

CARACTERIZACIÓN MOLECULAR DE PROTEÍNAS DE CUATRO CULTIVARES COMERCIALES DE *Chenopodium quinoa* Willd., Ayacucho

Roberta Brita Anaya González^{*a}, Raúl Antonio Mamani Aycachi^a, Tomás Yuret Miranda Tomasevich^b, Reynán Cóndor Alarcón^c, Orlando Edwin Cundia Alarcón^a, Marco Antonio Borda Lizarbe^a

RESUMEN

Las fracciones proteicas de cuatro cultivares comerciales de *Chenopodium quinoa* procedentes de los distritos de Acocro, Chiara y Acos Vinchos se caracterizaron mediante electroforesis SDS-PAGE (dodecil sulfato sódico-poliacrilamida) y se cuantificaron por el método de Bradford. El perfil electroforético mostró de 3 a 11 bandas con un peso molecular entre 5 y 123 kDa para las albúminas; de 1 a 10 bandas y un peso molecular entre 9 y 105 kDa para las globulinas 7S; de 2 a 9 bandas y un peso entre 11 y 75 kDa para las globulinas 11S; de 1 a 3 bandas y pesos entre 11 y 16 kDa para las prolaminas y de 1 a 7 bandas y pesos entre 13 y 61 kDa para las glutelinas. El contenido en proteínas reveló una mayor presencia de globulinas 7S con 25,15 mg/mL (cultivar Rojo de Acocro); las globulinas 11S alcanzaron valores de 19,46 mg/mL (cultivar Rojo de Acos Vinchos). Las albúminas oscilaron entre 6,56 y 19,3 mg/mL (más altas en el cultivar Negro de Chiara), las prolaminas entre 2,21 y 7,57 mg/mL y las glutelinas entre 7,86 y 16,5 mg/mL. Por lo tanto, existe variabilidad en las características moleculares de las fracciones proteicas de los 4 cultivares procedentes de los distritos de Acocro, Acos Vinchos y Chiara, ya que cada cultivar muestra un perfil electroforético único de bandas proteicas.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa*, cultivares, fraccionamiento, electroforesis, proteínas de reserva.

MOLECULAR CHARACTERISATION OF PROTEINS FROM FOUR COMMERCIAL CULTIVARS OF *Chenopodium quinoa* Willd., Ayacucho

ABSTRACT

The protein fractions from four commercial cultivars of *Chenopodium quinoa*, sourced from the districts of Acocro, Chiara, and Acos Vinchos, were characterized using SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis) and quantified via the Bradford method. Electrophoretic profiles revealed 3–11 bands with molecular weights ranging from 5 to 123 kDa for albumins; 1–10 bands from 9 to 105 kDa for 7S globulins; 2–9 bands from 11 to 75 kDa for 11S globulins; 1–3 bands from 11 to 16 kDa for prolamins; and 1–7 bands from 13 to 61 kDa for glutelins. Protein quantification

^a *Laboratorio de Bioquímica – Facultad de Ciencias Biológicas- Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Av. Independencia s/n, Ayacucho, Perú, *roberta.anaya@unsch.edu.pe

^b Centro de Investigación en Biología Molecular y Bioinformática - UNSCH

^c Laboratorio de Genética – UNSCH

showed the highest concentration of 7S globulins at 25.15 mg/mL (in the Red from Acocro cultivar), while 11S globulins reached 19.46 mg/mL (in the Acos Vinchos Red cultivar). Albumins varied from 6.56 to 19.3 mg/mL (highest in the Black cultivar from Chiara), prolamins from 2.21 to 7.57 mg/mL, and glutelins from 7.86 to 16.5 mg/mL. Overall, these cultivars exhibited variability in molecular characteristics, with each displaying a distinct electrophoretic profile of protein bands.

Key words: *Chenopodium quinoa*, cultivars, fractionation, electrophoresis, reserve proteins.

