

Morfología del polen en el área de influencia del Monumento Arqueológico de Salapunku del Santuario Histórico de Machupicchu, Cusco - Perú

Pollen morphology in the area of influence of the Salapunku Archaeological Monument, Historical Sanctuary of Machupicchu, Cusco - Peru

Melanie Moriano-Huillca^{1,*}, María E. Holgado-Rojas^{1,2} y Gloria Calatayud-Hermoza^{1,2}

Recibido: 18 noviembre 2023 | **Aceptado:** 01 febrero 2024 | **Publicado en línea:** 05 febrero 2024

Citación: Moriano-Huillca, M; Holgado-Rojas, ME; Calatayud-Hermoza, G. 2023. Morfología del polen en el área de influencia del Monumento Arqueológico de Salapunku del Santuario Histórico de Machupicchu, Cusco- Perú. Revista Forestal del Perú 38(2): 280-299. DOI: <https://doi.org/10.21704/rfp.v38i2.2082>

Resumen

Se realizó la descripción de los granos de polen de las familias Bromeliaceae, Fabaceae y Solanaceae presentes en el Monumento Arqueológico de Salapunku-SHM para determinar sus caracteres con fines taxonómicos y establecer una base de referencia para posteriores estudios paleopalinológicos que puedan llevarse a cabo en esta zona. El material palinológico se obtuvo a partir de la recolección de ejemplares con flor de las familias: Bromeliaceae, Fabaceae y Solanaceae, entre los meses de setiembre-diciembre del 2019 y febrero-marzo del 2020. Para el tratamiento de muestras de polen se aplicó la técnica de acetólisis de Erdtman (1960) y se consideraron caracteres palinológicos como: el diámetro polar y ecuatorial, aperturas, ámbito, tamaño y elementos esculturales de la esporodermis. Fueron analizadas tres especies de la familia Bromeliaceae, siete especies de la familia Fabaceae y cinco especies de la familia Solanaceae. Los resultados mostraron que los caracteres palinológicos con mayor predominancia según el tipo de grano son: mónadas, simetría radial, isopolar, forma prolato-esferoidal y prolato, ámbito semi-angular, tamaño mediano, apertura tricolporado y ornamentación reticulada. Mediante este trabajo y la revisión bibliográfica se concluyó que las familias evaluadas conservan semejanzas en la morfología polínica siendo de importancia taxonómica para estudios paleobotánicos.

Palabras clave: palinología, descriptores palinológicos, Salapunku

¹ Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

² Sociedad Botánica del Cusco, Av. de la Cultura 733, Cusco, Perú.

* Autor de Correspondencia: melanice20@gmail.com

Abstract

The description of the pollen grains of the Bromeliaceae, Fabaceae and Solanaceae families present in the Salapunku-SHM Archaeological Monument was carried out to determine their characters for taxonomic purposes and establish a reference base for subsequent paleopalynological studies that can be carried out in this zone. The palynological material was obtained from the collection of flowering specimens of the families: Bromeliaceae, Fabaceae and Solanaceae, between the months of September-December 2019 and February-March 2020. For the treatment of pollen samples, the Erdtman (1960) acetolysis technique and palynological characters such as: polar and equatorial diameter, openings, scope, size and sculptural elements of the sporodermis were considered. Three species of the Bromeliaceae family, seven species of the Fabaceae family and five species of the Solanaceae family were analyzed. The results showed that the palynological characters with the greatest predominance according to the type of grain are monads, radial symmetry, isopolar, prolate-spheroidal and prolate shape, semi-angular scope, medium size, tricolporate opening and reticulated ornamentation. Through this work and the bibliographic review, it was concluded that the families evaluated retain similarities in pollen morphology, being of taxonomic importance for paleobotanical studies.

Key words: palynology, palynological descriptors, Salapunku

Introducción

En los últimos años la palinología ha representado una herramienta fundamental que se ha integrado en diferentes campos multidisciplinarios como: sistemática vegetal, morfología vegetal, ecología, medicina, apicultura, geología, climatología, arqueología, entre otras áreas (Velasquez 1999, Mercado *et al.* 2013, Collao *et al.* 2015, Fernández 2021); por lo tanto, el conocimiento de los granos de polen permitirá incrementar el nivel de resolución en el proceso de identificación al momento de realizar estudios palinológicos aplicativos.

En Perú son pocos los estudios enfocados en la caracterización palinológica de especies botánicas, se tienen trabajos como el de Ventura y Huamán (2008), quienes describieron la morfología externa de los granos de polen de la familia Fabaceae de la Parte Baja de los Valles de Pativilca y Fortaleza en Lima, donde se encontró diferencias en la morfología polínica a nivel de especies; así mismo en el trabajo de Morales (2015), quien caracterizó palinológicamente la flora actual en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (Lima), mediante la morfología polínica de veinticinco especies de la flora actual siendo las familias más representativas: Amaranthaceae, Cyperaceae y Poaceae, con la finalidad de determi-

nar si existe relación entre estas características y los diferentes ambientes, de igual manera, Cavero y Kang (2017) describieron y compararon la morfología polínica de las especies botánicas del Bosque Upaypíteq, Lambayeque y concluyeron que las familias más abundantes fueron Asteraceae, Melastomataceae y Solanaceae, donde los granos de polen de la familia Solanaceae se caracterizaron por ser radiosimétricos, isopolares, de ámbito circular y tamaño pequeño. Por último, se tiene el trabajo de Yuca (2016), quien realizó un estudio florístico y palinológico en la localidad de Huaran y Cuyo Grande en Cusco, siendo las familias Solanaceae y Fabaceae los taxones con mayor número de especies, asimismo, en base a todas las especies evaluadas se concluye que presentan caracteres de importancia taxonómica que serán útiles para trabajos de palinología aplicada.

Actualmente, otros campos de investigación como la arqueología usan los hallazgos de granos de polen como instrumento auxiliar para el conocimiento e interpretación del uso de las plataformas como espacios agrícolas, como es el caso del Monumento Arqueológico de Salapunku, en donde el reconocimiento del polen sería importante para su interpretación, el cual constituye una evidencia esencial de las actividades humanas del pasado y su en-

torno. En la región del Cusco se cuenta con un escaso material de referencia que permita identificar satisfactoriamente las muestras de polen encontrados en dichos trabajos. Por lo tanto, la finalidad de la presente investigación es describir los granos de polen de la zona de estudio caracterizada principalmente por las familias Bromeliaceae, Fabaceae y Solanaceae, ello permitirá reconocer la variedad de tipos polínicos y los caracteres morfológicos de las familias mencionadas; asimismo, contribuirá al conocimiento y desarrollo de una base y/o material de referencia para la identificación, interpretación y aproximación más fiable al momento de realizar trabajos de paleobotánica en el Monumento Arqueológico de Salapunku.

Materiales y Métodos

Características del área de estudio

El área estudio se desarrolló en el ámbito del Monumento Arqueológico de Salapunku ubicado en el Santuario Histórico de Machupic-

chu, provincia de Urubamba, departamento de Cusco, con ubicación geográfica UTM 18L 783361.58 E y 8538063.83 S entre los 2600 y 3400 msnm. Según la clasificación de Sistemas Ecológicos de Josse *et al.* (2007), el área de estudio es considerado como un Bosque montano pluviestacional subhúmedo de Yungas, el cual se caracteriza por presentar una marcada disminución estacional de lluvias, durante dos a tres meses al año (Figura 1).

Colección y determinación de muestras botánicas

Colección de las muestras

Se recolectaron las muestras botánicas de las familias que se encontraban en floración y que eran representativas para el área de estudio teniendo como base a previos registros botánicos realizados durante la ejecución del Proyecto de Recuperación del Monumento Pre Hispánico Sector VIII Isla Chico del Sitio Arqueológico de Salapunku y revisión bibliográfica (Galiano 2008, 2009), para tal fin, se consideró la reco-

