

Caracterización microscópica de almidones de tubérculos, leguminosas y cereales de la Región Andina del Ecuador

Microscopic characterization of starches from tubers, legumes, and cereals from the Andean region of Ecuador

Katherine Andrea Elizalde-Celi¹

<https://orcid.org/0009-0008-5702-443X>

Marjiori Giomara Herrera-López^{2,3}

<https://orcid.org/0000-0003-3627-0451>

¹ Egresada, Carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología, Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Universidad Central del Ecuador.

² Laboratorio de Biología, Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Universidad Central del Ecuador.

³ Instituto Nacional de Biodiversidad. INABIO

andreelickath@gmail.com

mgherreral@uce.edu.ec, marjiorih286@gmail.com

Recibido: 16-12-2025

Aprobado: 22-01-2026

Publicado: 27-02-2026

Artículo de investigación

Resumen:

Este estudio analizó las características microscópicas de los gránulos de almidón de tubérculos, leguminosas y cereales de la Región Andina del Ecuador. La metodología incluyó la extracción del almidón y su posterior observación mediante microscopía óptica de campo claro para detallar la morfología y estructura. El análisis de siete especies de tubérculos, seis de leguminosas y seis de cereales reveló una gran diversidad morfométrica. Los tubérculos presentaron formas que variaron desde esféricas hasta

extremadamente alargadas, con tamaños entre $25,08 \pm 11,63 \mu\text{m}$ (*Arracacia xanthorrhiza*) y $178,78 \pm 35,84 \mu\text{m}$ (*Solanum tuberosum*). En leguminosas, *Phaseolus vulgaris* mostró los gránulos más grandes ($95,44 \pm 14,52 \mu\text{m}$) con un hilum central en forma de fisura, mientras que *Cicer arietinum* y *Lens culinaris* presentaron gránulos alargados con hilum central lineal y puntiforme, respectivamente. Entre los cereales y pseudocereales, se identificaron los gránulos más pequeños en *Amaranthus caudatus* ($4,18 \pm$

1,88 μm) y *Chenopodium quinoa* (35,83 $\pm$ 16,92 μm). Esta investigación contribuye al conocimiento de los recursos fitogenéticos andinos, proporcionando descriptores citológicos para la identificación de almidones. Además, el estudio de estas características morfológicas sienta las bases para aplicaciones biotecnológicas, la revalorización de cultivos ancestrales y el desarrollo de productos innovadores y sostenibles.

Palabras clave: Morfometría de almidones, gránulos de almidón, microscopía óptica, recursos fitogenéticos andinos.

Abstract

This study analyzed the microscopic characteristics of starch granules from tubers, legumes, and cereals of the Andean Region of Ecuador. The methodology included starch extraction and subsequent observation using bright-field optical microscopy to detail their morphology and structure. The analysis of seven tuber species, six legumes, and six cereals revealed great morphometric diversity. Tubers exhibited shapes ranging from spherical to extremely elongated, with sizes between 25.08 $\pm$ 11.63 μm (*Arracacia xanthorrhiza*) and 178.78 $\pm$ 35.84 μm (*Solanum tuberosum*). Among legumes, *Phaseolus vulgaris* showed the largest granules (95.44 $\pm$ 14.52 μm) with a central, fissured hilum, while *Cicer arietinum* and *Lens culinaris* presented elongated granules with a linear and punctate central hilum, respectively. Among the cereals and pseudocereals,

the smallest granules were identified in *Amaranthus caudatus* (4.18 $\pm$ 1.88 μm) and *Chenopodium quinoa* (35.83 $\pm$ 16.92 μm). This research contributes to the knowledge of Andean plant genetic resources by providing cytological descriptors for starch identification. Furthermore, the study of these morphological characteristics lays the groundwork for biotechnological applications, the revaluation of ancestral crops, and the development of innovative and sustainable products.

Keywords: Starch morphometry, starch granules, optical microscopy, Andean plant genetic resources.

Introducción

La Región Andina del Ecuador es reconocida por su alta diversidad y la variedad de especies vegetales tanto nativas como introducidas que son parte de los cultivos que se producen en las tierras fértiles (Jacobo *et al.*, 2022). Entre estos cultivos se destacan los tubérculos, leguminosas y cereales que además forman parte fundamental en la alimentación y economía de las comunidades locales (Tapia & Fries, 2007). Los tubérculos andinos son órganos subterráneos de reserva, ricos en carbohidratos, que incluyen especies como la papa, la oca, el melloco y la mashua. Su alto contenido energético y su notable adaptabilidad a las condiciones climáticas de la región los convierte en pilares fundamentales de la dieta de las comunidades rurales. Las leguminosas, reconocidas por sus frutos en forma de vaina, como el fréjol, la arveja, el haba y la lenteja, destacan por

su valor nutricional y su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo mediante la fijación biológica del nitrógeno, lo que las hace esenciales en prácticas agrícolas sostenibles. Por su parte, los llamados cereales andinos, entre los que se encuentran la quinua, el amaranto y el chocho, son semillas comestibles altamente nutritivas, ricas en proteínas y aminoácidos esenciales. Considerados superalimentos, estos cultivos contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria y nutricional de la región, además de tener un profundo valor cultural y ancestral (Andrade *et al.*, 2020; Santillán-Muñoz *et al.*, 2022, Jacobsen, 2011).

