

## Article:

# Comparative Study of the Physicochemical and Structural Characteristics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) from Different Origins

Janeth Salas<sup>1\*</sup> , Bárbara Torres<sup>2</sup> , Yanetza Linares<sup>3</sup> , Mary Pérez<sup>4</sup> ,

<sup>1</sup> Laboratorio de Espectrometría de Masas, Centro de Química

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecología de Suelos, Ambiente y Agricultura, Centro de Ecología

<sup>4</sup> Laboratorio de Ecosistema y Cambio Global, Centro de Ecología

<sup>1 3 4</sup> Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela

<sup>2</sup> Unidad de Estructura Molecular, Centro de Biociencias y Medicina Molecular,

Fundación Instituto de Estudios Avanzados, Caracas, Venezuela

Recibido: noviembre 2021

Aceptado: diciembre 2021

Autor para correspondencia: J. Salas. e-mail: jsalashplc@gmail.com,

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6429588>

## Abstract

Quinoa is a pseudo cereal with a high nutritional value rich in minerals, vitamins and essential amino acids. In addition, it is a gluten-free source of protein, which gives it ideal attributes to develop a wide variety of food products. According to the literature, its characteristics vary according to its origin; object for which physicochemical and structural tests were carried out on grains from Venezuela and Ecuador. The main nutritional parameters were determined using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy (SEM). The values of moisture and ash content were  $11.31 \pm 0.07\%$  and  $2.28 \pm 0.10\%$  for venezuelan quinoa and  $11.12 \pm 0.15\%$  and  $3.26 \pm 0.15\%$  for the ecuadorian respectively. In the FTIR analysis, the presence of groups corresponding to aldehydes, ketones, amino acids and sugars characteristic of the crop was identified. The XRD showed peaks corresponding to amylopectin and gas chromatography with mass detection (GC-MS) study did not show the presence of pesticides. The results reveal that there are no significant differences between both samples evaluated.

**Keywords:** quinoa; structural characterization; physicochemical analysis; pesticides.

## Artículo:

# Estudio comparativo de las características fisicoquímicas y estructurales de la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd) de diferentes orígenes

## Resumen

La quínoa es un pseudo cereal con un alto valor nutritivo rico en minerales, vitaminas y aminoácidos esenciales. Además, es una fuente de proteínas libre de gluten, lo que le confiere atributos ideales para desarrollar una gran variedad de productos alimenticios. De acuerdo con la literatura, sus características varían según su origen; objeto por el cual se realizaron pruebas fisicoquímicas y estructurales en granos procedentes de Venezuela y Ecuador. Los principales parámetros nutricionales fueron determinados mediante el uso de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), difracción de rayos X (DRX) y microscopía de barrido electrónico (MBE). Los valores del contenido de humedad y ceniza, fueron de  $11,31 \pm 0,07\%$  y  $2,28 \pm 0,10\%$  para la quínoa venezolana y de  $11,12 \pm 0,15\%$  y  $3,26 \pm 0,15\%$  para la ecuatoriana respectivamente. En el análisis por FTIR se identificó la presencia de grupos correspondientes a aldehídos, cetonas, aminoácidos y azúcares característicos del cultivo. La DRX mostró picos correspondientes a amilopectinas y en el estudio por cromatografía de gases con detección de masas (GC-MS) no se evidenció presencia de pesticidas. Los resultados revelan que no existen diferencias significativas entre ambas muestras evaluadas.

**Palabras clave:** quínoa; caracterización estructural; análisis fisicoquímico; pesticidas.

## 1. Introducción

La identificación de nuevas fuentes de proteínas para desarrollar productos que suplan las necesidades alimenticias de la población constituye un área de investigación prometedora. Por ejemplo, las mezclas de los cereales de diferentes fuentes, como tubérculos, legumbres, cereales y frutos secos potencian su valor nutricional y capacidad funcional. Las harinas de quínoa así como también, la de otras especies como el amaranto y la chíca representan una alternativa proteica que puede ser incluida en los novedosos conceptos de estilo de vida saludable [1, 2, 3].

