



Efecto de la humedad y presión en propiedades físicas funcionales en kiwicha (*Amaranthus caudatus*) por expansión

Effect of humidity and pressure on physical and functional properties in kiwicha (*Amaranthus caudatus*) by expansion

Justo Gallegos Rojas^{1,*} , Ali William Canaza Cayo¹ , Edgar Gallegos Rojas¹  y Vidal Gallegos Rojas² 

¹Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

²Investigadore independiente.

Resumen

Los polifenoles y su capacidad antioxidante en alimentos procesados desempeñan un papel crucial en la prevención y tratamiento de enfermedades. Se evaluó el efecto de la humedad y presión en dos variedades de kiwicha (*Amaranthus caudatus*): Oscar Blanco e INIA-414. Los polifenoles fueron cuantificados mediante el método Folin-Ciocalteu, mientras que la actividad antioxidante se evaluó mediante el método DPPH. Se empleó el diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial 2x2x2, con 3 repeticiones, para analizar los efectos simples y interacciones entre variedades, humedad y presión. Los resultados revelaron que la variedad INIA-414 mostró superioridad significativa a Oscar Blanco (15 % de H° 160 lb/pulg.2), (4.0 vs 3.91), (3.99 vs 3.66). La capacidad de expansión INIA-414 es superior a Oscar Blanco (15 % de H° 160 lb/pulg.2), (81.6 vs 75.4), (80.7 vs 74.6 %). Densidad aparente, INIA-414 supera a Oscar Blanco (0.079 vs 0.077 gr/cm3) (15 % de H° 160 lb/pulg.2), INIA-414 destaca a Oscar Blanco (0.091 vs 0.085 gr/cm3) (14 % de H° 140 lb/pulg.2), (H × P) (15 % de H° 160 lb/pulg.2) INIA-414 predomina a Oscar Blanco (0.073 vs 0.065 gr/cm3). Polifenoles totales, INIA-414 supera a Oscar Blanco (56.8 vs 54.2 Eq. Gálico mg/100g) (15 % de H° 160 lb/pulg.2). concluyendo que la capacidad antioxidante, INIA-414 sobrepasa a Oscar Blanco (17.2 vs 14.9 Trolox IC50 mg/g) (15 % H° 140 lb/pulg.2). INIA-414 destaca en (IE), (CEXP) y densidad aparente a Oscar Blanco, por tanto los compuestos fenólicos y actividad antioxidante INIA-414 es superior a Oscar Blanco.

Palabras claves: capacidad antioxidante, expansión por explosión, kiwicha, propiedades físicas, polifenoles totales.

Abstract

Polyphenols and their antioxidant capacity in processed foods play a crucial role in disease prevention and treatment. The effect of moisture and pressure was evaluated in two varieties of kiwicha (*Amaranthus caudatus*): Oscar Blanco and INIA-414. Polyphenols were quantified by the Folin-Ciocalteu method, while antioxidant activity was evaluated by the DPPH method. The complete randomized design (CRD) with 2x2x2 factorial arrangement, with 3 replications, was used to analyze the simple effects and interactions between varieties, humidity and pressure. The results revealed that the INIA-414 variety showed significant superiority to Oscar Blanco (15 % H° 160 lb/in2), (4.0 vs. 3.91), (3.99 vs. 3.66). Expansion capacity INIA-414 is superior to Oscar Blanco (15 % H° 160 lb/in2), (81.6 vs 75.4), (80.7 vs 74.6 %). Bulk density, INIA-414 outperforms Oscar Blanco (0.079 vs 0.077 gr/cm3) (15 % of H° 160 lb/in2), INIA-414 outperforms Oscar Blanco (0.091 vs 0.085 gr/cm3) (14 % of H° 140 lb/in2), (H × P) (15 % of H° 160 lb/in2) INIA-414 dominates Oscar Blanco (0.073 vs 0.065 gr/cm3). Total polyphenols, INIA-414 outperforms Oscar Blanco (56.8 vs. 54.2 Eq. Gallic Acid mg/100g) (15 % H° 160 lb/in2). Concluding that Antioxidant Capacity, INIA-414 outperforms Oscar Blanco (17.2 vs 14.9 Trolox IC50 mg/g) (15 % H° 140 lb/in2). INIA-414 outperforms Oscar Blanco in (IE), (CEXP) and (ρ_a), therefore phenolic compounds and antioxidant activity INIA-414 is superior to Oscar Blanco.

Keywords: antioxidant capacity, explosion expansion, kiwicha, physical properties, total polyphenols.

Recibido: 18 febr. 2024

Aceptado: 23 my. 2024

Publicado: 30 jun. 2024

*Autor para correspondencia: sipia50@gmail.com

Cómo citar:

Gallegos Rojas, J., Canaza Cayo, A. W., Gallegos Rojas, E., & Gallegos Rojas, V. (2024). Efecto de la humedad y presión en propiedades físicas funcionales en kiwicha (*Amaranthus caudatus*) por expansión. *Revista de Investigaciones*, 13(2), 91-104. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i2.5987>

Introducción

La kiwicha pertenece al género *amaranthus* con cuatro especies cultivadas en América del sur: *hipochondriacus* y *cruentus* (Mesoamérica), *caudatus* y *edulis* (Andes), también existen 12 especies del mismo género en el Perú (Sierra-Exportadora 2013), como también el amaranto es uno de los alimentos desde la época de los incas, es similar en trascendencia como la papa y el maíz (Repo Carrasco, 2014), este pseudo cereal fueron cultivados por la población pre inca y cuando llegaron los españoles donde se llevaron estos granos a Europa y lo usaban como ornamento (Repo Carrasco, 1998), como también los granos silvestres de colores oscuros sufrieron modificaciones, ocasionando por los antiguos agricultores hasta lograr obtener un color blanco que posee mayor sabor y calidad (Repo Carrasco, 2014), así mismo el amaranto es un *pseudo cereal* definido como un alimento nutraceutico, por su contenido de proteínas, lípidos, minerales y aminoácidos esenciales (Ayala, 2004). Actualmente la kiwicha se emplea en la agroindustria para la transformación de diversos alimentos para los consumidores en acuerdo con el Ministerio de Agricultura y riego (MINAGRI, 2012), por tanto la producción de kiwicha se produce en 8 departamentos como: Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, La Libertad y Lambayeque son productores de kiwicha (Albujar, 2018), mientras el departamento de Arequipa obtiene un rendimiento de 3.6 TM/ha (Sifuentes et al., 2016), en estos últimos años el Perú viene exportando un total de 803.58 TM de kiwicha en el año 2016, en consecuencia hubo un incremento de 443 TM comparadas en el año 2015 (TradeMap, 2017), al respecto los mayores productores de kiwicha son Bolivia y Perú (Carrillo Teran et al., 2015), pese a esto el cultivo de amaranto se mantiene en Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina (Monteros J. et al., 1994), de manera que los granos de kiwicha en el proceso de expandidos deben de ser clasificados y acondicionados, para luego ser sometidos a cambios bruscos de temperatura y presión y esto produce el fenómeno de expansión (Mujica et al., 2006), mientras que los expandidos es la combinación de dos procesos, la cocción termo mecánica y la cocción hidrotérmica, en esta última etapa hace que se origine un aumento de presión