INTRODUCCIÓN

La quinua constituye un pseudocereal procedente de los Andes centrales y la región sur del país alrededor del lago Titicaca cuyo cultivo data desde tiempos ancestrales; este pseudograno tiene alto valor nutritivo por el balance perfecto de aminoácidos esenciales, contenido de grasas y proteínas.¹ Se considera como un alimento funcional promisorio y su baja cantidad de gluten, la hace más digerible para todo tipo de consumidor. La FAO, como entidad mundial, ha declarado el año 2013 “Año Internacional de la quinua” y afirma que representa una riqueza vegetal promisoria de la humanidad, en base a sus inmensas propiedades benéficas y diversos usos, y por considerarla como una alternativa para solucionar los graves problemas de malnutrición humana.²

Es sabido que la quinua posee alto porcentaje de proteínas ligada a la presencia de aminoácidos esenciales, lo que la cataloga como un alimento de calidad. Caracterizada por su alto contenido de lisina, aminoácido que no es muy abundante en el reino vegetal; además, contiene otros aminoácidos esenciales, particularmente arginina e histidina, que son muy apropiados para la alimentación infantil. También contiene leucina, isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina.³

El método de extracción según Osborne⁴, se fundamenta en la relación estructura-solubilidad de las proteínas. Las proteínas difieren en su solubilidad debido a sus características estructurales. Las glutelinas son insolubles en agua, en soluciones salinas y en alcohol, y bastante solubles en sosa y potasa.¹¹ Es importante notar que la mayoría de nitrógeno proveniente de proteínas es soluble en alcohol y en disoluciones alcalinas. Las globulinas, albúminas y proteasas son solubles en disoluciones alcalinas diluidas.

En la extracción de proteínas, la exposición de la harina al n-hexano por 24 h incrementó la solubilidad de las proteínas en aproximadamente 10 %. Se menciona la importancia de la deslipidización de la harina total para estudios cualitativos de fracciones proteicas.⁵ La separación de proteínas de *Chenopodium quinoa* Willd., cultivares blanca, amarilla, negra y roja, fue por electroforesis SDS - PAGE (sodium dodecyl sulphate – polyacrylamide gel electrophoresis).^{4,5} Este método de separación proteica, tiene alto poder de resolución y sensibilidad.⁶

Existe referencia limitada sobre las proteínas fraccionadas que contiene la quinua en Ayacucho, en tal sentido se promueve al estudio de las proteínas vegetales para enriquecer una base de datos en nuestra región. Además, la población está en una etapa de crecimiento exponencial con una simultánea reducción de recursos a través de la salinización y desertificación de suelos de cultivo, resultado de las actividades antropogénicas y el cambio climático.⁷ Ante la necesidad de conocer los niveles de proteínas en las diversas variedades de quinua adaptadas en la zona de influencia del gas de Camisea, se realizó el trabajo sobre extracción y caracterización molecular de proteínas

de cuatro cultivares comerciales de quinua *Chenopodium quinoa* Willd., colectadas en los distritos de Acocro, Acos Vinchos y Chiara, con el objetivo de evaluar el perfil electroforético y cuantificar las fracciones proteicas de estas especies promisorias de interés agronómico y nutricional.

PARTE EXPERIMENTAL

Lugar de ejecución

Las muestras de quinua fueron trasladadas al Laboratorio de Bioquímica, ubicado en el Pabellón de Laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, para realizar los análisis correspondientes.

Muestra

Los campos de cultivo de quinua muestreados, están ubicados en la jurisdicción de los distritos comprometidos con el trayecto del gas de Camisea (Acocro, Chiara, Acos Vinchos) de la provincia de Huamanga, región Ayacucho - Perú. Se colectaron semillas (1 kg) de cuatro cultivares de quinua Blanca, Roja, Negra y Amarilla en los tres distritos (obteniéndose un total de 12 muestras), de los cuales se obtuvieron fracciones proteicas para su caracterización molecular y cuantificación.

Métodos

Procesamiento de muestras

Los granos de quinua recolectados se limpiaron manualmente y se tamizaron para eliminar impurezas. Los granos seleccionados se almacenaron en envases herméticos codificados. Posteriormente, se pesaron 100 g de granos limpios, se secaron en estufa (modelo Labor Muszeripari Muvek) a 40 °C durante 24 h. Los granos secos se molieron en un pulverizador de granos (marca Oster) hasta obtener una harina fina.

Deslipidación

Una muestra de 0,2 g de quinua pulverizada se suspendió en 2,0 mL de n-hexano (relación 1:10 p/v). Se agitó a 150 rpm en agitador orbital a 4 °C durante 24 h. Cada 4 h, se vortexeó durante 1 min. Se centrifugó a 17 000 g por 15 min a 4 °C. Se descartó el sobrenadante (fase lipídica). El pellet se secó al aire en campana de extracción durante 30 min y se usó para las extracciones.