La caracterización de almidones ha sido objeto de múltiples investigaciones debido a su valor funcional, nutricional y tecnológico en diversas aplicaciones. (Hernández *et al.*, 2008) evaluaron almidones extraídos de especies como makal, camote, yuca y sagú cultivadas en Yucatán, México, identificando variaciones significativas en parámetros como la capacidad de hinchamiento, la solubilidad y el comportamiento térmico, lo que evidencia su potencial diferencial en la industria alimentaria. Por su parte, (Pardo *et al.*, 2013) centraron su análisis en almidones de tubérculos andinos, destacando sus propiedades reológicas y visco elásticas, fundamentales para el diseño de matrices alimentarias con comportamiento controlado. En el contexto ecuatoriano, Martínez-Mora (2015) caracterizó morfológicamente los gránulos de almidón en variedades de banano exportables, utilizando microscopía electrónica de barrido. El

estudio reveló diferencias en tamaño y forma de los gránulos, así como en el contenido de almidón resistente y digestible, con implicaciones directas en el índice glucémico y la funcionalidad nutricional del fruto. Complementariamente, (Mejía *et al.*, 2021) realizaron una revisión sistemática sobre almidones extraídos de tubérculos, raíces y granos andinos, destacando la diversidad estructural de los gránulos, su composición química y propiedades tecnológicas como la gelatinización, viscosidad y absorción de agua, que los posicionan como ingredientes estratégicos en las industrias alimentaria y farmacéutica. Finalmente, Arcos (2023) investigó el efecto de la cocción sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y fisiológicas del almidón de doce genotipos de miso (*Mirabilis expansa*). Los resultados evidenciaron que el tratamiento térmico modifica significativamente la morfología del gránulo, la capacidad de absorción de agua, el poder de hinchamiento y la digestibilidad, lo que permite identificar genotipos con alto contenido de almidón resistente y lenta digestión, relevantes para el desarrollo de alimentos funcionales.

El almidón, después de la celulosa, es la principal sustancia glucídica sintetizada por los vegetales superiores a partir de la energía solar, específicamente en los amiloplastos, que son plastidios especializados en almacenar carbohidratos (Pérez & Bertoft, 2010). Los gránulos de almidón presentan características estructurales como: Hilum: Es el punto central del gránulo

de almidón desde donde se inicia la formación de las capas concéntricas de amilosa y amilopectina. El hilum es esencialmente el núcleo del gránulo y es crucial para la estructura y la estabilidad del mismo. Fisura: Es una línea o una grieta que aparece en la superficie de los gránulos de almidón. Esta fisura puede ser resultado de tensiones internas durante la formación del gránulo o debido a cambios en la humedad y temperatura. Las fisuras pueden afectar la forma en que el almidón se comporta durante procesos como la gelatinización

y la retrogradación (Buleon *et al.*, 1998, Wang *et al.*, 2012). Estrías o lamellae: Se refieren a las capas concéntricas que se forman alrededor del hilum. Estas capas están compuestas por amilosa y amilopectina y se organizan durante la formación del gránulo. Estas estrías pueden tener diferentes formas dependiendo de la fuente del almidón: radiales, cruz o asterisco (Blazek & Gilbert, 2011). Cada una de estas características pueden consultarse en la Figura 1.

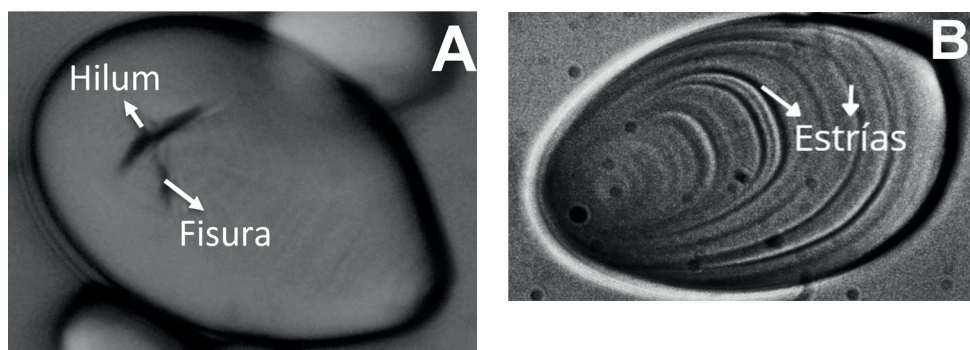


Figura 1. Morfología del gránulo de almidón. **A.** Vista del hilum y fisura. **B.** Estrías.

El tamaño de los gránulos puede oscilar entre 2 μm y más de 100 μm . Por ejemplo, los gránulos de almidón de maíz presentan diámetros entre 2 y 30 μm , mientras que los de papa pueden alcanzar hasta 100 μm , siendo considerados entre los más grandes dentro de las especies cultivadas (Medina & Salas, 2008). En cuanto a la forma, los gránulos pueden ser: esféricos, ovalados, reniformes o poligonales.

A pesar de esta base de conocimiento, existe una necesidad de documentar sistemáticamente los descriptores

microscópicos de los almidones de la agrobiodiversidad andina de Ecuador utilizando metodologías accesibles y reproducibles. Este estudio busca llenar ese vacío mediante la caracterización morfológica detallada de los gránulos de almidón de tubérculos, leguminosas y cereales de la región, empleando microscopía óptica de campo claro. Los resultados no solo enriquecen el conocimiento citológico de estos recursos, sino que también fortalecen la enseñanza de la Biología y proporcionan información base para aplicaciones biotecnológicas y la revalorización de

cultivos ancestrales en el marco de la economía social y circular.

Materiales y métodos

Muestreo y Diseño experimental

Las muestras de tubérculos, leguminosas y cereales se adquirieron en mercados locales de la provincia de Pichincha (Quito, Ecuador). Se priorizaron productos provenientes de agricultores de la Sierra ecuatoriana para asegurar el origen andino. Los nombres científicos de las especies estudiadas fueron revisados con el Catálogo de Plantas Vasculares del Ecuador (Jørgensen y León-Yáñez (eds.); 1999) y la página Trópicos del Missouri Botanical Garden Versión 2.3.2-rea67259. Para cada una de las 19 especies, se obtuvieron tres muestras independientes de diferentes proveedores. La extracción de almidones nativos se realizó mediante la técnica de arrastre con agua destilada, que consistió en la trituration del material vegetal, filtración y lavados sucesivos por sedimentación para aislar la fracción amilácea. El almidón obtenido se secó a temperatura ambiente durante 48 horas.

Preparación y análisis microscópico

Para la observación al microscopio, se prepararon suspensiones temporales independientes de cada muestra en agua destilada para evitar el apilamiento de gránulos y se cubrieron con una laminilla cubreobjetos. La caracterización micrográfica, se empleó un microscopio óptico de campo claro marca Euromex BSCOPE BS.1153-EPL, equipado con una cámara digital de 18 megapíxeles.

