

## Análisis exploratorio de características morfológicas del polen de 15 variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) aplicando componentes principales

García, M. E.<sup>1</sup>; R. O. Varela<sup>2,3</sup>; N. J. F. Reyes<sup>1</sup>; F. E. Prado<sup>4</sup>  
y J. A. González<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Palinología, Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251, (4000) Tucumán.

<sup>2</sup> Instituto de Ecología, Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo 251, (4000) Tucumán.

<sup>3</sup> Instituto de Ambientes de Montañas y Regiones Áridas, Universidad Nacional de Chilecito, 9 de Julio 22, (F5360CKB) Chilecito, La Rioja.

<sup>4</sup> Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, (4000) Tucumán.

► **Resumen** — García, M. E., R. O. Varela, N. J. F. Reyes, F. E. Prado y J. A. González. 2011. "Análisis exploratorio de características morfológicas del polen de 15 variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) aplicando componentes principales". *Lilloa* 48 (1). Aplicación del análisis de componentes principales para identificar variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) a partir de características morfológicas del grano de polen. Los caracteres morfológicos del polen son de reconocida importancia para delimitar taxones inter e infragenéricos. El presente estudio explora la estructura de relaciones de 15 variedades de *Chenopodium quinoa* Willd (*Amaranthaceae*) sobre la base de 4 características morfológicas del polen (diámetro ecuatorial, espesor de la exina, diámetro del poro y número total de poros), aplicando el método multivariado de Análisis de Componentes Principales (PCA). Se utilizó el PCA normado sobre una matriz de correlación R. Mediante el PCA se seleccionaron los 2 primeros componentes que explican el 77 % de la variación total de los datos. El primer componente retuvo el 48 % de la variabilidad total y define un eje de variación del diámetro del polen y del espesor de la exina. El segundo componente explica el 29 % de la varianza total e indica un gradiente del tamaño del poro y del número de poros del polen. El diagrama de ordenamiento generado por el PCA muestra una buena segregación de las variedades estudiadas. Se concluye que el PCA es una o poderosa herramienta para identificar variedades de quinoa a partir de características del polen estudiadas.

**Palabras clave:** PCA; quinoa; *Chenopodium quinoa*; polen; variedades.

► **Abstract** — García, M. E., R. O. Varela, N. J. F. Reyes, F. E. Prado and J. A. González. "Exploratory analysis of morphometric pollen characteristics in 15 varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using principal component tools". *Lilloa* 48 (1). Application of principal component analysis (PCA) to identify varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) based on morphometric characteristics of the pollen grain. The morphological characteristics of the pollen are recognized as important to delineate inter-and infrageneric taxa. This study explores the structure of relations of 15 varieties of *Chenopodium quinoa* Willd (*Amaranthaceae*) based on four morphometric characteristics of the pollen (equatorial diameter, exine thickness, pore diameter, and total number of pores), using the multivariate method Principal Component Analysis (PCA). Normed PCA was used on a correlation matrix R. Through the PCA selected the first two components account for 77% of the total variation of the data. The first component retained 48% of the total variability and defines an axis of variation in pollen diameter and thickness of the exine. The second component explains 29% of the total variance and shows a gradient of pore size and the number of pores in the pollen. The diagram generated by the PCA system shows a good separation of the varieties studied. We conclude that the PCA is a powerful tool for identifying quinoa varieties from pollen characteristics studied.

**Keywords:** PCA; quinoa; *Chenopodium quinoa*; pollen.

## INTRODUCCIÓN

*Chenopodium quinoa* Willd. (*Amaranthaceae*) conocida como «quinoa» es un pseudocereal nativo de los Andes de Sudamérica, que fue usado desde hace milenios como alimento básico por los pueblos del antiplano. «Quinoa» es en la actualidad una alternativa alimentaria no sólo por la calidad de su proteína (González *et al.*, 1989) sino porque se trata de una especie tolerante a heladas, sequías e incluso puede ser cultivada en zonas montañosas donde otros cultivos tradicionales no prosperan (González *et al.*, 1992)

En el pasado esta especie tuvo una amplia distribución geográfica, que abarcó en Sudamérica, desde Nariño en Colombia hasta Tucumán en Argentina y las islas de Chiloé en Chile e incluso fue adoptada por las culturas precolombinas aztecas y mayas en el Valle de México (Mujica *et al.*, 2001). La quinua en la actualidad tiene distribución mundial: en América, desde Norteamérica y Canadá, hasta Chiloé en Chile; en Europa, Asia y África. A partir de esta distribución se infiere que existe una gran variabilidad morfológica y diversidad de genotipos. Sólo a fin de brindar un ejemplo sobre la variabilidad de esta especie se menciona que en Patacamaya (Oruro, Bolivia) hacia el año 1994, existían en el banco de germoplasma más de 2511 accesiones de quinoa procedentes de distintos países andinos.

