






Caracterización fisicoquímica de los cereales y funcionalidad de las harinas de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Physicochemical characterization of cereals grains and functionality of amaranth (*Amaranthus caudatus*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) flours

Karen Solange Urbina-Dícao^a  karen.urbina@pg.uleam.edu.ec; Stalin Gustavo Santacruz-Terán^a  stalin.santacruz@pg.uleam.edu.ec; Gina Mariuxi Guapi-Álava^b  ggguapi@uteq.edu.ec; Karol Yannela Revilla-Escobar^a  karol.revilla@pg.uleam.edu.ec; Jhonnatan Plácido Aldas-Morejón^a  jhonnatan.aldas@pg.uleam.edu.ec

^aUniversidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. Facultad Ciencias de la Vida y Tecnológicas.

^bUniversidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Facultad de Ciencias de la Industria y Producción – Agroindustria.

Recibido: 01/06/2023 Aceptado: 19/09/2023

Citar, APA: Urbina-Dícao, K. S., Santacruz-Terán, S. G., Guapi-Álava, G. M., Revilla-Escobar, K. Y. y Aldas-Morejón, J. P. (2023). Caracterización fisicoquímica de los cereales y funcionalidad de las harinas de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10 (2), 33–41. <https://doi.org/10.23850/24220582.5708>

Resumen El amaranto y la quinoa, al igual que otros cereales, pueden emplearse para la obtención de productos con gran valor nutricional. Actualmente, son considerados alimentos básicos en la canasta familiar de los habitantes de las zonas andinas, esto ha conllevado a la necesidad de promover el desarrollo sostenible de sus cultivos. Por ello, el objetivo principal de este estudio se basó en evaluar las características fisicoquímicas de los cereales y las características funcionales de las harinas de amaranto y quinoa. Para el cual, se aplicó un modelo estadístico unifactorial completamente aleatorizado que constó de tres repeticiones. Donde se determinó que el amaranto presentó mayor contenido de proteína (12,41 %), grasa (6,74 %), carbohidratos totales (67,09 %) e índice de semilla (5,37 mg), en comparación a la quinoa que situó una mayor capacidad de hidratación (0,55 g/semillas) e hinchamiento (0,56 ml/semilla) de las semillas. En lo que comprende a las propiedades funcionales, el tipo de cereal no influye en las características de las harinas, debido a que no existió diferencia significativa ($p < 0,05$), sin embargo, se demostró que la harina de amaranto, tuvo una mejor capacidad de absorción (137,60 ml/100 g) y retención (83,60 ml/100 g) en agua, mientras que la harina de quinoa mayor capacidad de absorción (96,03 ml/100 g) y retención (90,50 ml/100 g) en aceite, por otro lado, harina de amaranto obtuvo una mayor actividad (3,00 %) y estabilidad (5,67 %) emulsionante, capacidad (2,52 %) y estabilidad (2,62 %) espumante. Por lo cual, se concluye que, los cereales estudiados, pueden ser utilizados para la obtención de harina y productos derivados de ellos.

Palabras clave: semillas, capacidad, hidratación, hinchamiento, funcionalidad.

Abstract Amaranth and quinoa, like other cereals, can be used to obtain products with high nutritional value. Currently, they are considered basic foods in the family basket of the inhabitants of the Andean zones, which has led to the need to promote the sustainable development of their crops. Therefore, the main objective of this study was to evaluate the physicochemical characteristics of cereals and the functionality of amaranth and quinoa flours. For this purpose, a completely randomized, one-factor statistical model was applied, consisting of three replicates. It was determined that amaranth had a higher content of protein (12,41 %), fat (6,74 %), total carbohydrates (67,09 %) and seed index (5,37 mg), compared to quinoa, which had a higher capacity for hydration (0,55 g/seed) and swelling (0,56 ml/seed) of the seeds. Regarding the functional properties, the type of cereal did not influence the characteristics of the flours, because there was no significant difference ($p < 0,05$), however, it was demonstrated that amaranth flour had a better absorption capacity (137,60 ml/100 g) and retention (83,60 ml/100 g) in water, while quinoa flour had a higher absorption capacity (96,03 ml/100g) and retention (90,50 ml/100 g) in oil, 60 ml/100 g) in water, while quinoa flour had a higher absorption capacity (96,03 ml/100 g) and retention (90,50 ml/100 g) in oil, on the other hand, amaranth flour obtained a higher emulsifying activity (3,00 %) and stability (5,67 %), foaming capacity (2,52 %) and stability (2,62 %). Therefore, it is concluded that the cereals studied can be used to obtain flour and products derived from them.