Extracción de las fracciones proteicas según Osborne⁴

Extracción de albúminas: El pellet deslipidizado se resuspendió en 2,0 mL de tampón: CaCl₂ 10 mM, MgCl₂ 10 mM, pH 8,0. Se vortexeó durante 10 min a 4 °C. Se agitó a 130 rpm por 1 h a 4 °C. Se centrifugó a 17 000 g por 30 min a 4 °C. El sobrenadante fue la fracción de albúminas, el cual se transfirió a tubo Eppendorf y se almacenó a -20 °C. El pellet se reservó.

Extracción de globulinas 7S: El pellet se resuspendió en 2,0 mL de: NaCl 0,1 M, K₂HPO₄ 10 mM, pH 7,5. Se repitieron los pasos anteriores de la extracción de albúminas. El sobrenadante fue la fracción 7S.

Extracción de globulinas 11S: El pellet se resuspendió en 2,0 mL de: NaCl 1,0 M, K₂HPO₄ 10 mM, EDTA 1 mM, pH 7,5. Se repitieron los pasos anteriores. El sobrenadante fue la fracción 11S.

Extracción de prolaminas: el pellet se resuspendió en 1,0 mL de 2-propanol 70% (v/v) (relación 1:5 p/v). Se repitieron los pasos anteriores. El sobrenadante fue la fracción de prolaminas.

Extracción de glutelinas: el pellet final se resuspendió en 1,0 mL de: Urea 7 M, tiourea 2 M, Triton X-100 1% (v/v), 2-mercptoetanol 1% (v/v). Se repitieron los pasos anteriores. El sobrenadante fue la fracción de glutelinas.

Obtención de pellet

Para concentrar las fracciones proteicas al final del proceso de extracción, se tomaron 0,5 mL de cada sobrenadante y se transfirieron a tubos Eppendorf. Se añadieron 1,5 mL de acetona fría, se agitó manualmente durante 1 min y se centrifugó a 17 000 g durante 15 min a 4 °C. Se descartó cuidadosamente el sobrenadante y el pellet proteico se almacenó a 4 °C. Finalmente, cada pellet se resuspendió en 1 000 µL de agua bidestilada autoclavada y se almacenó a -20 °C hasta su análisis.

Preparación de la muestra biológica para la electroforesis

Se mezcló la proteína con el buffer de carga 4X en proporción 3:1 en microtubos y se sometió a ebullición por 5 min.

Finalizado el procedimiento, se retiraron los tubos y fueron centrifugados por 10 seg a 12000 rpm. Se mantuvieron dentro de un recipiente con hielo hasta el proceso de electroforesis.

Perfil electroforético

Las proteínas se separaron por electroforesis en gel de poliacrilamida al 10 % con dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE)^{8,9}, utilizando un sistema de electroforesis vertical (modelo Enduro E2010-P2). La corrida se realizó a 100 V constantes durante 1 hora.

Posteriormente, el gel se tiñó con Coomassie Brilliant Blue R-250 (0,1 % en solución de ácido acético al 10 % y metanol al 40 %) durante 1 hora con agitación suave, seguido de destinción en la misma solución sin colorante hasta obtener fondo claro (Figura 1)¹⁰.

Los pesos moleculares de las bandas proteicas se estimaron por interpolación en una curva semilogarítmica, utilizando el marcador de referencia Promega Broad Range Protein Molecular Weight Marker (10 a 225 kDa).

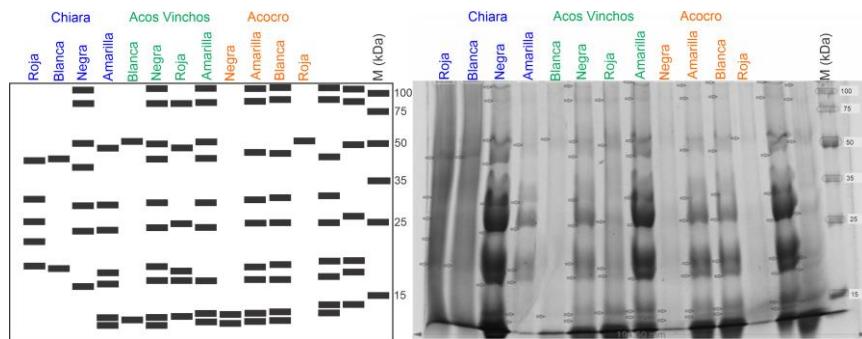


Figura 1. Patrón electroforético de la fracción de globulinas 7s de cuatro cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) muestreados en los distritos de Chiara, Acos Vinchos y Acocro. M: Marcador de peso molecular (kDa).