Las observaciones generales se realizaron con un objetivo de 40x, mientras que para todas las mediciones y la evaluación detallada de características (hilum, fisuras) se utilizó un objetivo de 100x con inmersión en aceite (aumento total 1000x). Las imágenes se capturaron siguiendo un patrón de barrido sistemático en zigzag, seleccionando todos los gránulos que estuvieran completamente en foco, no superpuestos y dentro del campo de visión. Para cada especie, se midió un total de $N=30$ gránulos, seleccionados aleatoriamente de las diferentes preparaciones, totalizando 570 mediciones. Las mediciones de diámetro mayor (eje más largo) y menor (eje perpendicular) se realizaron en micrómetros (μm) e incluyeron una barra de escala calibrada en cada micrografía, utilizando el software Image Focus Plus.

La descripción taxonómica de los gránulos de almidón, se basó en las variables cuantitativas: 1) largo; 2) ancho. Las variables morfológicas más diagnósticas para la identificación son: 1) forma; 2) forma y posición del hilum; 3) presencia, forma y posición de las fisuras; 4) presencia de lamelas o bandas de crecimiento

Criterios de Clasificación Morfológica

La clasificación de la forma se basó en la relación de aspecto ($RA = \text{Diámetro mayor} / \text{Diámetro menor}$), siguiendo criterios establecidos (Lindeboom et al., 2004): Esféricos ($RA\ 1.0-1.1$), Sub-esféricos ($RA\ 1.1-1.2$), Ligeramente

alargados (RA 1.2-1.4), Alargados (RA 1.4-1.6), Muy alargados (RA 1.6-2.0) y Extremadamente alargados (RA >2.0). La clasificación por tamaño se realizó con base en el diámetro mayor promedio, adaptando las categorías de Jane et al. (1994): Muy pequeño (< 15 μm), Pequeño (15-25 μm), Mediano (25-50 μm), Grande (50-75 μm), Muy grande (75-100 μm) y Gigante (>100 μm).

Análisis de datos

Los datos morfométricos se expresan como media $\pm$ desviación estándar. Se calculó el coeficiente de variación (CV%) para cada diámetro. Los resultados se presentan mediante análisis descriptivo comparativo entre los diferentes tipos de cultivo.

Resultados y Discusión

El análisis microscópico de los almidones extraídos de tubérculos, leguminosas y cereales reveló una notable diversidad morfológica y estructural. Las diferencias se evidencian en las dimensiones (diámetro mayor y menor), forma, posición y tipo de hilum, así como en la presencia y disposición de fisuras y lamelas.

Tubérculos

Arracacia xanthorrhiza Bancroft se caracteriza por ser gránulos con forma esférica (Relación de aspecto: 1.01) y tamaño mediano, con diámetros promedio de $25,08 \pm 11,63 \mu\text{m}$ (mayor) y $24,73 \pm 12,93 \mu\text{m}$ (menor), mostrando alta variabilidad (CV: 46-52%). El hilum se ubica en la parte central y

tiene forma estrellada, con presencia de fisuras radiales alrededor del hilum y lamelas poco notorias.

Canna indica L. presenta gránulos con una morfología muy alargada, con una relación de aspecto de 1.82. Presentaron un tamaño grande, con un diámetro mayor promedio de $60,22 \pm 7,52 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $33,08 \pm 1,73 \mu\text{m}$, mostrando una baja variabilidad en sus dimensiones (CV: 5-13%). El hilum se encuentra ubicado de manera excéntrica, levemente estrellado. Los gránulos carecen de fisuras, pero con la presencia de lamelas en crecimiento concéntrico y bien definido.

Ipomoea batatas (L.) Poir. presentaron una morfología ligeramente alargada (Relación de aspecto: 1,20) y un tamaño mediano. Las dimensiones mostraron una elevada variabilidad, con un diámetro mayor de $27,89 \pm 17,48 \mu\text{m}$ (CV: 63%) y un diámetro menor de $23,31 \pm 13,17 \mu\text{m}$ (CV: 57%). La posición del hilum es excéntrica y de forma estrellada, con fisuras radiales y lamelas poco definidas concéntricas.

Manihot esculenta Crantz presentaron una forma casi redonda (Relación de aspecto: 1.07) y un tamaño mediano. Mostraron una variabilidad moderada en su tamaño, con un diámetro mayor de $40,68 \pm 10,81 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $38,00 \pm 9,63 \mu\text{m}$. El hilum se presentó en la región central con forma estrellada. A partir del hilum se identifican fisuras. En la superficie se evidencian depresiones y las lamelas son concéntricas.

Oxalis tuberosa Molina se caracterizaron por su forma extremadamente alargada y ovalada, con una relación de aspecto de 1.98, la más alta de todas las especies estudiadas. Su tamaño se clasificó como muy grande, siendo los segundos más grandes después de la papa, con un diámetro mayor de $92,10 \pm 27,86 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $46,58 \pm 11,25 \mu\text{m}$. Presenta el hilum central de forma puntiforme, no presentan fisuras visibles. Se confirma la presencia de lamelas concéntricas en el interior.

Solanum tuberosum L. se destacaron por ser los de mayor tamaño en todo el estudio, clasificándose como gigantes. Sus dimensiones promedio fueron de $178,78 \pm 35,84 \mu\text{m}$ en el diámetro

mayor y $114,56 \pm 25,52 \mu\text{m}$ en el diámetro menor. Su forma fue muy alargada (Relación de aspecto: 1,56). Presencia de hilum excéntrico de forma puntiforme y lamelas con disposición radial bien definida. No muestra fisuras.

Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pav. presentaron una forma casi redonda y variable (Relación de aspecto: 1.06) y un tamaño mediano. Mostraron una alta variabilidad en sus dimensiones (CV: 40-41%), con un diámetro mayor de $28,03 \pm 11,18 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $26,52 \pm 10,82 \mu\text{m}$. El hilum es central poco visible, sin presencia de fisuras visibles y con lamelas dispuestas en capas concéntricas.