Keywords: seeds, capacity, hydration, swelling, functionality.

Introducción

El amaranto (*Amaranthus caudatus*) y la quinua (*Chenopodium quinoa*) además de su potencial agronómico y capacidad de crecer en condiciones ambientales adversas, son considerados los más prometedores para coadyuvar en la seguridad alimentaria y combatir la malnutrición (Andrade-Cadena y Simbaña-Villarreal, 2013). También, son reconocidos como cultivos importantes en la soberanía alimentaria para la humanidad por sus propiedades nutricionales (FAO, 2011).

El amaranto posee entre un 12 a 19 % de proteína, reportándose la presencia de algunos aminoácidos como la lisina, valina, metionina, fenilalanina y treonina (Espitia-Rangel *et al.*, 2022). Además, contiene vitamina C, vitaminas del complejo B y vitamina A; es abundante en ácido fólico, calcio, fósforo y hierro, presenta un alto valor calórico, hidratos de carbono y fibra (Caisaguano-Salao, 2019).

Por su parte, la quinua también posee un alto contenido de proteína, entre 10 y 16 %, es rica en aminoácidos azufrados y fuente importante de lisina. A la quinua se le considera como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, siendo superior al trigo, cebada y soya, comparándose favorablemente con la proteína de la leche (García *et al.*, 2019).

El amaranto al igual que la quinua carecen de gluten (su contenido de prolamina es menor a 0,01 %), por lo cual, son una alternativa alimenticia ideal en personas intolerantes al gluten o que presentan enfermedad celiaca. Además, contribuyen a reducir colesterol total, triglicéridos y presentan actividad antioxidante y antiinflamatoria (Caisaguano-Salao, 2019).

En Ecuador el 20,1 % de niños menores de 2 años padecen desnutrición crónica infantil (Instituto Nacional de Estadística y Censos

[INEC], 2023). Para enfrentar esta problemática, es necesario utilizar nuevas fuentes de proteínas e hidratos de carbono para desarrollar productos con un alto valor nutricional agregado, en este sentido las harinas obtenidas de tubérculos, legumbres, cereales y frutas que se sabe que al mezclarse mejoran su valor nutricional y capacidad funcional propio y de otros alimentos (Villarreal *et al.*, 2018).

Por lo antes expuesto, el objetivo del presente estudio se basó en la caracterización de los cereales y harinas de amaranto (*A. caudatus*) y quinua (*C. quinoa*), mediante los análisis fisicoquímicos de los cereales y evaluando las características funcionales en las harinas tales como: índice de absorción y solubilidad en agua, capacidad de retención de aceite, actividad emulsificante y capacidad de formar espuma.

Materiales y métodos

Las semillas de quinua y amaranto se obtuvieron del mercado municipal del cantón Guaranda, provincia de Bolívar, Ecuador. La molienda de los cereales se realizó empleando un molino artesanal (MAGISTER, Colombia), y seguidamente se efectuaron dos tamizados con dimensiones de 80 micras y posteriormente de 100 micras. Por último, la fracción retenida en el tamiz de mayor dimensión (100), se almacenó para su respectivo análisis.

Parámetros fisicoquímicos de los cereales: quinua y amaranto

Determinación de humedad, ceniza, proteína, grasa y carbohidratos

El análisis de humedad se determinó según el método de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN ISO 712 - 2013 (INEN 2013a), para el cual colocó 5 g en una estufa, por un periodo de 2 h a 130 °C. En relación con el contenido de ceniza, se realizó por 3 h a una temperatura de 600 °C en una mufla, según lo estipulado en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2171 - 2013

(INEN, 2013b). La determinación del contenido de proteína y grasa se realizó de acuerdo al método de referencia SEF-PDU AOAC990.03 y SEF-G AOAC 920.39 en el laboratorio "Seidla". Mientras que los carbohidratos totales se obtuvieron siguiendo la metodología establecida por Sánchez-Aguilera *et al.*, (2023).

