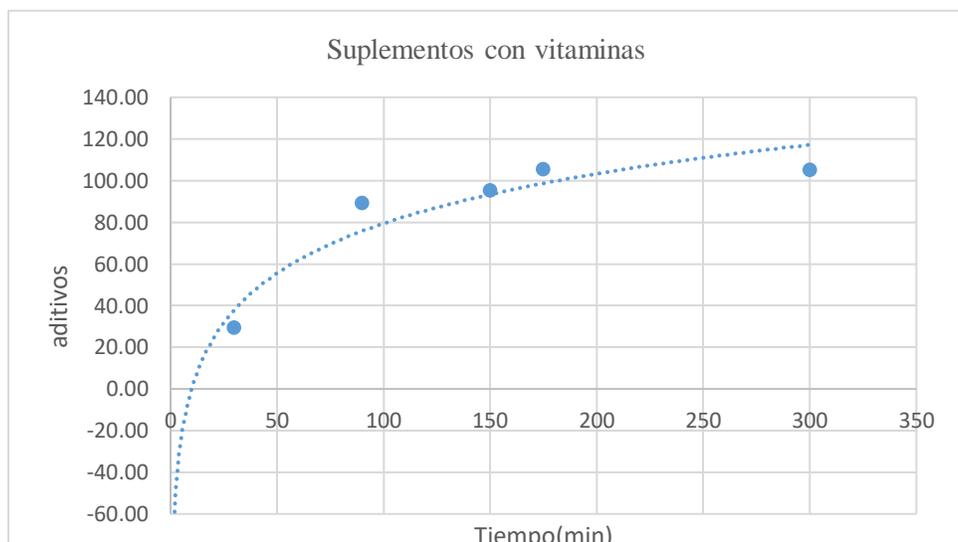
Por otro lado, **Klunklin & Savage (2018)**, reporta que una mezcla de harina con sustitución de harina de arroz morado en relación al 75%, digestión lenta de 20,05% y

digestión rápida de 30,08% señala también tiene una mayor resistencia a la digestión que la harina de trigo después de la hidrólisis enzimática durante 120 minutos. Considerando que por cada 100 g de harina de quinua de hidrólisis es de 26, por efecto del Termamyl Sc **Navia et al. (2019)** y para la harina de amaranto el grado de hidrólisis es de 39,27% (**Robles, 2017**). En general, cuanto más alto sea el grado de hidrólisis, mejor será la calidad del almidón.

En la figura 6 y 7, representan los puntos de almidón hidrolizado con una mayor tasa de digestibilidad en 195 min con un promedio de 35,50% para el suplemento sin aditivos y para el suplemento con aditivos este se hidroliza en 300 min con un promedio de 105,03% aumentado la respuesta glucémica y por la adición de un mix de vitaminas.



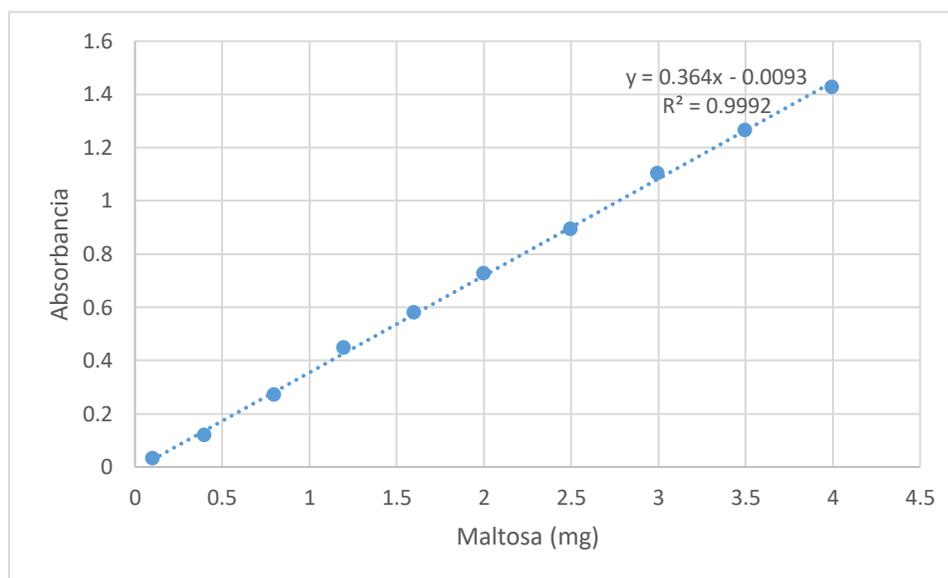
**Figura 6.** Relación del % de hidrólisis vs tiempo - Suplemento sin aditivos