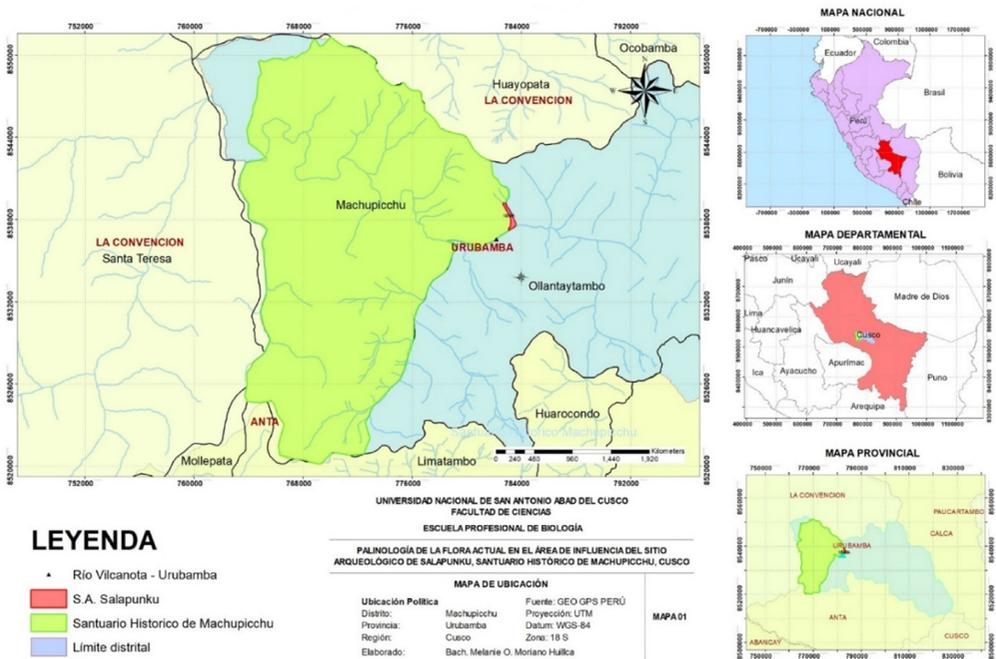


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

lección de tres réplicas de cada especie con el propósito de obtener un adecuado ejemplar para ser depositado en el Herbario Vargas CUZ. Asimismo, para obtener las muestras de los granos de polen, se almacenó en sobres de papel mantequilla los botones florales maduros y/o flores parcialmente cerradas con el propósito de evitar la contaminación con otras muestras de polen al momento de la recolección, según la metodología de Villarreal *et al.* (2006).

Herborización y montaje

Las muestras recolectadas fueron llevadas a las instalaciones del Herbario Vargas CUZ, donde se procedió al secado, montaje y etiquetado. La clasificación taxonómica se basó en el sistema APG IV (APG 2016). Para la determinación a nivel de familia y género se utilizó claves taxonómicas elaboradas por Vásquez y Rojas (2013) y la guía para familias y géneros de plantas leñosas del Noroeste de Sudamérica (Colombia, Ecuador y Perú) (Gentry 1993), Claves de identificación para las familias de Angiospermas de Paraguay (Spichiger *et al.* 2011). Finalmente, se realizó la consulta al especialista Mag. Abel Monteagudo Mendoza del Herbario Vargas CUZ para la identificación de algunos especímenes.

Procesamiento de los granos de polen para la descripción de la morfología polínica

Se utilizó las instalaciones del laboratorio del Centro de Investigación y Producción de Hongos Alimenticios y Medicinales (CIPHAM) para el tratamiento del material palinológico. Inicialmente, se retiraron las anteras de las estructuras florales y se extrajo el material polínico con lancetas únicos para cada muestra, luego fueron almacenados en tubos de ensayo debidamente rotulados, seguidamente se procedió a aplicar el método modificado de acetólisis de Erdtman (1960), con la finalidad de degradar el material orgánico y el protoplasma del polen sin afectar la exina (Uribe y Fonnegra 1979), este procedimiento consistió en agregar 1 ml de acetona al material polinífero y luego se colocó en la centrifuga a 3000 rpm por 5 minutos, seguidamente se decantó

cuidadosamente el sobrenadante; inmediatamente, se agregó la solución acetolítica (ácido acético glacial y ácido sulfúrico) y se introdujo las muestras a baño María a 70 °C durante 10 min; a continuación, se procedió a centrifugar las muestras por 5 minutos y por último, se procedió a centrifugar con agua destilada para limpiar el precipitado final. Concluido el procedimiento anterior, se conservó los granos de polen en el medio de montaje conocido como glicero-gelatina de Kaiser con la finalidad de inmovilizar los granos de polen y teñirlos levemente para aumentar su contraste (García 2003). Finalmente, para la observación de los granos de polen se realizó el montaje en una lámina portaobjetos y se realizó el fotografiado mediante el uso de un microscopio óptico modelo Zeiss a 1000x de aumento.

Análisis de datos

Para las descripciones palinológicas se siguió la terminología de Erdtman (1952), Sáenz (1978) y Halbritter *et al.* (2018), y el glosario de términos usados en descripciones palinológi-

Descriptorios palinológicos	
Cuantitativos	Diámetro del eje polar (P)
	Diámetro del eje ecuatorial (E)
	Grosor de la exina (Gex)
	Diámetro del poro, sin anulus (Po)
	Número de aperturas (Nap)
	Largo del colpo (Lcol)
	Ancho del colpo (Acol)
Cualitativos	Tipo de grano (G)
	Polaridad (Pd)
	Simetría (S)
	Forma (F)
	Ámbito o contorno en vista polar (Amb)
	Tamaño (T)
	Posición de aperturas (Pap)
Ornamentación de la exina (Or)	

Cuadro 1. Lista de descriptorios palinológicos. Fuente: Morales (2015)

cas de Punt *et al.* (2007). Asimismo, se detalla la lista de descriptores palinológicos cuantitativos y cualitativos que fueron utilizados en las descripciones (Cuadro 1); sin embargo, algunas medidas no fueron consideradas para todas las muestras de polen debido a las irregularidades al momento del montaje en las láminas. De igual manera, para obtener los datos estadísticos, se consideró tomar las medidas del diámetro del eje polar (P) y diámetro del eje ecuatorial (E) en vista ecuatorial (VE) de treinta granos de polen por especie (Huamán 1993) con el fin de mostrar los valores mínimos, promedio y máximos como se detalla en el siguiente ejemplo: **VE: P 23(29)39 μm y E 41(51)81 μm .**

Estructura de las descripciones

Para la descripción palinológica de las especies evaluadas se siguió la siguiente estructura:

FAMILIA: Familia A

Especies A

Descripción palinológica: Tipo de grano (G), Polaridad (Pd); Simetría (S); Forma (F), Ámbito en vista polar (Amb), Tamaño (T), medidas en Vista Ecuatorial (VE): diámetro del eje polar (P), y diámetro del eje ecuatorial (E); Posición de aperturas (Pap); Ornamentación de la exina (Or). **Ejemplar de herbario:** *Colector y Número de colecta* (Herbario) (Figura correspondiente).

Resultados

Se caracterizó palinológicamente la morfología de quince especies de flora del área de influencia del Monumento Arqueológico de Salapunku, Santuario Histórico de Machupicchu, Cusco. De acuerdo con los descriptores palinológicos cualitativos de Sáenz (1978) y Halbritter *et al.* (2018), se detallan las diferentes características morfológicas (Figura 2):

1. Tipo de grano (G): Todos los granos de polen de los taxones estudiados se presentaron como mónadas.
2. Polaridad (Pd): El 73% del polen analizado presentan isopolaridad.

3. Simetría (S): La simetría más común que presentaron los taxones analizados fue radiosimétrico.
4. Forma (F): El 42% del polen analizado presenta la forma prolato-esferoidal, el 25 % prolato, 17% subprolato y 8% oblato esferoidal y prolato.
5. Ámbito o contorno en vista polar (Amb): El contorno en vista polar o ámbitos fueron: semi-angular 75%, circular 17% y angular 8%.
6. Tamaño (T): En cuanto al tamaño del polen se tiene en mayor porcentaje los granos medianos con 75% y granos pequeños con 25%.
7. Posición y número de aperturas (Pap): Los tipos de apertura observados fueron: tricolporado, triporado, tricolpado. Siendo tricolporado 75% los más frecuentes.
8. Ornamentación de la exina (Or): Las ornamentaciones mostradas por los granos de polen fueron: reticulado, psilado, rugulado, escabrado, perforado; siendo reticulado con un 42% la característica con mayor porcentaje.

Asimismo, de acuerdo a los datos estadísticos de los descriptores cuantitativos, para la familia Bromeliaceae se observó que la medida del eje polar de las especies evaluadas representa el mínimo y máximo valor posible establecido de 18 a 37 μm , en cuanto a la medida del eje ecuatorial se observó que los datos son más dispersos variando desde 41 a 71 μm , asimismo, los valores de la exina fueron más homogéneos para las tres especies evaluadas, por el contrario, el ancho y largo del colpo presentó mayor variabilidad en sus valores. Con respecto a la familia Fabaceae se observó valores del eje polar dispersos con un mínimo y máximo de 21.3 a 52.4 μm , siendo *Lathyrus magellanicus* la especie de mayor tamaño, en cuanto a los valores del eje ecuatorial fueron homogéneos, variando desde 17 a 39 μm ; de igual manera, los valores de la exina fueron homogéneos; no obstante, los valores del diámetro del poro y largo del colpo fueron más dispersos. Finalmente,