Capacidad de hidratación (CH), Capacidad de hinchamiento (CH*) e índice de semilla

Para evaluar la capacidad de hidratación e hinchamiento se empleó la metodología propuesta por Jitngarmkusol *et al.* (2008), donde se tomaron 50 g de cada cereal y se adicionaron a 100 ml de agua destilada por 24 horas a temperatura ambiente (22 °C), luego se escurrieron y se eliminó el exceso de agua. La Capacidad de hidratación (CH), se calculó como el aumento de masa después del remojo dividido por gramos de semilla, mientras que el hinchamiento (CH*) se calculó como el aumento de volumen al finalizar el remojo dividido por 50 semillas (ml/semilla). El índice de semilla entendiéndose como el peso obtenido en 100 semillas de cada cereal.

Propiedades funcionales de la harina de amaranto y quinoa

Índice de absorción (IA) y retención en agua (RA)

El índice de absorción y retención de agua en la harina obtenida a partir de amaranto y quinoa se evaluó de acuerdo a la metodología establecida por Chau y Huang (2003) y Jitngarmkusol *et al.* (2008), disolviéndose 1 g de cada muestra en 30 ml de agua destilada. Para determinar el índice de absorción (IA), cada muestra de harina se agitó por 1 h y posteriormente se centrifugó a 3900 rpm por un lapso de 40 min, mientras que las suspensiones de las muestras empleadas en la retención en agua (RA) la suspensión se agitó durante 24 h previo al proceso de centrifugado. Luego se eliminó el exceso de agua y se pesó nuevamente la muestra, para lo cual, se empleó la siguiente **Ecuación 1**:

$$\text{Ecuación 1 } X = PF - PI * 100$$

Siendo:

PF = Peso final

PI= Peso Inicial

IA y RA, se expresan como la cantidad de agua ligada por 100 gramos de muestra seca.

Capacidad de absorción (CA) y retención en aceite (RA*)

En la evaluación de la capacidad de absorción y retención en aceite de igual manera se emplearon los métodos propuestos por Chau y Huang (2003) y Jitngarmkusol *et al.* (2008), con la diferencia de que se reemplaza el agua por aceite de soja, CA y RA* se expresan como la cantidad de aceite ligado en 100 gramos de la muestra seca.

Actividad emulsionante (AE) y estabilidad emulsionante (EE).

Para determinar la actividad y estabilidad de la emulsión de la harina de amaranto y quinoa, se disolvió un 1 g de harina en 25 ml de agua destilada, y se dejó reposar por un periodo de 30 min a 20 °C, luego, se añadió 25 ml de aceite para emulsificar la mezcla con un agitador a 600 rpm durante 3 minutos, finalmente, la emulsión se centrifugó a 3900 rpm durante 5 minutos, se midió el volumen de la emulsión y AE se expresó como porcentaje de la capa emulsionada.

La estabilidad emulsionante (EE) se obtuvo siguiendo la metodología descrita por Jitngarmkusol *et al.* (2008), adicionalmente las muestras emulsionadas se calentaron a Baño María (85 °C por 15 min), luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente para posteriormente centrifugarlas a 3900 rpm por 5 min. Esta se representa como la cantidad de harina emulsionada de la capa en el tubo de ensayo después de calentar.

Capacidad espumante (CE) y estabilidad espumante (EE*)

La capacidad espumante se estimó siguiendo la metodología de Jitngarmkusol *et al.* (2008), por lo cual se agregó 1 g de harina en 50 ml de agua destilada a 2900 rpm durante 5 min. El volumen de la muestra se midió en un cilindro graduado (50 ml) antes y después de agitar. Para medir la estabilidad de espuma, las muestras agitadas se almacenaron a temperatura ambiente (20 °C) por 4 h, tiempo durante el cual se midieron los volúmenes iniciales y finales.

Análisis estadístico

La valoración estadística consistió en un diseño unifactorial completamente aleatorizado, analizando las muestras por triplicado. Para determinar diferencia significativa entre las

medias de los tratamientos, se utilizó la prueba estadística de Tukey con un nivel de confianza del 95 %, empleando el software estadístico InfoStat

Resultados y discusión

En la **Tabla 1** se detallan los resultados fisicoquímicos de los cereales amaranto y quinoa. Donde se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) en cuanto al contenido de humedad, demostrando que el amaranto presentó el mayor 14,19 %; mientras que, en la quinoa se determinó una humedad de 11,31 %. Estos valores son superiores por Mamani-Mayta *et al.* (2017), obtuvieron un contenido de 6,03 % para quinoa y 5,76 % en amaranto, por otro lado, Huamán *et al.* (2016), determinaron 9,30 % de humedad en quinua.