dentro de la cámara de expansión, alcanzándose también temperaturas mayores a 100 °C antes de la descarga y valores máximos de 170 °C (Lara, 1999), además en la producción de expandidos ocurren cambios en la estructura micro y macromolecular del almidón en la kiwicha (Egas et al., 2011), en el proceso de expansión por explosión del amaranto a altas temperaturas se convierte en un producto con alto contenido nutricional (Ochoa Saltos, 2012), en cambio el fenómeno de expansión por explosión es la caída de presión en donde involucra la transferencia de masa de vapor sobre la temperatura en un espacio de baja presión, esto origina mediante el aumento progresivo del volumen del grano mediante el escape rápido del vapor de agua y se logra un producto inflado y poroso (Chávez, 1990), mientras que la expansión cumple la función de la vaporización explosiva del agua en el interior del grano resultando un producto poroso y voluminoso con un contenido de humedad baja (Sucari, 2003), en cambio los granos que son sometidos al proceso de expansión por explosión deben ser de buen tamaño y enteros (Callejo Gonzales et al., 2001), además la humedad adecuada en granos debe ser de 9 – 12 % de humedad en cambio los granos demasiado húmedos pueden ser afectados por mohos durante el almacenamiento, mientras que los granos muy secos tienden a romperse durante el proceso, también los granos que poseen amilasa de 5 – 20% presenta mejor textura e insufado (Espinosa Manfugás, 2007), para ello el equipo continuo ha conseguido separar el calentamiento y la expansión como dos funciones independientes, donde la capacidad de expansión alcanza hasta 454 kg/hr–1000 lb/hr.), y para aquellos productos que ingresan con una humedad de 25% (Seminario, 1990). Por tanto en las propiedades físicas del amaranto ayudan a controlar y optimizar procesos agroindustriales (Sharanagat y Goswami, 2014), como también estas propiedades físicas, químicas y organolépticas determinan la estructura, calidad tecnológica, nutricional y aceptabilidad del producto (Alcázar, 2002), también las propiedades funcionales proporciona un beneficio a la salud (Ramírez y Pérez, 2010), mientras que los compuestos fenólicos están presentes en el reino vegetal como las frutas, hortalizas y legumbres (Álvarez et al., 2010), así mismo los compuestos fenólicos contribuye a la pigmentación de

alimentos vegetales como: rojo, violeta, naranja y púrpura en la mayoría de las plantas y sus productos (Martínez- Valverde et al., 2000), en cambio los antioxidantes son moléculas importantes que tienen la propiedad de impedir o prevenir la oxidación con otras moléculas de los alimentos (Pokorny y Gordon, 2005). En estudios realizados la capacidad antioxidante en tres pseudo cereales en crudo (quinua, cañihua y kiwicha) se utilizó el método Folin-Cicalteau, donde obtuvieron mayor capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en quinua (Repo de Carrasco y Encina Zelada, 2008). En su investigación de caracterización física y química en granos de quinua de la variedad Tunkahuan en la etapa de expandido, se utilizó los niveles de humedad de 16% y 17% con una presión de 140 psi, logrando mayor índice de expansión con 17% de humedad y 140 de presión de descarga (Egas Astudillo et al., 2010), también realizaron investigaciones en procesamiento de kiwicha por el método de expansión por explosión donde se determinó valores óptimos de 13% de humedad y 180 lb/plg² los que han sido analizados para el volumen y capacidad de expansión (Castro, 1986), así mismo se evaluaron el efecto que ejerce el proceso de expansión por explosión a presiones de 120, 140 y 160 lb pulg² en quinua de la variedad Illpa, también se evaluó la capacidad antioxidante en cañihua cruda obteniéndose los resultados 2174±33.32 ug Trolox eq. / gr, a (120 lb/plg²) 2537±135.33 ug Trolox eq. / gr, a (140 lb/plg²) 2889±22.84 33 ug Trolox eq. / gr, a (160 lb/plg²) 3211±9.72 ug Trolox eq. / g; Compuestos fenólicos cañihua cruda 87.35±0.88 mg. ácido gálico/100 g, a (120 lb/plg²) 170.1±5.57 mg. Ácido gálico/100 g ms, a (140 lb/plg²) 225.14±14.93 mg. ácido gálico/100 g, a (160 lb/plg²) 293.16±11.25 mg. ácido gálico/100gr, como resultado que el proceso de expansión por explosión incrementó el contenido de polifenoles totales, mientras que en la capacidad antioxidante se va incrementando las presiones de 120, 140 y 160 lb/plg² (Tacora y Ibañez, 2010), en cambio el estudio que se realizó en maíz por el método de expansión por explosión determinándose los valores óptimos que son: Presión 180 lb/plg² y Humedad del 12%, (Espinoza, 1980).

Finalmente, este estudio de investigación busca determinar en el proceso de expansión por explosión el efecto de % de humedad y la presión

de las propiedades físicas y funcionales de dos variedades de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Oscar Blanco y la variedad Inia 414-Taray, planeándonos como objetivos específicos. Determinar el efecto de humedad y presión sobre las propiedades físicas en dos variedades de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Oscar Blanco y la variedad Inia 414-Taray en el proceso de expansión por explosión y determinar el efecto de humedad y presión sobre las propiedades funcionales en dos variedades de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Osacar Blanco y la variedad Inia 414-Taray en el proceso de expansión por explosión.

