UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

TESIS

MORFOANATOMÍA Y VIABILIDAD POLÍNICA DE *Physalis peruviana* L. EN LAS LOCALIDADES DE K´AYRA Y CHALLABAMBA, REGIÓN DEL CUSCO

PRESENTADO POR:
Br. JUAN FISHER ENRIQUEZ CORDOVA
Br. DENIS RAUL SALLO CALLAÑAUPA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO

ASESORA:
Mg. MARÍA LUISA OCHOA CÁMARA

FINANCIADO POR EL PROGRAMA "YACHAYNINCHIS WIÑARINANPAQ"- UNSAAC

CUSCO - PERÚ

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** María Luisa Ochoa Cámara quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis**titulada:** Morfoanatomía y Viabilidad Polínica de Physalis peruviana L. en las localidades de Kayra y Challabamba, Región del Cusco.

Presentado por: Juan Fisher Enriquez Cordova DNI N° 75796551;
presentado por: Denis Raul Sallo Callañaupa DNI N°: 76065144
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Biólogo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 **veces, mediante el** Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8 **%.**

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 23 de Octubre de 2026

Firma
Post firma María Luisa Ochoa Cámara
Nro. de DNI 23920864
ORCID del Asesor 0000-0002-3917-6172

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:643070067

TESIS FINAL 2026 - VB.pdf

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:643070067

Fecha de entrega
22 oct 2026, 8:37 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
23 oct 2026, 6:49 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS FINAL 2026 - VB.pdf

Tamaño del archivo
9.6 MB

191 páginas

44.503 palabras

261.612 caracteres

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.° de coincidencias excluidas

Fuentes principales

6% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alerta de integridad para revisión

Texto oculto
8 caracteres sospechosos en N.° de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios, por ser mi guía en todo momento y acompañarme en cada paso de este camino.

A mi querida madre Julia y a mi padre Raul por su amor incondicional, esfuerzo y apoyo constante, pilar fundamental para alcanzar esta meta.

A mis hermanos, Dubal Danilo y Abi Daniel, por su compañía, confianza y motivación para seguir adelante.

Y de manera especial a mi pequeña hermanita, Leyla Shirell, cuya alegría y cariño han sido una inspiración permanente en mi vida.

Con gratitud, dedico este logro.

Denis Raul

A Dios, por concederme la oportunidad de culminar esta importante etapa de mi vida y por darme la perseverancia necesaria para alcanzar mis objetivos.

A mi familia, por su apoyo constante, sus enseñanzas y por ser el impulso que me motivó a seguir creciendo personal y profesionalmente.

A todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación y me acompañaron durante este proceso.

Con amor y gratitud.

Juan Fisher

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, manifestamos nuestro sincero agradecimiento a Dios por concedernos salud, fortaleza y constancia, permitiéndonos así culminar esta significativa etapa de nuestra formación profesional.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a la Facultad de Ciencias Biológicas y a la Escuela Profesional de Biología, por contribuir a nuestra formación académica y profesional, proporcionándonos los conocimientos fundamentales para el desarrollo de la presente investigación.

A nuestros padres y familia, por su respaldo incondicional, esfuerzo y sacrificio constante, siendo el principal sostén en el logro de nuestras metas.

A nuestras asesoras, Mg. María Luisa Ochoa Cámara y Mg. Mercedes Maritza Quispe Flórez, por su orientación, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación, contribuyendo de manera significativa a su culminación.

Al programa Yachayninchis Wiñarinampaq, del Vicerrectorado de Investigación (VRIN) de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), por el financiamiento otorgado, que hizo posible la realización de la presente investigación.

A las comunidades y personas que colaboraron en la ejecución de esta investigación, por su apoyo y disposición, haciendo posible la recolección de información necesaria para este estudio.

Finalmente, agradecemos a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización de esta tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA I

AGRADECIMIENTOS II

RESUMEN XI

ABSTRACT XII

INTRODUCCION XIII

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA XVI

JUSTIFICACIÓN XVII

OBJETIVOS XVIII

HIPOTESIS XIX

CAPITULO I 1

1.1 MARCO TEÓRICO 1

1.1.1 ANTECEDENTES 1

1.1.1.1 Antecedentes internacionales 1

1.1.1.2 Antecedentes nacionales 4

1.1.1.3 Antecedentes locales 5

1.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL 6

1.2.1 FAMILIA SOLANACEAE. 6

1.2.1.1 CLAVE PARA EL RECONOCIMIENTO DE ALGUNOS GÉNEROS DE SOLANACEAE. 10

1.2.1.2 IMPORTANCIA ECONOMICA Y DIVERSIDAD DE GENEROS. 11

1.2.2 GENERO *Physalis* L. 13

1.2.3 MORFOLOGÍA DEL GÉNERO *Physalis* 14

1.2.3.1 CLAVE PARA RECONOCER ESPECIES PERUANAS DE PHYSALIS 17

1.2.4 *Physalis angulata* L. 18

1.2.5 *Physalis alkekengi* L. 19

1.2.6 *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem. 20

1.2.7 *Physalis peruviana* L. (Aguaymanto) 21

1.2.7.1 TAXONOMÍA....22
1.2.7.2 IMPORTANCIA NUTRICIONAL....22
1.2.7.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL Y COMERCIO DE EXPORTACIÓN DE *Physalis peruviana* L. 23
1.2.7.4 PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE AGUAYMANTO EN EL PERÚ 26
1.2.8 DESCRIPTORES TAXONÓMICOS Y MORFOLÓGICOS 27
1.2.9 VIABILIDAD POLÍNICA 28
1.2.10 MÉTODOS PARA EVALUAR LA VIABILIDAD POLÍNICA 29
1.2.11 IMPORTANCIA DE LA VIABILIDAD POLÍNICA 32
1.2.12 MUESTREO NO PROBABILÍSTICO DE TIPO INTENCIONAL 33
CAPITULO II 34
MATERIALES Y MÉTODOS 34
2.1 ÁREA DE ESTUDIO 34
2.1.1 CENTRO POBLADO DE LABRAMPATA, DISTRITO DE CHALLABAMBA (PAUCARTAMBO) 35
2.1.2 AREA DE FRUTICULTURA DEL CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA, DISTRITO DE SAN JERÓNIMO (CUSCO) 39
2.2 MATERIALES 44
2.2.1 Material biológico 44
2.2.2 Identificación del material biológico 45
2.2.3 Descripción macromorfológica de *Physalis peruviana* L. 45
2.2.4 Equipos 45
2.2.5 Material experimental 46
2.2.6 Reactivos Empleados 46
2.2.7 Procedimientos de laboratorio 49
2.2.7.1 Elaboración de soluciones y reactivos 49
2.2.8 De gabinete 49
2.3 METODOLOGÍA 50

2.3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 50
2.3.2 ENFOQUE 50
2.3.3 FASE DE CAMPO 50
2.3.4 SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE MUESTREO 51
2.3.4.1 DISTRITO DE CHALLABAMBA – PAUCARTAMBO 51
2.3.4.2 DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO 55
2.3.5 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA 56
2.3.5.1 Unidades muestrales de *Physalis peruviana* L. – Distrito Challabamba 56
2.3.5.2 Unidades muestrales de *Physalis peruviana* L. – Distrito San Jerónimo 57
2.3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABILIDAD MORFOLÓGICA 60
2.3.7 ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN 60
2.3.7.1 a) Selección de las Unidades Taxonómicas Operativas 60
2.3.7.2 b) Selección de caracteres 61
2.3.7.3 c) Elaboración de la matriz básica de datos 61
2.3.8 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 62
2.3.8.1 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTOS 62
2.3.8.2 ORDENACIÓN MULTIVARIADA MEDIANTE ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES 64
2.3.9 ANÁLISIS ANATÓMICO VEGETAL 65
2.3.10 EVALUACIÓN DEL ÍNDICE ESTOMÁTICO 75
2.3.10.1 Obtención de epidermis foliar y recuento de estomas 75
2.3.11 VIABILIDAD POLÍNICA, TINCIÓN CON CARMÍN ACÉTICO 80
CAPITULO III 83
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 83
3.1 HABITO Y ALTURA DE LOS CULTIVOS, EN LAS LOCALIDADES DE ESTUDIO 83
3.2 DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA 86
3.2.1 CULTIVO K'AYRA 89