Tabla 1

Parámetros fisicoquímicos de las semillas de quinua y amaranto

Parámetro	Amaranto	Quinoa
Humedad (%)	14,19±0,21b	11,31±0,12a
Ceniza (%)	2,73±0,13b	2,38±0,29b
Proteína (%)	14,41±0,28b	12,49±0,59a
Grasa (%)	6,74±0,48b	5,72±0,23a
Carbohidratos totales (%)	67,09±1,02b	62,95±0,29a
Capacidad de hidratación (g/ semillas)	0,48±0,10a	0,55±0,02a
Capacidad de hinchamiento (ml/ semillas)	0,54±0,06a	0,56±0,05a
Índice de semilla (mg)	5,37 ±0,34a	4,29 ±0,38a

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) con la prueba Tukey, nivel de confianza 95%

El contenido de ceniza no presentó diferencia significativa entre el amaranto y la quinoa, sin embargo, se pudo observar que el amaranto obtuvo un porcentaje del 2,73 %, cuyo valor fue similar a lo reportado por Reynaga & Castelú (2017), quienes en su estudio obtuvieron un reporte de cenizas del 2,56 % a 2,70 % en amaranto, mientras que la quinoa presentó 2,38 %, valores que guardan relación a la investigación realizada por Sánchez *et al.* (2016) quienes estudiaron la semilla vainillo (*Inga paterno*) y obtuvieron un valor para cenizas de 2,41 %.

En cuanto a la variable proteína existió diferencia significativa ($p < 0,05$), donde se demostró que el amaranto situó un valor promedio de 14,41 %, varios investigadores han reportado contenidos de proteína que van desde 15 a 17,9 % en amaranto (Matías *et al.*, 2018).

Por otro lado, la quinoa presentó un contenido de proteína igual al 12,49 %, valor que se sitúa dentro del rango establecido por Rojas *et al.* (2016), los cuales determinaron resultados que oscilaron entre 10, 21 % a 18,39 %, además,

Arzapalo *et al.* (2015), obtuvieron valores promedio entre 11,19 % a 12,68 % en variedades de quinoa: Collana y Pasancalla negra.

En relación al análisis de grasa se determinó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los cereales estudiados, cuyo contenido más alto se posicionó en amaranto (6,74 %), valor que se situó por debajo de lo reportado por Bedón (2020), quien obtuvo 7,31 %. Así mismo, en relación al contenido graso de la quinoa (5,72 %), este resultado que fue similar a lo obtenido por Campos *et al.* (2022), quienes determinaron valores entre 5,37 % - 6,79 % en diferentes variedades de quinoa.

En relación a los carbohidratos totales presentes en los cereales estudiados, se determinó diferencias significativas ($p < 0,05$). Obteniéndose el mayor porcentaje en amaranto (67,09 %) mientras que la menor concentración se dio en la quinoa (62,95 %). En este sentido, el almidón es considerado el componente principal de los carbohidratos y se sitúa en alrededor del 60 % del peso seco en los cereales (Pathan & Siddiqui, 2022). De igual manera, se ha reportado que la cantidad de almidón en las semillas de amaranto es de aproximadamente 45 a 65 % (Baraniak & Kania, 2022). Adicionalmente, Repo-Carrasco *et al.* (2023) mencionaron en su estudio que el almidón de quinoa osciló entre 58,10 % a un 64,20 % del peso seco de la semilla con un índice glucémico bajo.

La capacidad de hidratación y capacidad de hinchamiento no presentaron diferencia significativa ($p > 0,05$) en los cereales al cabo de las 24 h. Sin embargo, se observó que la mayor capacidad de hidratación se obtuvo en los granos de quinoa con 0,55 g/50 semillas en comparación al amaranto que fue mínimamente diferente con 0,48 g/50 semillas. En relación con la capacidad de hinchamiento, presentaron valores entre 0,54 a 0,56 para los dos cereales estudiados. Los resultados obtenidos en amaranto fueron superiores a los reportados por Puente-Cuyago

(2016), quien obtuvo una capacidad promedio de hidratación de 0,80 g y una capacidad de hinchamiento de 0,55 ml. Mientras que la quinoa presentó valores similares a lo reportado por Angeli *et al.* (2020) quienes determinaron 0,50 g (CH) y 0,55 ml (CH*). Además, comparándose con el trigo y la cebada, la quinua presenta una mayor viscosidad, capacidad de absorción en agua y mayor capacidad de hinchamiento (Abd - El Samad *et al.*, 2018).