La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta herbácea de la familia *Chenopodiaceae*, género *Chenopodium*, rica en vitaminas E, C y del complejo B, además contiene minerales como calcio, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio y zinc; posee ácidos grasos saludables, proteínas y fibra indispensables para la salud; está catalogada como un súper alimento por su alto valor nutritivo pues posee todos los aminoácidos esenciales y oligoelementos [4, 5]. El balance de sus aminoácidos es superior al trigo, a la cebada y a la soya, comparándose con la leche de origen vacuno. Se encuentran en el núcleo del grano, a diferencia de otros cereales que los tienen en la cáscara, como el arroz o el trigo. Por otro lado, puede ser utilizada en preparados nutricionales diseñados para reducir las alergias en personas sensibles con enfermedad celíaca, ya que no contiene gluten [5, 6].

El fruto es un aquenio y está constituido por el perigonio que envuelve una sola semilla, el cual se desprende con facilidad al frotarlo, y posee un pericarpio en donde reside la mayor parte de las saponinas. El embrión está formado por dos cotiledones y la radícula, constituye el 30 % del volumen total del grano y se encuentra envolviendo al perisperma como un anillo [7].

El perisperma es el principal tejido de almacenamiento, está constituido mayoritariamente por carbohidratos y representa aproximadamente el 60 % del total de la semilla, mientras que las proteínas, los minerales y los lípidos de reserva se encuentran principalmente en el endospermo y en el embrión [7].

La quínoa es cultivada en los Andes argentinos, bolivianos, ecuatorianos, chilenos, colombianos y peruanos desde hace unos 5.000 años. En Venezuela no se cultiva, han realizado pruebas en algunos estados como: Aragua, Mérida, Trujillo y Lara. La época de siembra se ubica entre septiembre y diciembre y es cosechada entre abril y junio [8, 9].

Su cultivo es totalmente orgánico porque no requiere del uso de pesticidas, plaguicidas, abonos químicos u otras sustancias químicas para crecer sin ser atacada por plagas, gracias a su elevada tolerancia a factores ambientales adversos, como las sequías o el exceso de lluvia. Su planta es completamente aprovechable pues se consumen sus granos, algunas partes de sus hojas y el resto es utilizado como abono o para alimentar ganado, cerdo y otros animales [9].

Padrón *et al.* [10] han mostrado que el contenido proteico de la quínoa depende de la región de origen. Confirman que las diferencias morfológicas del grano están asociadas al medio ecológico donde se cultiva. Por lo tanto, realizar un estudio comparativo del grano de quínoa de acuerdo a su lugar de procedencia es importante.

La meta de este trabajo fue determinar las características fisicoquímicas y estructurales de semillas de quínoa venezolana y ecuatoriana, a fin de comparar las diferencias y similitudes existentes entre ambas de acuerdo con su procedencia. Se espera que a partir de los resultados obtenidos mediante la evaluación del contenido de humedad, ceniza, análisis por espectroscopía de infrarrojo (FTIR), difracción de rayos X (DRX), microscopía de barrido electrónico (MBE) y descartar la presencia de pesticidas utilizando cromatografía de gases con detección de masas (GC-MS) se puedan establecer sus posibles usos industriales, particularmente en aplicaciones alimentarias.

## 2. Metodología

### 2.1. Muestra

#### Procedencia

A continuación se describen las muestras comerciales de semillas de quínoa ecuatoriana y venezolana:

- Cultivada en Ecuador: *Quínoa verde Pamba*, envasada por *Sucesores de Jacobo Paredes M.S.A*, Cusubamba, Quito, Ecuador; lote de producción 04030.
- *Top Quínoa “El secreto para vivir mejor”*; alimento libre de gluten, rico en proteínas, fibra y antioxidantes, distribuido y producido por *Agro Oro Branco*, el Tejero, sector Casupal, estado Monagas, Venezuela; lote de producción 852675.