3.2.2 CULTIVO NATIVO DE CHALLABAMBA. 92
3.2.3 CULTIVO MEJORADO DE CHALLABAMBA. 94
3.3 ANATOMÍA Y MICROMORFOLOGÍA DE *Physalis peruviana* L. 97
3.3.1 HOJA. 97
3.3.2 PECIOLO. 102
3.3.3 TALLO. 104
3.3.4 RAIZ 106
3.4 ANÁLISIS FENÉTICO 108
3.5 VARIABILIDAD Y RECUENTO ESTOMÁTICO 130
3.5.1 Densidad Estomática por Cultivo 130
3.5.2 Comparación Cuantitativa 132
3.6 VIABILIDAD DEL POLEN 134
3.7 DISCUSIÓN 141
3.7.1 ANALISIS MORFOLOGICO. 141
3.7.2 ANÁLISIS ANATÓMICO 142
3.7.3 VIABILIDAD POLINICA. 144
CONCLUSIONES 147
RECOMENDACIONES 149
ANEXOS 150
BIBLIOGRAFIA 160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Contenido nutricional de Physalis peruviana L. expresado por cada 100 g de fruto.* 23
Tabla 2 *Datos meteorológicos de Julio a Junio promediadas desde el año 2017 hasta 2026*.38
Tabla 3 *Datos meteorológicos de Julio a Junio promediadas desde el año 2017 hasta 2026*.42
Tabla 4 *Clasificación de descriptores morfológicos por órgano vegetativo en P. peruviana.* 59
Tabla 5 *Comparación morfológica de los tres cultivos de Physalis peruviana L.*.....86
Tabla 6 *Número de unidades muestrales colectadas por cultivo.* 108
Tabla 7 *Matriz básica de datos de los caracteres y unidades muestrales para P. peruviana de las dos localidades.* 110
Tabla 8 *Matriz de distancias euclidianas que muestra el grado de similitud morfológica entre el cultivo K'ayra, cultivo nativo de Challabamba y cultivo mejorado de Challabamba de Physalis peruviana L., en función de 32 descriptores cuantitativos.* 129
Tabla 9 *Recuento de estomas en la superficie foliar de aguaymanto, P. peruviana.* 130
Tabla 10 *Recuento de estomas y células anexas en el cultivo K'ayra, cultivo de aguaymanto P. peruviana.* 131
Tabla 11 *Recuento de estomas y células anexas en el cultivo nativo de Challabamba, cultivo de aguaymanto P. peruviana.* 131
Tabla 12 *Recuento de estomas y células anexas en el cultivo mejorado de Challabamba, cultivo de aguaymanto P. peruviana.* 132
Tabla 13 *Viabilidad de polen (%) de los tres cultivos de P. peruviana.* 137
Tabla 14 *Resultados del análisis estadístico de la viabilidad polínica de los tres cultivos de P. peruviana*. 137
Tabla 15 *Recuento de granos de polen viables en tres cultivos de Physalis peruviana L.* ...140
Tabla 16 *Recuento de granos de polen no viables en tres cultivos de Physalis peruviana L.*140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Filogenia de los principales géneros representativos de la familia Solanaceae así como su ubicación del clado Physalis.* 8
Figura 2 *Principales representantes de la Familia Solanaceae incluyendo especies de importancia económica.* 12
Figura 3 *Morfología general de Physalis angulata L. (Solanaceae)* 16
Figura 4 *P. peruviana, detalles de la planta, rama con hojas y carpelos con frutos.* 21
Figura 5 *Países con mayor producción de P. peruviana a nivel global* 24
Figura 6 *Distribución geográfica de los cultivos de aguaymanto (Physalis peruviana L.) a nivel mundial* 25
Figura 7 *Departamentos del Perú productores de aguaymanto* 27
Figura 8 *Ubicación política del área de investigación – Distrito de Challabamba – Provincia de Paucartambo* 36
Figura 9 *Climograma – Estación Meteorológica de Challabamba* 39
Figura 10 *Ubicación política del área de investigación del Distrito de San jerónimo - Cusco* 41
Figura 11 *Climograma – Estación Meteorológica Granja K'ayra* 43
Figura 12 *Materiales de Laboratorio: Microtomos manuales, Navaja, Pinzas estiletes, Barras de Celoidina, Portaobjetos, Cubreobjetos, lamina excavada, Reactivos y colorantes* 48
Figura 13 *Ubicación geográfica de la comunidad con mayor producción (puente de la comunidad Labrampata).* 52
Figura 14 *Unidades muestrales de Physalis peruviana en pleno desarrollo - Cultivo 01. Comunidad de Labrampata* 53
Figura 15 *Unidades muestrales de Physalis peruviana en pleno desarrollo - Cultivo 02. Comunidad de Labrampata* 53
Figura 16 *Comunidad de Labrampata, coordenadas: (19L 98253.29 m E, 8557715.99 m S altitud 2485 m).* 54
Figura 17 *Entrevista aplicada a propietario de 02 cultivos de P. peruviana.* 54
Figura 18 *Ubicación geográfica de la Localidad K'ayra - Área de fruticultura* 55
Figura 19 *Cultivo 01 de P. peruviana - Comunidad Labrampata* 56
Figura 20 *Cultivo 02 de P. peruviana - Comunidad Labrampata* 57
Figura 21 *Cultivo 01 de P. peruviana presentes en la Granja K'ayra - Área de fruticultura* 58
Figura 22 *Estructuras de Physalis peruviana empleadas en el análisis anatómico, incluyendo secciones de hoja, pecíolo, tallo y raíz.* 66

Figura 23 *Proceso de deshidratación en alcoholes sucesivos de las muestras biológicas.*...68
Figura 24 *Conservación del material vegetal recolectado* 68
Figura 25 *Órganos vegetativos incluidos en parafina y posterior corte* 69
Figura 26 *Cortes obtenidos de hoja, peciolo, tallo y raíz*.....70
Figura 27 *Procedimiento de clarificación de los cortes utilizando tripsina.*.....71
Figura 28 *Coloración de corte transversal de órganos vegetativos de Aguaymanto con Safranina y Azul de algodón*.....72
Figura 29 *Evaluación microscópica de las muestras analizadas* 73
Figura 30 *Uso del programa ANATI QUANTI versión 2.0, para la micro morfometría de células y tejidos y recuento de estomas* 77
Figura 31 *Medición de células anexas en epidermis de Physalis peruviana L. usando el programa ANATI QUANTI 2.0* 78
Figura 32 *Muestra biológica - flores en estado de antesis.* 80
Figura 33 *Muestras de polen de Physalis peruviana L. A) Polen viable B) Polen no viable* 82
Figura 34 *Physalis peruviana L, detalles de la planta. (Dibujo original).*.....84
Figura 35 *Morfología de Physalis peruviana L.- Cultivo K'ayra.*.....90
Figura 36 *Morfología de Physalis peruviana L.- Cultivo Nativo de Challabamba*.....93
Figura 37 *Morfología de Physalis peruviana L.- Cultivo Mejorado de Challabamba.*.....96
Figura 38 *Epidermis de P. peruviana.*.....99
Figura 39 *Anatomía y micromorfología de hoja de P. peruviana.* 101
Figura 40 *Anatomía y micromorfología de peciolo de P. peruviana.* 103
Figura 41 *Anatomía y micromorfología de tallo de Physalis peruviana L.* 105
Figura 42 *Anatomía y micromorfología de raíz de Physalis peruviana L.* 107
Figura 43 *Fenograma UPGMA de las 40 unidades muestrales de P. peruviana.* 113
Figura 44 *Fenograma de los tres cultivos de P. peruviana*.....115
Figura 45 *Fenograma específico para raíz de los tres cultivos de P. peruviana basado en el descriptor longitud de la raíz (cm).* 116
Figura 46 *Fenograma específico para tallo de los tres cultivos de P. peruviana basado en 04 descriptores morfológicos.*.....118
Figura 47 *Fenograma específico para hoja de los tres cultivos de P. peruviana basado en 02 descriptores morfológicos.*.....119
Figura 48 *Fenograma específico para peciolo de los tres cultivos de P. peruviana basado en 02 descriptores morfológicos.*.....120

Figura 49 *Fenograma específico para flor de los tres cultivos de P. peruviana basado en 10 descriptores morfológicos.* 122
Figura 50 *Fenograma específico para fruto de los tres cultivos de P. peruviana basado en 07 descriptores morfológicos.* 124
Figura 51 *Representación gráfica del análisis de componentes principales (ACP) del cultivo mejorado de Challabamba, cultivo K'ayra y cultivo nativo de Challabamba de Physalis peruviana* L.*, en función de 32 descriptores cuantitativos.* 127
Figura 52 *Índice Estomático de los tres cultivos de P. peruviana.* 133
Figura 53 *Microfotografías de polen de P. peruviana.* 135
Figura 54 *Viabilidad de polen (%) de Physalis peruviana L.* 138
Figura 55 *Toma de datos de la caracterización morfológica in situ.* 152
Figura 56 *Medición de la altura de la planta.* 152
Figura 57 *Medición del ancho del tallo de la planta.* 152
Figura 58 *Comparación del ancho de la hoja de la planta.* 153
Figura 59 *Medición del ancho de la hoja de la planta.* 153
Figura 60 *Medición de longitud entrenudos de la planta.* 153
Figura 61 *Medición del ancho de la flor en la planta.* 154
Figura 62 *Medición de longitud de la hoja de la planta.* 154
Figura 63 *Obtención, Medición y Comparación de los frutos de P. peruviana.* 154
Figura 64 *Toma de datos de la caracterización morfológica in situ.* 155
Figura 65 *Medición de la Longitud del peciolo de la planta.* 155
Figura 66 *Medición de la Longitud de las hojas maduras de la planta* 155
Figura 67 *Medición del Ancho de las hojas maduras de la planta* 156
Figura 68 *Medición de la longitud de entrenudos de la planta* 156
Figura 69 *Medición del Ancho del tallo secundario de la planta* 156
Figura 70 *Medición del Ancho del peciolo de la planta* 157
Figura 71 *Medición de la longitud de las flores de la planta* 157
Figura 72 *Peso de caliz acrecenté con fruto* 158
Figura 73 *Comparación de frutos de los tres cultivos de P. peruviana (longitud, color, diámetro y forma)* 158
Figura 74 *Frutos de los tres cultivos de P. peruviana (Mejorado, K'ayra y Nativo)* 159
Figura 75 *Pesaje de frutos de P. peruviana.* 159

RESUMEN

La presente investigación comparativa se desarrolló entre noviembre de 2024 y enero de 2026 en tres cultivos de *Physalis peruviana* L., dos del centro poblado de Labrampata, Challabamba, Paucartambo, y uno del Centro Agronómico K'ayra. El objetivo fue caracterizar la variabilidad morfológica, anatómica y la viabilidad polínica para identificar caracteres diagnósticos.