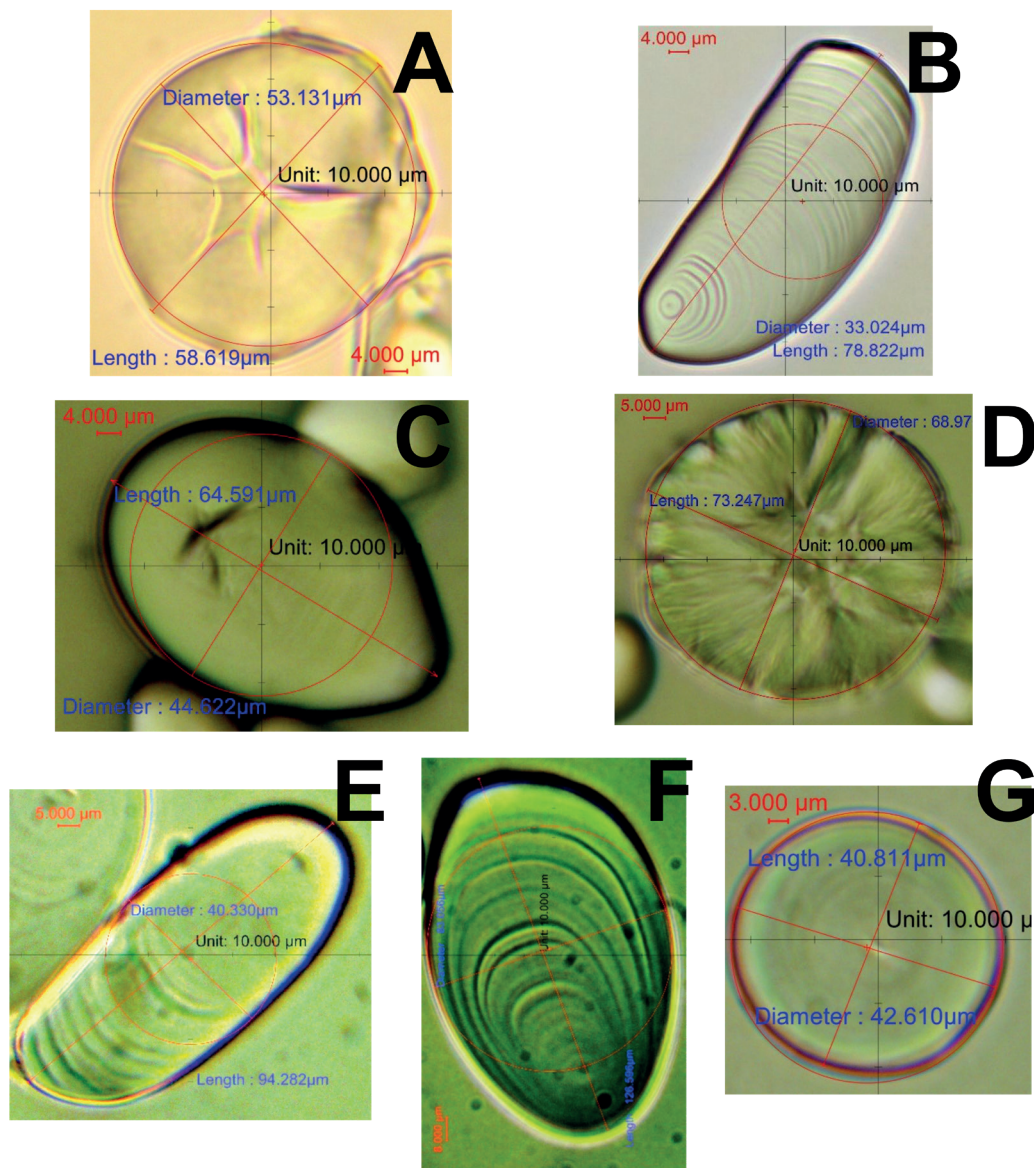


Figura 2. Gránulos de almidón. **A.** *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft, **B.** *Canna indica* L. **C.** *Ipomoea batatas* (L.) Poir. **D.** *Manihot esculenta* Crantz **E.** *Oxalis tuberosa* Molina **F.** *Solanum tuberosum* L. **G.** *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.

Leguminosas

Cicer arietinum L. presenta gránulos de almidón con una forma alargada (Relación de aspecto: 1.38) y un tamaño grande. Se caracterizaron por su muy baja variabilidad en el tamaño (CV: 5%), con un diámetro mayor de $67,19 \pm 3,36 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $48,85 \pm 2,31 \mu\text{m}$, lo que indica una población de gránulos muy uniforme. El hilum se ubica en posición central y es lineal. Presentan lamelas concéntricas bien definidas y sin fisuras visibles.

Lens culinaris Medik. presenta gránulos una forma alargada (Relación de aspecto: 1.36) y un tamaño muy grande. Al igual que el garbanzo, se caracterizaron por una muy baja variabilidad en sus dimensiones (CV: 6%), siendo una población de gránulos extremadamente uniforme. Las medidas fueron de $81,25 \pm 5,21 \mu\text{m}$ en el diámetro mayor y $59,57 \pm 3,58 \mu\text{m}$ en el diámetro menor. El hilum se encuentra en posición central y es puntiforme, sin presencia de fisuras. Con presencia de lamelas concéntricas.

Lupinus mutabilis Lindl. posee almidón de forma ligeramente alargada (Relación de aspecto: 1.28) y un tamaño grande. Al igual que otras leguminosas, mostraron una muy baja variabilidad (CV: 6%), con un diámetro mayor de $56,69 \pm 3,60 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $44,14 \pm 2,47 \mu\text{m}$, indicando una población de gránulos muy uniforme. El hilum se observa como una fisura

ubicada en la zona central. A partir de este hilum, se observaron fisuras radiales extendiéndose a su alrededor.