## Tratamiento

Los granos de quínoa fueron sometidos a un proceso de molienda durante 30 minutos utilizando un molino de bolas modelo *Spex 8000 D MIXER/MILL*. Voltaje 115 V/60 Hz, con un motor de 1/3 HP y 1750 RPM a 60 Hz, con temporizador y controles de botones de inicio y parada.

## 2.2. Análisis fisicoquímicos

La determinación de los porcentajes de humedad y ceniza fue realizada siguiendo las pautas del método estándar número 945.39, *Official Methods of Analysis (OMA)*, *Association of Official Analytical Collaboration* [11].

Para la evaluación de la humedad se empleó una estufa *Thermo Scientific Heratherm 0GS60* y para el contenido de ceniza se usó una mufla *Thermo Scientific FB1415M-TS* donde fueron procesadas las muestras por tres horas hasta alcanzar peso constante.

## 2.3. Caracterización estructural

### Espectroscopía de infrarrojos

Los principales grupos funcionales de las harinas de quínoa fueron identificados mediante la técnica de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Se empleó un equipo marca *ThermoScientific*, modelo *Nicolet IS10*.

### Difracción de rayos X

Para el reconocimiento de la estructura amorfa o cristalina de las muestras se utilizó un equipo de

difracción de rayos X (DRX), marca *Siemens D-500* con radiación  $\text{Cu-K}\alpha$ .

### Microscopía electrónica de barrido

El análisis se llevó a cabo en un microscopio electrónico de barrido (SEM), marca *Thermo Fisher Netherlands*, modelo *Quanta 250*.Fei.

## 2.4. Análisis de pesticidas organoclorados y organofosforados

La presencia de contaminantes orgánicos tipo pesticidas en la quínoa venezolana y ecuatoriana fue evaluada mediante la técnica de GC-MS usando un cromatógrafo de Gases marca *Thermo Scientific Trace Gc Ultra* con un detector de masas marca *Thermo Scientific ISQ*. La Columna capilar marca *Thermo Scientific*, con relleno 50 % Phenylpoly-silphenylene - SiloxaneMidPolarity, de longitud de 30 m, diámetro interno de 0,25 mm y recubrimiento de 0,25  $\mu\text{m}$ . Para la extracción de los analitos de interés (*QuEChERS*) se emplearon cartuchos de extracción en fase sólida de amina primaria secundaria (PSA) marca *Agilent Technologies*, *BOND ELUT-PSA*, con especificaciones 500 mg, 6 mL, 50/PK.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Determinación de los porcentajes de humedad y ceniza

La Tabla 1 recoge los resultados obtenidos para el análisis fisicoquímico. Los valores para la humedad son  $11,31 \pm 0,07\%$  y  $11,12 \pm 0,15\%$  para las semillas de quínoa de origen venezolano y ecuatoriano respectivamente. Las cifras evidencian que no existen diferencias significativas entre ambas. Los porcentajes se ajustan a la normativa del Codex Alimentarius, donde el valor máximo permitido es  $13,0\%$  [12].

Los porcentajes de ceniza fueron  $2,28 \pm 0,10\%$  y  $3,26 \pm 0,15\%$  para las muestras de quínoa de procedencia venezolana y ecuatoriana respectivamente. Los valores muestran relativas diferencias, pero se mantienen por debajo del valor máximo permisible de  $3,5\%$  que establece la norma de Bolivia reportada por varios investigadores como referencia [13]. Es importante señalar que la cantidad de ceniza que

Tabla 1: Humedad y ceniza de las muestras de quínoa

Procedencia de la quínoa	humedad %	cenizas %
Venezolana	11,31 ± 0,07	2,28 ± 0,10
Ecuatoriana	11,12 ± 0,15	3,26 ± 0,15

se obtiene por incineración de muestras vegetales es un indicativo de la calidad del espécimen estudiado y constituye la base para evaluar su pureza, también brinda información acerca de una posible adulteración con material inorgánico o cuerpos extraños y de su contenido de sales inorgánicas.