Familia	Especie	Descriptores cuantitativos	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	Promedio (µm)	Desviación Standard	Coefficiente de variación
Bromeliaceae	<i>Tillandsia biflora</i>	P	23.7	39	29.14	4.22	0.14
		E	41	80	51.03	9.84	0.19
		Gex	0.9	1.7	1.26	0.24	0.19
		Lcol	40.2	47	43.57	2.47	0.06
		Acol	1.3	2.3	1.8	0.71	0.39
	<i>Tillandsia tequendamae</i>	P	29.38	37.12	33.24	3.37	0.1
		E	62.33	71.64	66.86	2.86	0.04
		Gex	1.5	1.7	1.59	0.09	0.06
		Lcol	41	65	56.33	7.08	0.13
		Acol	4.8	12	8.86	2.35	0.27
	<i>Tillandsia</i> sp.	P	18	30	25.57	4.16	0.16
		E	34	74.8	47.34	10.5	0.22
		Gex	0.9	1.8	1.33	0.31	0.24
		Lcol	35	40	38.2	1.92	0.05
		Acol	9.8	9.6	10	9	9.5
Fabaceae	<i>Apurimacia boliviana</i>	P	21.3	24.2	22.82	0.84	0.04
		E	19.7	26.5	24.27	1.82	0.07
		Gex	0.6	1.2	0.93	0.16	0.17
		Po	5.4	10	8.4	1.55	0.18
		Lcol	12	16	14	1.41	0.1
	<i>Collaea speciosa</i>	P	27	29.3	28.38	0.74	0.03
		E	23	29.5	25.24	2.62	0.1
		Gex	0.8	1.1	0.9	0.1	0.11
		Po	1.9	2.6	2.15	0.31	0.14
		Lcol	19	25	21.32	2.37	0.11
		Acol	1.5	3	2.33	0.62	0.27
	<i>Crotalaria incana</i>	P	26	31	28.41	1.38	0.05
		E	17	25	21.68	2.7	0.12
		Gex	0.8	1.4	1.01	0.15	0.15
		Lcol	23	27	24.36	1.36	0.06
		Acol	1.4	1.7	1.53	0.15	0.1
	<i>Lathyrus magellanicus</i>	P	40.7	52.43	47.23	3.15	0.07
		E	28.4	39	34.43	2.97	0.09
		Gex	1.1	1.7	1.41	0.18	0.12
		Po	8	10	9.18	0.68	0.07
Lcol		30	37	32.87	2.51	0.08	

Cuadro 2. Estadísticos de los descriptores cuantitativos.

Familia	Especie	Descriptores cuantitativos	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	Promedio (µm)	Desviación Standard	Coefficiente de variación
Fabaceae	<i>Lupinus</i> sp.	P	25	33	30.71	2.27	0.07
		E	20	25	23.18	1.54	0.07
		Gex	0.8	1.8	1.1	0.3	0.27
		Po	1.2	1.8	1.5	0.3	0.2
		Lcol	23	27	25.33	1.37	0.05
		Acol	1.5	2	1.78	0.19	0.11
	<i>Otholobium pubescens</i>	P	28.7	35.7	32.45	1.83	0.06
		E	28.1	34.6	31.66	1.99	0.06
		Gex	1.5	1.9	1.66	0.13	0.08
		Po	2.3	4	3.26	0.68	0.21
		Lcol	14	21	17.5	4.95	0.28
		Acol	1.6	2	1.8	0.28	0.16
	<i>Senna birostris</i>	P	29	33	30.31	1.23	0.04
		E	23	28	26.78	1.64	0.06
		Gex	0.7	1	0.81	0.11	0.13
Lcol		23	257	54.5	81.83	1.5	
Acol		0.8	2.2	1.63	0.56	0.35	
Solanaceae	<i>Dunalia obovata</i>	P	25.8	34.35	29.73	2.84	0.1
		E	15.65	30.34	20.34	3.66	0.18
		Gex	0.9	1.5	1.2	0.18	0.15
		Po	0.8	1.7	1.18	0.26	0.22
		Acol	1.1	2.7	1.58	0.64	0.4
		Lcol	20	30	24.36	2.98	0.12
	<i>Lycianthes lycioides</i>	P	26	27.4	26.57	0.53	0.02
		E	23.6	28.2	25.89	1.48	0.06
		Gex	0.7	1.4	0.9	0.19	0.22
		Acol	1.2	1.3	1.27	0.06	0.05
		Lcol	21	23.5	22.68	0.8	0.04
	<i>Nicotiana tomentosa</i>	P	27	36	31.15	2.91	0.09
		E	20.8	25	22.69	1.32	0.06
		Gex	0.5	1.2	0.77	0.2	0.26
		Po	1	1.5	1.23	0.25	0.2
Acol		0.8	2	1.44	0.41	0.28	
Lcol		23	29.4	26.04	2.19	0.08	

Cuadro 2 (continuación). Estadísticos de los descriptores cuantitativos.

Familia	Especie	Descriptores cuantitativos	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	Promedio (µm)	Desviación Standard	Coefficiente de variación
Solanaceae	<i>Solanum acuminatum</i>	P	19.4	23	20.93	1.12	0.05
		E	17.5	22.7	19.9	1.87	0.09
		Gex	0.4	0.8	0.58	0.14	0.24
		Acol	1.2	1.6	1.38	0.15	0.11
		Lcol	16	19	17.53	0.83	0.05
	<i>Solanum</i> sp.	P	19	21.7	20.39	0.73	0.04
		E	16	22.1	20.17	1.55	0.08
		Gex	0.6	1	0.77	0.13	0.17
		Po	6	8	7.25	0.96	0.13
		Acol	1.2	1.4	1.3	0.1	0.08
		Lcol	17	19	17.8	0.63	0.04

Cuadro 2 (continuación). Estadísticos de los descriptores cuantitativos.

para la familia Solanaceae, los valores del eje polar tuvieron mayor variabilidad yendo desde 19 a 36 µm, siendo el género *Solanum* el más homogéneo; asimismo, los valores del eje ecuatorial, la exina y ancho del colpo, presentaron menor variabilidad mostrándose homogéneos, por el contrario, el largo del colpo y diámetro del poro presentaron valores variables. A continuación, se detallan las descripciones palinológicas cuantitativas en el Cuadro 2 y las descripciones cualitativas para cada especie estudiada, utilizándose la siguiente leyenda: P = Diámetro del eje polar, E = Diámetro del eje

ecuatorial, F = Forma (P/E), VE = Vista ecuatorial, Po = Diámetro del poro (sin anulus), Lcol = Largo del colpo, Acol = Ancho del colpo, Gex = Grosor de la exina. Asimismo, todas las imágenes presentan una escala de 10 µm.

FAMILIA: Bromeliaceae

***Tillandsia biflora* Ruiz & Pav.**

Descripción palinológica: Mónada, heteropolar; heterobisimétrico; oblató (F = 0.57), ámbito circular, granos grandes (51 µm), medidas en VE: P 23.7(29.14)39 µm, E

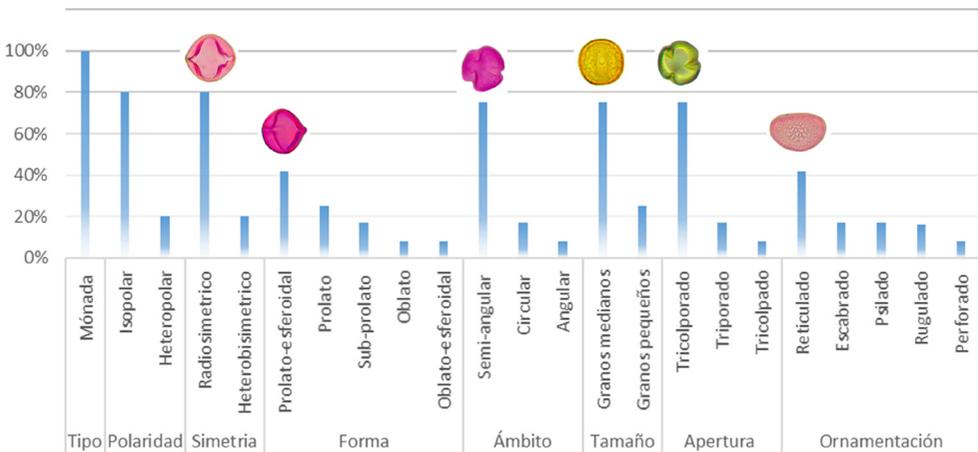


Figura 2. Gráfico de barras de la caracterización morfológica de los granos de polen.