A evaluar el índice de semillas se determinó que no existió diferencia significativa ($p > 0,05$) entre el amaranto y la quinoa, obteniéndose valores que oscilaron entre 5,37 mg a 4,29 mg respectivamente. En la investigación realizada por Rangel-Espitia *et al.* (2022) situaron valores entre 6,10 mg a 7,40 mg en las variedades de amaranto criolla y nutrisol, evaluando esta variable. En cambio, Mestanza-Uquillas *et al.* (2019) determinaron en la variedad de quinoa (Real Blanca) pesos promedios de 2,53 a 4,49 mg y enfatizaron que, el peso de las semillas está relacionado con el ciclo productivo y periodo de desarrollo de la especie.

En la **Tabla 2** se describen los datos obtenidos de la capacidad de absorción en agua (CAA) y retención en agua (CRA) de las harinas producidas a partir de amaranto y quinoa, los cuales, se determinó, para estas variables que no existió diferencias significativas ($p > 0,05$). Sin embargo, se observó que, el amaranto obtuvo el mayor contenido de CAA con 137,60 ml/100 g, valor que resultó inferior a lo señalado por Gonzalez *et al.* (2018) quienes obtuvieron 220 ml/100g en la variedad de *Amaranthus hypochondriacus* L. De igual manera, la capacidad de absorción en agua de la quinoa (127,97 ml/100 g), es inferior a lo reportado por Dussán - Sarria *et al.* (2019), quienes establecieron un valor de 93 ml/100 g. La absorción de humedad en la harina es un factor significativo en panificación debido a que se relaciona a la calidad y vida de anaquel del producto y rendimiento del proceso (Cerdeña-Mejía *et al.*, 2017).

Tabla 2

Capacidad de absorción y retención en agua y aceite de harinas de amaranto y quinua

Parámetro (ml/100g)	Amaranto	Quinoa
Capacidad de absorción en agua (CAA)	137,60±17,02a	127,97±11,34a
Capacidad de retención en agua (CRA)	83,60±12,80a	41,20±1,60a
Capacidad de absorción en aceite (CAA*)	94,13 ±9,07a	96,03 ±1,45a
Capacidad de retención en aceite (CRA)	87,60 ±10,31a	90,50±6,10 a

Nota. Letras iguales indican que no existió diferencias significativas ($p < 0,05$) con la prueba Tukey, nivel de confianza 95%

En relación con los análisis de capacidad de absorción en aceite (CAA*) y capacidad retención en aceite (CRA) no presentaron diferencia significativa ($p > 0,05$) en los dos cereales estudiados, aun así, la harina de quinua situó el mayor contenido en CAA* y CRA con 96,03 ml/100 g y 90,50 ml/100 g respectivamente. Autores como Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012)

determinaron una capacidad de absorción en aceite de 68,7 ml/100 g en harina de papa y una capacidad de retención en aceite en harina de quinua de 90,50 ml/100 g. La capacidad de retención de aceite permite obtener los valores de retención de los componentes lipídicos (Ruiz-Garza *et al.*, 2017).

Tabla 3

Características funcionales de las harinas de los cereales (quinua y amaranto)

Harina	Actividad emulsionante (AE) (%)	Estabilidad emulsionante (EE) (%)	Capacidad espumante (CE) (%)	Estabilidad espumante (EE*) (%)
Amaranto	3,00 ± 0,50a	5,67 ± 1,04b	2,52 ± 0,78a	2,62 ± 0,10a
Quinoa	2,67 ± 0,24a	4,17 ± 0,70a	2,47 ± 0,95a	2,54 ± 0,20a

Nota. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) con la prueba Tukey, nivel de confianza 95%

En la **Tabla 3** se muestran los valores relacionados con la actividad emulsionante, estabilidad emulsionante, capacidad y estabilidad espumosa, donde no se observaron diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los dos cereales analizados.