Cuantificación de proteínas por el método de Bradford

La cuantificación de proteínas se realizó mediante el método de Bradford utilizando el colorante Coomassie Brilliant Blue G-250¹⁰. La absorbancia se midió a 595 nm en un espectrofotómetro UV-visible (modelo Único 1200). Previamente, se construyó una curva de calibración con concentraciones conocidas de seroalbúmina bovina (BSA) como proteína patrón, obteniéndose un coeficiente de correlación lineal de $R^2 = 0,9904$. Para cada muestra, se mezclaron 10 μ L de extracto proteico con 790 μ L de agua bidestilada y 200 μ L del reactivo de Bradford (preparado según protocolo estándar). Tras 5 minutos de incubación a temperatura ambiente, se midió la absorbancia y se determinó la concentración de proteínas por interpolación en la curva de calibración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las fracciones proteicas mediante electroforesis

En la tabla 1 se muestran las estimaciones de los pesos moleculares de albúminas de cuatro cultivares de *Chenopodium quinoa*. En los cultivares Negro de Acocro y Blanco de Acos Vinchos se observaron 12 bandas de proteínas de 5 a 121 kDa y 5 a 115 kDa respectivamente. Seguido por el cultivar Negro de Chiara con 10 bandas con rango de 5 a 117 kDa. El cultivar con menos bandas fue Amarillo de Chiara con 3 bandas de 9 a 19 kDa. La banda con mayor peso molecular se registró en el cultivar Rojo de Acos Vinchos con 123 kDa. No se logró obtener el perfil de proteínas del cultivar Blanca de Chiara, por degradación de proteínas en la muestra. El análisis electroforético de las fracciones de albúmina provenientes de semillas de quinua de la variedad Amarilla, Blanca, Negra y Roja, colectadas en tres regiones geográficas distintas, reveló perfiles proteicos cualitativa y cuantitativamente diferentes. La variabilidad observada, manifestada en el número de bandas y sus pesos moleculares estimados, contradice la hipótesis nula de un perfil homogéneo y sugiere la influencia de factores como la variación dentro de las variedades y entre variedades. Además, la albúminas y globulinas son las principales proteínas de almacenamiento en la quinua.¹³

Tabla 1. Pesos moleculares de albúminas en cuatro cultivares comerciales de *Chenopodium quinoa* Willd.

| Cultivares | Distritos | Nº de bandas | Pesos moleculares estimados (kDa) | Rango (kDa) |
|------------|------------------|--------------|---|-------------|
| Amarillo | Acocro | 6 | 108, 37, 19, 10, 9, 6 | 6-108 |
| | Acos Vinchos | 7 | 27, 19, 10, 9, 6, 7, 5 | 5-27 |
| | Chiara | 3 | 19, 10, 9 | 9-19 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 5.33±2.08 | | |
| Blanco | Acocro | 8 | 120, 105, 36, 28, 19, 10, 9, 6 | 6-120 |
| | Acos Vinchos | 11 | 115, 106, 97, 58, 29, 25, 18, 10, 9, 6, 5 | 5-115 |
| | Chiara | - | - | - |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 9.5±2.12 | | |
| Negro | Acocro | 11 | 121, 105, 95, 59, 51, 19, 11, 10, 9, 6, 5 | 5-121 |
| | Acos Vinchos | 9 | 114, 55, 49, 18, 14, 10, 9, 6, 5 | 5-114 |
| | Chiara | 10 | 117, 109, 102, 60, 48, 26, 18, 9, 6, 5 | 5-117 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 10±1 | | |
| Rojo | Acocro | 6 | 26, 18, 10, 8, 6, 5 | 5-26 |
| | Acos Vinchos | 6 | 123, 20, 11, 9, 6, 5 | 5-123 |
| | Chiara | 8 | 121, 101, 57, 49, 20, 12, 10, 7 | 7-121 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 6.67±1.15 | | |

Leyenda: \bar{X} : Promedio, DE: Desviación estándar, Rango: Rango de pesos moleculares estimados.

En la tabla 2 se presenta los pesos moleculares de globulinas 7S de cuatro cultivares de *Chenopodium quinoa*. En el cultivar Negro de Acos Vinchos se observó 10 bandas de proteínas de 9 a 100 kDa. Seguido por los cultivares Amarillo y Blanco de Acocro y Amarillo de Acos Vinchos con 9 bandas con rangos de 9 a 103 kDa, 9 a 105 kDa y 9 a 104 kDa respectivamente. La banda con mayor peso molecular se registró en el cultivar Blanco de Acocro con 105 kDa. Y la banda con el menor peso molecular fue de 9 kDa que se observó en el 67% de las muestras.