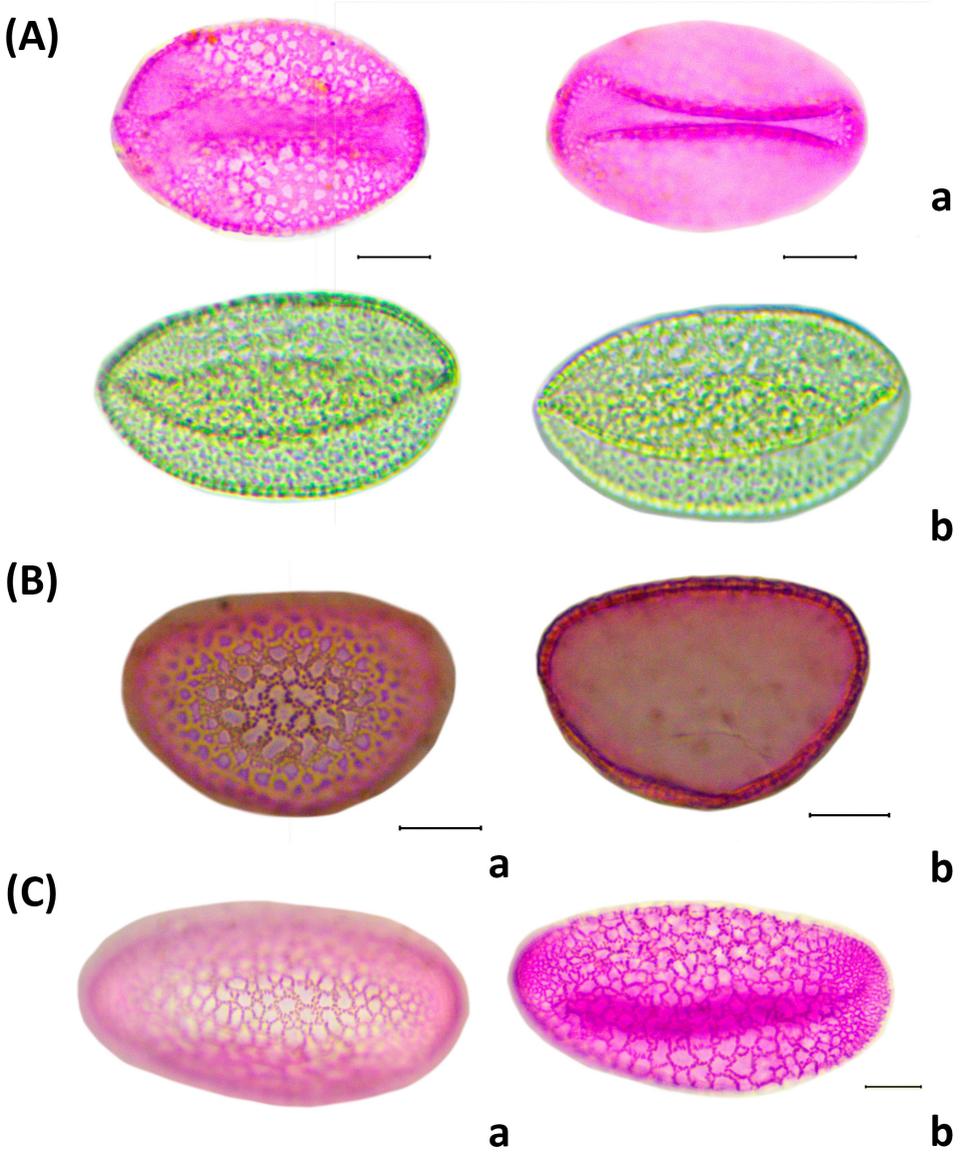


Figura 3. A: *Tillandsia biflora*. Vista polar (a), Vista ecuatorial (b); B: *Tillandsia* sp. Vista Polar (a), Vista ecuatorial (b), C: *Tillandsia tequendamae*. Vista ecuatorial (a) Vista polar (b). Escala 10 μm.

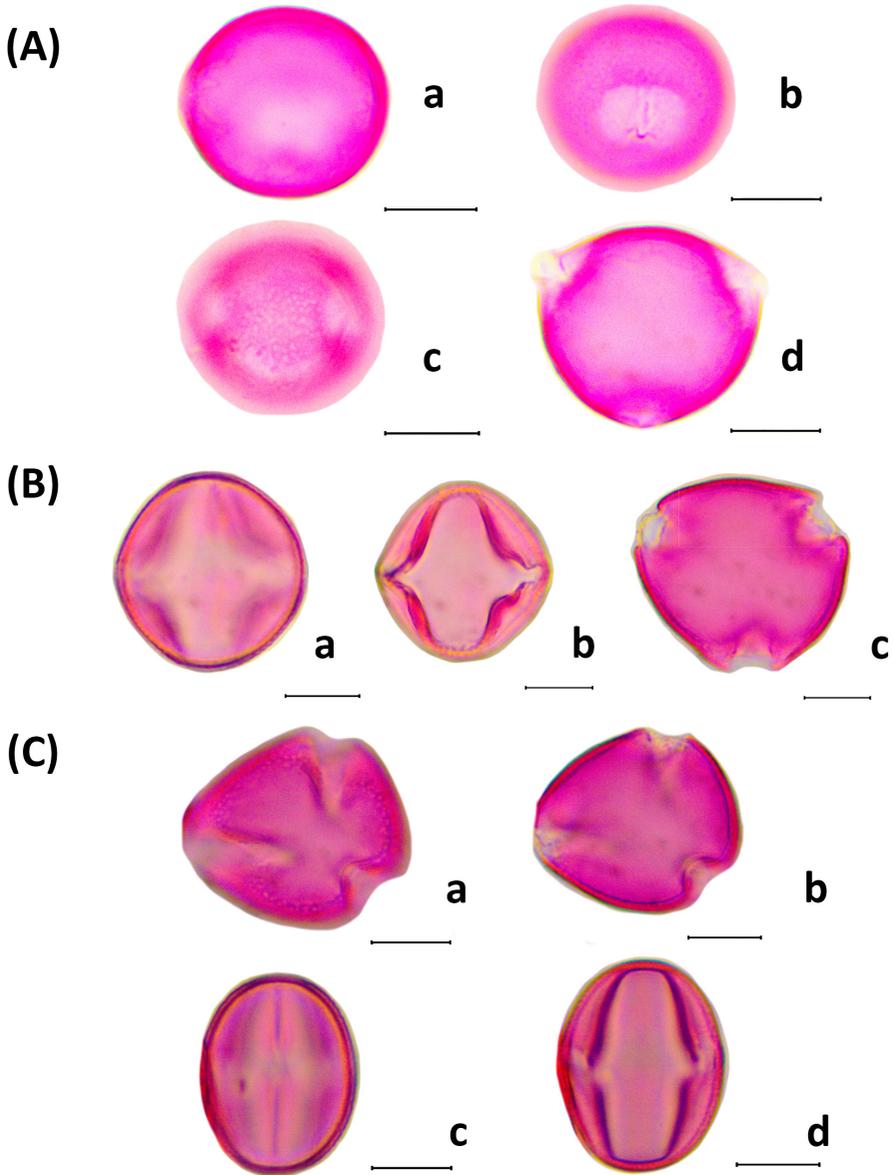


Figura 4. A: *Apurimacia boliviana*. Vista ecuatorial (a, b, c), Vista Polar (d); B: *Collaea speciosa*. Vista ecuatorial (a, b), Vista polar (c); C: *Crotalaria incana*. Vista polar (a, b), Vista ecuatorial (c, d). Escala 10 µm.