El amaranto presentó mayores resultados en las características funcionales, situando: AE (3,00 %), EE (5,6 %), CE (2,52 %) y EE* (2,62 %); mientras que, la quinua obtuvo menores valores con una AE (2,67 %), EE (4,17 %), CE (2,47 %) y EE* (2,54 %). Investigaciones similares también determinaron una actividad

emulsionante de 12,50 % en harina de cereal tef negro; estabilidad emulsionante de 8,3 % en harina de papa; capacidad espumante entre 44,67 % - 47,00 % en harina de trigo y una estabilidad espumante 88,5 % en harina de garbanzo (Fernández-Salvador, 2017; Tao *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2013).

Las características funcionales de las harinas son fundamentales para la calidad de los alimentos, además, son importantes para conocer el uso que se les puede dar ya sea para la elaboración de pan, pastas, galletas, entre otros. Es necesario, mencionar que, las propiedades

físicoquímicas intrínsecas reflejan la interacción compleja entre la composición, estructura y otros componentes de los alimentos, así como también, la naturaleza del ambiente en el que se asocian o miden (Chandra *et al.*, 2015).

Por su parte, Awuchi & Echeta (2019) hacen énfasis que, las características funcionales están influenciadas por los componentes del alimento, especialmente los carbohidratos, proteínas, grasas y aceites, humedad, fibra, cenizas y otros ingredientes o aditivos alimentarios agregados al alimento (harina), como alcoholes de azúcar.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos demostraron que las semillas de amaranto son una excelente fuente de proteína (12,41 %), con un contenido lipídico (6,74 %), carbohidratos totales (67,09 %) e índice de semilla (5,37 mg), mientras que la semilla de quinoa presentó mejor capacidad de hidratación (0,55 g/semillas) e hinchamiento (0,56 ml/semilla). En relación con las propiedades funcionales de las harinas, el tipo de cereal no influye significativamente en la capacidad de absorción y retención (de agua y aceite), Por otro lado, el tipo de cereal incidió en la estabilidad emulsionante de las harinas, siendo la obtenida del amaranto la de mayor estabilidad (5,67 %). De esta forma, se concluyó que la harina de amaranto y quinoa podrían ser utilizadas para la producción de alimentos con valor agregado aportando a la diversificación el uso de estos cultivos en la cadena de valor.

Referencias

- Abd - El-Samad, E., Hussin, S., El-Naggar, A., El-Bordeny, N., & Eisa, S. (2018). The potential use of quinoa as a new non-traditional leafy vegetable crop. *Bioscience Research*, 15(4), 3387-3403. <https://www.researchgate.net/publication/329758476>
- Andrade-Cadena, V., & Simbaña-Villarreal, A. (2013). Manejo agronómico del amaranto y quinoa con *Metarhizium anisopliae*. *Revista de Investigación, Docencia y Proyección Social*, 2(11), 5-11. <https://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/download/381/371/>
- Angeli, V., Silva, P. M., Crispim-Massuela, D., Waleed-Khan, M., Hamar, A., Khajehei, F., . . . Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An Overview of the Potentials of the “Golden Grain” and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- Arzapalo, D., Huamán, K., Quispe, M., & Espinoza, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(1). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810634X2015000100006&fbclid=IwAR0-bj2lHhfeDC8hqPBt2LUB8I83XVfoSxb5qYtNRfaYoq8wwqLZ8Ijsp7w
- Awuchi, C. G., & Echeta, K. C. (2019). Current Developments in Sugar Alcohols: Chemistry, Nutrition, and Health Concerns of Sorbitol, Xylitol, Glycerol, Arabitol, Inositol, Maltitol. *International Journal of Advanced Academic Research*, 5(11), 1 - 33. https://www.researchgate.net/publication/336923362_Current_Developments_in_Sugar_Alcohols_Chemistry_Nutrition_and_Health_Concerns_of_Sorbitol_Xylitol_Glycerol_Arabitol_Inositol_Maltitol_and_Lactitol
- Baraniak, J., & Kania-Dobrowolska, M. (2022). The Dual Nature of Amaranth—Functional Food and Potential Medicine. *Foods*, 11(4), 618. <https://doi.org/10.3390/foods11040618>
- Bedón, V. (2020). *Efecto del reemplazamiento parcial de harina de trigo por harina de amaranto en las propiedades fisicoquímicas de una torta sin azúcar*. [Tesis de pregrado]. Universidad de los Andes. Repositorio UNIANDRES <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/48962>
- Caisaguano-Salao, F. B. (2019). *Caracterización de la harina de quinoa (Chenopodium quinoa) y amaranto (Amaranthus) para la elaboración de pasta*. Riobamba: [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Chimborazo. Repositorio UNACH <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6003>
- Campos, J., Acosta, K., & Paucar, L. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y Componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*, 3(13). <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>
- Cerda-Mejía, L., Cerda-Mejía, V. R., Plamala-Rosales, A., Morneo-Miranda, C., & Pérez-Martínez, A. (2017). Proteína de harinas de maíz, cebada, quinoa, trigo nacional y papa: características