Mu et al.¹², obtuvieron el perfil electroforético en gel de SDS-PAGE, la quinua analizada con contenido proteico total de $14,15 \pm 0,28 \%$; en su mayoría albúminas (66 kDa) y globulinas (55 kDa).

Tabla 2. Estimación de pesos moleculares de globulinas 7S en cuatro cultivares comerciales de *Chenopodium quinoa* Willd.

| Cultivares | Distritos | Nº bandas | Pesos moleculares estimados (kDa) | Rango (kDa) |
|------------|------------------|-----------|--|-------------|
| Amarillo | Acocro | 9 | 103, 91, 59, 52, 25, 16, 14, 10, 9 | 9-103 |
| | Acos Vinchos | 9 | 104, 89, 58, 50, 31, 24, 14, 10, 9 | 9-104 |
| | Chiara | 7 | 56, 30, 23, 15, 13, 9, 9 | 9-56 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 8.33±1.15 | | |
| Blanco | Acocro | 9 | 105, 92, 52, 33, 25, 17, 14, 10, 9 | 9-105 |
| | Acos Vinchos | 2 | 57, 9 | 9-57 |
| | Chiara | 2 | 49, 15 | 15-49 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 4.33±4.04 | | |
| Negro | Acocro | 2 | 10, 9 | 9-10 |
| | Acos Vinchos | 10 | 100, 88, 57, 49, 31, 24, 16, 14, 13, 9 | 9-100 |
| | Chiara | 7 | 100, 87, 56, 46, 29, 23, 13 | 13-100 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 6.33±4.04 | | |
| Rojo | Acocro | 1 | 58 | 58 |
| | Acos Vinchos | 6 | 88, 53, 25, 15, 13, 9 | 9-88 |
| | Chiara | 5 | 48, 25, 20, 34, 26 | 20-48 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 4±2.65 | | |

Leyenda: \bar{X} : Promedio, DE: Desviación estándar, Rango: Rango de pesos moleculares estimados.

En la tabla 3 se muestra el peso molecular de globulinas 11S de cuatro cultivares de *Chenopodium quinoa*. En el cultivar Amarillo de Chiara se observó 9 bandas de proteínas con pesos de 11 a 75 kDa. Seguido por el cultivar Rojo de Acocro con 7 bandas de 12 a 68 kDa. El cultivar con menos bandas fue Negro de Acocro con 2 bandas y pesos entre 15 a 66 kDa. La banda con mayor peso molecular se registró en los cultivares Amarillo de Chiara y Negro de Acos Vinchos con 75 kDa. Y con menor peso molecular fue el cultivar Amarillo de Chiara con 11 kDa. De las 12 muestras se logró visualizar el perfil de proteínas de 5 cultivares (ver tabla 3), en el resto de los cultivares no se evidenció bandas en los carriles de electroforesis.

La movilidad a través del gel puede verse afectada por el estado de la proteína como, por ejemplo, fosforilación y presencia de moléculas multiméricas; la migración de las bandas de globulina 7S y 11S dependen principalmente de la fuerza iónica de sus agentes extractores. En el caso de las globulinas se caracterizan por ser del tipo 11S constituidas por una masa molecular de 300-350 kDa conformadas por seis pares de polipéptidos ácidos y básicos estabilizados por una unión disulfuro.¹³

Tabla 3. Estimación de pesos moleculares de globulinas 11S en cuatro cultivares de *Chenopodium quinoa* Willd.

| Cultivares | Distritos | Nº bandas | Pesos moleculares estimados (kDa) | Rango (kDa) |
|------------|------------------|-----------|------------------------------------|-------------|
| Amarillo | Acocro | - | - | - |
| | Acos Vinchos | - | - | - |
| | Chiara | 9 | 75, 64, 56, 42, 33, 25, 16, 13, 11 | 11-75 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 9±0 | | |
| Blanco | Acocro | 0 | - | - |
| | Acos Vinchos | 0 | - | - |
| | Chiara | 0 | - | - |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 0±0 | | |
| Negro | Acocro | 2 | 66, 15 | 15-66 |
| | Acos Vinchos | 4 | 75, 66, 29, 24 | 24-75 |
| | Chiara | - | - | - |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 3±1.41 | | |
| Rojo | Acocro | 7 | 68, 62, 57, 34, 24, 19, 12 | 12-68 |
| | Acos Vinchos | - | - | - |
| | Chiara | 4 | 73, 65, 56, 24 | 24-73 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 5.5±2.12 | | |

Leyenda: \bar{X} : Promedio, DE: Desviación estándar, Rango: Rango de pesos moleculares estimados.