**Figura 7.** Relación del % de hidrólisis vs tiempo - Suplemento con aditivos

**Tabla 13.** Concentraciones de maltosa para la curva estándar.

Maltosa (mg)	$\Delta$ ABS
0,099	0,031
0,399	0,118
0,799	0,269
1,198	0,446
1,598	0,578
1,997	0,725
2,497	0,892
2,996	1,101
3,495	1,265
3,995	1,426



**Figura 8.** Curva estándar de Maltosa

Por otro lado, en la figura 8, se muestra el coeficiente de determinación de 0,9992, en la cual muestra la cantidad de maltosa producida durante la hidrólisis del almidón por la

enzima  $\alpha$ -amilasa descrita en la tabla 14, produciendo maltosa y esta aumenta a medida que la concentración de almidón se incrementa hasta alcanzar un punto en el que la enzima ya no puede procesar más almidón

**Tabla 14.** *Estimación del Índice Glucémico Suplemento sin aditivos y Suplemento con aditivos*

<b>Muestra</b>	<b>IG<sub>(HI90)</sub></b>
Suplemento sin aditivos	66,18
Suplemento con aditivos	110,56

El índice glucémico es una medida de rapidez con la que los carbohidratos se absorben en el torrente sanguíneo, después de su ingesta. La predicción del Índice glucémico para el suplemento sin aditivos fue 66,18 y para el suplemento con aditivos de 110,56 donde se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras. Lo que demuestra que un IG bajo libera azúcar lentamente, proporcionando un suministro constante de energía a lo largo del tiempo. Estos alimentos son mejores para el controlar el azúcar en la sangre, especialmente para las personas con diabetes ya que los suplementos fueron elaborados a partir de cultivos andinos.

## 4 CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Para la muestra de suplemento sin aditivos y suplemento con aditivos se determinaron valores de almidón resistente 13,76% y 17,87%, siendo beneficioso para aumentar la ingesta de fibra dietética mejorado la salud digestiva.
- Respecto al almidón total se obtuvo valores para el suplemento sin aditivos de 29,85% para el suplemento con aditivos valores de 33,93% los datos demostraron que los suplementos a base de harina de quinua y amaranto no difieren significativamente de las mezclas de harinas en términos de contenido total de almidón mediante comparación bibliográfica.
- Las tasas de  $\alpha$ -amilólisis in vitro del almidón reflejo en la muestra del suplemento sin aditivos un valor de 33,59% y para el suplemento con aditivos un valor de 88,86%, presentando una mayor digestibilidad a un tiempo de 90 min la muestra suplemento con aditivos, mientras que suplemento sin aditivos presentó un almidón lentamente digerible.
- La quinua y amaranto por su alto contenido de proteínas son perfectos alimentos para aquellas personas que no consumen carne ni lácteos y necesitan una fuente alternativa de proteínas. La muestra analizada presenta un porcentaje de almidón resistente considerable, recomendable para incrementar la fibra prebiótica y mejorar la salud digestiva.
- En la estimación del índice glucémico se obtuvo valores para de suplemento sin aditivos de 66,18 y para el suplemento con aditivos 110,56, siendo los 90 min el mejor valor del hidrolisis en relación a la respuesta glucémica

## 4.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar varios métodos que permita determinar la cantidad exacta de proteínas y aminoácidos en los suplementos
- Realizar un estudio de vida útil al suplemento con aditivos por los antioxidantes que tienen en su formulación
- Se recomienda realizar más estudios en relación a la digestibilidad de suplementos alimenticios caracterizando el almidón
- Realizar la digestibilidad gastrointestinal con fin de identificar la cantidad de nutrientes ingiere el cuerpo.