Phaseolus vulgaris L. se caracterizaron por su forma muy alargada (Relación de aspecto: 1.57) y un tamaño muy grande, siendo los de mayor dimensión entre las leguminosas estudiadas. Sus medidas fueron de $95,44 \pm 14,52 \mu\text{m}$ en el diámetro mayor y $60,66 \pm 7,11 \mu\text{m}$ en el diámetro menor, con una variabilidad moderada (CV: 12-15%). El hilum se observa como una fisura ubicada en la zona central horizontal, con ramificaciones laterales.

Pisum sativum L. presenta grano de almidón muy alargado (Relación de aspecto: 1.56) y un tamaño muy grande. Mostraron una variabilidad moderada-alta en sus dimensiones (CV: 18-21%), con un diámetro mayor de $79,49 \pm 16,27 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $51,04 \pm 9,22 \mu\text{m}$. Presenta el hilum en posición central y alrededor dispuestas las lamelas bien definidas. Presenta fisuras visibles concéntricas.

Vicia faba L. posee almidón de una forma muy alargada (Relación de aspecto: 1.53) y un tamaño muy grande, con dimensiones de $82,81 \pm 16,48 \mu\text{m}$ en el diámetro mayor y $54,25 \pm 12,30 \mu\text{m}$ en el diámetro menor, mostrando una variabilidad moderada (CV: 20-23%). El hilum presenta una posición excéntrica, puntiforme y sin fisuras visibles. Con lamelas radiales.

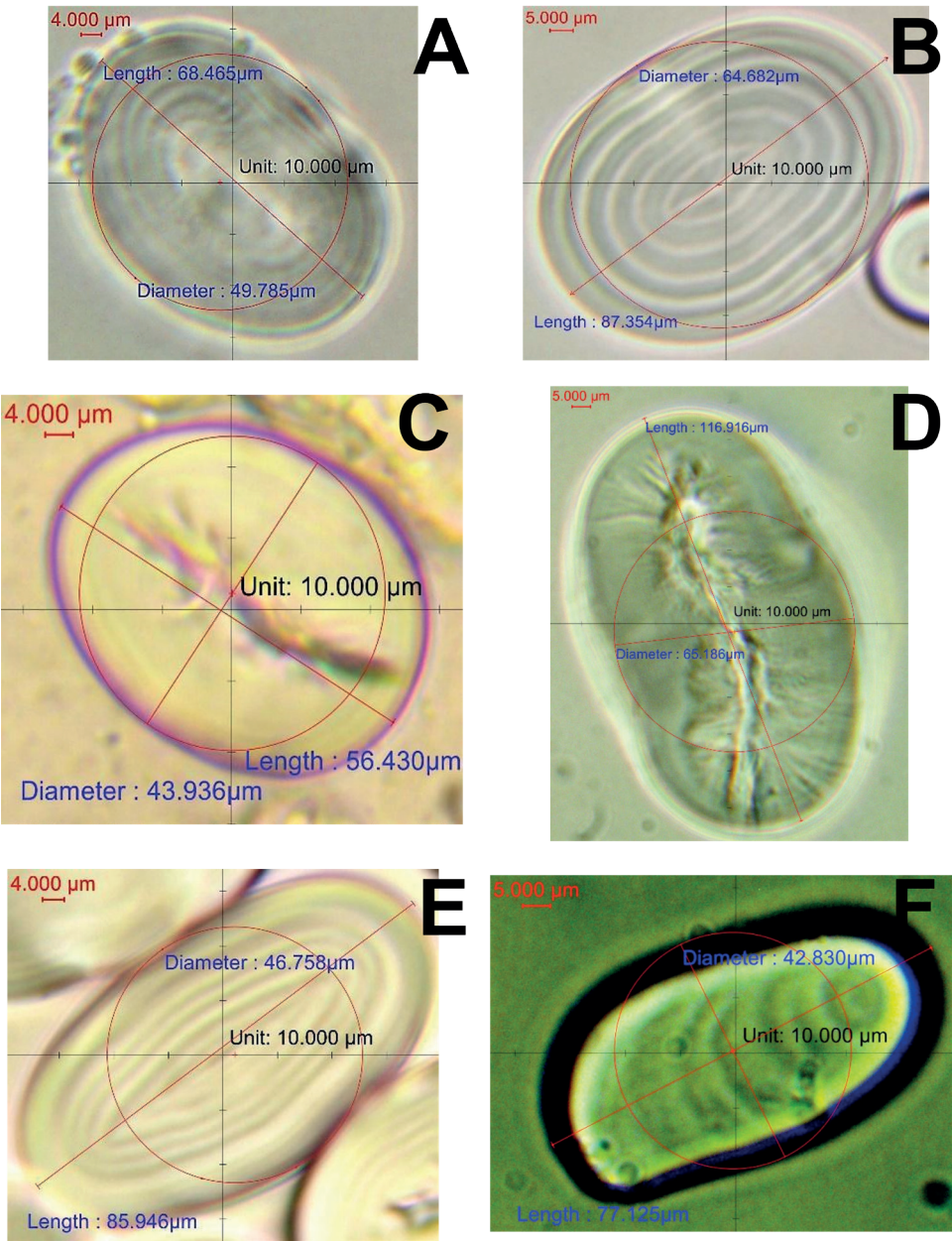


Figura 3.

Gránulos de almidón. **A.** *Cicer arietinum* L., **B.** *Lens culinaris* Medik., **C.** *Lupinus mutabilis* Lindl., **D.** *Phaseolus vulgaris* L., **E.** *Pisum sativum* L., **F.** *Vicia faba* L.

Cereales

Amaranthus caudatus L. posee gránulos que se caracterizaron por ser los más pequeños de todo el estudio, con un tamaño clasificado como muy pequeño. Sus dimensiones fueron de apenas $4,18 \pm 1,88 \mu\text{m}$ en el diámetro mayor y $4,07 \pm 1,91 \mu\text{m}$ en el diámetro menor, con una alta variabilidad (CV: 45-47%) dada su minutez. Su forma fue esférica y variable (Relación de aspecto: 1.03). El hilum está presente en posición central, puntiforme, sin lamelas visibles.