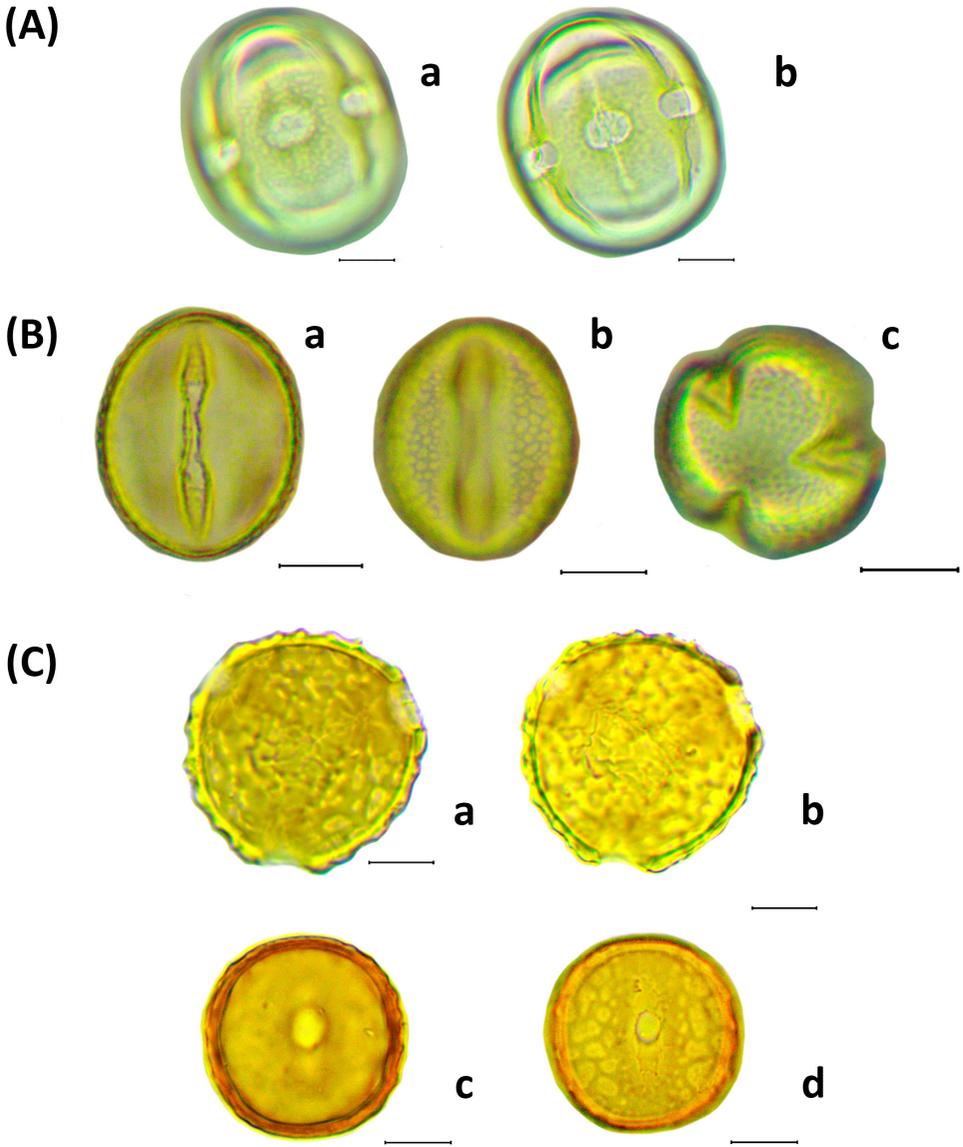


Figura 5. A: *Lathyrus magellanicus*. Vista ecuatorial (a, b); B: *Lupinus* sp. Vista ecuatorial (a, b), Vista polar (c); C: *Otholobium pubescens*. Vista polar (a, b), Vista ecuatorial (c, d). Escala 10 μ m.

41(51)80 μm . Apertura monosulcado. Exina reticulada (1.2 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 19* (CUZ) (Figuras 3-A; 9-A).

***Tillandsia* sp.**

Descripción palinológica: Mónada, heteropolar; heterobisimétrico; oblato ($F = 0.54$), ámbito circular - elíptico, granos grandes (47 μm), medidas en VE: P 25.57(30)18 μm , E 34(47.34)74.8 μm . Apertura monosulcado. Exina reticulada (1.3 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 47* (CUZ) (Figuras 3-B; 9-C).

***Tillandsia tequendamae* Ruiz & Pav.**

Descripción palinológica: Mónada, heteropolar; heterobisimétrico; oblato ($F = 0.57$), ámbito circular, granos grandes (51 μm), medidas en VE: P 23.7(29.14)39 μm , E 41(51)80 μm . Apertura monosulcado. Exina reticulada (1.2 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 48* (CUZ) (Figuras 3-C; 9-B).

FAMILIA: Fabaceae

***Apurimacia boliviana* (Britton) Lavin**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar, radiosimétrico, oblato-esferoidal ($F = 0.94$), ámbito semi-angular, granos pequeños (24.27 μm), medidas en VE: P 21.30(22.82)24.20 μm , E 19.7(24.27)26.50 μm . Apertura tricolporado. Exina escabrada (0.93 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 57* (CUZ) (Figuras 4-A; 9-D).

***Collaea speciosa* (Loisel.) DC.**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar, radiosimétrico, prolato-esferoidal ($F = 1.12$), ámbito semi-angular, granos medianos (28.38 μm), medidas en VE: P 27(28.38)29.30 μm , E 23(25.24)29.50 μm . Apertura tricolporado. Exina reticulada (0.9 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 75* (CUZ) (Figuras 4-B; 9-E).

***Crotalaria incana* L.**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar, radiosimétrico, sub-prolato ($F = 1.31$), ámbito angular, granos medianos (28.41 μm), medidas en VE: P 26(28.41)31 μm , E 17(21.68)25 μm . Apertura tricolporado. Exina reticulada

(1 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 84* (CUZ) (Figuras 4-C; 9-F).

***Lathyrus magellanicus* Lam.**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar, radiosimétrico, prolato ($F = 1.37$), ámbito circular, granos medianos (47.23 μm), medidas en VE: P 40.7(47.23)52.43 μm , E 28.40(34.43)39 μm . Apertura tricolporado. Exina reticulada (1.4 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 98* (CUZ) (Figuras 5-A; 9-G).

***Lupinus* sp.**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar; radiosimétrico; prolato ($F = 1.32$), ámbito semi-angular, granos medianos (30.71 μm), medidas en VE: P 25(30.71)33 μm , E 20(23.18)25 μm . Apertura tricolporado. Exina reticulada (1.1 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 73* (CUZ) (Figuras 5-B; 9-H).

***Otholobium pubescens* (Poir.) J.W. Grimes**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar, radiosimétrico, prolato-esferoidal ($F = 1.02$), ámbito circular, granos medianos (32.45 μm), medidas en VE: P 28.7(32.45)35.7 μm , E 28.10(31.66)34.6 μm . Apertura triporado. Exina rugulada (1.4 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 11* (CUZ) (Figuras 5-C; 9-I).

***Senna birostris* (Dombey ex Vogel) H.S. Irwin & Barneby**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar, radiosimétrico, sub-prolato ($F = 1.13$), ámbito semi-angular, granos medianos (30.31 μm), medidas en VE: P 29(30.01)33 μm , E 23(26.78)28 μm . Apertura tricolporado. Exina escabrada (0.8 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 59* (CUZ) (Figuras 6-A; 9-J).

FAMILIA: Solanaceae

***Dunalia obovata* (Ruiz & Pav.) Dammer**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar; radiosimétrico; prolato ($F = 1.46$), ámbito semi-angular, granos medianos (29.73 μm), medidas en VE: P 25.80(29.73)34.35 μm , E 15.65(20.34)30.34 μm . Apertura tricolporado. Exina rugulada (1.2 μm). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano 43* (CUZ) (Figuras 6-B; 9-K).

***Lycianthes lycioides* (L.) Hassl.**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar; radiosimétrico; prolato-esferoidal ($F = 1.03$), ámbito semi-angular, granos medianos ($26.57 \mu\text{m}$), medidas en VE: P $26(26.57)27.40 \mu\text{m}$, E $23.60(25.89)28.20 \mu\text{m}$. Apertura triporado. Exina perforada ($0.9 \mu\text{m}$). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano* 36 (CUZ) (Figuras 6-C; 9-L).

***Nicotiana tomentosa* Ruiz & Pav**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar; radiosimétrico; prolato ($F = 1.37$), ámbito semi-angular, granos medianos ($31.15 \mu\text{m}$), medidas en VE: P $27(31.15)36 \mu\text{m}$, E $20.80(22.69)25 \mu\text{m}$. Apertura tricolpado. Exina reticulada ($0.77 \mu\text{m}$). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano* 55 (CUZ) (Figuras 7-A; 9-M).

***Solanum acuminatum* Ruiz & Pav.**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar; radiosimétrico; prolato-esferoidal ($F = 1.05$), ámbito semi-angular, granos pequeños ($20.93 \mu\text{m}$), medidas en VE: P $19.40(20.93)23 \mu\text{m}$, E $17.50(19.90)22.70 \mu\text{m}$. Apertura tricolporado. Exina psilado ($0.58 \mu\text{m}$). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano* 7 (CUZ) (Figuras 7-B; 9-N).

***Solanum* sp.**

Descripción palinológica: Mónada, isopolar; radiosimétrico; prolato-esferoidal ($F = 1.01$), ámbito semi-angular, granos pequeños ($20.39 \mu\text{m}$), medidas en VE: P $19(20.39)21.70 \mu\text{m}$, E $16(20.17)22.10 \mu\text{m}$. Apertura tricolporado. Exina psilado ($0.77 \mu\text{m}$). **Ejemplar de herbario:** *M. Moriano* 53 (CUZ) (Figuras 8-A; 9-O).

Discusión

La morfología polínica de tres familias botánicas fue descrita en el Valle del Cusco siendo los primeros reportes de una descripción polínica para el área de influencia del Monumento Arqueológico de Salapunku. La familia Bromeliaceae, con el género *Tillandsia* ha sido descrito como granos de polen de tamaño homogéneo, elíptica a ovada, he-

teropolar; 1-colpado, colpo largo e irregular, reticulado a microrreticulado con diferencias en la estructura de la exina (Silva *et al.* 2016). Asimismo, Cavero y Kang (2017), describen que los granos de polen del género *Tillandsia* pueden presentarse en mónadas de formas esferoidales, elípticas, subcirculares u oblados, sulcados, en menores casos inaperturados, heteropolares y bilaterales, ornamentación reticulada (que va de heteroreticulada a microrreticulada). De igual manera, Schroeder *et al.* (2019) reportan que el carácter importante es la exina reticulada. Estos estudios soportan nuestros resultados en donde describimos a los granos de polen como mónada, heteropolar, heterobisimétrico, oblato, ámbito circular, granos grandes, apertura monosulcado y exina reticulada, lo que confirman los caracteres propios para cada especie estudiada de esta familia.