## 5 MATERIAL DE REFERENCIA

### 5.1 Referencias Bibliográficas

- Adam, A., Gutton, L., Sanders, L., Bouvier, S., Combe, C., Van Den Abbeele, R., Potter, S., & Einerhand, A. W. C. (2009). Resistant Starch and Starch-Derived Oligosaccharides as Prebiotics. *Prebiotics and Probiotics Science and Technology*, 259–291. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-79058-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-79058-9_9)
- Álvarez, J. S. (2020). *Exportaciones de quinua de Bolivia, Ecuador y Perú hacia la Unión Europea* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/23841/T-ESPE-044319.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Basantes, F., Aragón, J. P., & Albuja, M. (2022). *Cultivos Andinos de importancia agro productiva y comercial en la Zona 1 del Ecuador* [Universidad Técnica del Norte]. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/01\\_Libro\\_CULTIVOS ANDINOS 05092022 \(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/01_Libro_CULTIVOS_ANDINOS_05092022(1).pdf)
- Cadena, F. (2021). *Análisis del impacto económico del cambio climático en cultivos de quinua (Chenopodium quinua), en la provincia de Chimborazo* [Universidad Andina Simón Bolívar-Sede Ecuador]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8067/1/T3513-MCCNA-Cadena-Analisis.pdf>
- Cai, Y. Z., Corke, H., & Wu, H. X. (2004). AMARANTH. *Encyclopedia of Grain Science*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/B0-12-765490-9/00001-X>
- Campos, K. D. R. (2019). “Efecto del nitrógeno en el contenido de proteína y saponina en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), adaptada en la zona norte de la provincia de Los Ríos”. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Carrasco, A. (2015). *Obtención De Harina Baja En Gluten A Partir De La Cascarilla De Cacao De Las Variedades Ccn-51 Y Nacional* [Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3647/1/CD000020-TRABAJO>

## COMPLETO-pdf

- Castellanos Jankiewicz, A. K., & Castellanos Ruelas, A. F. (2020). *Suplementos alimenticios: entre la necesidad y el consumismo*. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/X2\\_71\\_3\\_1305\\_SuplementosAlimenticios.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/X2_71_3_1305_SuplementosAlimenticios.pdf)
- Cornejo, F., Salazar, R., Martínez, R., Villacrés, E., Paredes, M., Ruales, J., & Penafiel, D. (2015). *valuation of starch digestibility of Andean grains, tubers, roots, and legumes oriented to healthy diet recommendation*.
- Dincă, L., Dincă, M., Pantea, S., Timiș, V.-G., & Oneț, C. (2018). Amaranth plant: between myth and use. *Heliyon*, 8(1), 9–16. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E11613>
- El Universo. (2020). *La quinua se diversifica en snacks, cereales, apanadura y bebidas para abrirse mercados | Economía | Noticias | El Universo*. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/10/12/nota/8011669/ecuador-quinua-pequenos-productores-agricolas-necesidades/>
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46 Suppl 2(SUPPL. 2), S33-50. <https://europepmc.org/article/med/1330528>
- Englyst, Hans N., Kingman, S. M., Hudson, G. J., & Cummings, J. H. (1996). Measurement of resistant starch in vitro and in vivo. *British Journal of Nutrition*, 75(5), 749–755. <https://doi.org/10.1079/BJN19960178>
- Félix, G. (2015). *Consumo De Alimentos Según Índice Glucémico En Pacientes Diabéticos Tipo Ii En El Hospital Padre Carollo Durante El Periodo Enero – Febrero 2015*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Fierro, S., Zurita, J., & Guerrero, C. (2020). Estrategias comerciales para la exportación del Amaranto Ecuatoriano a Paris (Unión Europea). *Revista Científica FIPCAEC (Fomento de La Investigación y Publicación Científico-Técnica Multidisciplinaria)*. ISSN: 2588-090X . *Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP)*, 5(5), 105–116. <https://doi.org/10.23857/FIPCAEC.V5I5.187>