En la tabla 4 se muestra el peso molecular de prolaminas de cuatro cultivares de *Chenopodium quinoa* Willd. En los cultivares Amarillo de Chiara, Blanco y Rojo de Acos Vinchos se observó 3 bandas de proteínas con pesos de 11 a 16 kDa, 12 a 15 kDa y 12 a 15 kDa respectivamente. Los cultivares que mostraron una banda fueron Amarillo de Acocro (13 kDa), Blanco de Chiara (12 kDa), Negro de Acocro (13 kDa), Negro de Acos Vinchos (14 kDa) y Rojo de Acocro (13 kDa). La banda con mayor peso se registró en el cultivar Amarillo de Chiara con 16 kDa. Y con el menor peso se observó en los cultivares Amarillo de Acos Vinchos y Chiara con 11 kDa. En el cultivar Blanco de Acocro no se registró evidencia de bandas en el carril de electroforesis.

Tabla 4. Estimación de pesos moleculares de prolaminas en cuatro cultivares comerciales de *Chenopodium quinoa* Willd.

| Cultivares | Distritos | Número de bandas | Pesos moleculares estimados (kDa) | Rango (kDa) |
|------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------|
| Amarillo | Acocro | 1 | 13 | 13 |
| | Acos Vinchos | 2 | 13, 11 | 11-13 |
| | Chiara | 3 | 16, 13, 11 | 11-16 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 2±1 | | |
| Blanco | Acocro | - | - | - |
| | Acos Vinchos | 3 | 15, 13, 12 | 12-15 |
| | Chiara | 1 | 12 | 12 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 2±1.41 | | |
| Negro | Acocro | 1 | 13 | 13 |
| | Acos Vinchos | 1 | 14 | 14 |
| | Chiara | 2 | 13, 12 | 12-13 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 1.33±0.58 | | |
| Rojo | Acocro | 1 | 13 | 13 |
| | Acos Vinchos | 3 | 15, 13, 12 | 12-15 |
| | Chiara | 2 | 13, 12 | 12-13 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 2±1 | | |

Leyenda: \bar{X} : Promedio, DE: Desviación estándar, Rango: Rango de pesos moleculares estimados.

En la tabla 5 se presentan los pesos moleculares de glutelinas de cuatro cultivares de *Chenopodium quinoa* Willd. En el cultivar Blanco de Acocro se observó 7 bandas de proteínas con peso molecular de 13 a 54 kDa. Seguido por el cultivar Amarillo de Chiara con 5 bandas de proteínas de 14 a 31 kDa. El cultivar que mostró una banda fue el Amarillo de Acocro (26 kDa). La banda de proteína con mayor peso molecular se registró en el cultivar Amarillo de Acos Vinchos con 61 kDa. Y la banda con el menor peso se observó en el cultivar Blanco de Acocro con 13 kDa. Se logró evidenciar bandas de proteínas en 5 cultivares (ver tabla 5), en el resto de los cultivares no se logró registrar bandas de la fracción de glutelinas.

Tabla 5. Estimación de pesos moleculares de glutelinas en cuatro cultivares comerciales de *Chenopodium quinoa* Willd.

| Cultivares | Distritos | Número de bandas | Pesos moleculares estimados (kDa) | Rango (kDa) |
|------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------|
| Amarillo | Acocro | 1 | 26 | 26 |
| | Acos Vinchos | 4 | 61, 57, 30, 25 | 25-61 |
| | Chiara | 5 | 31, 25, 18, 15, 14 | 14-31 |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 3.33±2.08 | | |
| Blanco | Acocro | 7 | 54, 49, 24, 18, 15, 14, 13 | 13-54 |
| | Acos Vinchos | 3 | 58, 28, 25 | 25-58 |
| | Chiara | - | - | - |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 5±2.83 | | |
| Negro | Acocro | 0 | - | - |
| | Acos Vinchos | 0 | - | - |
| | Chiara | 0 | - | - |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 0±0 | | |
| Rojo | Acocro | 0 | - | - |
| | Acos Vinchos | 0 | - | - |
| | Chiara | 0 | - | - |
| | $\bar{X} \pm DE$ | 0±0 | | |

Leyenda: \bar{X} : Promedio, DE: Desviación estándar, Rango: Rango de pesos moleculares estimados.