Por otra parte, la familia Fabaceae con las siete especies estudiadas: *Apurimacia bolivi-ana*, *Collaea speciosa*, *Crotalaria incana*, *Lathyrus magellanicus*, *Lupinus* sp., *Otholobium pubescens* y *Senna birostris* presentaron características de tipo mónada, isopolar, radiosimétrico, granos medianos a excepción de *Apurimacia boliviana* que presenta granos pequeños, en cuanto a la apertura los granos de polen se presentan en su mayoría como tricolporado a excepción de *Otholobium pubescens* que posee una apertura triporada; ornamentación en su mayoría reticulada, escabrado y rugulado. Asimismo, se observó una forma y ámbito variable. Ventura y Huamán (2008) mencionan que los granos de polen, de las especies que estudiaron, se presentaron en su mayoría como mónadas, forma sub prolato, apertura tricolporado y la escultura más común fue la reticulada; asimismo, mencionan que se encontró diferencias en la morfología polínica a nivel de especie. Fernández (2014) describe que el género *Senna* presenta una gran diversidad morfológica con características 3-colporados pequeños a medianos, radiosimétricos, isopolares, oblatos-esferoidales a prolotos, ámbito subcircular, subtriangular a triangular; colpos largos, exina de $1.4\text{--}6.4 \mu\text{m}$ de espesor, tecta-

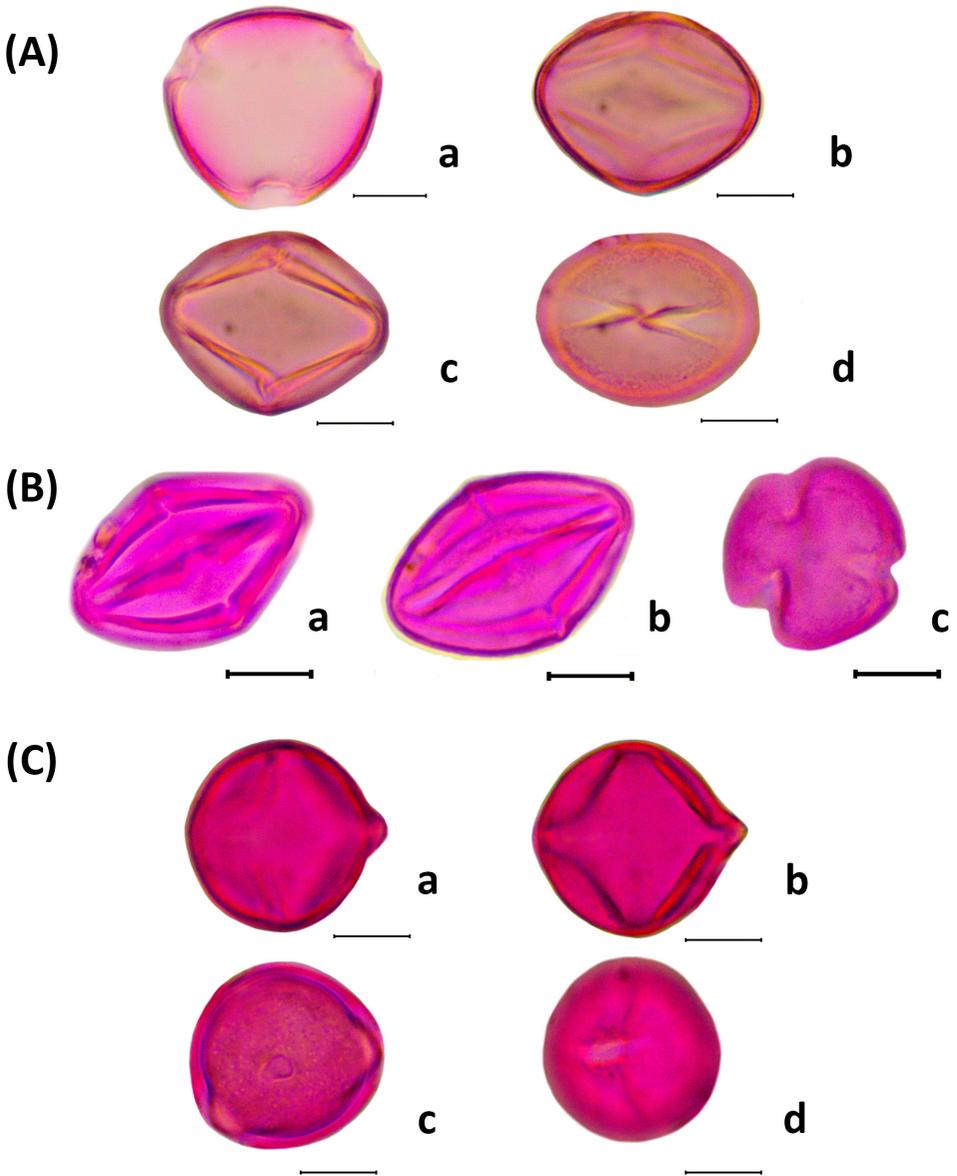


Figura 6. A: *Senna birostris*. Vista polar (a), Vista ecuatorial (b, c, d); B: *Dunalia obovata*. Vista ecuatorial (a, b), Vista polar (c); C: *Lycianthes lycioides*. Vista ecuatorial (a, b, d), Vista polar (c). Escala 10 μ m.

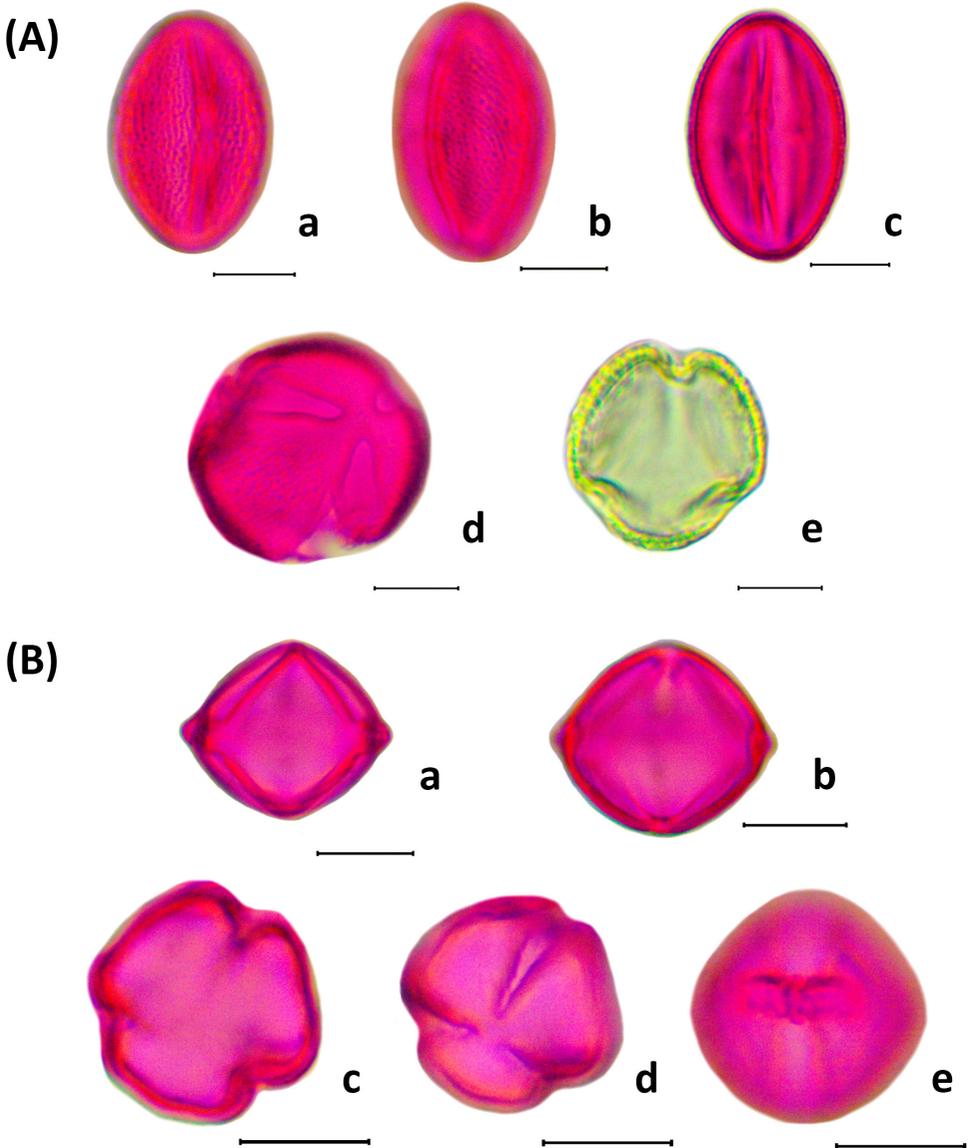


Figura 7. A: *Nicotiana tomentosa*. Vista ecuatorial (a, b, c), Vista polar (d, e); B: *Solanum acuminatum*. Vista ecuatorial (a, b, e), Vista polar (c, d). Escala 10 μ m.