- Flavio, E. (2013). *El Amaranto Como Alternativa Alimentaria Para El Mejoramiento Nutricional Del Adulto/A Mayor De La Asociación De Jubilados/ Del Iess De La Ciudad De Otavalo – Provincia De Imbabura 2012*. Universidad Técnica del Norte.
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glyceemic index. *Nutrition Research*, 17(3), 427–437. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(97\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(97)00010-9)
- Goñi, I., García-Diz, L., Mañas, E., & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, 56(4), 445–449. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00222-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00222-7)
- Grajales, E. (2010). *Estudio de la digestibilidad del almidón y capacidad antioxidante de una tortilla elaborada con una mezcla de maíz de alta calidad proteínica (Zea mays L.i) y frijol negro (Phaseolus vulgaris L.)* [Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9941/1/181.pdf>
- Gutiérrez, E. (2020). “*Modificación dual del almidón de yuca: oxidación-esterificación, y termoplastificación, para la compatibilización con PLA*” [Centro de Investigación en Química Aplicada]. [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/644/1/Tesis MTP Edith Gutierrez.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/644/1/Tesis_MTP_Edith_Gutierrez.pdf)
- Hanes, D., Nowinski, B., Lamb, J. J., Larson, I. A., McDonald, D., Knight, R., Song, S. J., & Patno, N. (2022). The gastrointestinal and microbiome impact of a resistant starch blend from potato, banana, and apple fibers: A randomized clinical trial using smart caps. *Frontiers in Nutrition*, 9, 2117. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2022.987216/BIBTEX>
- Holm, J., Björck, I., Asp, N. G., Sjöberg, L. B., & Lundquist, I. (1985). Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam-cooking and popping of wheat. *Journal of Cereal Science*, 3(3), 193–206. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(85\)80013-8](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(85)80013-8)
- Horstmann, S. W., Lynch, K. M., & Arendt, E. K. (2017). Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. *Foods*, 6(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/FOODS6040029>

- Jurado, E. (2019). *ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL AMARANTO (Amaranthus sp) EN LA PROVINCIA DE IMBABURA [UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE]*. [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9888/2/03\\_AGN\\_064\\_TRABAJO GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9888/2/03_AGN_064_TRABAJO_GRADO.pdf)
- Klunklin, W., & Savage, G. (2018). Physicochemical, antioxidant properties and in vitro digestibility of wheat–purple rice flour mixtures. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(8), 1962–1971. <https://doi.org/10.1111/IJFS.13785>
- Li, C., Hu, Y., Li, S., Yi, X., Shao, S., Yu, W., & Li, E. (2023). Biological factors controlling starch digestibility in human digestive system. *Food Science and Human Wellness*, 12(2), 351–358. <https://doi.org/10.1016/J.FSHW.2022.07.037>
- López, F. (2010). *EVALUACIÓN DE LA EXPRESIÓN GÈNICA Y ANÁLISIS FUNCIONAL EN RESPUESTA A DIFERENTES TIPOS DE ESTÈS ABIÒTICO EN Chenopodium quinoa DE DIFERENTES ZONAS ANDINAS DEL ECUADOR [Universidad Técnica de Ambato]*. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32459/1/Tesis-274 Ingeniería Agronómica - Francis Rodrigo López Mayorga.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32459/1/Tesis-274_Ingeniería_Agronómica_-_Francis_Rodrigo_López_Mayorga.pdf)
- Lucas, J. (2021). *Incidencia Del Amaranto (Amaranthus Caudatus) En Las Características Físicoquímicas Y Sensoriales De Una Mortadela A Base Decodorniz (Coturnix Coturnix) [Universidad Agraria del Ecuador]*. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/LUCAS ESPINOZA JARITZA ANGELICA.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/LUCAS_ESPINOZA_JARITZA_ANGELICA.pdf)
- Luisillo, M. (2014). *Efecto del grado de retrogradación del almidón, en el contenido de fibra dietética, en masa y tortilla de maíz blanco nixtamalizado [Universidad Nacional Autónoma de México]*. <http://132.248.9.195/ptd2014/marzo/0709950/0709950.pdf>
- Martínez, B., & Rodríguez, S. (2010). *“EVALUAR LA APLICACIÓN DE CUATRO FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA EN EL CULTIVO DE AMARANTO (Amaranthus spp) EN DOS LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”* Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Mina, D. (2014). *EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LÍNEAS F5 DE QUINUA*