Métodos

La parte experimental se desarrolló en el Centro de Formación Tecnológica Empresarial y de Servicios ubicado en la Calle San Juan s/n, Distrito de *Tomepampa* Provincia de La Unión, Arequipa con una superficie de 9,600 hectáreas y con una altitud de 2644 m.s.n.m con las coordenadas de ubicación Latitud 15°10'23" Sur, Longitud 72° 49'47" Oeste y la parte de análisis de Compuestos de Fenólicos Totales (CFT) y Actividad Antioxidante se llevó a cabo en el Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría de Control de Calidad de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a una altitud de 3399 m.s.n.m, su clima es frío y seco de mayo a diciembre y lluvioso en los meses de enero hasta abril. La temperatura media en la capital es de 12 °C siendo la máxima de 18 °C y la mínima es de 4°C.

La investigación realizada es de tipo experimental cuantitativa, el estudio duro 60 días, en los primeros días se adquirió la materia prima, luego se procedió a realizar la prueba de expandidos con el expansor de cereales andinos, seguidamente se rotuló las 24 muestras para su análisis de polifenoles totales y 24 muestras para su análisis de capacidad antioxidantes, un total 48 muestras con peso de 100gr cada uno para su respectivo análisis en el laboratorio de espectrometría.

Análisis Físico del Producto Expandido

Se pesó 500g de kiwicha y luego se llevó a una probeta graduada para medir el volumen que ocupa los 500g, luego se determinó el índice de expansión.

Determinación Polifenoles Totales (PT)

Se aplicó el siguiente procedimiento: se comparó con una curva de calibración usando soluciones de patrón de ácido gálico ($C_6H_2(OH)_3COOH$), luego se tomaron 200 μL de extracto de kiwicha, luego se añadió 100 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido 1:10 (grado analítico, Merck), se batió y se puso en reposo por 5 minutos, se adiciono 200 μL de solución de carbonato de sodio de Na_2CO_3 al 20 % y por último se agrega 1500 μL agua destilada; se batió fuertemente, se envolvió y se puso en reposo por un tiempo de 30 minutos a temperatura ambiente; se centrifugo por 15 minutos a 1500 rpm, al mismo tiempo se preparó una solución blanco de etanol al 95 % para llevar el espectrofotómetro a “cero” se colocó la alicota en una cubeta y se midió la absorbancia respectiva con el espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 20) a 765 nm.

Determinación Actividad Antioxidante

La actividad antioxidante se evaluó en términos de reducción del radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) con algunas modificaciones que se siguió el siguiente procedimiento, se tomaron 200 μL de muestra de los extractos de kiwicha expandido a 960 μL de solución metabólica de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y se evaluó la actividad de las muestras para atrapar el radical de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), se agitaron en vórtex y se dejaron en reposo y en ausencia de luz para reaccionar a temperatura ambiente por 30 minutos, transcurrido el tiempo se centrifugo a 1500 rpm/10 min, al final de este proceso se procedió a medir la observancia de la mezcla con el espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 20) a 517 nm, se contrasto con el valor de la curva de referencia Trolox primario, se guardaron las lecturas y para corregir la línea base se utilizó 1 ml de metanol a 1000 μL del extracto. Los resultados se expresan como coeficiente de concentración media de Inhibición al 50 % (CI50 o IC50) En equivalentes Trolox que están presentes en 100 g de muestra (Brand y Berset 1997).

Variables Analizadas

Humedad y presión (H, P); esta variable intervino en el proceso de expandidos con una humedad de 14% y 15%, y con una presión de 140 lb/pulg² y 160 lb/pulg².

Propiedades físicas (PF); variable que interviene en el índice de expansión, capacidad de expansión y densidad aparente.

Índice de expansión (IE); esta variable intervino en el volumen que ocupa los expandidos, para determinar este parámetro se aplicó la siguiente formula:

$$\text{Índice de Expansión} = \frac{\text{Volumen Final}}{\text{Volumen Inicial}}$$

Capacidad de expansión (CE); variable que interviene en función al peso del producto insuflado con relación a la materia prima aplicando la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Peso promedio del producto insuflado}}{\text{Peso de materia prima}} \times 100$$

Densidad aparente (DA); se aplicó esta variable para determinar en gr/cm³, el producto insuflado luego se aplicó la siguiente formula:

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso promedio del producto insuflado}}{\text{Volumen del promedio del producto insuflado}} \times 100$$

Propiedades funcionales (PF); intervienen en el análisis de polifenoles totales y capacidad antioxidante.

Polifenoles Totales (PT); esta variable intervino en el contenido de polifenoles totales de kiwicha expandido mediante el método de Folin – Ciocalteu con algunas modificaciones reportado por (Singleton et al., 1999).

Capacidad Antioxidante (CA); se siguió el siguiente procedimiento, se tomaron 200 micro litros de muestra de los extractos de kiwicha expandido a 960 micro litros de solución metabólica de DPPH y se evaluó la actividad de las muestras para

atrapar el radical DPPH. La actividad antioxidante se evaluó en términos de reducción del radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) con algunas modificaciones descrito por (Brand-Williams et al., 1995).

Prueba Estadística Aplicada

La investigación realizada es de tipo experimental cuantitativa, los datos empleados fueron analizados mediante el Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2x2x2, con 3 repeticiones, para analizar los efectos simples como las interacciones entre las variedades Oscar Blanco y la variedad Inia 414-Taray, para determinar el índice de expansión, capacidad de expansión, densidad aparente,

capacidad antioxidante y polifenoles totales se analizó la diferencia de medias mediante la prueba de ANVA, con nivel de significancia de ($p < 0,05$). Se utilizó todo el software estadístico SAS v 19.

Resultados y Discusiones

Efecto de la humedad y presión sobre el índice de expansión de la kiwicha

Las características descriptivas de índice de expansión evaluadas en el caso de variedad x humedad, variedad x presión, determinando su media, coeficientes de variabilidad y su límite de confianza. (Tabla 1 y 2).