### 3.2. Análisis por FTIR

Los espectros de transmisión en la región media del rango infrarrojo obtenidos para la quínoa ecuatoriana y venezolana son mostrados en la Figura 1. Las bandas correspondientes a cada vibración están resumidas en la Tabla 2, donde los principales grupos funcionales asociados a cada una de las muestras estudiadas son identificados.

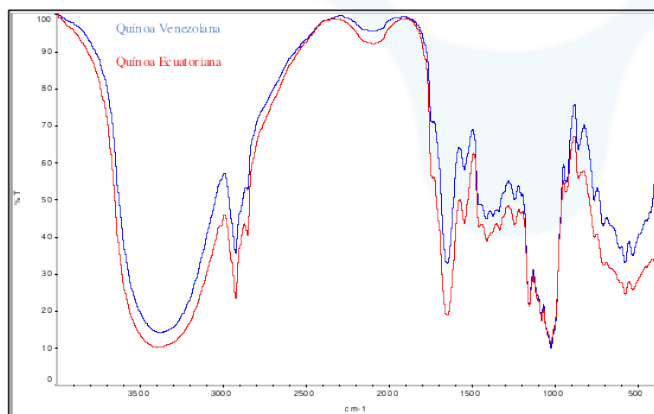


Figura 1: FTIR de quínoa venezolana y ecuatoriana

La región del espectro situada entre 4000 y 1400  $\text{cm}^{-1}$  es de gran utilidad para la identificación de la mayoría de los grupos funcionales presentes. Las absorciones que aparecen en esta zona, provienen fundamentalmente de las vibraciones de estiramiento. La zona situada entre 1400 y 600  $\text{cm}^{-1}$ , es por lo general, compleja, debido a que

en ella aparecen una combinación de vibraciones de alargamiento, así como de flexión. Cada compuesto tiene una absorción característica en esta región, por esta razón, a esta parte del espectro se le denomina región de las huellas dactilares. El trabajo además muestra otras bandas de interés entre 800  $\text{cm}^{-1}$  y 1500  $\text{cm}^{-1}$  (región dactilar), la región entre 2800 y 3000  $\text{cm}^{-1}$  (región del estiramiento C-H) y la región entre 3000 y 3600  $\text{cm}^{-1}$  (denominada como la zona del estiramiento OH) [14].

El estudio arrojó la presencia de bandas a 2.927,31  $\text{cm}^{-1}$  y 2.851,76  $\text{cm}^{-1}$  para la quínoa venezolana y a 2.926,86  $\text{cm}^{-1}$  y 2.855,66  $\text{cm}^{-1}$  para la quínoa ecuatoriana, que son atribuidas a modos de vibración de estiramiento del enlace C-H correspondiente a cadenas de carbono de los grupos CH<sub>2</sub>- y CH<sub>3</sub>-, como los aldehídos y cetonas [14].

Las bandas observadas entre 1.648  $\text{cm}^{-1}$  y 1.549  $\text{cm}^{-1}$  corresponden a grupos de amidas. Estas bandas están asociadas a combinaciones de vibraciones de los grupos aminos de los aminoácidos propios de la estructura del vegetal.