La caracterización morfológica comprendió 40 unidades muestrales y 32 descriptores cuantitativos. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, análisis de componentes principales (ACP) y conglomerados UPGMA con distancias euclidianas. Se evidenció mayor afinidad fenética entre los cultivos nativo de Challabamba y K'ayra, mientras que el mejorado presentó mayor diferenciación, principalmente en dimensiones de hojas, tallos y frutos, así como en número de semillas.

El análisis anatómico de *P. peruviana* mostro una lámina foliar anfiestomática con estomas anisocíticos y anomocíticos; epidermis uniseriada con paredes celulares sinuosas; mesófilo dorsiventral, formado por un parénquima en empalizada uniseriado y otro esponjoso de 3 – 4 capas; nervadura central bicolateral y arqueada. Pecíolo tiene forma subrectangular con proyecciones laterales tipo costillas, colénquima de 5 – 6 capas y un sistema vascular similar al de la nervadura central. Tallo forma subsircular con 4 costillas, con un sistema vascular bicolateral eustélico. Raíz con organización concéntrica, endodermis uniseriada y sistema vascular poliarca exarcado.

La viabilidad polínica estimada se evaluó mediante tinción con carmín acético, contabilizando 3 000 granos de polen. El cultivo mejorado de Challabamba alcanzó 91,0 %, seguido de K'ayra 82,8 % y el nativo de Challabamba 76,0 %.

Palabras claves: *Physalis peruviana* L., Morfología, Anatomía, Viabilidad polínica.

ABSTRACT

This comparative study was conducted between November 2024 and January 2026, involving three *Physalis peruviana* L. cultivars: two from the rural community of Labrampata (Challabamba, Paucartambo) and one from the K'ayra Agronomic Center. The objective was to characterize morphological and anatomical variability, as well as pollen viability, in order to identify diagnostic traits.

Morphological characterization involved 40 sampling units and 32 quantitative descriptors. Data were analyzed using descriptive statistics, principal component analysis (PCA), and UPGMA cluster analysis based on Euclidean distances. A greater phenetic affinity was observed between the native cultivars from Challabamba and K'ayra, whereas the improved cultivar showed greater differentiation—primarily in the dimensions of leaves, stems, and fruits, as well as in the number of seeds.

Anatomical analysis of *P. peruviana* revealed an amphistomatic leaf lamina with anisocytic and anomocytic stomata; a uniseriate epidermis with sinuous cell walls; and a dorsiventral mesophyll, consisting of a uniseriate palisade parenchyma and a spongy parenchyma (3–4 layers thick). The midrib is bicolateral and arcuate. The petiole is subrectangular in cross-section with rib-like lateral projections, featuring 5–6 layers of collenchyma and a vascular system similar to that of the midrib. The stem is subcircular with four ribs, containing a bicolateral eustelic vascular system. The root exhibits a concentric organization, a uniseriate endodermis, and a polyarch, exarch vascular system.

Pollen viability was assessed via staining with acetic carmine, with a total of 3,000 pollen grains examined. The improved Challabamba variety reached 91.0%, followed by K'ayra at 82.8% and the native Challabamba variety at 76.0%.

Keywords: *Physalis peruviana* L., Morphology, Anatomy, Pollen viability.

INTRODUCCION

Las Solanaceas constituyen una familia botánica ampliamente distribuida a nivel mundial, cuya mayor diversidad se concentra principalmente en América tropical y subtropical. Comprende una amplia variedad de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, muchas de las cuales presentan importancia alimentaria, agrícola, ornamental y medicinal. Entre sus especies de mayor importancia económica se encuentran el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la papa (*Solanum tuberosum* L.), la berenjena (*Solanum melongena* L.) y diversas especies del género *Capsicum* L. Asimismo, el género *Physalis* L. comprende especies de importancia alimentaria y económica, entre las que destaca *Physalis peruviana* L., conocida comúnmente como aguaymanto, uchuva o capulí inca, según la región donde se cultiva (Herrera, 1945; McBride, 1962; Gentry, 1996; Brako & Zarucchi, 1993; Estrada & Martínez, 1999; Sullivan, 2004; Tapia & Fries, 2007).

Physalis peruviana L. es una especie frutícola de origen andino que ha adquirido importancia debido a sus características agronómicas, nutricionales y económicas. Su cultivo se desarrolla en diferentes regiones andinas y presenta variabilidad en caracteres morfológicos relacionados con el hábito de crecimiento, las hojas, las flores y los frutos. Esta variabilidad constituye una fuente importante de información para la caracterización y diferenciación de los materiales cultivados. Sin embargo, la expresión de estos caracteres puede variar en función del material vegetal y de las condiciones ambientales, por lo que resulta necesario realizar evaluaciones comparativas mediante descriptores morfológicos adecuados.

La caracterización morfológica constituye una herramienta fundamental para describir y diferenciar materiales vegetales mediante caracteres cualitativos y cuantitativos. El empleo de descriptores morfológicos permite organizar y comparar la variabilidad fenotípica presente en una especie, mientras que los métodos multivariados permiten analizar las relaciones de similitud entre los materiales estudiados a partir de múltiples caracteres (Alercia et al., 2015; Jarvis et al., 2000). Entre estos métodos se encuentran el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de agrupamiento mediante UPGMA, los cuales permiten identificar patrones de variación y establecer agrupaciones entre los materiales evaluados (Lee & Park, 2017; Sinha et al., 2025). En *P. peruviana L*. la selección y utilización de descriptores adecuados resulta importante para caracterizar y comparar objetivamente los cultivos en diferentes localidades.

Por otra parte, la anatomía vegetal proporciona información complementaria para la caracterización de las especies mediante el estudio de la organización y estructura interna de

sus órganos. Los caracteres anatómicos de la hoja, el pecíolo, el tallo y la raíz pueden aportar información útil para la identificación y diferenciación de especies y variedades, debido a que determinados rasgos relacionados con la epidermis, el mesófilo, los tejidos de sostén, los haces vasculares y otros tejidos internos pueden presentar valor diagnóstico (Bhat et al., 2018). Aunque se han realizado estudios anatómicos en especies de la familia Solanaceae y en algunas especies del género *Physalis*, la información disponible sobre la estructura anatómica integral de los órganos vegetativos de *P. peruviana* continúa siendo limitada, especialmente en materiales cultivados en la región del Cusco. Por ello, el análisis de sus características anatómicas permite ampliar el conocimiento estructural de la especie y generar información complementaria para su caracterización biológica.

Asimismo, la biología reproductiva constituye un componente importante para el conocimiento de las especies vegetales. Dentro de este campo, la viabilidad polínica representa una característica relacionada con el estado fisiológico de los granos de polen y su potencial para participar en el proceso reproductivo. La evaluación de la viabilidad polínica puede realizarse mediante diferentes metodologías, entre las que destacan los métodos de tinción y las pruebas de germinación del polen *in vitro* (Salomón-Torres et al., 2021). Entre los métodos de tinción, el carmín acético continúa siendo ampliamente utilizado debido a su simplicidad, rapidez y facilidad de aplicación, al ser un colorante que presenta afinidad por los ácidos nucleicos y el contenido citoplasmático de los granos de polen, permite distinguir de manera indirecta aquellos que conservan su integridad celular de los que presentan degeneración o pérdida de contenido citoplasmático, lo que facilita la estimación de la viabilidad polínica y diferenciación de polen viable y no viable (Dos Santos et al., 2017; Lagos et al., 2005a; Peterson et al., 2010; Salomón-Torres et al., 2021; Shivanna, 2019).

Por otro lado, la germinación del polen *in vitro* constituye una prueba funcional que permite evaluar directamente la capacidad germinativa de los granos de polen mediante la observación de la formación y desarrollo del tubo polínico bajo condiciones experimentales. En consecuencia, ambas metodologías evalúan aspectos diferentes de la viabilidad polínica: mientras la tinción con carmín acético proporciona una estimación citológica e indirecta de la viabilidad, la germinación *in vitro* permite valorar funcionalmente la capacidad germinativa del polen (Ari et al., 2016; da Silva et al., 2017).