Tabla 1

Análisis de varianza (ANOVA) para el índice de expansión (IE) (Oscar Blanco e Inia 414-Taray)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	FC	F	Sig.
Variedad	1	0.59661067	0.59661067	190.08	<.0001	**
*Humedad	1	1.09397400	1.09397400	348.55	<.0001	**
Variedad*humedad	1	0.30375000	0.30375000	96.78	<.0001	**
Presión	1	0.17819267	0.17819267	56.77	<.0001	**
Variedad*presión	1	0.00792067	0.00792067	2.52	0.1317	ns
Humedad*presión	1	0.06657067	0.06657067	21.21	0.0003	**
Varied*humeda*presión	1	0.00666667	0.00666667	2.12	0.1644	ns
Error	16	0.05021867	0.00313867			
Total Correcto	23	2.30390400				

() altamente significativo 99%, ns: no significativo**

Coef Var	Indexp Media
1.496362	3.744000

Tabla 2

Prueba de comparación de efectos simples LSD (Índice de expansión)

Factor 1	Factor 2	Nivel factor 2	Nivel factor 1	MMC	Significancia
Interacción Variedad x Humedad					
Variedad	Humedad	1	Inía	3,8006667	a
			Oscar	3.2603333	b
Variedad	Humedad	2	Inía	4,0026667	a
			Oscar	3,9123333	b
Interacción Humedad x Presión					
Humedad	Presión	1	Oscar	3,924	a
			Inía	3,3916667	b
Humedad	Presión	2	Oscar	3,991	a
			Inía	3.6693333	b

La varianza (ANOVA) muestran efecto significativo ($p < 0,05$) de las interacciones de segundo orden (Interacciones: Variedad \times Humedad y Humedad \times Presión).

La interacción Variedad \times Humedad y el resultado del análisis de efectos simple (LSD) se muestra en tabla 2. El índice de expansión (IE) fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) en la variedad INIA-414 Taray frente a la variedad Oscar Blanco, con valores de 3,80 vs 3,26 (a 14% de Humedad) y 4,0 vs 3,91 (a 15 % de Humedad), respectivamente.

La interacción Humedad \times Presión y el resultado del análisis de efectos simple en la tabla 2. El Índice de expansión (IE) fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) con el 14% de Humedad frente al 15% de humedad, cuyos valores fueron de 3,92 vs 3,39 (a 140 lb/pulg²) y 3,99 vs 3,66 (a 160 lb/pulg²), respectivamente.

Al trabajar con granos de kiwicha obtuvo un Índice de Expansión (IE) de un incremento de 3.0 veces de su volumen original a una presión de 180 lb/pulg.² (Castro 1986). Por tanto el índice de expansión (IE) varía de acuerdo a la humedad y presión, (IE) 5,21 y 6,04 a humedades de 12 y 16%,

por lo que se deduce que el (IE) aumenta a medida que la humedad se incrementa (Mujica 2006), en granos de maíz, se determinaron valores de (IE) a 9,5 y 13,53, acondicionando a 12% de humedad, estos resultados son mayores a los reportados en el trabajo de investigación realizado, también se podría atribuirse a múltiples factores como: la variedad del grano por el contenido de almidón, etc (Chávez 1990), así mismo evaluaron el efecto de presión a (120 a 140 y 160 lb/pulg.²) en un cañón tipo batch, las características fisicoquímicas y funcionales en granos de cañihua expandidas donde se encontró como resultado que el (IE) se incrementó en un 30% con el incremento de presión a una humedad de 7,5% y los resultados obtenidos concuerdan con lo mencionado (Tacora, M y Ibañez Q 2010).

Efecto de la humedad y presión sobre la capacidad de expansión de la kiwicha

Las características descriptivas de la capacidad de expansión evaluadas en el caso de variedad \times humedad, variedad \times presión, determinando su media, coeficientes de variabilidad y su límite de confianza. (Tabla 3 y 4).

Tabla 3

Análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad de expansión (Oscar Blanco e Inia-414Taray)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	FC	F	Sig.
Variedad	1	259.5810375	259.5810375	5602.97	<.0001	**
Humedad	1	71.4495042	71.4495042	1542.21	<.0001	**
Variedad*humedad	1	0.8702042	0.8702042	18.78	0.0005	**
Presión	1	24.0200042	24.0200042	518.46	<.0001	**
Variedad*presión	1	0.7245375	0.7245375	15.64	0.0011	**
Humedad*presión	1	0.0260042	0.0260042	0.56	0.4646	ns
Variedad*humedad*presión	1	0.0012042	0.0012042	0.03	0.8739	ns
Error	16	0.7412667	0.0463292			
Total Correcto	23	357.4137625				

() altamente significativo 99%, ns: no significativo**

Coef Var	CAP.exp Media
0.280459	76.74625

Tabla 4*Prueba de comparación de efecto simple LSD (Capacidad de expansión)*

<i>Factor 1</i>	<i>Factor 2</i>	<i>Nivel factor 2</i>	<i>Nivel factor 1</i>	<i>MMC</i>	<i>Significancia</i>
Interacción Variedad x Humedad					
Variedad	Humedad	1	Inía	78,5	a
			Oscar	71,5	b
Variedad	Humedad	2	Inía	81,6	a
			Oscar	75,4	b
Interacción Variedad x Presión					
Humedad	Presión	1	Oscar	79,2	a
			Inia	72,2	b
Humedad	Presión	2	Oscar	80,7	a
			Inia	74,6	b

El análisis de varianza (ANOVA) muestran efecto significativo ($p < 0,05$) de las interacciones de segundo orden (Interacciones: Variedad \times Humedad y Variedad \times Presión). La interacción Variedad \times Humedad se muestra y el resultado del análisis de efectos simple en el tabla 4. La capacidad de expansión (%) fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) en la variedad INIA-414 frente a la variedad Oscar Blanco, con valores de 78,5 % vs 71,5 % a (14%de Humedad) y 81,6 % vs 75,4 % (a 15 % de Humedad).

La interacción Variedad \times Presión y el resultado del análisis de efectos simple en la tabla 4. La capacidad de expansión fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) en la variedad INIA-414 frente a la variedad Oscar Blanco, con valores de 79,2 % vs 72,2 % (a presión de 140 lb/pulg²) y 80,7 % vs 74,6 % (a 160 lb/pulg²).