En la actualidad y dada la potencialidad que representa «quinoa» como alimentación humana la misma se halla expandida en el mundo y se trata a la vez de obtener variedades con granos grandes y bajo contenido de saponina. Dado que la delimitación de las variedades es a veces un problema, en este estudio se realiza un análisis exploratorio de la estructura de relaciones de variedades de quinoa a partir de variables morfométricas del grano de polen. Se han tomado para ello 14 variedades liberadas comercialmente y como comparación un *Chenopodium* que se considera maleza y que a la fecha no presenta atractivo para los mejoradores y que es el *Ch. quinoa* var. Ayara. Se espera de esta for-

ma contribuir con una serie de parámetros relacionados al grano de polen, de fácil medición, en las variedades ya conocidas comercialmente. De manera que la caracterización del germoplasma podrá en lo sucesivo utilizar no sólo la morfología de la planta sino también aspectos referidos al grano de polen.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las variedades de «quinoa» utilizada fueron las siguientes: 1) Amilda, 2) Chucapaca, 3) CICA, 4) Kancolla, 5) Kamiri, 6) Ratuqui, 7) Sayaña, 8) Robura, 9) Sajama, 10) Samaranti, 11) Piabiru, 12) Ayara, 13) NL 6, 14) CO407 y 15) Kuina roja. En el caso de Ayara no se trata de una variedad sino de un *Chenopodium* considerado maleza. La var. Piabiru fue obtenida de Brasil (Dr. Carlos Spehar) mientras que las variedades 13, 14 y 15 fueron proporcionadas por el Dr. Daniel Bertero del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (Argentina). Las restantes variedades fueron obtenidas de la Estación Experimental de Patacamaya (Oruro, Bolivia) y fueron cultivadas en el campo experimental «Encalilla» del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en Amaicha del Valle, Tucumán (26°35'11" S, 65°55'04" W; 1.995 m.s.n.m.). Para el estudio morfológico del grano de polen de las variedades mencionadas y durante la fenofase de floración (mes de diciembre de 2008 para todas las variedades salvo CICA cuya floración máxima se presentó en marzo de 2009) se colectaron inflorescencias de 10 individuos de cada variedad, escogidos al azar. Cada muestra fue depositada en bolsas de papel individuales para su transporte y rápido secado. Un duplicado de la muestra se conservó en alcohol 70 °. En el laboratorio, el polen fue extraído de las flores e introducido en tubos de vidrio individuales, conteniendo isopropanol 70 %, debidamente sellados, etiquetados y almacenados en refrigeración a 5 °C, para su preservación.

El polen fue preparado para su observación en microscopía óptica (MO) siguiendo las técnicas de Wodehouse (1935) para polen natural y la de Erdtman (1969) para polen acetolizado. Las mediciones se efectuaron con microscopio óptico a un aumento de 100 X y se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: diámetro ecuatorial (DE), espe-

sor de la exina (EE), diámetro del poro (DP) y número total de poros (NP). La cuantificación del número de poros se realizó utilizando la fórmula Melville (1981). Esta fórmula  $P=2,4(D^2)/C^2$  permite calcular el número de poros a partir de las medidas del diámetro del grano (D) y la distancia entre los poros (C). Los granos de polen se fotografiaron al

**Tabla 1.** Variables morfométricas del grano de polen de 15 variedades de *Chenopodium quinoa*. Los valores son promedios ( $\pm$  SE) de 10 mediciones tomadas de 5 a 10 plantas, escogidas al azar. El número entre paréntesis identifica a cada variedad estudiada.