(*Chenopodium quinoa Willd.*), EN DOS LOCALIDADES DE LA SERRANÍA. ECUADOR. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2560/1/T-UCE-0004-78.pdf>

Navia, N., NINA, G., MENA, E., & Salcedo, L. (2019). HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN HARINA DE QUINUA Y TARWI POR EFECTO DE  $\alpha$ -AMILASA. *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(1), 64–73. <https://doi.org/10.18684/BSAA.V17N1.1205>

Ng, C. Y., & Wang, M. (2021). The functional ingredients of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and physiological effects of consuming quinoa: A review. *Food Frontiers*, 2(3), 329–356. <https://doi.org/10.1002/FFT2.109>

Pedrali, D., Giupponi, L., De la Peña-Armada, R., Villanueva-Suárez, M. J., & Mateos-Aparicio, I. (2023). The quinoa variety influences the nutritional and antioxidant profile rather than the geographic factors. *Food Chemistry*, 402, 133531. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133531>

Peralta, E. (2009). La Quinoa en Ecuador. In *Iniap* (Issue 1965). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/805/1/iniapsclgaq1.pdf>

Perdon, A. A., & Holopainen-Mantila, U. (2020). Cereal grains and other ingredients. *Breakfast Cereals and How They Are Made: Raw Materials, Processing, and Production*, 73–96. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812043-9.00004-7>

Pérez, C., Betancur, D., Casotto, M., Carmona, A., & Tovar, J. (2007). Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(3), 278–286. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222007000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Remolcoy, M. de los Á. (2014). *Desarrollo De Un Suplemento Alimenticio En Polvo Instantáneo Para Adultos Mayores En Base A Semillas De Quínoa (Chenopodium Quinoa Willd.) Y Su Caracterización Físicoquímica Y Sensorial* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/185424/Desarrollo-de-un-suplemento-alimenticio-en-polvo-instantaneo-para-adultos-mayores.pdf?sequence=1>

- Robles, M. (2017). *Aprovechamiento de almidón de amaranto (A. hypochondriacus) como almidón resistente*.  
<http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/asp/am/presentatesis.php?recno=19147&docs=UAMI19147.pdf>.
- Romero, A. (2016). *Amaranto, una pequeña gran semilla*.  
[https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha\\_58\\_Amaranto.pdf](https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha_58_Amaranto.pdf)
- Toutounji, M. R., Farahnaky, A., Santhakumar, A. B., Oli, P., Butardo, V. M., & Blanchard, C. L. (2019). Intrinsic and extrinsic factors affecting rice starch digestibility. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 10–22.  
<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.02.012>
- Tovar, J., Björck, I. M., & Asp, N. G. (1990). Starch Content and a-Amylolysis Rate in Precooked Legume Flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(9), 1818–1823. <https://doi.org/10.1021/JF00099A007>
- Vargas-Torres, A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Morales-Franco, L., & Bello-Pérez, L. A. (2006). Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia*, 31(12), 881–884.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442006001200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006001200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Vargas, T. (2018). *ÍNDICE GLUCÉMICO Y CARGA GLUCÉMICA DE UN ALIMENTO PREPARADO CON MAÍZ (PICADITA) EN ESCUELAS PRIMARIAS DE MORELOS [INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL]*.  
[https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25753/TesisP\\_Tamara\\_Vargas\\_Hernández\\_ENAF.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El índice glucémico \(IG\) permite,IG alto%2C medio y bajo.](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25753/TesisP_Tamara_Vargas_Hernández_ENAF.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El índice glucémico (IG) permite,IG alto%2C medio y bajo.)
- Zambrano, R., Granito, M., & Yolmar, V. (2013). *Respuesta glicémica al consumo de una barra de cereales-leguminosa (Phaseolus vulgaris) en individuos sanos*.  
<https://www.alanrevista.org/ediciones/2013/2/art-4/>