En la presente investigación, la viabilidad polínica de *P. peruviana* fue evaluada mediante tinción con carmín acético y observación mediante microscopía de luz, por tratarse de un método ampliamente aceptado y utilizado para la estimación de la viabilidad polínica

en estudios comparativos, de acuerdo con el objetivo específico planteado. Por tanto, los resultados obtenidos corresponden a una estimación de la viabilidad polínica mediante un método indirecto. La germinación del polen *in vitro* constituye una metodología complementaria que puede incorporarse en futuras investigaciones para evaluar funcionalmente la capacidad germinativa de los granos de polen y complementar los resultados obtenidos mediante tinción.

En la región del Cusco, el cultivo de *P. peruviana* presenta un desarrollo productivo aún limitado y una distribución localizada, con una presencia particularmente importante en determinadas localidades de la provincia de Paucartambo, mientras que su cultivo en otras zonas de la región presenta una menor expansión. Esta situación se acompaña de una limitada disponibilidad de información científica sobre las características morfológicas, anatómicas y reproductivas de los cultivoscultivadas en el ámbito regional. En particular, son escasos los estudios comparativos que integren la caracterización morfológica mediante descriptores, el análisis de la variación fenética, la caracterización anatómica de los órganos vegetativos y la evaluación de la viabilidad polínica de materiales cultivados en diferentes localidades del Cusco.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar la morfoanatomía y evaluar la viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. en las localidades de K'ayra y Challabamba, región del Cusco.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la región del Cusco, el cultivo de *Physalis peruviana* L. presenta un desarrollo aún limitado y se concentra principalmente en la provincia de Paucartambo, especialmente en el distrito de Challabamba, mientras que en otras zonas de la región su producción es reducida y no ha alcanzado una adopción masiva (Quillilli Medina, 2025). A pesar del creciente interés por esta especie debido a su valor nutricional, funcional, medicinal y potencial económico, la información científica disponible sobre los cultivos en la región continúa siendo escasa. Particularmente, son limitados los estudios relacionados con la caracterización morfológica, anatómica y la viabilidad polínica, lo que restringe el conocimiento de sus características biológicas y dificulta la diferenciación objetiva de los cultivos locales.

Asimismo, en la región del Cusco no se han reportado investigaciones comparativas que integren la variación fenética, la caracterización anatomohistológica y la evaluación de la viabilidad polínica de los cultivos de *P. peruviana*. Del mismo modo, no se dispone de un conjunto de descriptores morfológicos adaptados a las características de los cultivos en la región, lo que limita la estandarización de su caracterización y la comparación objetiva entre materiales vegetales.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de realizar una caracterización comparativa de los cultivos de *P. peruviana* cultivadas en las localidades de K'ayra y Challabamba, mediante el empleo de descriptores morfológicos adecuados, el análisis de la variación fenética, la caracterización anatomohistológica de sus órganos vegetativos y la evaluación de la viabilidad polínica. La información generada permitirá ampliar el conocimiento científico de los cultivos locales y constituirá una base para futuras investigaciones relacionadas con la caracterización, conservación, biología reproductiva y aprovechamiento de esta especie en la región del Cusco.

JUSTIFICACIÓN

Physalis peruviana L. es una especie frutícola de origen andino que ha cobrado creciente importancia a nivel mundial debido a su elevado valor nutricional, funcional, medicinal y económico, lo que ha impulsado numerosas investigaciones, principalmente en Colombia, Brasil, Ecuador y Chile. Estas investigaciones han contribuido al conocimiento de la especie mediante estudios sobre caracterización morfológica y agronómica, diversidad genética, conservación de germoplasma, mejoramiento genético, propagación *in vitro*, calidad del fruto, compuestos fitoquímicos y nutracéuticos, así como su biología reproductiva (Garzón-Martínez et al., 2015; Jiang et al., 2024; Lagos et al., 2005b; María Isabel Chacón et al., 2016; Prohens & Sepúlveda, 2014; Puente et al., 2011).

No obstante, en el Perú, y particularmente en la región del Cusco, la información científica relacionada con la morfología, anatomía vegetal y viabilidad polínica de los cultivos de *P. peruviana* es aún escasa, especialmente para los materiales locales y cultivos nativos.

En este contexto, la caracterización morfológica y anatómica constituye una herramienta fundamental para identificar caracteres diagnósticos que permitan diferenciar fenotípicamente los cultivos de la especie, mientras que la evaluación de la viabilidad polínica proporciona información sobre el estado fisiológico de los granos de polen y el potencial reproductivo de los cultivos estudiados. Ambos enfoques aportan información indispensable para ampliar el conocimiento biológico de la especie y complementar futuras investigaciones relacionadas con su conservación, caracterización de germoplasma y aprovechamiento sostenible del recurso.

En consecuencia, la presente investigación se justifica por su aporte científico, al generar información morfológica, anatómica y reproductiva de tres cultivos de *P. peruviana* cultivadas en las localidades de K'ayra y Challabamba, región del Cusco. Los resultados obtenidos constituyen una fuente de información de referencia para futuras investigaciones en sistemática vegetal, anatomía comparada, biología reproductiva, conservación de recursos fitogenéticos y caracterización de germoplasma, contribuyendo además al conocimiento de una especie de importancia económica y biológica para la región andina.

OBJETIVOS

GENERAL:

Caracterizar la morfoanatomía y evaluar la viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. en tres cultivos en las localidades de K'ayra y Challabamba, región del Cusco.

ESPECÍFICOS:

1. Describir la variabilidad morfológica externa de *Physalis peruviana* L. en tres cultivos procedentes del centro poblado de Labrampata, distrito de Challabamba, y del área de Fruticultura del Centro Agronómico K'ayra, región Cusco.
2. Analizar la estructura anatomohistológica de los órganos vegetativos de *Physalis peruviana* L. en tres cultivos.
3. Estimar la viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. mediante el método de tinción con carmín acético en tres cultivos.

HIPOTESIS

Existen diferencias morfoanatómicas y de viabilidad polínica entre los tres cultivos de *Physalis peruviana* L. procedentes del centro poblado de Labrampata, distrito de Challabamba, y del área de Fruticultura del Centro Agronómico K'ayra, región Cusco.

CAPITULO I

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 ANTECEDENTES

1.1.1.1 Antecedentes internacionales

Bhat et. Al. (2018), en la India describieron la morfología, anatomía, arquitectura foliar y características palinológicas de *P. angulata* y *P. peruviana*, para determinar su importancia taxonómica en la delimitación y clasificación de especies, situándosele que *P. peruviana* es densamente pubescente, con corola grande y cáliz fructífero, en comparación con *P. angulata* y ambas especies son anfiestomáticas y presentan estomas anomocíticos con epidermis monoestratificada y haz vascular bicolateral. También se han descrito en detalle otros caracteres epidérmicos, como el índice estomático (I.S.), la frecuencia estomática (F.E.), las mediciones de células epidérmicas y estomáticas, etc. Las dos especies también presentan diferencias en sus patrones anatómicos y de venación.

Thepsithar & Thongpukdee (2013), en Tailandia estudiaron las diferencias anatómica de la hoja de *Physalis peruviana* y *P.angulata*, dos especies introducidas en este país, dada la importancia que tienen y sus aplicaciones comerciales y de mejoramiento genético, reportando que ambas especies poseen hojas anfiestomáticas con epidermis de una capa, mesófilo esponjoso de tres o cuatro capas y nervadura central bicolateral con estomas de tipo anomocítico indicándose la importancia taxonómica a nivel genérico y específico en la similitud y disimilitud existente en las características comparadas entre las dos especies de *Physalis*.

Săvulescu, E., & Hoza, G. (2011), describió las observaciones anatómicas del tallo y hojas de la especie *Physalis peruviana* cultivada en Rumania. Puntualizando que el tallo es redondo en sección transversal, con nervaduras finas y numerosos pelos tectores y secretores multicelulares, además de un abundante haz de fascículos bicolaterales abiertos, observaron células con cristales de oxalato de calcio tanto en la corteza como la médula del tallo. El pecíolo de la hoja es semicircular en sección transversal y la epidermis del tallo presenta numerosos pelos tectores y secretores, finalmente el limbo es anfiestomático con estomas anomocíticos. Ambas epidermis presentan pelos tectores y secretores multicelulares.

Rodrigues (2011), en Brasil describió la anatomía e histoquímica de *Physalis peruviana* L, especie introducida de los andes peruanos y adaptada a las condiciones de invernadero en la amazonia, describió la organización, anatómica de la hoja, tallo y raíz en

la que se hace énfasis en la variación de los índices estomáticos como resultados del estímulo eco fisiológico de la planta y otros detalles de valor sistemático.

Madriñan C. (2010), en Colombia caracterizó la morfología de unidades muestrales de uchuva del banco de germoplasma utilizando descriptores cuantitativos y cualitativos previamente establecidos. El análisis de conglomerados mediante la varianza mínima de Ward generó un dendrograma que permitió identificar cinco grupos para las variables cualitativas.