<b>VARIEDAD</b>	<b>Diámetro (<math>\mu</math>m)</b>	<b>Tamaño del poro (<math>\mu</math>m)</b>	<b>Nº de poros</b>	<b>Espesor exina (<math>\mu</math>m)</b>
<i>Amilda</i> (1)	24,5 $\pm$ 0,3	1,9 $\pm$ 0,1	47,2 $\pm$ 1,2	1,2 $\pm$ 0,1
<i>Chucapaka</i> (2)	23,5 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,2	43,2 $\pm$ 0,7	1,3 $\pm$ 0,2
<i>CICA</i> (3)	20,1 $\pm$ 0,5	1,8 $\pm$ 0,1	47,4 $\pm$ 1,4	1,5 $\pm$ 0,2
<i>Kancolla</i> (4)	23,6 $\pm$ 0,2	1,6 $\pm$ 0,2	48,8 $\pm$ 1,3	1,4 $\pm$ 0,2
<i>Kamiri</i> (5)	22,8 $\pm$ 0,4	1,7 $\pm$ 0,2	51,2 $\pm$ 0,9	1,3 $\pm$ 0,2
<i>Ratuqui</i> (6)	24,5 $\pm$ 0,4	1,6 $\pm$ 0,2	49,3 $\pm$ 1,3	1,5 $\pm$ 0,2
<i>Sayaña</i> (7)	26,8 $\pm$ 0,5	1,5 $\pm$ 0,2	51,9 $\pm$ 1,4	1,4 $\pm$ 0,2
<i>Robura</i> (8)	28,1 $\pm$ 0,6	1,6 $\pm$ 0,2	55,0 $\pm$ 1,3	1,2 $\pm$ 0,1
<i>Sajama</i> (9)	24,3 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,2	47,1 $\pm$ 1,0	1,6 $\pm$ 0,2
<i>Samaranti</i> (10)	24,4 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,2	50,4 $\pm$ 1,3	1,5 $\pm$ 0,2
<i>Piabiru</i> (11)	22,8 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,2	50,0 $\pm$ 1,3	1,7 $\pm$ 0,2
<i>Ayara</i> (12)	18,8 $\pm$ 0,7	1,2 $\pm$ 0,1	47,8 $\pm$ 3,1	1,4 $\pm$ 0,2
<i>NL6</i> (13)	24,4 $\pm$ 0,8	1,7 $\pm$ 0,2	50,5 $\pm$ 2,0	1,4 $\pm$ 0,2
<i>CO407</i> (14)	21,0 $\pm$ 0,4	1,4 $\pm$ 0,2	47,1 $\pm$ 1,1	1,7 $\pm$ 0,2
<i>Kuina roja</i> (15)	19,8 $\pm$ 0,6	1,7 $\pm$ 0,2	48,8 $\pm$ 1,2	1,8 $\pm$ 0,1
<b>PROMEDIO</b>	23,3	1,6	49,0	1,5
<b>SD</b>	2,5	0,2	2,7	0,2
<b>COEF. VAR (%)</b>	10,9	10,7	5,5	12,4

microscopio a un aumento de 100 X. La terminología empleada para la descripción del grano de polen corresponde a la de Punt (1994). Las preparaciones estudiadas fueron incorporadas a la Palinoteca de la Fundación Miguel Lillo (PAL-TUC).

#### ANÁLISIS DE DATOS

Se aplicó el método de Análisis de Componentes principales (PCA) para explorar la estructura de relaciones entre variables y variedades. El PCA posibilita reducir la dimensionalidad de la matriz de datos transformando el conjunto de variables originales en otro conjunto de variables no correlacionadas llamadas componentes principales, las cuales son combinaciones lineales de las primeras (Pla, 1986). El análisis se realizó aplicando el programa NT-SYS (Rholf *et al.*, 1990).

La matriz de datos de este estudio está conformada por 15 variedades de quinoa y 4 atributos del grano de polen (Tabla 1). Los valores de la matriz son promedios de 10 medidas de granos de polen natural. Debido a que las variables no registran las mismas unidades de medida, se trabajó con una matriz de correlación R, la cual da la misma importancia a cada una de las variables (Pla, 1986).