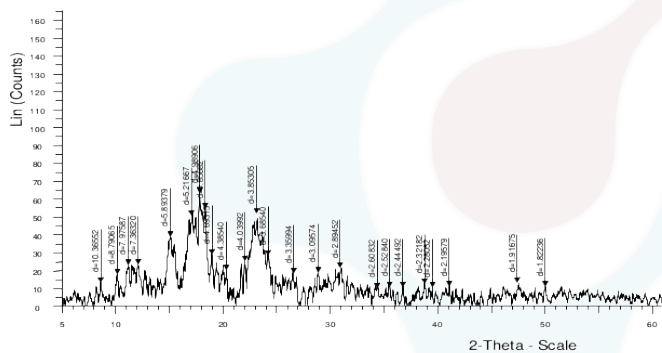
En la región comprendida entre 1000 y 1250  $\text{cm}^{-1}$  pueden haber modos vibracionales de C-N y grupos que contienen azufre en forma de tioéter o tiol.

En la región por debajo de 800  $\text{cm}^{-1}$  se observan vibraciones complejas a causa del esqueleto del anillo de la glucosa, en los almidones estos espectros se originan por la vibración de las unidades monoméricas de la glucosa y esto ha hecho que este modo de vibración se le asigne a los almidones.

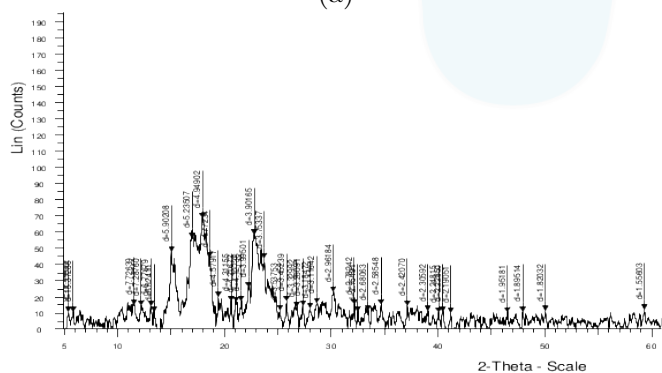
Las bandas de 931,22 y 931,23  $\text{cm}^{-1}$  son atribuidas a los enlace glucosídico (C-O-C) de la amilosa de los almidones. Uno de los factores que limitan la utilización generalizada de la quínoa es su sabor amargo, dado por las saponinas. Estos glucósidos triterpénicos son solubles en agua, siendo el lavado la manera más común de removerlas, antes de su consumo. Las vibraciones en el rango de 1300 a 1500  $\text{cm}^{-1}$  representan la flexión o deformación de los carbonos e hidrógenos. El agua absorbida en la región amorfa se identifica en las bandas de 1649 y 1648  $\text{cm}^{-1}$  (también podría aparecer entre 3500 y 3200  $\text{cm}^{-1}$ ); las cuales hacen referencia a la cristalinidad de los almidones, que varían según el origen de las semillas [2, 14].

Tabla 2: Análisis de FTIR de las muestras de quínoa, longitud onda ( $\text{cm}^{-1}$ )

Grupos funcionales	venezolana	ecuatoriana
estiramiento OH (3000 - 3600)	3385,56	3398,12
estiramiento C-H (2800 - 3000)	2927,31; 2851,76; 2095,87	2926,86; 2855,66; 2093,29
C=O, N-H, C-N	1744,30; 1649,64; 1545,58	1744,38; 1648,87; 1546,86
<b>Región dactilar</b> 800 $\text{cm}^{-1}$ y 800 $\text{cm}^{-1}$		
Flexión o deformación de los carbonos e hidrógenos	1413,30; 1368,44; 1335,75	1454,26; 1407,98; 1376,62; 1336,75
Modos de vibración de C-N y grupos S=O	1241,16; 1155,03; 1081,07; 1022,28	1241,27; 1154,84; 1080,49; 1023,38
Enlace glucosídico C-O-C	931,22; 858,18	931,21; 861,75
Vibraciones complejas a causa del esqueleto del anillo de la glucosa	762,93; 710,56; 620,66; 577,16; 529,70	767,76; 714,84; 575,37; 528,87



(a)



(b)

Figura 2: Análisis DRX de las muestras de quínoa (a) venezolana y (b) ecuatoriana