Chenopodium quinoa Willd. posee almidón de forma ligeramente alargada (Relación de aspecto: 1.30) y un tamaño mediano. Mostraron una alta variabilidad en sus dimensiones (CV: 46-47%), con un diámetro mayor de $35,83 \pm 16,92 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $27,51 \pm 12,76 \mu\text{m}$. El hilum presenta una posición excéntrica, sin lamelas visibles.

Avena sativa L. posee un almidón de forma ligeramente alargada (Relación de aspecto: 1.26) y un tamaño pequeño. Se caracterizaron por su muy baja variabilidad (CV: 9%), mostrando una población de gránulos muy uniforme, con un diámetro mayor de $19,26 \pm 1,65 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $15,34 \pm 1,42 \mu\text{m}$. El hilum presenta una posición central y alrededor no se logra diferenciar de manera notoria las lamelas y sin fisuras visibles.

Hordeum vulgare L. presenta almidón de forma casi redonda (Relación de aspecto: 1.05) y un tamaño grande. Se caracterizaron por una variabilidad extremadamente baja (CV: 4%), siendo una de las especies con gránulos más uniformes en tamaño, con un diámetro mayor de $51,53 \pm 2,12 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $48,98 \pm 2,12 \mu\text{m}$. El hilum está presente en posición central, puntiforme y las lamelas se encuentran bien definidas en posición concéntrica.

Triticum aestivum L. posee un almidón de forma ligeramente alargada (Relación de aspecto: 1.14) y un tamaño grande. Mostraron una variabilidad moderada en sus dimensiones (CV: 21-23%), con un diámetro mayor de $53,35 \pm 12,02 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $46,67 \pm 9,66 \mu\text{m}$. El hilum presenta una posición central, a partir de la cual se observaron fisuras radiales a su alrededor. Y con lamelas dispuestas de manera concéntrica.

Zea mays L. se caracteriza por su forma esférica (Relación de aspecto: 1.03) y un tamaño mediano. Se caracterizaron por una muy baja variabilidad en su tamaño (CV: 5-7%), mostrando una población de gránulos muy uniforme, con un diámetro mayor de $42,71 \pm 3,02 \mu\text{m}$ y un diámetro menor de $41,40 \pm 2,07 \mu\text{m}$. El hilum se ubica en posición central de forma estrellada y con fisuras radiales.

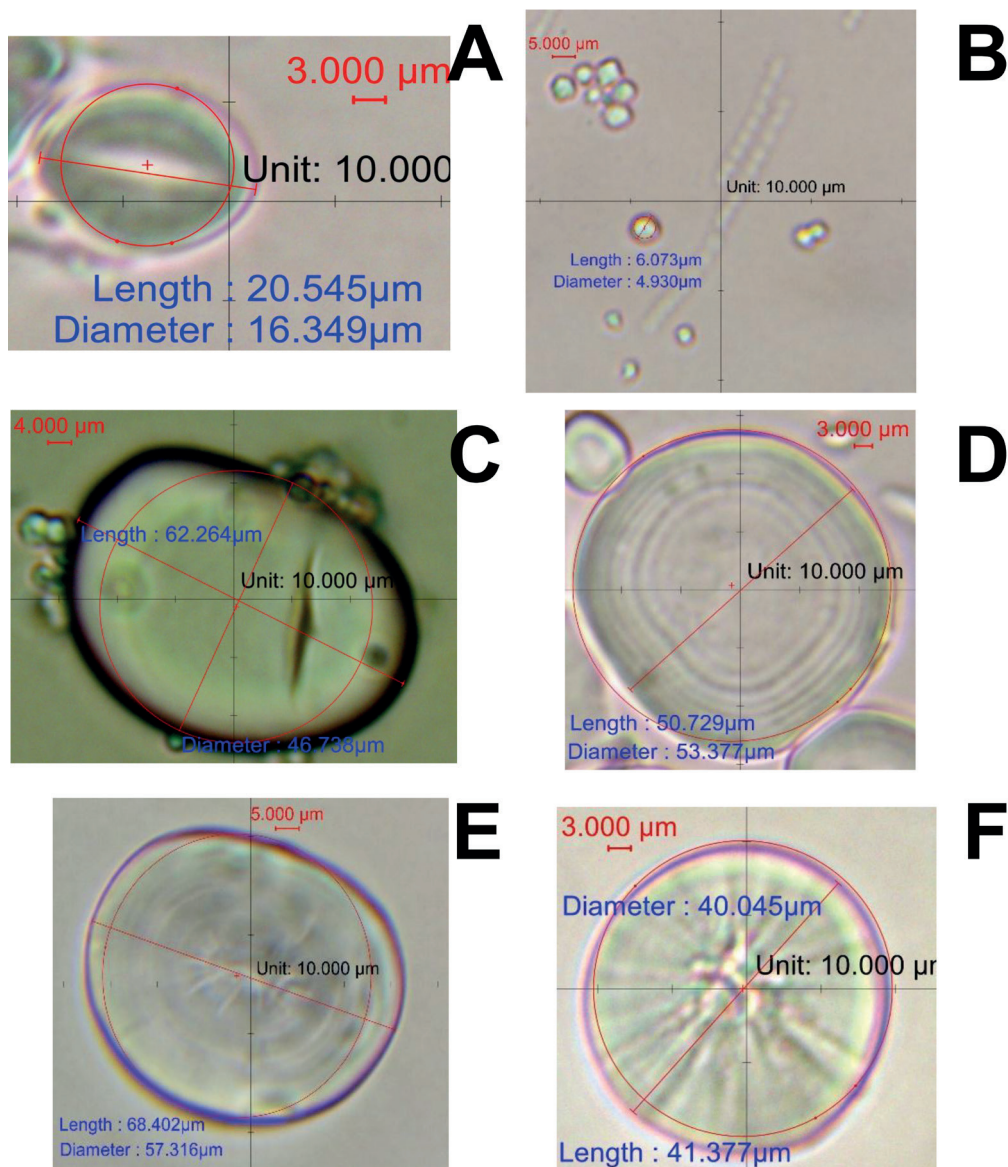


Figura 4.

Gránulos de almidón. **A.** *Avena sativa* L., **B.** *Amaranthus caudatus* L. **C.** *Chenopodium quinoa* Willd., **D.** *Hordeum vulgare* L., **E.** *Triticum aestivum* L., **F.** *Zea mays* L.