Silva & Agra (2005), en Brasil realizaron un estudio comparativo de la morfología y anatomía de las hojas de *Nicandra physalodes* (L.) Gaertn. Y *Physalis angulata* L. (Solanaceae), ambas plantas son utilizadas en medicina tradicional, cuyas hojas se indican como diuréticas y febrífugas. La identificación botánica y el morfodiagnóstico macroscópico se realizaron tras estudios morfológicos, el morfodiagnóstico microscópico se realizó mediante cortes paradérmicos y transversales de las hojas (lámina y pecíolo), clarificadas y coloreadas con safranina y astraazul. Además, los caracteres morfológicos como de la flor y el fruto de ambas especies se pueden distinguir por los siguientes caracteres: *N. physalodes* presenta haz vascular del nervio medio con una disposición en forma de arco; *P. angulata* presenta el haz vascular del nervio medio como un semicírculo; además se en el mesófilo de *P. angulata* se observan drusas; con presencia de tricomas glandulares-estipitados con cabezuela biseriada en *N. physalodes*. La morfología como de la flor y el fruto, así como la anatomía del mesófilo y los haces vasculares del nervio medio, son los principales caracteres distintivos entre ellos.

Lagos et. Al. (2003), Desarrollaron un estudio sobre la caracterización morfológica de *Physalis peruviana* L, más conocido como Uchuva, de la colección Nariño en Colombia, proponiendo los descriptores para evaluar las unidades muestrales correspondientes en las que se incluyen 12 variables cuantitativas y 8 variables cualitativas.

McBride (1962), en Chicago desarrollo una monografía en varios volúmenes sobre Flora del Perú, en el que reporto en el volumen XIII a la familia Solanaceae describiendo el género *Physalis* con cuatro especies incluyendo *P. peruviana,* con una breve descripción morfológica y localidades de colecta en el que resalta Cusco, junto con *P. angulata* y *P. pubescens,* adjuntas en una clave para su reconocimiento.

Lagos et.al. (2005), reportaron la viabilidad del polen de *P. peruviana* en diferentes variedades procedentes de Colombia reconociendo una alta viabilidad por medio de la técnica

tradicional con carmín, reportando una variación que oscila entre 81,7 y 98% de polen viable, relacionando con algunos detalles y variables morfológicas captadas por microscopia electrónica como el prolato-esferoidal.

Lagos et. Al. (2008), en Colombia evaluaron el momento de maduración del polen y del estigma del aguaymanto, además de identificar el tipo de polinización en cinco genotipos diferentes cultivados bajo condiciones de invernadero en la Granja Botana de la Universidad de Nariño. Donde mencionan que los granos de polen del aguaymanto, *Physalis peruviana* alcanzan 97% de viabilidad en el momento de maduración (35 días), antes de la antesis floral, siendo un dato muy importante de precocidad asociada a la alta viabilidad.

Grisales et. Al. (2010), en Colombia estudiaron la viabilidad del polen de *Physalis peruviana*, en 46 unidades muestrales de Uchuva. La investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación: La Selva (CORPOICA), ubicado en el municipio de Rionegro-Antioquia, poniendo énfasis en la germinación del polen, donde se utilizó los medios azucares como glucosa, sacarosa y la coloración vital de Acetoarmín al 2%, obteniéndose una viabilidad que varía entre 54,12 y 98,82 % de viabilidad.

Rodrigues et al. (2014) en Brasil caracterizaron la anatomía de los órganos vegetativos (raíz, tallo y hojas) y la histoquímica de las semillas de *Physalis peruviana* L. mediante técnicas histológicas e histoquímicas. Los autores describieron detalladamente la organización anatómica de los diferentes órganos y determinaron que las semillas presentan reservas lipídicas como principal sustancia de almacenamiento. Asimismo, observaron modificaciones anatómicas asociadas a la exposición solar, como el incremento del grosor de la nervadura central y de la lámina foliar, además de un mayor desarrollo de los tejidos vasculares secundarios del tallo. Concluyeron que estas características representan respuestas adaptativas de la especie frente a las condiciones ambientales. Este estudio constituye uno de los principales antecedentes internacionales sobre la anatomía de *P. peruviana* y sirvió como referencia para la caracterización anatomohistológica de los órganos vegetativos desarrollada en la presente investigación.

Rodrigues (2014) en Brasil desarrolló un estudio integral sobre *P. peruviana*, en el que evaluó las características morfológicas, anatómicas, histoquímicas y agronómicas de la especie. En la caracterización anatómica describió la organización de los tejidos de hojas, tallos, raíces y semillas, identificando hojas hipostomáticas con estomas anomocíticos, abundantes tricomas uniseriados y multiseriados, así como reservas lipídicas en las semillas. Además, determinó que la exposición a diferentes condiciones de radiación genera

modificaciones anatómicas en el grosor del limbo foliar, la nervadura central y los tejidos vasculares. Paralelamente, estableció parámetros relacionados con la calidad fisicoquímica del fruto, el estado óptimo de cosecha y la productividad del cultivo bajo condiciones de invernadero. Este trabajo constituye uno de los antecedentes más completos sobre la morfoanatomía de *P. peruviana* y representa una referencia importante para investigaciones orientadas a la caracterización anatómica y morfológica de la especie.

1.1.1.2 Antecedentes nacionales

García-Godos et al. (2022) en Ayacucho realizaron una caracterización morfológica in situ de 34 poblaciones silvestres de *P. peruviana* en las localidades de Huamanga y Huanta. La variabilidad entre unidades muestrales fue evaluada mediante análisis de componentes principales (ACP) y fenogramas. Mostrando una variación total del 44.6%, evidenciándose una variación morfológica significativa dentro del cultivo estudiada. Los autores señalaron que dicha variabilidad representa un recurso de importancia para la conservación del germoplasma y el mejoramiento genético de la especie. Este estudio constituye uno de los principales antecedentes nacionales sobre caracterización morfológica de *P. peruviana* y demuestra la utilidad de las herramientas de análisis multivariado para evaluar la diversidad fenotípica de la especie, metodología que también fue empleada en la presente investigación.

Aguilar & Carolina (2018) caracterizaron morfológicamente un ecotipo silvestre de *P. peruviana* procedente de la provincia de Yungay (Áncash, Perú). Para ello, evaluaron diferentes características morfométricas del fruto, entre ellas el peso de la baya, el diámetro polar, el diámetro ecuatorial y el peso de las semillas, además de analizar la relación entre estas variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados mostraron que el peso de la baya osciló entre 1,5 y 5,1 g, el diámetro polar entre 14 y 22 mm, el diámetro ecuatorial entre 14 y 20 mm, y el peso de las semillas entre 0,064 y 0,231 g. Asimismo, se encontró una correlación positiva elevada (r = 0,79099) entre el diámetro polar y el diámetro ecuatorial de los frutos. Los autores concluyeron que el ecotipo evaluado presenta variabilidad morfológica en sus características biométricas, información que constituye una base para futuras investigaciones relacionadas con la conservación, caracterización y aprovechamiento de los recursos genéticos de *P. peruviana* en el Perú.

Huaman Capcha (2019) en Lima estudió la morfología, anatomía e histoquímica de las semillas de *P. peruviana,* así como la optimización de la prueba de viabilidad mediante cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio. La investigación incluyó la descripción estructural de las semillas, la evaluación del poder germinativo y el análisis de diferentes tiempos de

imbibición y tinción mediante un diseño experimental factorial. Los resultados demostraron que las semillas presentan una estructura completa conformada por episperma, endospermo y embrión dicotiledonar, con predominio de lípidos como sustancia de reserva. Asimismo, se obtuvo un porcentaje de germinación del 99 % y se estableció una metodología óptima para la prueba de tetrazolio, alcanzando un 100 % de viabilidad. Este estudio constituye uno de los pocos antecedentes nacionales que aborda aspectos morfoanatómicos de *P. peruviana*; sin embargo, su análisis se limita exclusivamente a las semillas, sin incluir la anatomía de los órganos vegetativos ni la evaluación de la biología reproductiva de la especie.

1.1.1.3 Antecedentes locales

Herrera F. L. (1921 y 1941) En sus obras pioneras "Contribución a la flora del departamento del Cusco" y "Sinopsis de la Flora del Cusco" hace referencia al aguaymanto al desarrollar el catálogo de la flora regional en la que nominan por primera vez a esta especie como *Saracha contorta* R. & P. indicando su nombre vernácular de "Ahuaimantu o Ahuaimanto", colectado en 1925 en las cercanías a Sacsayhuaman (Cusco) y mencionando que el fruto en baya es comestible y que las flores se administran como medicinales en infusión para tonificar a las parturientas**.**

Galiano, et al. (2005). Al presentar la lista de la flora del valle del Cusco reporta al aguaymanto con el nombre actualizado de *Physalis peruviana* Linnaeus.

1.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.2.1 FAMILIA SOLANACEAE.