A partir de los resultados numéricos se elaboró un diagrama que sintetiza la estruc-

tura de los datos, y donde se representa simultáneamente la distribución u ordenamiento de las variedades y las proyecciones de las variedades en un sistema de coordenadas cartesianas conformadas por los dos primeros ejes o componentes. En el diagrama, las variedades están representadas por puntos y las variables por vectores. En la interpretación del diagrama, las proximidades entre puntos sugieren similitud de comportamiento de estos respecto a las variables. De este modo, las variedades más cercanas son más similares y las más lejanas más disímiles. Las proximidades entre variables o entre estas y los componentes (determinado por ángulo que delimitan), indican la magnitud de la correlación. A mayor longitud y menor ángulo, mayor será la correlación de las variables con los componentes, es decir mayor será su contribución a la formación de ese componente (Pla, 1986).

#### RESULTADOS

Los resultados del análisis de componentes principales en términos de la varianza explicada por cada uno de los componentes se exponen en la Tabla 2. Teniendo en cuenta como criterio de retención de componentes, aquellos cuyo valor propio es superior a la unidad, se seleccionaron los dos primeros componentes, los cuales sintetizan el 77 % porcentaje de la variación total de los datos.

**Tabla 2.** Valores propios y porcentaje de la variación explicada de los distintos componentes, calculados a partir de la matriz de Correlación R.

Componentes principales	Valor propio	Variación total explicada	
		Abosulta (%)	Acumulada (%)
CP1	1,9	48	48
CP2	1,2	29	77
CP3	0,6	15	92
CP4	0,3	8	100

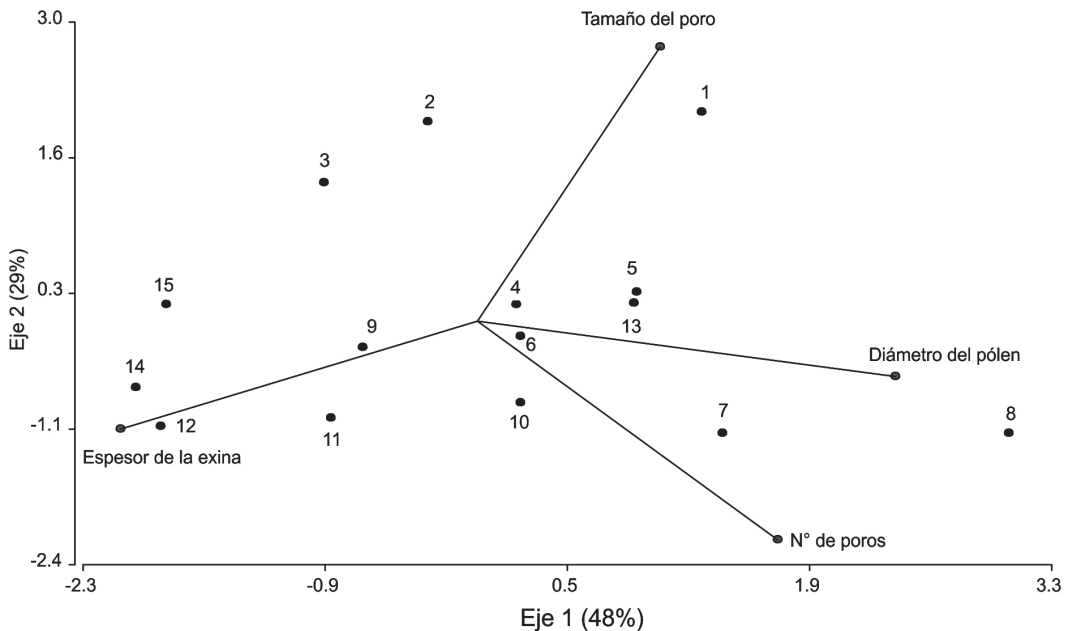
**Tabla 3.** Vectores propios y correlación entre las variables y los componentes retenidos.

Variables	Componente principal 1		Componente principal 2	
	Autovectores	Coefficiente de correlación r	Autovectores	Coefficiente de correlación r
Diámetro del pólen ( $\mu\text{m}$ )	0,64	0,88	-0,15	-0,16
Tamaño del poro ( $\mu\text{m}$ )	0,28	0,39	0,74	0,79
Número de poros	0,46	0,64	-0,59	-0,63
Espesor de la exina ( $\mu\text{m}$ )	-0,55	-0,76	-0,29	-0,32

En términos prácticos, el problema en el hiperespacio de cuatro dimensiones ha sido reducido al plano, con una capacidad explicativa muy significativa para explicar la estructura del sistema.