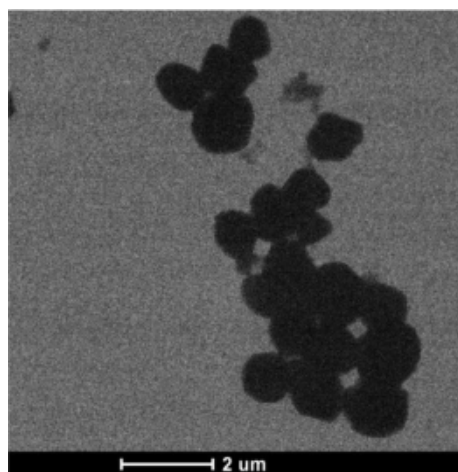
### 3.3. Difracción de rayos X

Los difractogramas para las muestras de quínoa de origen venezolano y ecuatoriano están expuestos en la Figura 2, ambos presentan un mismo patrón de difracción, donde los valores de los picos de 2-Theta a  $15,01^\circ$ ,  $23,06^\circ$  y un doble pico a  $17,36^\circ$  y  $18,25^\circ$ , que corresponden a la cadenas de amilopectina [2, 14].

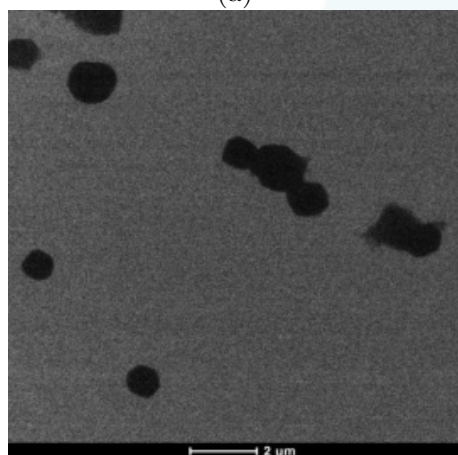
### 3.4. Microscopía de barrido electrónico

La Figura 3 muestra las micrografías de las harinas de quínoa venezolana (a) y ecuatoriana (b) respectivamente. En las imágenes se aprecia que para ambas muestras las partículas miden alrededor de  $0,4 \mu\text{m}$ , que corresponden a los almidones de forma poligonal que generalmente se agrupan para formar agregados con mayor tamaño.

También, el análisis evidencia que no existen diferencias en la forma y el tamaño de las partículas resultantes de la molienda seca realizada para la obtención de las harinas con el proceso experimental establecido. Se ha reportado que el tamaño, forma y estructura de los gránulos de almidón difieren sustancialmente de la fuente botánica, sin embargo en los estudios realizados por Bernal y colaboradores [14] mostraron que para los almidones de semillas de variedades de quínoa colombiana en



(a)



(b)

Figura 3: Análisis microestructural de quínoa; (a) venezolana (b) ecuatoriana

todos los casos analizados la forma de los gránulos de almidón es poligonal irregular.

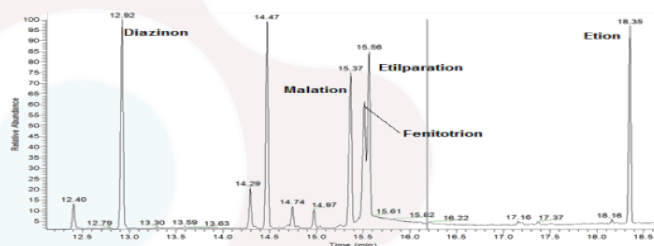
### 3.5. Análisis por cromatografía de gases con detección de masas

Las condiciones operacionales fueron mejoradas en función de la temperatura de la columna, del inyector y del flujo de la fase móvil para todos los patrones de los analitos estudiados. La Tabla 3 resume los parámetros alcanzados y la Figura 4 (a) presenta el orden de elución de los diez pesticidas analizados con el sistema cromatográfico optimizado, la Figura 4 (b) representa una ampliación del mismo cromatograma a fin de visualizar la