La expansión de grano de kiwicha se obtuvo un 81 a 83 % con 12 % de humedad del grano (Lara 2003), donde es evidente trabajar con valores adecuados como y rangos óptimos de porcentaje de humedad de 14,5 a 15,5 % y de presión de 190 a 215 lb/pulg.² donde obtuvo un rendimiento óptimo en 75 a 80 %, en granos expandidos (Ayala y Pardo 1995). Así también encontró valores de capacidad de expansión en granos expandidos en dos variedades

de Cañihua, Ramis y Cupi (a humedad 14 a 17 % a presión de 210 a 180 lb/pulg²) cuyos valores son 78,2 a 82,22 %; estos valores guardan relación encontrados en el presente estudio (Sucari 2003). También obtuvo valores en expandidos en cereales arroz, maíz, trigo y quinua, en presiones de 100 lb/pulg.², 120 lb/pulg.², 130 lb/pulg.² y 140 lb/pulg.² logrando encontrar un rendimiento promedio de 66.5 % (Paggi 2003). Asimismo reporto valores de rendimiento en expandidos a base de maíz (a 30% H° y presión 160 lb/pulg.²) obtiene un rendimiento de 80% (Oscoco Quispe, 2013). Al respecto la presión y la humedad es importante durante el proceso donde se incrementa la relación área superficial / volumen de fase sólida esto hace que mejore el rendimiento de los cereales expandidos (Quiles et al., 2002). Estos resultados guardan relación con lo que sostienen cada uno de los autores.

Efecto de la humedad y presión sobre la densidad aparente de la kiwicha

Las características descriptivas para la densidad aparente son evaluadas en el caso de variedad \times humedad, variedad \times presión y humedad \times presión, determinando su media, coeficientes de variabilidad y su límite de confianza. (Tabla 5 y 6).

Tabla 5

Análisis de varianza (ANOVA) para la densidad aparente (Oscar Blanco e Inia Taray 414)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	FC	F	Sig.
Variedad	1	0.00000204	0.00000204	4.90	0.0417	ns
Humedad	1	0.00001838	0.00001838	44.10	<.0001	**
Variedad*humedad	1	0.00000938	0.00000938	22.50	0.0002	**
Presión	1	0.00226204	0.00226204	5428.90	<.0001	**
Variedad*presión	1	0.00017604	0.00017604	422.50	<.0001	**
Humedad*presión	1	0.00022204	0.00022204	532.90	<.0001	**
Variedad*humedad*presión	1	0.00000004	0.00000004	0.10	0.7559	ns
Error	16	0.00000667	0.00000042			
Total Correcto	23	0.00269662				

() altamente significativo 99% (ns) no significativo**

Coef Var	Dens apare Media
0.815794	0.079125

Tabla 6

Prueba de comparación de efecto simple LSD (Densidad aparente)

Factor 1	Factor 2	Nivel factor 2	Nivel factor 1	MMC	Significancia
Interacción Variedad x Humedad					
Variedad	Humedad	1	Inía	0,0803333	a
			Oscar	0,0796667	b
Variedad	Humedad	2	Inía	0,0791667	a
			Oscar	0,0773333	b
Interacción Variedad x Presión					
Humedad	Presión	1	Oscar	0,0918333	a
			Inia	0,0858333	b
Humedad	Presión	2	Oscar	0,0718333	a
			Inia	0,067	b
Interacción Humedad x Presión					
Humedad	Presión	1	Oscar	0,091	a
			Inia	0,0866667	b
Humedad	Presión	2	Oscar	0,0733333	a
			Inia	0,0655	b

El análisis de varianza (ANOVA) muestran efecto significativo ($p < 0.05$) de las interacciones de segundo orden (Interacciones: Variedad x Humedad, Variedad x Presión y Humedad x Presión).

El resultado del análisis de efectos simple en la tabla 6. La densidad aparente fue estadísticamente mayor ($p < 0.05$) en la variedad Oscar Blanco frente a la variedad INIA 414-Taray, con valores de 0,080 gr/cm³ vs 0,079 gr/cm³ a (14%de Humedad) y mientras a (15%de Humedad) la variedad INIA 414-Taray, con valores de 0,079 gr/cm³ vs 0,077 gr/cm³ es superior a Oscar Blanco.

La interacción Variedad x Humedad y el resultado del análisis de efectos simple se muestra en la tabla 6. La densidad aparente fue estadísticamente mayor ($p < 0.05$) en la variedad Oscar Blanco frente a la variedad INIA-414, con valores de 0,080 gr/cm³ vs 0,079 gr/cm³ a (14%de Humedad) y mientras a (15%de Humedad) la variedad INIA-414, con valores de 0,079 gr/cm³ vs 0,077 gr/cm³ es superior a Oscar Blanco.

La interacción Variedad x Presión y el resultado del análisis de efectos simple en tabla 6. La densidad aparente fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) en

la variedad INIA-414 frente a la variedad Oscar Blanco, con valores de 0,091 gr/cm³ vs 0,085 gr/cm³ (a presión de 140 lb/pulg²) y mientras (a presión de 160 lb/pulg²) la variedad Oscar Blanco, con valores de 0,071 gr/cm³ vs 0,067 gr/cm³ es superior a INIA-414.

La interacción Humedad × Presión y el resultado del análisis de efectos simple en tabla 6. La densidad aparente fue estadísticamente mayor ($p < 0.05$) con el 14 % de humedad frente al 15% de humedad, cuyos valores fueron de 0,091 gr/cm³ vs 0,086 gr/cm³ a (140 lb/pulg²) y 0,073 gr/cm³ vs 0,065 gr/cm³ a 160 lb/pulg²).

También reporto valores de densidad aparente del maíz amarillo duro sin expandir en promedio 0,66 gr/cm³, luego de expandirlo este valor disminuye de 0,048 a 0,033 gr/cm³ (a 25 % H° y presión 160 a 180 lb/pulg²) y (a 30 % H° y presión 160 a 180 lb/pulg²) la densidad aparente es de 0,048 gr/cm³ a 0,037 gr/cm³ (Osco y Raúl 2013). La diferencia en humedad y presiones empleados a mayor presión

del proceso menor se espera el producto expandido y como cambios estructurales que suceden en el material que gobierna la expansión entre la (amilasa/amilopectina) que están presente en la materia prima (Rocha y Ibarra 2006). En cambio el aumento de presión en el maíz incrementa el grado de expansión a presiones (140 a 160 lb/pulg²) el volumen se triplica la densidad aparente y disminuye para el resto de cereales andinos (Paggi 2003). También confirman que a mayor volumen ocupado por la harina menor será el valor de la densidad aparente. Ello es acorde con lo que en este estudio se obtuvo (Cerezal Mezquita et al., 2011).