La familia Solanaceae pertenece al orden Solanales según el sistema de clasificación APG IV (Angiosperm Phylogeny Group, 2016), constituyendo un grupo monofilético que comprende alrededor de 100 géneros entre 2,500 y 3,000 especies con distribución a nivel mundial. Esta familia incluye plantas con una notable diversidad de formas de vida, tales como hierbas, arbustos, árboles y lianas o trepadoras, algunas de ellas provistas de espinas. Presentan generalmente crecimiento simpodial, característica común dentro del grupo. Las hojas son alternas, simples en la mayoría de los casos y, con menor frecuencia, compuestas o pinnadas. Las inflorescencias son generalmente determinadas y de tipo cimosa, ubicadas en posición terminal o axilar; en algunos casos, las flores pueden presentarse de manera solitaria. Las flores son hermafroditas, actinomorfas o, ocasionalmente, ligeramente zigomorfas. El cáliz está formado por sépalos soldados (gamosépalo), suele persistir en el fruto y, en algunos géneros como *Physalis*, se desarrolla hasta adquirir una forma inflada que envuelve al fruto. La corola es gamopétala y presenta diversas formas, incluyendo rotada, tubular, infundibuliforme o salveriforme, con tipos de estivación imbricada, quincuncial o convoluta. El androceo está constituido usualmente por cinco estambres epipétalos, aunque pueden presentarse variaciones de dos a cinco. Los filamentos pueden ser de igual o diferente longitud, y las anteras son generalmente ditecas, con inserción basifija, dorsifija o ventrifija; la dehiscencia puede ser longitudinal o por poros apicales, dependiendo del género. El gineceo está conformado por un ovario súpero, bicarpelar y bilocular, con placentación axilar. Los óvulos varían de numerosos a solitarios y pueden ser anátropos o campilótropos. El estilo es único y el estigma puede ser capitado o bilobulado. En algunas especies se presenta nectario. El fruto puede ser una cápsula, baya o, en menor frecuencia, drupa. Las semillas son generalmente numerosas, aplanadas, con endospermo abundante y embrión recto o curvado, frecuentemente de forma discoidal. En cuanto al número cromosómico básico, este varía entre x = 9, 10, 12, 24 y 36, siendo común la poliploidía en la familia. (Knapp, S., 2010).

Dentro de la familia Solanaceae, de manera tradicional se han distinguido tres subfamilias: primero la Solanoideae, segundo Nolanoideae y tercero Cestroideae. La subfamilia Solanoideae ha sido reconocida como el grupo más representativo y ampliamente distribuido, caracterizándose por presentar embriones curvos en semillas generalmente discoidales y frutos predominantemente de tipo baya (Hunziker, 1979).

Por su parte, la subfamilia Cestroideae es caracterizada por presentar embriones relativamente rectos, semillas pequeñas de forma angular a subglobosa y frutos mayormente capsulares. En tanto, la subfamilia Nolanoideae se distingue por presentar un desarrollo embrionario tipo Polygonum, en el cual la fusión de los núcleos polares ocurre antes de la fecundación, con células antipodales de forma piriforme y no desarrolla haustorios en el endospermo (Hunziker, 2001).

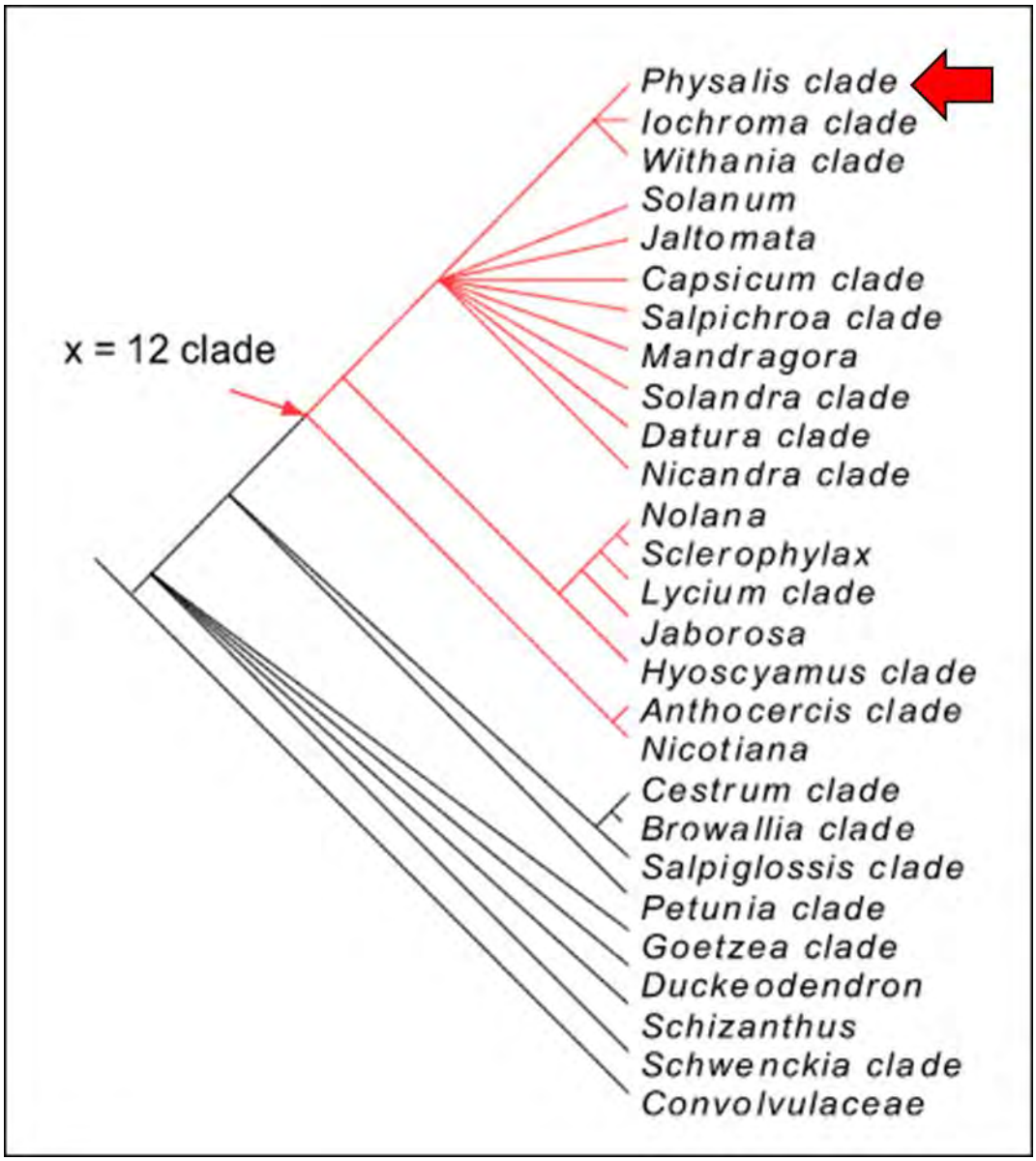
Posteriormente, Armando Hunziker (2001) propuso una reclasificación de la familia Solanaceae basada principalmente en caracteres morfológicos y, en menor medida, en características químicas, reconociendo además de las subfamilias principales Solanoideae y Cestroideae, cuatro subfamilias adicionales de menor tamaño: Anthocercidoideae, Juanulloideae, Salpiglossoideae y Schizanthoideae, así como diversas tribus y subtribus (Olmstead et al., 1999).

Sin embargo, a partir de la década de 1990, los estudios filogenéticos basados en datos moleculares, especialmente secuencias de ADN de cloroplasto, han permitido reevaluar las relaciones evolutivas dentro de la familia Solanaceae (Weese & Bohs, 2007). Estos estudios demostraron que las subfamilias tradicionales de Solanoideae, Cestroideae y Nolanoideae, no constituyen grupos monofiléticos, evidenciando la necesidad de una reorganización taxonómica. En este contexto, Nolanoideae fue incorporada dentro de Solanoideae. (Olmstead & Palmer, 1992).

Posteriormente, Olmstead et al. (2008) propusieron modificaciones adicionales en la clasificación, incluyendo el cambio de denominación de la subfamilia Anthocercidoideae por Nicotianoideae. Asimismo, identificaron un clado que agrupa a Nicotianoideae y Solanoideae, sustentado en características moleculares y citogenéticas, particularmente el número cromosómico base x = 12, al cual denominaron “clado x = 12”.

Figura 1

Filogenia de los principales géneros representativos de la familia Solanaceae así como su ubicación del clado Physalis.



Fuente: Olmstead et al. (2008).

La familia Solanaceae constituye uno de los grupos más diversos dentro de la flora peruana, con aproximadamente 42 géneros y cerca de 600 especies registradas (Brako & Zarucchi, 1993; Ulloa Ulloa et al., 2004). Asimismo, se ubica en el sexto puesto en cuanto a diversidad de especies endémicas en el Perú, destacando los géneros Solanum, Nolana y Jaltomata por ser los más diversos en número de especies.

Los taxones de distribución endémica de Solanaceae se distribuyen en diversas regiones ecológicas del país, siendo más frecuentes en la región mesoandina, el desierto tropical

semicálido y los bosques montanos muy húmedos. Su rango altitudinal es amplio, abarcando desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 3,800 m s.n.m., lo que evidencia su notable capacidad para adaptarse a diversas condiciones ambientales (León et al., 2006).

Asimismo, 36 taxones de esta familia están registrados en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), lo cual resalta su importancia en términos de conservación y biodiversidad (León et al., 2006).