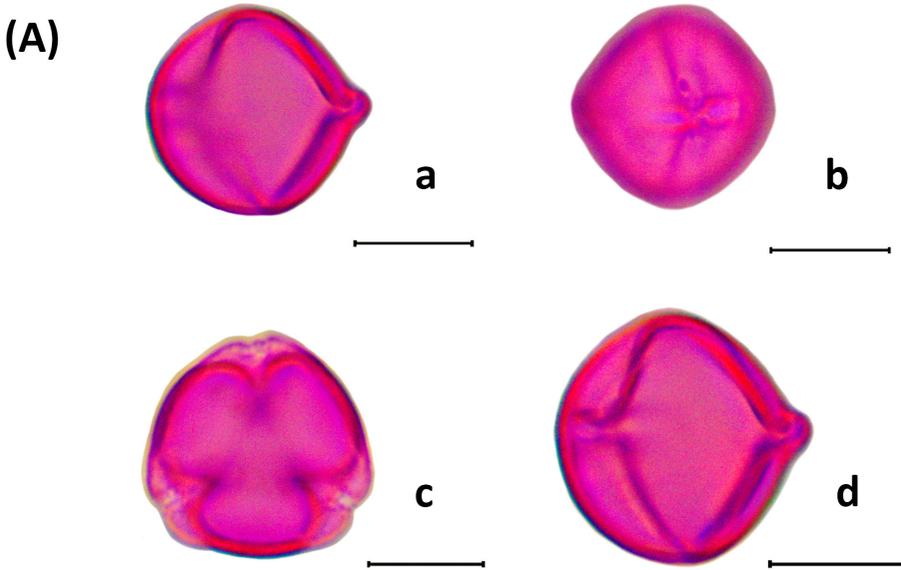


Figura 8. A: *Solanum* sp. Vista ecuatorial (a,b,d), Vista polar (c). Escala 10 μ m.

da psilada, escabrada a rugulada; imperforada, punctada a perforada. En el trabajo de Cavero y Kang (2017), se menciona que los géneros *Lupinus* y *Otholobium* presentan un polen tricolporado, reticulado, isopolar, radiosimétrico, prolado esferoidal, circular, pequeño grosor de exina $1.25 (\pm 0.28)$. Yuca (2017) describe seis especies de Fabaceae, donde se encontró que el carácter en común es la apertura tricolporada; de igual manera, presentan formas variables, tamaño en su mayoría pequeño a mediano y ornamentación reticulada, flaveolada, escábrida en el caso del género *Senna*. Asimismo, Jiménez (1996) y Jiménez *et al.* (2008) mencionan que la familia Fabaceae presenta una mayor variabilidad en cuanto a escultura polínica.

Finalmente, para la familia Solanaceae, se describieron cinco especies *Dunalia obovata*, *Lycianthes lycioides*, *Nicotiana tomentosa*, *Solanum acuminatum* y *Solanum* sp. Según las descripciones de Barth y Duarte (2008) los granos de polen examinados en Solanaceae tienen en común las características de mónadas isopolares de simetría radial, tamaño medianas a grandes y apertura colporadas, mientras que

Mercado *et al.* (2013) describen a las Solanaceae como mónadas, tricolporadas, exina tectada, psilada, escabrada y rugulada. Yuca (2017) estudió diez especies de Solanaceae, entre ellas se encontraron los géneros *Dunalia*, *Nicotiana* y *Solanum*, presentando como carácter en común la apertura tricolporada, tamaño con mayor predominancia mediano y en el caso de *Solanum maturecalvans* se presenta con un tamaño pequeño; asimismo, para el género *Nicotiana* la forma varió desde oblato esferoidal, suboblato y de los géneros *Solanum* y *Dunalia* fue prolato esferoidal; por último, en cuanto a la ornamentación se evidenció una gran variedad entre estriada, escábrida, verrugosa y psilada. Según nuestros resultados las características en común son granos de polen de tipo mónada, isopolar, radiosimétrico, semiangular, de tamaño mediano a pequeño; en cuanto a la forma presentan mayor variedad entre cada género, la apertura que se observó es tricolporada, triporada y tricollpada, asimismo, se tiene una ornamentación variada entre rugulado, perforado, reticulado, psilado. Do Nascimento *et al.* (2003) mencionan que

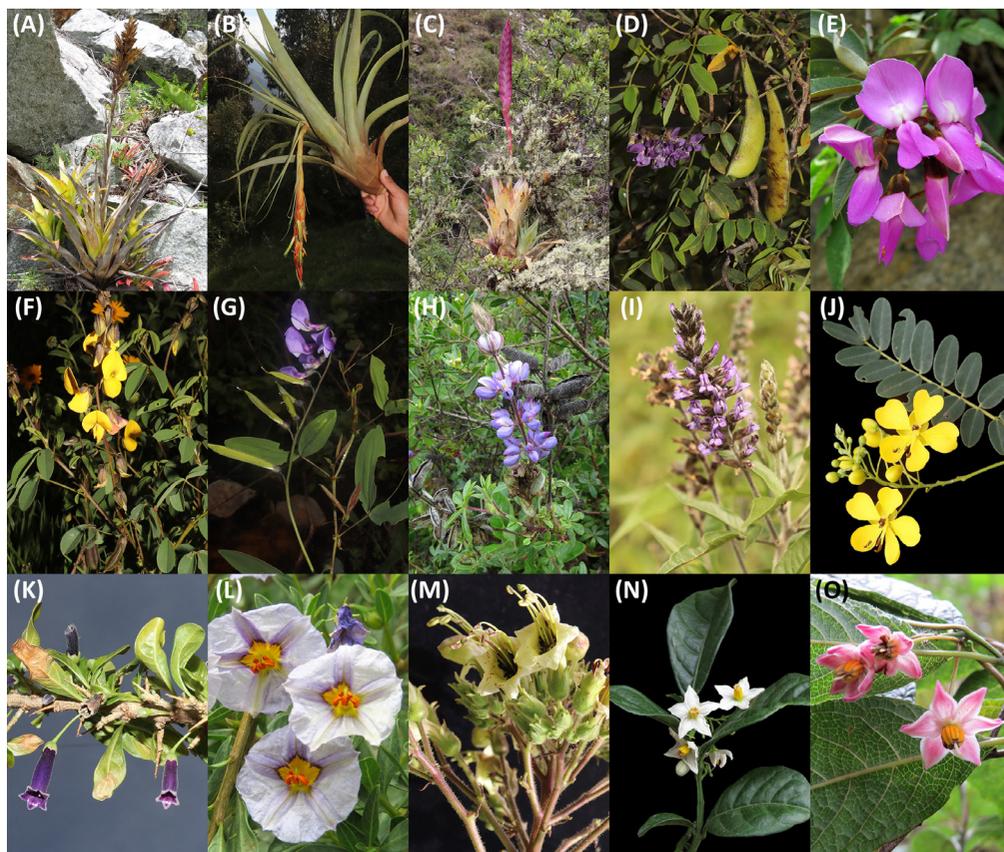


Figura 9. Especies evaluadas en el S.A. Salapunku. A. *Tillandsia biflora* Ruiz & Pav., B. *Tillandsia tequendamae* André, C. *Tillandsia* sp., D. *Apurimacia boliviana* (Britton) Lavin, E. *Collaea speciosa* (Loisel.) DC., F. *Crotalaria incana* L., G. *Lathyrus magellanicus* Lam., H. *Lupinus* sp., I. *Otholobium pubescens* (Poir.) J.W. Grimes, J. *Senna birostris* (Dombey ex Vogel) H.S. Irwin & Barneby, K. *Dunalia obovata* (Ruiz & Pav.) Dammer, L. *Lycianthes lycioides* (L.) Hassl., M. *Nicotiana tomentosa* Ruiz & Pav., N. *Solanum acuminatum* Ruiz & Pav., O. *Solanum* sp. Fotografías de Melanie Moriano.

los datos analizados pueden ser útiles para la identificación taxonómica de las especies estudiadas.