Efecto de la humedad y presión sobre los compuestos fenólicos de la kiwicha

Las características descriptivas para los compuestos fenólicos son evaluadas en el caso de variedad x humedad x presión, determinando su media, coeficientes de variabilidad y su límite de confianza. (Tabla 7 y 8).

Tabla 7

Análisis de varianza (ANOVA) para polifenoles totales (Oscar Blanco e Inia Taray 414)

Fuente de variabilidad	GL	SC	CM	FC	F	Sig.
Variedad	1	203.5384834	203.5384834	40.88	<.0001	**
Humedad	1	281.5865706	281.5865706	56.56	<.0001	**
Variedad*humedad	1	0.0804245	0.0804245	0.02	0.9004	ns
Presión	1	239.9304540	239.9304540	48.19	<.0001	**
Variedad*presión	1	7.1198070	7.1198070	1.43	0.2492	ns
Humedad*presión	1	115.5740286	115.5740286	23.21	0.0002	**
Variedad*humedad*presión	1	31.0696958	31.0696958	6.24	0.0238	*
Error	16	79.6631848	4.9789491			
Total Correcto	23	958.5626486				

(**) *altamente significativo al 99% (*)*: *significativo al 95% ns: no significativo*

Coef Var	Polifenoles Media
4.768999	46.78877

Tabla 8
Prueba de comparación de efecto simple LSD (Polifenoles totales)

1.er Factor	2.do Factor	Nivel de 2.do Factor	Nivel de 1.er Factor	Nivel de 2.do Factor	Nivel de 1.er Factor	Media de mínimos cuadrados	Significancia
Variedad	Humedad	1	Presión	1	Inía	44,657238	a
					Oscar	40,134918	b
Variedad	Humedad	1	Presión	2	Inía	47,778246	a
					Oscar	40,883413	b
1.er Factor	2.do Factor	Nivel de 2.do Factor	Nivel de 1.er Factor	Nivel de 2.do Factor	Nivel de 1.er Factor	LSMEAN	Significancia
Variedad	Humedad	2	Presión	1	Inía	49,510338	a
					Oscar	40,205298	b
Variedad	Humedad	2	Presión	2	Inía	56,857953	a
					Oscar	54,282736	b

El análisis de varianza (ANOVA) muestran efecto significativo ($p < 0,05$) de las interacciones de segundo orden (Interacciones: Variedad \times Humedad \times Presión).

La interacción Variedad \times Humedad \times Presión y el resultado del análisis de efectos simple se muestra en la tabla 8. Los compuestos fenólicos fueron estadísticamente mayores ($p < 0,05$) en la variedad INIA-414 frente a la variedad Oscar Blanco, con valores de 44,6 Eq Ac. Gálico mg/100g vs 40,1 Eq Ac. Gálico mg/100g a (14% de Humedad a presión de 140 lb/pulg²) y 47,7 Eq Ac. Gálico mg/100g vs 40,8 Eq Ac. Gálico mg/100g a (14 % de Humedad a presión de 160 lb/pulg²).

La interacción Variedad \times Humedad \times Presión y el resultado del análisis de efectos simple en la tabla 8. Los compuestos fenólicos fue estadística mayor ($p < 0,05$) en la variedad INIA-414 frente a la variedad Oscar Blanco, con valores de 49,5 Eq Ac. Gálico mg/100g vs 40,2 Eq Ac. Gálico mg/100g a fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) en la variedad INIA – 414 frente a la variedad Oscar Blanco, con valores de 49,5 Eq Ac. Gálico mg/100g vs 40,2 Eq Ac. Gálico mg/100g a (15 % de Humedad a presión de 140 lb/pulg²) y 56,8 Eq Ac. Gálico mg/100g vs 54,2 Eq Ac. Gálico mg/100g a (15 % de Humedad a presión de 140 lb/pulg²) y 56,8 Eq Ac. Gálico mg/100g vs 54,2 Eq Ac. Galico mg/100g a (15% de Humedad a presión de 160 lb/pulg²).

Los polifenoles totales de 1,07 a 23,29 % en kiwicha al incrementar humedad y temperatura de tostado influyen positivamente en los polifenoles debido a que se obtienen productos pardos debido a la reacción de Maillard (Vásquez, 2006). También encontraron niveles de polifenoles totales en expandidos de quinua (Rosada de Junín de 27. 248, Huancayo 10.107 y Blanca de Junín 9.119 mg AGE/100 g) a 30% H° y presión de 140 lb/pulg² y se observa diferencias entre variedades (Chagua Lazo y Palomino Villazan, 2014). Así mismo confirma que el contenido de plifenoles totales aumenta a medida que las presiones de expansión se incrementan y también ocurre ante el cambio de variedad (Kaur y Kapoor, 2001). También afirma que el contenido de polifenoles se debe a factores genéticos, ambientales, manejo de *post* cosecha y tipo de procesamiento de cada cultivo (Kalt, 2005). Estos resultados guardan relación con los que sostienen cada uno de los autores citados.

Efecto de la humedad y presión sobre la capacidad antioxidante de la kiwicha

Las características descriptivas para los compuestos fenólicos son evaluadas en el caso de variedad \times humedad \times presión, determinando su media, coeficientes de variabilidad y su límite de confianza. (Tabla 9).

Tabla 9*Prueba de comparación de efecto simple LSD (Capacidad antioxidante)*

1.er Factor	2.do Factor	Nivel de 2.do Factor	Nivel de 1.er Factor	Nivel de 2.do Factor	Nivel de 1.er Factor	Media de mínimos cuadrados	Significancia
Variedad	Humedad	1	Presión	1	Oscar	18,374667	a
					Inia	15,683667	b
Variedad	Humedad	1	Presión	2	Inia	16,851667	a
					Oscar	15,458333	b
Variedad	Humedad	2	Presión	1	Inia	17,268333	a
					Oscar	14,969	b
Variedad	Humedad	2	Presión	2	Oscar	17,945	a
					Inia	13,907333	b

La interacción Variedad × Humedad × Presión y el resultado del análisis de efectos simple se muestran en la tabla 9. La capacidad antioxidante (CA) fue estadísticamente mayor ($p < 0.05$) en la variedad Oscar Blanco frente a la variedad INIA-414, con valores de 18,3 Trolox IC50 mg/g vs 15,6 Trolox IC50 mg/g (a 14 % de Humedad a presión de 140 lb/pulg²) y mientras la variedad INIA-414 con valores de 16,8 Trolox IC50 mg/g vs 15,4 Trolox IC50 mg/g (a 14 % de Humedad a presión de 160 lb/pulg²), es superior a Oscar Blanco.