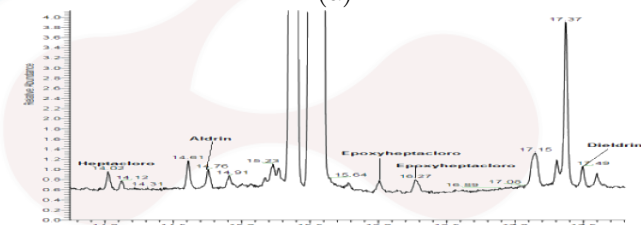
presencia de los pesticidas organoclorados (su señal analítica es más pequeña que la de los compuestos organofosforados).

Tabla 3: Condiciones cromatográficas para el análisis de pesticidas por GCMS

Incremento de temperatura (°C/min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
0	80 - 175	2,50
20	175 - 245	1
10	245 - 295	1
20	295	5



(a)



(b)

Figura 4: Análisis cromatográfico de pesticidas en quínoa

La Figura 5 (a) corresponde al análisis de pesticidas para la quínoa venezolana, la Figura 5 (b) para la ecuatoriana y la Figura 5 (c) representa una muestra de quínoa contaminada con los pesticidas organofosforados y organoclorados seleccionados para evaluar su presencia en los granos. Es importante señalar que en el estudio realizado usando la metodología QuECHERS no se detectó la presencia de ningún pesticida organoclorado ni organofosforado en las muestras.

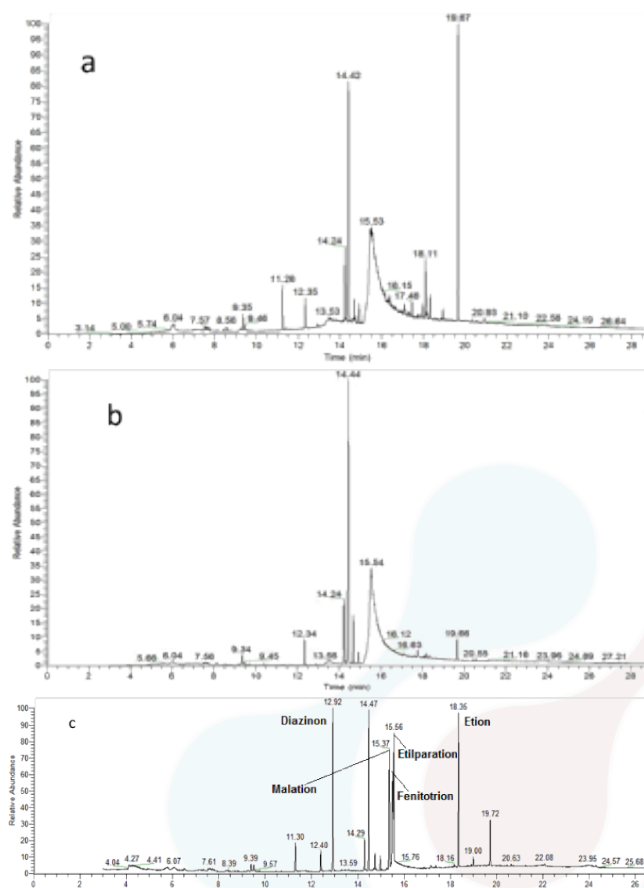


Figura 5: Cromatogramas de las muestras de quínoa analizadas

## 4. Conclusiones

El estudio para determinar las características físico-químicas y estructurales de muestras comerciales de quínoa de procedencia venezolana y ecuatoriana mostró amplia similitud. Los análisis constataron que la especie nacional es equiparable con el cultivo comercializado internacionalmente. Por lo tanto, existen expectativas favorables para su escalamiento a nivel industrial como alimento de alto poder nutricional.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Unidad de Microscopía Electrónica y Confocal, al Laboratorio de FTIR, Laboratorio de Difracción de Rayos X y al Laboratorio

de Bioanalítica del IVIC, por su colaboración en el análisis de las muestras estudiadas.