Conclusiones

En base al análisis de los caracteres palinológicos de los granos de polen estudiados, se muestra que según el tipo de grano todas se presentaron como monadas; no obstante, la polaridad y simetría predominante fue isopolar y radiosimétrico, en el cual, estos dos últimos caracteres en su mayoría fueron evi-

denciados para las familias Fabaceae y Solanaceae; por su parte, la forma prolato-esferoidal y prolato así como, el ámbito semi-angular se encuentra en gran porcentaje de los granos de polen evaluados; en cuanto al tamaño mediano, fue un carácter que se presentó con mayor predominancia en las especies evaluadas; asimismo, la posición de la apertura tricolporado se presentó en la mayoría de las especies; y por último, la ornamentación en los granos de polen presentó diferencias significativas, siendo el tipo reticulado el más frecuente. En tal sentido, basándonos en las descripciones de la

morfología polínica de las especies de las familias Bromeliaceae, Fabaceae y Solanaceae en el área de estudio del S.A. Salapunku - SHM, se concluye que la familia Bromeliaceae presentan semejanzas en la morfología polínica, útiles para su identificación como la apertura y ornamentación; por su parte, la familia Fabaceae y Solanaceae presentan diferencias en la morfología polínica a nivel de especies; sin embargo, poseen algunos caracteres fijos importantes para su identificación como los granos de polen de tipo mónada, isopolar, radiosimétrico, de tamaño mediano a pequeño. Por lo tanto, los caracteres palinológicos de las familias estudiadas servirán de gran apoyo a otras áreas de estudio.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Investigación y Producción de Hongos Alimenticios y Medicinales – CIPHAM por las facilidades para el uso de sus instalaciones, al Mg. Abel Monteagudo por el apoyo en la determinación de las especies botánicas en el Herbario Vargas CUZ, así como su confianza y orientación constante durante el desarrollo de esta investigación, al equipo de trabajo del Proyecto de Inversión “Recuperación del Monumento Arqueológico Salapunku Sector VIII Isla Chico” por la colaboración durante el desarrollo del trabajo en campo. Y finalmente a mis compañeros Forvith y Dorali por el apoyo durante el trabajo en laboratorio y campo.

Referencias

APG. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.
 Área Funcional de Gestión de Proyectos. (2021). Recuperación del Monumento Pre Hispánico Sector VIII Isla Chico del Sitio Arqueológico de Salapunku del Parque Arqueológico de Machupicchu, Distrito de Machupicchu, Provincia de Urubamba, Departamento de Cusco. Cusco.

Barth, O; Duarte, S. 2008. Morfología polínica de especies arbóreas de Solanaceae do Estado de Santa Catarina, Brasil. *Hoehnea* 35(3): 379-386.

Cavero, R; Kang, S. 2017. Morfología polínica de las especies en floración del Bosque Upaypíteq, Distrito de Kañaris, Departamento de Lambayeque (febrero - mayo, 2015). Tesis Lic. Lambayeque, Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Collao, K; Maldonado, A; González, L; Sandoval, A; De Porras, M; Zamora, A; Arancio, G. 2015. Estudio de la relación polen-vegetación actual en el Norte de Chile, en el transecto Pozo Almonte-Salar de Huasco (20°15'S/69°06'O). *Gayana Botánica* 72(1): 125-136.

Do Nascimento, S; Dos Santos, F; De Carvalho, A. 2003. Morfología polínica de doce especies de *Cestrum* L. (Solanaceae) da mata higrófila na Bahia, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 25(2): 439-443.

Erdtman, G. 1952. Pollen morphology and plant taxonomy - Angiosperms (An Introduction to Palynology I). Stockholm: Almqvist and Wicksell.

Erdtman, G. 1960. The acetólisis meted - a revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift* 54(4): 561-564.

Fernández, L. 2014. Morfología polínica de especies del género *Senna* (Fabaceae) del Sureste del Iberá, Corrientes, Argentina. *Revista de Biología Tropical* 62(2): 769-782.

Fernández, L. 2021. Diversidad polínica de la comunidad vegetal de Tepactipan, Municipio de Hueytamalco, Puebla. Tesis para optar el título universitario de licenciado en Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Galiano, W. 2009. Estudio de la Flora y Fauna de la zona de amortiguamiento del Santuario Histórico de Machupicchu. Cusco: Coordinación Científica Convenio MOBOT (MO)-UNSAAC. 133

Galiano, W. 2008. Diagnóstico y Propuestas para la Conservación de la Biodiversidad del Santuario Histórico de Machupicchu (SHM)

- y su Zona de Amortiguamiento (ZA). *Revista Universitaria* 140: 173-188.
- García, Y; Rangel, O; Fernández, D. 2011. Flora Palinológica de los humedales de los departamentos de Córdoba y Cesar (Caribe Colombiano) y sus implicaciones en las Reconstrucciones Paleoecológicas. Tesis Mg. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- García Pérez, R. 2003. Estudio palinológico y colorimétrico de mieles florales de la región de Murcia. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
- Gentry, A. 1993. Woody plants of Northwest South América (Colombia, Ecuador, Perú). Washington, DC: Conservation International.
- Halbritter, H; Ulrich, S; Grímsson, F; Weber, M; Zetter, R; Hesse, M; Buchner, R; Svojtka, M; Frosch-Radivo, A. 2018. *Illustrated Pollen Terminology*. Switzerland. Springer. 483 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71365-6>.
- Huamán, L. 1993. Morfología polínica de algunas especies ornamentales de la ciudad de Lima. Tesis para optar el título universitario de licenciado en Biología. Lima: Universidad Particular Ricardo Palma.
- Jiménez, L. 1996. Atlas Palinológico de la Amazonia colombiana. Familias Caesalpinaceae, Fabaceae y Mimosaceae. *Caldasia* 18(3): 295-327.
- Jiménez, LC; Bogotá, RG; Rangel, JO. 2008. Atlas palinológico de la amazonia colombiana - Las familias más ricas en especies. In Rangel, JO. (ed.), Colombia. *Diversidad Biótica VII: Vegetación, Palinología y Paleoecología de la Amazonia Colombiana*. 217-416. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales.
- Josse, C; Navarro, G; Encarnación, F; Tovar, A; Comer, P; Ferreira, W; Rodríguez, F; Saito, J; Sanjurjo, J; Dyson, J; Rubin de Celis, E; Zárate, R; Chang, J; Ahuite, M; Vargas, C; Paredes, F; Castro, W; Maco, J; Reátegui, F. 2007. *Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia. Clasificación y mapeo*. Virginia, Estados Unidos. NatureServe.
- Mercado, J; Jiménez, L; Sánchez, L. 2013. Polen de las magnoliopsida en el volcán (Pamplona, Colombia) II: familias Hypericaceae, Lamiaceae, Lobeliaceae, Polygonaceae, Rhamnaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Scrophulariaceae y Solanaceae. *Caldasia* 35(2): 409-427.
- Morales, C. 2015. Palinología de la flora actual del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa (Lima - Perú). Tesis Lic. Lima, Perú. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Punt, W; Hoen, PP; Blackmore, S; Nilsson, S; Le Thomas, A. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. Review of palaeobotany and palynology 143(1-2): 1-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>.
- Sáenz, C. 1978. Polen y esporas: (introducción a la Palinología y Vocabulario palinológico). Madrid, España. H. Blume.
- Sánchez, Y; Sosa, S; Lozano, M. 2009. Morfología Polínica de Especies de la Selva Mediana sub perennifolia en la Cuenca del Río Candelaria, Campeche. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 84: 83-104.
- Schroeder, G; Vieir, N; Dec, E; Mougá, D. 2019. Caracterização palinológica de Bromeliaceae (A. Juss.) de São Francisco do Sul, Santa Catarina. *Acta Biológica Catarinense* 6(1):46-57.
- Silva, V; Ribeiro, E; Luiz-Ponzo, A; Faria, A. 2016. Ultrastructure and pollen morphology of Bromeliaceae species from the Atlantic Rainforest in Southeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 88: 439-449.
- Soejarto, D; Fonnegra, R. 1972. Polen: diversidad en formas y tamaños. *Actualidades biológicas* 1(1): 1-12.
- Spichiger, R; Stauffer, F; Mere, F; Soloaga, M; Loizeau, P. 2011. Claves de identificación para las familias de Angiospermas de Paraguay. Ginebra, Suiza. Editions des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- Uribe, F; Fonnegra, R. 1979. Importancia de la forma, estructura y tamaño del polen en la determinación de la familia Melastomataceae. *Actualidades biológicas* 8(27, 28): 3-9.

Vásquez, R; Rojas, R. 2013. Clave para identificar grupos de familias de Gymnospermae y Angiospermae del Perú. Oxapampa, Perú. Jardín Botánico de Missouri.

Ventura, K; Huamán, L. 2008. Morfología Polínica de la Familia Fabaceae de la Parte de Baja de Los Valles de Pativilca y Fortaleza (Lima-Perú). *The Biologist* 6(2): 112-134.

Villarreal, H; Álvarez, M; Córdoba, S; Escobar, F; Fagua, G; Gast, F; Umaña, A. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Bogotá, Colombia. Programa Inventarios de Biodiversidad, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Yuca, R. 2016. Estudio florístico-palinológico en las localidades de Huarán y Cuyo Grande del Valle Sagrado de los Incas (Cusco, Perú). *Q'EUÑA* 7(1): 41-50.

Yuca, R. 2017. Espectro polínico de la miel producida en Cuyo Grande (Valle Sagrado de Los Incas, Cusco, Perú). *Ecología Aplicada* 16(1):31-38. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v16i1.901>.