La interacción Variedad × Humedad × Presión y el resultado del análisis de efectos simple tal como se muestra en la tabla 9. La capacidad antioxidante (CA), fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) en la variedad INIA-414 frente a la variedad Oscar Blanco, con valores de 17,2 Trolox IC50 mg/g vs 14,9 Trolox IC50 mg/g a (15 % de Humedad a presión de 140 lb/pulg²) y mientras la variedad Oscar Blanco con valores de 17,9 Trolox IC50 mg/g vs 13,9 Trolox IC50 mg/g a (15 % de Humedad a presión de 160 lb/pulg²), es superior a INIA-414.

Por otro lado también encontraron valores de capacidad antioxidante en expandidos de quinua (Blanca de Junín $2,92 \pm 0,06$, Huancayo $2,40 \pm 0,11$ y Rosada de Junín $2,18 \pm 0,05 \mu \text{mol TE} / \text{g}$ muestra) a 30% H° y presión de 140 lb/pulg², se observa diferencia en capacidad antioxidante (CA) entre las tres variedades (Chagua L y Palomino 2014), a diferencia también existe una correlación entre el contenido de polifenoles en los pseudo cereales y la actividad antioxidante (Pasko et al., 2009). Se obtuvo valores de capacidad antioxidante en extruidos de 5,415 μg Trolox eq.

g^{-1} ms en la variedad Cupi y 5,450 μg Trolox eq g^{-1} ms en la variedad Illpa INIA 406, donde se utilizó temperaturas altas, en tiempos breves (Luna, 2005). En el estudio realizado ocurre similarmente donde los resultados varían de acuerdo a la variedad humedad y presión de proceso.

Conclusiones

Se concluye que la humedad y presión influyen en el proceso de expansión por explosión donde la variedad INIA-414 muestra valores superiores para el índice de expansión y capacidad de expansión, con respecto a la densidad el factor determinante es la presión no mayor a 140 lb/pulg.² de descarga obteniéndose mayores resultados.

Se concluye que el proceso de expansión por explosión presenta un incremento en el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en las variedades de kiwicha INIA Taray-414 y Oscar Blanco, puesto que son sometidos a humedad y presión adecuada, esto es debido a las reacciones de Maillard que ocurre en el proceso. En tal razón el proceso de expansión incrementa y/o genera mejores características funcionales en el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante existiendo una correlación entre ambos.

Contribución de los autores

Conceptualización, J. Gallegos R. (60%), A.W. Canaza C. (20%), E. Gallegos R. (10%) y V. Gallegos R. (10%); Curación de datos, J. Gallegos R. (50%), A.W. Canaza C. (30%), E. Gallegos R. (25%) y V. Gallegos R. (25%); Análisis formal, J. Gallegos

R. (40%), A.W. Canaza C. (40%), E. Gallegos R. (10%) y V. Gallegos R. (10%); Adquisición de fondos, J. Gallegos R. (100%), A.W. Canaza C. (0%), E. Gallegos R. (0%) y V. Gallegos R. (0%); Investigación, J. Gallegos R. (60%), A.W. Canaza C. (20%), E. Gallegos R. (10%) y V. Gallegos R. (10%); Metodología, J. Gallegos R. (50%), A.W. Canaza C. (20%), E. Gallegos R. (20%) y V. Gallegos R. (10%); Administración del proyecto, J. Gallegos R. (100%), A.W. Canaza C. (0%), E. Gallegos R. (0%) y V. Gallegos R. (0%); Recursos, J. Gallegos R. (70%), A.W. Canaza C. (0%), E. Gallegos R. (20%) y V. Gallegos R. (10%); Software, J. Gallegos R. (50%), A.W. Canaza C. (30%), E. Gallegos R. (10%) y V. Gallegos R. (10%); Supervisión, J. Gallegos R. (50%), A.W. Canaza C. (20%), E. Gallegos R. (20%) y V. Gallegos R. (10%); Validación, J. Gallegos R. (50%), A.W. Canaza C. (20%), E. Gallegos R. (20%) y V. Gallegos R. (10%); Visualización, J. Gallegos R. (50%), A.W. Canaza C. (10%), E. Gallegos R. (20%) y V. Gallegos R. (20%); Redacción—borrador original, J. Gallegos R. (40%), A.W. Canaza C. (10%), E. Gallegos R. (20%) y V. Gallegos R. (20%); Redacción—revisión y edición, J. Gallegos R. (40%), A.W. Canaza C. (10%), E. Gallegos R. (20%) y V. Gallegos R. (20%). Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Referencias

- Albujar, E. (2018). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2017. En *Ministerio de Agricultura y Riego*. Ministerio de agricultura y Riego. https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2017.pdf
- Alcázar, J. (2002). *Diccionario Técnico de industrias alimentarias*. 2da. Ed. Cusco-Perú. ISBN Cloud. <https://isbn.cloud/9789972963902/diccionario-tecnico-de-industrias-alimentarias/>
- Álvarez, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa, buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, 119(2), 770-778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>
- Ayala, G. (2004). Aportes de los Cultivos andinos a la Nutrición Humana. En J. Seminario (Ed.), *Raíces Andinas: Contribuciones al conocimiento y a la capacitación* (pp. 101-112). Centro Internacional de la Papa.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Callejo Gonzales, M. J., Rodriguez Badiola, G., & Gil Gonzales, M. (2001). *Industrias de Cereales y Derivados*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Carrillo Teran, W., Vilcacundo, R., & Carpio, C. (2015). Compuestos Bioactivos Derivados de Amaranto y Quinoa. *Actualización en Nutrición*, 16(1), 18-22. http://www.revistasan.org.ar/pdf_files/trabajos/vol_16/num_1/RSAN_16_1_18.pdf
- Castro, N. R. (1986). *Procesamiento de la cebada por el método de expansión por explosión* [Universidad Nacional la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5>
- Cerezal Mezquita, P., Urtuvia Gatica, V., Ramírez Quintanilla, V., & Arcos Zavala, R. (2011). Desarrollo de productos sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celiacos entre 6 y 24 meses; II: Propiedades de las mezclas. *Nutrición Hospitalaria*, 26(1), 161-169. <https://doi.org/10.3305/nh.2011.26.1.4939>
- Chagua Lazo, G. S., & Palomino Villazan, L. L. (2014). Estudio comparativo de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en quinoa (*Chenopodium quinoa*) expandida de tres variedades provenientes del departamento de Junín [Título Profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. En *Repositorio UNCP* (Vol. 159). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1938>
- Chávez, R. N. (1990). *Planta de procesamiento de maíz, trigo y arroz por el método de expansión por explosión. Proyecto de prefactibilidad*