Del análisis de la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes principales (Tabla 3), se desprende que las variables diámetro del polen y espesor de la exina son las que mejor contribuyen

a la formación del primer componente, pero en sentido opuesto debido a su correlación positiva y negativa, respectivamente. Es decir, el primer componente define un gradiente de estas dos variables, aunque el diámetro del poro exhibe una mejor correlación. En el segundo componente, los valores más altos corresponden a las variables tamaño del poro y número de poros, que tuvieron una correlación positiva y negativa, respectiva-



**Figura 1.** Diagrama de ordenamiento simultáneo de variedades y variables del polen en el plano de los dos primeros ejes, generado por el Análisis de Componentes principales. Las variedades son referidas por medio de números, como se indica en la Tabla 1.

mente. El eje 2 puede ser asumido como un eje de variación del tamaño del poro, ya que la variable número de poros, tuvo similar contribución en ambos ejes y ligeramente menor en el eje 2.

Los resultados expuestos precedentemente pueden ser visualizados gráficamente en la Figura 1, la cual muestra el diagrama de ordenamiento simultáneo de variedades y variables en el plano formado por los componentes 1 y 2. Se observa que el primer componente dispersa a las variedades polarizando hacia la derecha las de mayor diámetro y menor espesor de la exina (variedad N° 8) y hacia la izquierda las variedades (N° 14, 15 y 12) con un comportamiento opuesto. El segundo componente segrega a las variedades, polarizando hacia el extremo superior a las con mayor tamaño del poro (variedades N° 1, 2 y 3) y hacia el extremo inferior a las con menor promedio de esta variable (variedades N° 7, 8, 10, 11 y 12). Las variedades N° 4 y 6 y N° 5 y 13 son las más próximas entre sí, y para las cuales el PCA es limitado en segregarlas sobre la base de las características estudiadas.

### CONCLUSIONES

El buen nivel explicación obtenido con los dos primeros componentes, evidenciado por la buena dispersión de puntos en el plano, revelan que el PCA es una técnica poderosa para delimitar variedades de la especie de quinoa.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Fundación Miguel Lillo, al INTA (Campo

Experimental Encalilla) en la persona del Ing. R. Orell y a la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT) que contribuyó mediante el proyecto PICT N° 23.153. Asimismo se hace extensivo el agradecimiento a las Lic. M. Bruno y M. Valoy y al Sr. S. Buedo por su colaboración en el campo.

### BIBLIOGRAFÍA

- Erdtman, G. 1969. Handbook of Palynology. 486 pp. Munksgaard Copenhagen.
- González, J. A., Roldán, A., Gallardo, M., Escudero, T., Prado, F. E. *et al.* 1989. «Quantitative determinations of chemical compounds with nutritional value from Inca Crops: *Chenopodium quinoa* («quinoa»)». Plant Foods for Human Nutrition 39: 331-337
- González, J.A., Prado, F.E. «Germination in relation to salinity and temperature in *Chenopodium quinoa* (Willd.)». 1992. Agrochimica 36, 101-107.
- Melville, R. 1981. Surface tension, diffusion and the evolution and morphogenesis of pollen aperture patterns. Pollen et Spores 23: 179-203.
- Mujica S. A.; J. Izquierdo y J. P. Marathee. Origen y descripción de la quinoa. Cap. I. En: Mujica S. A.; S. E. Jacobsen, J. Izquierdo y J. P. Marathee (Eds). 2001. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Ancestral Cultivo Andino. Alimento del presente y futuro. FAO.
- Pla, L. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Serie de matemática. Monografía n° 27. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D:C
- Punt, W., Blackmore, S. Nilsson y A. Le Thomas. 1994. Glossary of pollen and spores terminology. Serie 1. LPP Contributions. LPP Foundation, Utrecht, 71 pp.
- Rholf, F. K. 1990. NTSYS-pc versión 1.60. Exeter Softwater, Setauket, New York, USA.
- Wodehouse, R. P. 1935. Pollen grains. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York and London. 559 pp.