El contraste sistemático con la guía de referencia de Pagán-Jiménez (2015) confirma la validez de los descriptores morfológicos establecidos en este estudio para la mayoría de los taxones analizados. Se observa una notable coincidencia en características clave como la forma muy alargada y el hilum en fisura de *Phaseolus vulgaris*, así como en la morfología extremadamente alargada de *Oxalis tuberosa*, lo que valida la precisión diagnóstica de la metodología empleada. No obstante, se identificaron discrepancias significativas en especies como *Zea mays*, donde la incidencia de gránulos esféricos superó lo reportado en la literatura de referencia. Esta variación sugiere la existencia de diversidad intraespecífica, posiblemente influenciada por factores genotípicos (como el uso de variedades de maíz ceroso o dulce) o ambientales propios de las condiciones de cultivo andinas. Más allá de esta validación, el presente estudio aporta la primera caracterización morfométrica cuantitativa y sistemática para especies andinas menos documentadas. Se establecen así descriptores de referencia para *Lupinus mutabilis* (gránulos ligeramente alargados con hilum en fisura radial) y *Amaranthus caudatus* (gránulos esféricos diminutos), enriqueciendo significativamente el conocimiento morfológico de la agrobiodiversidad regional.

Conclusiones y Recomendaciones

- El análisis morfométrico mediante microscopía óptica de campo claro demostró que los gránulos de almidón de tubérculos, leguminosas y ce-

reales andinos presentan características diagnósticas específicas en tamaño, forma y estructura del hilum que permiten su identificación botánica.

- Se establecieron rangos de variación significativos en el tamaño de los gránulos, desde los gránulos gigantes de *Solanum tuberosum* ($178,78 \pm 35,84 \mu\text{m}$) hasta los gránulos diminutos de *Amaranthus caudatus* ($4,18 \pm 1,88 \mu\text{m}$).
- La relación de aspecto emergió como criterio de clasificación robusto, identificando formas desde esféricas (*Arracacia xanthorrhiza*, RA: 1,01) hasta extremadamente alargadas (*Oxalis tuberosa*, RA: 1,98).
- Los patrones de variabilidad mostraron tendencias taxonómicas definidas: leguminosas con alta uniformidad (CV: 4-6%) y tubérculos con heterogeneidad significativa (CV: 25-63%).
- Las características del hilum mostraron valor diagnóstico específico por familia botánica, con formas que incluyeron estrelladas, lineales, puntiformes y de fisura
- Se recomienda ampliar la investigación sobre la caracterización morfológica de almidones a especies de otras regiones del Ecuador, con el fin de valorizar el potencial de estos recursos fitogenéticos nacionales y fortalecer su aplicación en la seguridad alimentaria.
- La accesibilidad de la microscopía óptica la convierte en una herra-

mienta pedagógica ideal para innovar en la enseñanza de la Botánica y Ciencia de Alimentos, mediante prácticas de laboratorio que vinculen la citología vegetal con la soberanía alimentaria.

Bibliografía Citada

Andrade, C. M., Ochoa, J. J., & Paredes, C. A. (2020). Tubérculos Andinos: Biodiversidad y Potencial Nutricional para la Seguridad Alimentaria. *Revista de Agricultura Andina*, 15(2), 45-60.

Arcos Guña, E. (2023). Efecto de la cocción en las características fisicoquímicas, funcionales y fisiológicas del almidón de doce genotipos representativos de miso (*Mirabilis expansa*). (Tesis de Química de Alimentos). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador.

Blazek, J., & Gilbert, E. P. (2011). Application of small-angle X-ray and neutron scattering techniques to the characterisation of starch structure: A review. *Carbohydrate Polymers*, 85(2), 281-293.

Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23(2), 85-112.

Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology (Campinas)*,

28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>

Jacobo, J. L., Guerrero, A. B., & Torres, M. L. (2022). Agrobiodiversidad en los Andes del Ecuador: Un Análisis de su Estado y Conservación. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 18(1), 25.

Jacobsen, S. E. (2011). The Situation for Quinoa and Its Production in Southern Bolivia: From Economic Success to Environmental Disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(5), 390-399.

Jane, J. L., Kasemsuwan, T., Leas, S., Zobel, H., & Robyt, J. F. (1994). Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. **Starch/Stärke*, 46*(4), 121-129.

Jørgensen, PM. & S. León-Yáñez (eds.) (1999) Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 75: 1-1181.

Lindeboom, N., Chang, P. R., & Tyler, R. T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. **Starch/Stärke*, 56*(3-4), 89-99.

Lotufo Haddad, A. M. (2019). Desarrollo y caracterización fisicoquímica y sensorial de productos alimenticios elaborados con tubérculos andinos (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Salta. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/80706>

- Martínez-Mora, E. (2015). Caracterización morfológica y contenido de almidón resistente y disponible en bananos (*Musa sapientum*) exportables del Ecuador. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 19(3), 153-159. <https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.19.3.161>
- Mejía Cabezas, N., Zavala Cuadrado, A., Samaniego Maigua, I., Arguello Hernández, P. (2021). Composición química, morfológica y propiedades tecnológicas de los almidones nativos de origen andino: una revisión sistemática. <https://reciena.esPOCH.edu.ec/index.php/reciena/article/view/57>
- Medina, J. A., & Salas, J. C. (2008). Caracterización morfológica del gránulo de almidón nativo: apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*, 27, 56–62.
- Pagán-Jiménez, J. R. (2015). Almidones: Guía de material comparativo moderno del Ecuador para estudios arqueobotánicos en el Neotrópico. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 44(3), 1-24.
- Pérez, S., & Bertoft, E. (2010). The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. *Starch-Stärke*, 62(8), 389-420.
- Santillán-Muñoz, O., Gutiérrez, L., & Viteri, P. (2022). Leguminosas Andinas: Una Revisión de su Contribución a la Sostenibilidad Agrícola y la Nutrición. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1), e2102.
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de Campo de los Cultivos Andinos*. FAO y ANPE-Perú.
- Velásquez-Barreto, F. F., & Velezmoro, C. (2018). Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189-197. [https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03\[2\]\(https://core.ac.uk/display/27137093\)](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03[2](https://core.ac.uk/display/27137093)).
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2012). Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568-585.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial para los informantes principalmente a la Sra. Amanda Celi y su familia, quienes proporcionaron la información de las formas ancestrales de la obtención de almidones. Al Dr. Carlos Cerón Martínez, Dra. Carmita Reyes y Dra. Elizabeth Pérez por sus acertadas sugerencias que enriquecieron la redacción del manuscrito.