- [Doctoral]. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Egas Astudillo, L., Poveda, E., Peralta García, E., & Ruilova-Duval, M. (2010). Elaboración de un Cereal para desayunos con base a Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Revista Tecnológica-ESPOL*, 23(2), 9-15.
- Egas, L., Villacrés, E., Peralta García, E. L., & Ruilova-Duval, M. E. (2011). Proceso de expansión y obtención del cereal instantáneo. Potencial agroindustrial de la quinoa. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 23(2). <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/50>
- Espinosa Manfugás, J. (2007). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Editorial Universitaria.
- Espinoza, B. Y. (1980). *Procesamiento del Maíz por el método de expansión por explosión* [Título profesional]. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Kalt, W. (2005). Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*, 70(1), 11-19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09053.x>
- Kaur, C., & Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables – the millennium's healthhealth. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 703-725. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x>
- Lara, N. (1999). *Estudio del efecto de la expansión por aire caliente en las propiedades Físico-Químicas, nutricionales y sensoriales de la semilla de amaranto (Amaranthus caudatus)* [Escuela Politécnica Nacional (EPN)]. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/357>
- Luna, G. (2005). *Efecto del proceso de cocción extrusión en la fracción indigestible, capacidad antioxidante y algunas propiedades funcionales en 3 variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)* [Maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://tumi.lamolina.edu.pe/tesis/Q02.L8e-T.pdf>
- Martínez- Valverde, I., Periago, M. J., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1), 5-18. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000100001
- MINAGRI. (2012). *Plan estratégico sectorial nutricional 2012-2016*. https://inia.gob.pe/wp-content/uploads/Transparencia/Planeamiento_Org/PlanesPoliticas/PESEM/PESEM_Agricultura_2012_2016.pdf
- Monteros J., C., Nieto C., C., Caicedo V., C., Rivera M., M., & Vimos N., C. (1994). INIAP-Alegría, primera variedad mejorada de amaranto para la Sierra Ecuatoriana. *INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cultivos Andinos*. (Boletín Divulgativo no. 246), 246, 24. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/141>
- Mujica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A., Saravia, R., Corredor, G., & Romero, A. (2006). *Quinoa: un cultivo multipropósito para usos agroindustriales en los países andinos* (Proyecto Quinoa: Cultivo Multipropósito para los Pa). <https://www.g77.org/pgtf/finalrpt/INT-01-K01-FinalReport.pdf>
- Ochoa Saltos, C. L. (2012). *Formulación, Elaboración y Control de Calidad de Barras Energéticas a Base de Miel y Avena para la Empresa APICARE* [Título profesional, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2577>
- Oscoco Quispe, K. R. (2013). *Efecto de la variación de humedad, presión y cantidad de carga en la obtención del maíz amarillo duro (Zea mays L.) expandido* [Título profesional, Universidad Nacional José María Arguedas]. <https://repositorio.unajma.edu.pe/handle/20.500.14168/204>
- Pasko, P., Bartón, H., & Zagrodzki, P. (2009). Antocianinas, polifenoles totales y actividad antioxidante en semillas y germinados de amaranto y quinoa durante su crecimiento. *Química de los Alimentos*, 115(3), 994-998. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>

- Pokorny, J. N., & Gordon, M. (2005). *Antioxidantes de los Alimentos. Aplicación y prácticas*. Zaragoza, Ed. Acriba, S.A.
- Quiles, J. L., Battio, M., Matrix, J., & Ramirez, M. C. (2002). Antioxidant nutrients and adriamycin toxicity. *Toxicology*, 79–95. [https://doi.org/10.1016/s0300-483x\(02\)00383-9](https://doi.org/10.1016/s0300-483x(02)00383-9)
- Ramírez, R., & Pérez, J. (2010). *Alimentos funcionales: Principios y nuevos productos*. Editorial Trillas.
- Repo Carrasco, R. (1998). *Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y granos andinos*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Repo Carrasco, R. (2014). *Valor nutricional y compuestos bioactivos en los cultivos andinos. Re-descubriendo los tesoros olvidados* (1.a ed.). Fondo Editorial, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 85-99.
- Seminario, S. (1990). *Elaboración de griz de manzana, mediante el proceso de expansión por explosión* [Título profesional]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sharanagat, V. S., & Goswami, T. K. (2014). Effect of moisture content on physiomechanical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum*). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(3), 166-172.
- Sifuentes, E., Albuja, E., Contreras, S., León, C., Moreyra, J. C., & Santa María, J. (2016). *Anuario Estadístico de la Producción agrícola y Ganadera 2016*. https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2016.pdf
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. En *Oxidants and Antioxidants Part A* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sucari, M. L. (2003). *Determinación de la humedad y presión de proceso de expansión por explosión para dos variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Tacora, R. L., & Ibañez, V. (2010). Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Journal de Ciencia y Tecnología Agraria*, 2(1), 2-188.
- TradeMap. (2017). *Lista de los mercados importadores para un producto exportado por Perú. Producto: 1008902000 kiwicha (Amaranthus caudatus)*.
- Vásquez, F. M. (2006). *Digestibilidad in vitro de proteínas y compuestos bioactivos en accesorios de kiwicha (Amaranthus caudatus L, 1753) tostada*.