- y funcionalidad como sustitutos de la proteína de harina de trigo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 6(3), 201-216. <https://revistas.uea.edu.ec/index.php/racyt/article/view/82/86>
- Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *J Food Sci Technol*, 52(6). <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1427-2>
- Chau, C., & Huang, Y. (2003). Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of citrus sinensis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 9. <https://doi.org/10.1021/jf025919>
- Dussán-Sarria, S., De la Cruz-Noguera, R. E., & Godoy, S. P. (2019). Estudio del perfil de aminoácidos y análisis proximal de pastas secas extruidas a base de harina de quinua y harina de chontaduro. *Información tecnológica*, 30(6), 93-100. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600093>
- Espitia-Rangel, E., Martínez-Cruz, E., Lozano-Grande, A., Hortelano - Santa Rosa, R., Valverde-Ramos, M., & Sesma-Hernández, F. (2022). Calidad panadera y galletera de mezclas de harina integral de amaranto y refinada de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(8), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v13i8.3162>
- Fernández Salvador, N. (2017). *Propiedades funcionales y químicas de harinas de distintas variedades de trigo sarraceno y tef*. Valladolid: [Tesis de posgrado]. Universidad de Valladolid. Repositorio UVA <https://doi.org/https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/29440/TFM-L355.pdf?sequence=1>
- Food and Agriculture Organisation [FAO]. (2011). *Quinoa y amaranto - cereales sagrados*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://idepsalud.org/quinua-y-amaranto-cereales-sagrados/>
- García, A., Báez, J., Gallardo, C., García, N., Walle, A., Martínez, M., & Hernández, N. (2019). Caracterización Físicoquímica y efecto de la cocción en propiedades nutricionales del frijol *Vigna umbellata* Thumb. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 1-6. <http://eprints.uanl.mx/23597/1/36.pdf?fbclid=IwAR2vbFv-quasMHQR5ccyIgYT5ObqrOeRIVMaiwGbQovjIDZnW3yIjVrQ14A>
- Gonzalez, R., Bautista, M., Amaya, C., Báez, J., & Moreno, S. (2018). Evaluación tecno-funcional de la harina, aislado e hidrolizado proteico obtenidos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quinúa (*Chenopodium quinoa* Willd) y chíá (*Salvia hispanica* L.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 579-587. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/9/96.pdf>
- Huamán, N., Yupanqui, G., Allca, E., & Allca, G. (2016). Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la difusividad térmica en granos andino. *Rev. Soc. Quim. Perú*, 82(3), 1-13. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000300002
- Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC]. (2023). *Primera encuesta especializada revela que el 20.1% de los niños en Ecuador padecen de desnutrición crónica infantil*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/primer-encuesta-especializada-revela-que-el-20-1-de-los-ninos-en-ecuador-padecen-de-desnutricion-cronica-infantil/#:~:text=Los%20principales%20resultados%20son%3A,que%20sufren%20de%20desnutrici%C3%B3n%20cr%C3%B3nica>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2013a). Norma Ecuatoriana NTE INEN ISO 712- 2013. Cereales y productos de cereales. *Determinación del contenido de humedad. Método de referencia (IDT)*. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-iso-712.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2013b). Norma Ecuatoriana NTE INEN 2171- 2013 Cereales, leguminosas y subproductos. *Determinación del rendimiento de cenizas por incineración (IDT)*. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_2171_extracto.pdf
- Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J., & Tananuwong, K. (2008). Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. *Food Chemistry*, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.050>
- Mamani-Mayta, D. D., Gutierrez-Durán, M. D., Serrudo-Juarez, J. A., & Gonzalez-Dávaloz, E. (2017). Parámetros de calidad de harinas de *Amaranthus caudatus* Linnaeus (amaranto), *Chenopodium quinoa* Willd (quinúa), *Chenopodium pallidicaule* Aellen (kañahua), *Lupinus mutabilis* Sweet (tarwi). *Revista Con-Ciencia*, 5(1), 27-38. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-02652017000100003
- Matía-Luis, G., Hernández-Hernández, B. R., Peña-Caballero, V., Torres-López, N. G., Espinoza-Martínez, V. A., & Ramírez-Pacheco, L. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus spp*). *Journal of negative & of positive results*, 3(8), 375-464, <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2410>
- Mestanza-Uquillas, C., Zambrano-Calderón, K., Pinargoté-Alava, J., Veliz-Zamora, D., Váscónez-Montufar, G., Fernández-García, N., & Olmos, E. (2019). Evaluación agrónómica de genotipos de quinúa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones agroclimáticas en la zona de Mocache. *Ciencia y Tecnología UTEQ*, 19-30. <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.316>

- Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. *Nutrients*, 13(8), 558. <https://doi.org/10.3390/nu14030558>
- Puente-Cuyago, A. (2016). *Pregelatinización hidrotérmica del grano de Amaranto (Amaranthus caudatus L.): [Tesis de pregrado]* Ambato: Universidad Técnica del Norte. Repositorio UTN <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5692/2/03%20EIA%20395%20ARTICULO%20PERIODISTICO.pdf>
- Rangel-Espitia, E., Sesma-Hernández, L. F., Valverde-Ramos, M., González-Molina, L., Escobedo-López, D., & Aguilar-Delgado, M. (2022). Tiene el amaranto el potencial agronómico para ser un fenómeno mundial como la quinua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2897>
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. (2023). Valor nutricional y aprovechamiento de los cultivos andinos quinua (*Chenopodium quinoa*) y kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Rev Int*, 19(179). <https://doi.org/10.1081/VIE-120018884>
- Reynaga, A., & Castelú, P. (2017). Diseño y construcción de un prototipo expansor continuo fluidizado para granos de amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Revista Tecnológica*, 13(19). http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?pid=S1729-75322017000100003&script=sci_arttext&tlng=es&fbclid=IwAR3SSMSyFCSO_rnRcUD3Vw3uxdbkptVaZ3KuqRojDUkhXPY7xr_Cs
- Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinua y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 199-207. https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262012000100021&script=sci_arttext
- Rojas, W., Vargas, A., & Pinto, M. (2016). La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Rev. IAREN*, 3(2). http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n2/v3n2_a01.pdf
- Ruiz-Garza, E., Nuñez-González, C., Amaya-Guerra, J., Baez-González, C., & Montemayor-Leal, A.-G. (2017). Caracterización funcional de fibras comerciales modificadas por medios físicos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 422-427. <http://eprints.uanl.mx/23740/1/75.pdf>
- Sánchez, N., Jiménez, C., Cardador, A., Del Campo, S., & Dávila, G. (2016). Caracterización física, nutricional y no nutricional de las semillas de Inga paterno. *Revista chilena de nutrición*, 43(4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000400010>
- Sánchez-Aguilera, D. D., Santacruz-Terán, S. G., Aguayo-Pino, D. R., Revilla-Escobar, K. Y., Carrillo-Pisco, M. L., & Aldas-Morejón, J. P. (2023). Caracterización fisicoquímica de fréjol canario (*Vigna unguiculata*) y chocho guaranguito (*Lupinus mutabilis*) y su incidencia en la funcionalidad de harinas. *Revista Bases de la Ciencia*, 8(1), 38-50. <https://doi.org/https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v8i1.5452>
- Tao, C., Wang, K., Liu, X., Shi, W., Liu, Y., & Gou, E. (2020). Effects of Potato Powder and Starch on the Pasting, Rheological, and Thermal Properties of Dough. *Food Science and Technology Research*, 26(5), 579-587. <https://doi.org/https://doi.org/10.3136/fstr.26.579>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Xu, Y., Brardwaj, H. L., & Thomas, M. (2013). Composición química, propiedades funcionales y características microestructurales de tres garbanzos kabuli (*Cicer arietinum* L.) afectados por diferentes métodos de cocción. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1111/ijfs.12419>