1.2.1.1 CLAVE PARA EL RECONOCIMIENTO DE ALGUNOS GÉNEROS DE SOLANACEAE.

1. Cáliz con nervios, por lo común truncado y/o provisto dientes o prolongaciones……..…2

1’. Cáliz con lóbulo, sin presencia de prolongaciones y anteras con dehiscencia longitudinal 3

2. Cáliz provisto de 5 dientes o prolongaciones…… **Capsicum**

2’. Cáliz con más de diez dientes o prolongaciones, y las anteras que se abren por poros….....**Lycianthes**

3. Cáliz adpreso, conformando por cinco lóbulos que pueden cubrir parcialmente el fruto o puede dejarlo expuesto…….4

3’. Cáliz inflado, con presencia de 5 lóbulos que envuelven completamente el fruto .....**Physalis**

4. Fruto en baya o capsula 5

4’. Fruto drupáceo ..... **Saracha**

5. Hierbas o subfrútices con habito trepador o lianas y arbustos escandentes, por lo general como hemiepifitos o epifitos…….....…….....6

5’ Hierbas erectas o reptantes, arbustos o árboles 7, 11

6. Hierbas o subfrútices con tallos situándose lignificados, flexibles y apoyantes, con corola verde, hasta 2 cm de longitud, fruto con pericarpio delgado, que se tornan negros al secarse …….….**Salpichroa**

6’. Lianas o arbustos escandentes, hemiepifitos, tallos leñosos, presentan corola amarilla, anaranjada a rojiza, cáliz espatáceo, membranáceo 3 a 5 lóbulos irregulares, corola infundibuliforme a ciatiforme, amarilla, en ocaciones algo anaranjada 20-30 cm de largo, los estambres son declinados, exertos……..…**Solandra**
(Angulo, H. S, 2018).

1.2.1.2 IMPORTANCIA ECONOMICA Y DIVERSIDAD DE GENEROS.

Las Solanaceae han sido intensamente modificada mediante selección artificial realizados por el ser humano, la cual las posiciona en un grupo ideal para analizar la interacción evolutiva entre plantas y sociedades humanas. Su antiguo linaje evolutivo, junto con una notable conservación de la organización genómica tanto a nivel macro como micro, las posiciona como un sistema idóneo para investigar las bases genéticas de la variación fenotípica y los mecanismos que permiten la adaptación a distintos ambientes, tanto silvestres como cultivados (Knapp, 2002; Knapp, 2010).

Cerca de la media parte de las plantas de esta familia están en el género *Solanum*, considerado el más relevante en términos económicos. Le siguen en relevancia géneros como *Capsicum* (ajíes y pimientos), *Physalis* (incluyendo especies como el tomatillo, *Physalis philadelphica*, la uchuva o aguaymanto, *Physalis peruviana*, y la "linterna china"), *Lycium* (como la baya de goji, *Lycium barbarum*) y *Nicotiana* (tabaco). Asimismo, otros géneros de importancia incluyen especies ornamentales como *Petunia, Browallia* y *Lycianthes*, así como plantas que contienen alcaloides de interés farmacológico o toxicidad significativa, como *Datura, Mandragora* y *Atropa* (Hunziker, 2001; Knapp, 2002, 2010).

Desde una perspectiva sistemática, la mayor parte de los géneros de importancia económica se agrupan dentro de la subfamilia Solanoideae, mientras que *Nicotiana* pertenece a Nicotianoideae y *Petunia* a Petunioideae. Además, especies de *Nicotiana* y *Petunia* se han empleado ampliamente como organismos principales en estudios de biología celular, genética molecular y biotecnología vegetal (Olmstead et al., 2008; Knapp, 2010; Bombarely et al., 2016).

La familia tiene una distribución prácticamente mundial, con sus principales centros de diversidad en América Latina y Australia. Sus formas de vida son altamente variables, abarcando desde hierbas anuales o efímeras, como especies de *Schizanthus*, hasta arbustos y árboles de gran tamaño, como *Duckeodendron* (Hunziker, 2001; Knapp, 2002, 2010).

En cuanto a sus caracteres morfológicos, las Solanaceae presentan hojas generalmente exestipuladas, dispuestas de manera alterna (raramente opuestas), flores hipóginas organizadas en inflorescencias cimosas, usualmente actinomorfas o casi actinomorfas. El cáliz y la corola son típicamente pentámeros, con lóbulos que pueden presentar disposición valvada, imbricada o plicada en estado de yema. Los estambres son epipétalos y generalmente isómeros con los pétalos. El gineceo es bicarpelar, con ovario súpero y numerosos óvulos,

aunque en algunos casos puede presentar variaciones. El fruto es usualmente una baya o cápsula, el número cromosómico comúnmente básico en la familia es n = 12 (Hunziker, 2001; Knapp, 2002).

Figura 2

Principales representantes de la Familia Solanaceae incluyendo especies de importancia económica.



Fuente:

https://www.facebook.com/photo/?fbid=1276915847810464&set=a.604518285050227

1.2.2 GENERO *Physalis* L.

El género *Physalis* está incluido dentro de la familia Solanaceae y contiene aproximadamente entre 75 a 90 plantas cuyas especies son herbáceas, en su mayoría anuales o perennes, nativos principalmente del continente americano. Su mayor centro de diversidad se encuentra en México, donde se han registrado al menos 46 especies endémicas. Este género se caracteriza por presentar frutos en baya rodeados por un cáliz acrescente que se expande durante la fructificación formando una estructura inflada semejante a una "linterna", rasgo distintivo del grupo. Diversas especies de *Physalis* poseen gran importancia alimenticia, medicinal y etnobotánica, especialmente en culturas tradicionales de países como Perú y México (Martínez, 1998; Whitson & Manos, 2005).

Desde el punto de vista taxonómico, *Physalis* ha sido subdividido en diferentes subgéneros, entre ellos *Physalodendron*, que agrupa especies de hábito leñoso, y *Rydbergis*, donde se concentra la mayor parte de las especies de origen americano. Asimismo, se han establecido diversas secciones infragenéricas, como *Angulatae, Coztomatae* y *Epeteiorhiza*, basadas en caracteres morfológicos incluyendo el tipo de crecimiento, tipo de tricomas y la forma y apariencia del cáliz en fruto (Martínez, 1998; Whitson & Manos, 2005).

En México se reconocen aproximadamente 61 especies de *Physalis,* muchas de ellas endémicas, y se han desarrollado revisiones taxonómicas recientes que incluyen claves de identificación sustentadas en caracteres morfológicos específicos. No obstante, la taxonomía del género continúa en revisión, debido a la incorporación de evidencia molecular que ha permitido replantear las relaciones filogenéticas dentro del grupo. Estos estudios han cuestionado los límites tradicionales del género y han propuesto la segregación o revalidación de géneros relacionados, como *Alkekengi* y *Quincula* (Whitson & Manos, 2005).

Entre las especies más representativas destacan *Physalis peruviana* (aguaymanto o uchuva), *Physalis philadelphica* (tomatillo) y *Physalis angulata*, las cuales presentan importancia tanto en estado silvestre como en cultivo. El género es originario de América, con una distribución que abarca desde Estados Unidos hasta Sudamérica, incluyendo aproximadamente 28 especies en Norteamérica, 22 en Centroamérica y una diversidad considerable en Sudamérica. Asimismo, varias especies han sido llevadas a otras partes del mundo, donde se comportan como cultivos o, en algunos casos, como malezas, especialmente en Asia, Europa y Australia (Hunziker, 2001; Whitson & Manos, 2005).

En países como Perú y México, *Physalis peruviana* se cultiva en regiones andinas y costeras, mientras que especies como *Physalis angulata* y *Physalis pubescens* presentan una distribución pantropical. Los hábitats en los que se desarrollan las especies del género son diversos, incluyendo desde zonas áridas y desérticas hasta bosques húmedos y mesófilos, con un rango altitudinal que puede alcanzar hasta los 3,000 m s.n.m., lo que refleja su alta capacidad de adaptación ecológica (Hunziker, 2001; Whitson & Manos, 2005).

1.2.3 MORFOLOGÍA DEL GÉNERO *Physalis*

Las especies de este género comprenden plantas herbáceas ya sean anuales o perennes, que pueden persistir mediante rizomas o bases lignificadas, y rara vez presentan hábito arbustivo. El indumento es variable, constituido por tricomas simples, ramificados o glandulares, los cuales suelen presentarse combinados de dos o más tipos (Hunziker, 2001; Martínez, 1998; Whitson & Manos, 2005).

Las hojas son pecioladas y dispuestas de manera alterna, aunque comúnmente aparecen geminadas, especialmente en la parte superior de la planta. Las láminas foliares presentan gran variabilidad en su forma, siendo oblongas, elípticas, ovadas o lanceoladas; en algunos casos pueden ser rómbicas, trilobadas o lineares. Los márgenes son generalmente enteros, aunque también pueden ser dentados (Martínez, 1998; Hunziker, 2001).