Concentración de fracciones proteicas

Del análisis de la figura 2, se desprende que el contenido de proteínas en cada fracción extraída de los cuatro cultivares de *Chenopodium quinoa* procedentes de los distritos de Acocro, Acos Vinchos y Chiara, corresponde a las albúminas con rangos de 6,56 a 19,3 (mayor el cultivar negro de Chiara); las que predominaron fueron las globulinas 7S con un valor de 25,15 mg/mL del cultivar Rojo de Acocro; en tanto que las globulinas 11S alcanzaron valores de 19,46 mg/dL del cultivar Rojo de Acos Vinchos; las de menor porcentaje fueron las prolaminas con valores de 2,21 a 7,57 mg/mL; respecto a las glutelinas osciló entre 7,86 mg/dL a 16,5 mg/mL. Lo que significa que existe variabilidad en los cultivares y su procedencia⁶.

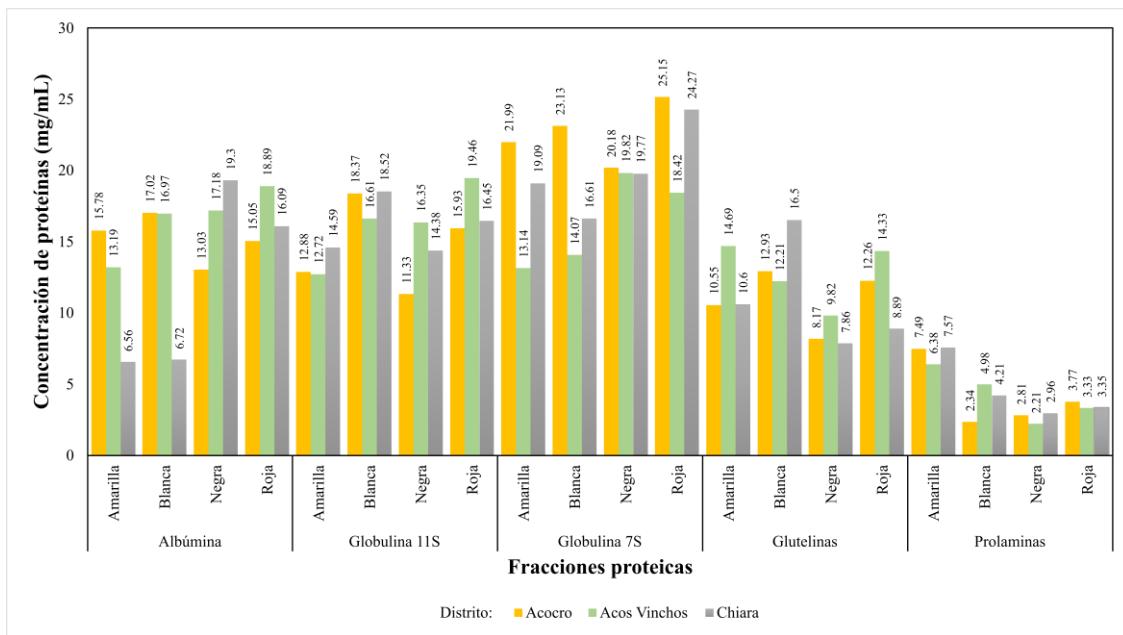


Figura 2. Concentración de proteínas (mg/mL) de 5 fracciones proteicas en cuatro cultivares de *Chenopodium quinoa* Willd de tres distritos.

Con el método de Osborne⁴, se obtuvo un alto rendimiento para las albúminas (41-50 %), globulinas (7-11 %), prolaminas (4-6 %) y glutelinas (14-16 %) de cuatro cultivares de quinua. Respecto al porcentaje de prolaminas y glutelinas, existe cierta discrepancia con autores que refieren que estas fracciones están ausentes¹⁵; dado que, de acuerdo a los resultados del trabajo, si se reporta su presencia, aunque en mínima proporción. Además, Mu et al.¹² reporta 35 %, 37 %, 9 % y 15 % de albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas respectivamente en la semilla de quinua, contradiciendo a Burrieza et al.¹⁵, quien tomó como muestra de evaluación una sola variedad de 4 países (Ecuador, Perú, Bolivia y Chile), siendo una muestra no representativa. Sólo en el Perú existe más de 3 mil ecotipos, 20 variedades comerciales reconocidos por el MINAGRI y la FAO² lo que afianza el presente trabajo de investigación y sus respectivos reportes.