Conflicto de intereses:

Las autoras declaran no tener ningún conflicto de interés que pueda influir en los resultados o la interpretación de los datos presentados en este manuscrito.

Contribución de las autoras:

Ambas autoras contribuyeron de manera equitativa a la concepción y diseño de este estudio.

Anexos

Análisis morfométrico de los granos de almidón de las especies vegetales de la Región Andina.

Familia y Nombre Científico	Estatus	Tipo			Nombre vulgar	Diámetro Mayor Media ± DE µm	Diámetro Menor Media ± DE µm	CV% Dmax	Relación Aspecto	Clasificación Forma	Clasificación Tamaño	Hilum		Fisura			Lamelas	
		C	L	T								Posición	Forma	P	A	posición	P	A
AMARANTHACEAE																		
Amaranthus caudatus L.	Nativa	X			Amaranto	4,18 ± 1,88	4,07 ± 1,91	45%	1,03	Esférico (variable)	Muy pequeño	Centro	Puntiforme	X	No	No		X
APURCEAE																		
Amaranthus blanchardii Bancroft	Nativa		X		Zanahoria blanca	25,08 ± 11,63	24,73 ± 12,93	46%	1,01	Esférico	Mediano	Centro	Estrellada	X		Radiales Alrededor del hilum	X	
CANACEAE																		
Cassia edulis L.	Nativa		X		Achira	60,22 ± 7,52	33,08 ± 1,73	13%	1,82	Muy alargado	Grande	Excéntrica	Estrellada		X	No		X
CHENOPODIACEAE																		
Chenopodium Willd.	Nativa	X			Quinua	35,83 ± 16,92	27,51 ± 12,76	47%	1,3	Ligeramente alargado	Mediano	Excéntrica	Lineal	X		Radiales Alrededor del hilum	X	
CONVOLVULACEAE																		
Ipomoea batatas L.	Nativa		X		Camote	27,89 ± 17,48	23,31 ± 13,17	63%	1,2	Ligeramente alargado	Mediano	Excéntrica	Estrellada	X		Radiales Alrededor del hilum	X	
EUPHORBIACEAE																		
Manihot esculenta Crantz.	Nativa	X			Yuca	40,69 ± 10,81	38,00 ± 9,63	27%	1,07	Sub-esférico	Mediano	Centro	Estrellada	X		Radiales Alrededor del hilum	X	
FABACEAE																		
Cicer arietinum L.	Introducida	X			Garbanzo	67,19 ± 3,36	48,85 ± 2,31	5%	1,38	Alargado	Grande	Centro	Lineal	X	No	No		X
Lens culinaris Mscil.	Introducida	X			Lenteja	81,25 ± 3,21	59,57 ± 3,58	6%	1,36	Alargado	Muy grande	Centro	puntiforme	X	No	No		X
Lupinus mutabilis Lucil.	Nativa	X			Chicho	56,69 ± 1,60	44,14 ± 2,07	6%	1,28	Ligeramente alargado	Grande	Centro	Fisura	X		Radiales Alrededor del hilum	X	
Phaseolus vulgaris L.	Nativa	X			Frijol negro	95,44 ± 14,52	60,66 ± 7,11	15%	1,57	Muy alargado	Muy grande	Centro	Fisura	X		Radiales Alrededor del hilum	X	
Pisum sativum L.	Introducida	X			Aguja Fresca	79,49 ± 16,27	51,04 ± 9,22	21%	1,56	Muy alargado	Muy grande	Centro	Lineal	X	No	No		X
Vicia faba L.	Introducida	X			Haba	82,81 ± 16,48	54,25 ± 12,30	20%	1,53	Muy alargado	Muy grande	Excéntrica	puntiforme	X	No	No		X
OXALIDACEAE																		
Oxalis tuberosa Molina.	Nativa	X			Oca	92,10 ± 27,86	46,58 ± 11,25	30%	1,98	Extremadamente alargado	Muy grande	Centro	Puntiforme	X	No	No		X
POACEAE																		
Avena sativa L.	Introducida	X			Avena	19,26 ± 1,65	15,34 ± 1,42	9%	1,26	Ligeramente alargado	Pequeño	Centro	Lineal	X	No	No		X
Hordeum vulgare L.	Introducida	X			Cebada	51,53 ± 1,12	48,98 ± 2,12	4%	1,05	Sub-esférico	Grande	Centro	puntiforme	X	No	No		X
Triticum aestivum L.	Introducida	X			Trigo	53,35 ± 12,02	46,67 ± 9,66	23%	1,14	Ligeramente alargado	Grande	Centro	Fisura	X		Radiales Alrededor del hilum	X	
Zea mays L.	Nativa	X			Maiz	42,71 ± 1,02	41,40 ± 2,07	7%	1,03	Esférico	Mediano	Centro	Estrellada	X		Radiales Alrededor del hilum	X	
SOLANACEAE																		
Solanum tuberosum L.	Nativa		X		Papa	178,78 ± 35,84	114,56 ± 25,52	20%	1,56	Muy alargado	Gigante	Excéntrica	Puntiforme	X	No	No		X
TROPICACEAE																		
Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pav.	Nativa	X			Mashua	28,03 ± 11,18	26,52 ± 10,82	40%	1,06	Sub-esférico (variable)	Mediano	Centro	puntiforme	X	No	No		X

Leyenda: C (Cereal), L (Leguminosa), T (Tubérculo), DE (Desviación Estándar), CV% (Coeficiente de Variación), P (Presente), A (Ausente).