Los autores también agradecen de manera especial a la Dra. Lisbeth Manganiello por el conocimiento y apoyo brindado para llevar a cabo este trabajo de investigación.

## Financiamiento

El trabajo fue financiado por el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y forma parte del proyecto *Desarrollo y validación de métodos analíticos para la evaluación de compuestos inorgánicos y orgánicos en muestras biológicas ambientales y alimentos* registrado con el número 1113 en el sistema Semeruco del IVIC.

## Conflicto de intereses

Los autores del trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses para su publicación.

## Referencias

- [1] D. Mamani, M. Gutiérrez, J. Serrudo y E. Gonzales. Parámetros de calidad de harinas de *Amaranthus caudatus* linnaeus (amaranto), *Chenopodium quinoa* willd (quinua), *Chenopodium pallidicaule* aellen (kañahua), *Lupinus mutabilis* sweet (tarwi). *Revista Con-Ciencia*, 5(1):27–38, 2017.
- [2] A. García, O. Torres, and H. Calderón. Physical-Chemical Characterization of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.), and Chia (*Salvia hispanica* L.) Flours and Seeds. *Acta Agronómica*, 67(2):215–222, 2018.
- [3] D. Arzapalo, K. Huamán, M. Quispe y C. Espinoza. Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(1):44–54, 2015.

- [4] L.E. Abugoch J. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. In Steve Taylor, editor, *Advances in Food and Nutrition Research*, volume 58, chapter 1, pages 1–31. Academic Press, Lincoln, NE, USA, 2009.
- [5] E.G. Bastidas, R. Roura, D.A.D. Rizzolo, T. Massanés, and R. Gomis. Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd), from Nutritional Value to Potential Health Benefits: An Integrative Review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 6(3):1–10, 2016.
- [6] A. Cardoza y M. Tapia. *La Quinoa y la Kañiwa, Cultivos Andinos, Editores: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID)*, Capítulo: Valor Nutritivo, páginas 149–152. Serie: Libros y Materiales Educativos. CIID, Bogotá, 1979.
- [7] A. Carrillo. Anatomía de la semilla de *Chenopodium berlandieri* ssp. *nuttalliae* (*Chenopodiaceae*) *Huauzontle*. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Centro de Botánica, Montecillo. México, 1992.
- [8] I. Prego, S. Maldonado, and M. Otegui. Seed Structure and Localization of Reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82(4):481–488, 1998.
- [9] A. Mujica y E. Sven. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y sus parientes silvestres. In M. Morales, B. Øllgaard, L. Kvist, F. Borchsenius y H. Balslev, editor, *Botánica Económica de los Andes Centrales*, páginas 449–457. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2006.
- [10] C. Padrón, R. Oropeza y A. Montes. Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2):166–218, 2014.
- [11] A.O.A.C. Soybean and others flour, Official Methods of Analysis, Method Number 945.39. Association of Official Analytical Collaboration (AOAC International), U.S.A., 2005.
- [12] FAO. Norma para la quinua - CXS 333-2019. Codex Alimentarius, Normas Internacionales de los Alimentos, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Mundial de la Salud (OMS), 2020.
- [13] M. Oliva, A. Duque y L. García. Caracterización fisicoquímica del cereal y almidón de quinua *Chenopodium quinoa*. *Revista ION*, 31(1):25–29, 2018.
- [14] R. Bernal, R. Ramírez, P. Duarte, A. Guzmán y J. Acero. Quinoa, *Chenopodium quinoa* (Willd) en Colombia. Caracterización de gránulos de almidón nativo de quinua por IR-ATR, MEB, DRX. *Revista de Investigación*, 8(2):122–131, 2016.