CONCLUSIONES

Las fracciones proteicas de cuatro cultivares comerciales de *Chenopodium quinoa* de tres zonas en estudio muestran variabilidad en el peso molecular predominando las albúminas, globulinas 7S y 11S, poca presencia de prolaminas y glutelinas. El contenido de proteínas reveló mayor presencia de globulinas 7S con 25,15 mg/mL del cultivar Rojo de Acocro; las globulinas 11S con 19,46 mg/dL del cultivar Rojo de Acos Vinchos; las albúminas con rangos de 6,56 a 19,3 mg/dL (mayor en el cultivar Negro de Chiara); las fracciones de menor porcentaje fueron las prolaminas con 2,21 a 7,57 mg/mL; las glutelinas con 7,86 mg/dL a 16,5 mg/mL. Existe variabilidad de las características moleculares de las fracciones de proteínas de los 12 cultivares evaluados, cada uno tiene su propio perfil electroforético, por influencia del tipo de cultivar, zona de muestreo, tipo de suelo, entre otros factores.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), quienes hicieron posible el financiamiento de esta investigación a través del IV Concurso de Proyectos CTI financiados con recursos de FOCAM, aprobado con RCU Nº173-2017-UNSC-CU. Además, se agradece de manera especial a la Dra. Inés Arnao Salas de la UNMSM, por las capacitaciones brindadas, así mismo a la Ing. Ana María Altamirano Pérez del INIA-Ayacucho, que apoyó en la toma de muestras de las diversas localidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amit S., Irfan AM., Gaurav S., Nalini T., & Sarmad M. A review on medicinal and pharmaceutical importance of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Research journal of pharmacy and technology*. **2021**; 14(3), 1779–1784. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2021.00316.4>
2. FAO. *Dietary protein quality evaluation in human Nutrition*. Report of an FAO Expert Consultation. Roma. 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/quinua-2013/es/>. <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/>
3. Pathan S., Ndunguru G., & Ayele A. G. Comparison of the Nutritional Composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Inflorescences, Green Leaves, and Grains. *Crops*. **2024**; 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/crops4010006>
4. Osborne TB. The Vegetable Proteins. *Nature*. 1924; 114(2875), 822–822. <https://doi.org/10.1038/114822c0>
5. Barba de la Rosa A., Gueguen J., Paredes O., Viroben G. Fractionation procedures, electrophoretic characterization and amino acid composition of amaranth seed protein. *J Agric Food Chem*. **1992**; 40: 931-936. <https://doi.org/10.1021/jf00018a0026>.
6. Kumari B., Chrungoo NK. Gene characterization of *Chenopodium quinoa* Willd., and *Chenopodium album* L. accessions: unmasking genetic diversity. *3 Biotech*. **2025**; 15(1): 9. Doi: 10.1007/s13205-024-04173-6.

7. Jaikishun S., Li W., Yang Z., & Song, S. Quinoa: In Perspective of Global Challenges. *Agronomy*. **2019**; 9(4), Art. 4. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040176>
8. Laemmli U. K. Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature*. **1970**; 227: 680-685. Art. 5259. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
9. Moscoso-Mujica G., Zavaleta A., Mujica Á., Santos M., & Calixto R. Fraccionamiento y caracterización electroforética de las proteínas de la semilla de kañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Rev chilena de nutrición*. **2017**; 44(2), 144–152. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182017000200005>
10. Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, **1976**; 72: 248-254. [http: DOI: 10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](http://DOI: 10.1016/0003-2697(76)90527-3)
11. Abdullah N., Fang J., Liu X., Javed H. U, Cai J., Zhou Q., et al. Recent advances in self-assembly behaviors of prolamins and their applications. **2024**; 64(4):1015-1042. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2113031>
12. Mu H., Xue S., Sun Q., Shi J., Zhang D., Wang D., & Wei J. Research Progress of Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.): Nutritional Components, Technological Treatment, and Application. *Foods*. **2023**; 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/foods12102087>
13. Vilcacundo R., y Hernández-Ledesma B. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Microbiology-Funct. Foods and Nutrition*. **2017**; 14, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
14. Xing J., Li Z., Zhang W., & Wang P. The Composition, Structure, and Functionalities of Prolamins from Highland Barley. *Molecules*. **2023**; 28(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/molecules28145334>
15. Burrieza HP., Rizzo AJ., & Pérez OE. Quinoa does not contain prolamins. Comments on “Quinoa protein: Composition, structure and functional properties”, Dakhili et al. (2019). *Food Chemistry*. **2020**; 325, 126934. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126934>