Las flores son pediceladas, solitarias o, en raras ocasiones, agrupadas en fascículos axilares de tres a cinco flores. El cáliz en antesis es campanulado a tubular-campanulado, con cinco lóbulos de forma triangular a acuminada. Los botones florales presentan una disposición plicada. La corola es actinomorfa, de forma rotácea a campanulada, raramente tubular o urceolada, y presenta una coloración que varía desde amarillo intenso a amarillo pálido, verdoso o blanquecino, siendo menos frecuente la coloración morada. Con frecuencia, la corola presenta máculas en el tubo, que pueden ser sólidas o formadas por puntos, de tonalidades moradas, azules, verdosas o pardas; en algunos casos estas pueden estar ausentes. El tubo de la corola puede presentarse glabro o pubescente en la zona de inserción de los filamentos (Martínez, 1998; Hunziker, 2001; Whitson & Manos, 2005).

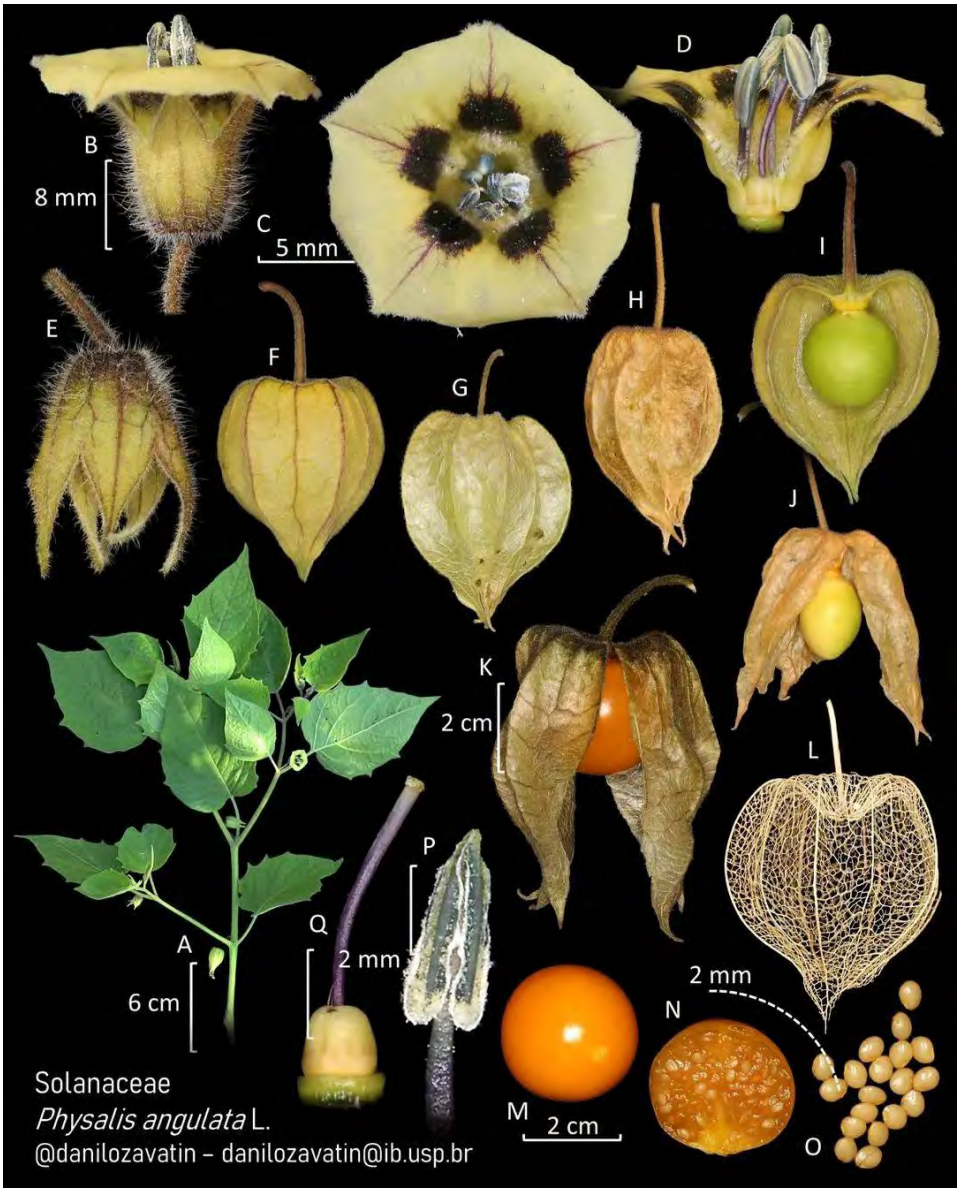
El androceo se encuentra formado por cinco estambres, con filamentos filiformes o ligeramente aplanados. Las anteras presentan dehiscencia longitudinal y son de forma oblonga a linear-oblonga, con coloraciones que varían entre amarillo, azul, verde o morado. El gineceo presenta estilo filiforme y un estigma que puede ser capitado, truncado o claviforme (Martínez, 1998; Hunziker, 2001).

El fruto generalmente es una baya que suele ser esférica, cuya coloración en la madurez puede ser verde, amarilla, anaranjada, morada o parda. Este se encuentra completamente cubierto por un cáliz acrescente, el cual es típicamente inflado, de superficie reticulada y con cinco o diez ángulos, pudiendo presentar o no invaginación en la base. Las semillas son numerosas, de forma reniforme, comprimidas lateralmente, con testa foveolada y de coloración amarilla, dorada o parda, ocasionalmente anaranjada (Martínez, 1998; Hunziker, 2001; Whitson & Manos, 2005).

El género *Physalis* comprende aproximadamente 90 especies, principalmente nativos del continente americano, siendo México el principal centro de diversidad, con un elevado número de especies endémicas. Una excepción es *Physalis alkekengi* L., originaria del Viejo Mundo. No obstante, algunas especies como *Physalis angulata, Physalis pubescens* y *Physalis cordata* se han naturalizado ampliamente en regiones tropicales del hemisferio oriental. En el área evaluada fueron identificados cuatro especies (MacBride, 1962).

Figura 3

Morfología general de Physalis angulata L. (Solanaceae)



Nota: Morfología completa de *Physalis angulata*, incluyendo la planta entera (A), detalles florales como el cáliz, la corola y las estructuras reproductivas (B–D), así como el desarrollo del cáliz acrescente que envuelve al fruto (E–L). Se observan diferentes etapas del desarrollo del fruto en baya (M–N) y las semillas (O). Destaca el cáliz inflado en forma de "linterna", característico del género *Physalis*, así como la presencia de máculas oscuras en la corola y la variación en las estructuras reproductivas.

Fuente:

https://www.facebook.com/photo.php?fbid=563173938935174&set=a.103173471601892&id=100063470861815

1.2.3.1 CLAVE PARA RECONOCER ESPECIES PERUANAS DE PHYSALIS

1ª. Flores azules (ex char.); plantas algo estrelladas pubescentes, rara vez parcialmente simples o casi glabras …… ***P. viscosa.***

1B. Flores amarillentas o amarillas; indumento, si lo hay, no visiblemente estrellado; tricomas mayoritariamente o todos simples …….. 2ª.

2ª. Perenne pilosa; manchas en la corola, anteras (3 mm de largo) de color azul púrpura intenso ……..… ***P. peruviana.***

2B. Anuales puberulentas, con pelos largos o glabras; anteras azules, a menudo de 1,5 – 2,4 mm de largo ……..… 3ª.

3ª. Tricomas mayoritariamente o completamente largos, rara vez ninguno; 5 manchas oscuras en la corola; cáliz pubescente y anguloso ……. ***P. pubescens.***

3B. Tricomas ausentes o cortos, pocos; manchas de la corola (típicas) ninguna; cáliz no angulado en el fruto ……..... ***P. angulata.***

(Macbride, 1962).

1.2.4 *Physalis angulata* L.

Es una hierba de ciclo anual que forma parte de las solanáceas y alcanza una talla de entre 30 y 100 cm. Sus tallos se caracterizan por ser ramificados y angulosos, con una superficie que va de glabra a ligeramente provista de tricomas simples. Las hojas, dotadas de pecíolo, exhiben una morfología de ovada a lanceolada, con bordes dentados de manera irregular y un ápice agudo. Desarrolla flores axilares y solitarias de un tono amarillo tenue, las cuales muestran marcas sutiles o carecen de ellas en la garganta, acompañadas de anteras de coloración violácea o azulada. El fruto consiste en una baya globosa que madura tornándose verde o amarillenta, resguardada por un cáliz inflado y persistente con diez costillas a lo largo de su estructura; en su interior alberga abundantes semillas de forma discoidal, pequeñas y de matices amarillos a marrones claros. Popularmente recibe nombres como camapu, tomatillo silvestre, mullaca, *wild tomato* o cereza de tierra, denominaciones que se ajustan al ámbito geográfico. Aunque proviene de las áreas tropicales y subtropicales de América incluyendo el territorio peruano, hoy en día habita en diversas regiones cálidas del planeta, colonizando huertos, terrenos perturbados, márgenes de senderos, entornos agrícolas y espacios húmedos. Su rango de elevación abarca desde el nivel del mar hasta cerca de los 1 500 a 1 600 m. s. n. m., condicionado siempre por el entorno climático. En el aspecto dietético, aporta carbohidratos, proteínas, fibra, minerales y compuestos con actividad biológica, destacando la vitamina C. Según registros de la plataforma brasileña TBCA, una porción de 100 g de esta fruta en estado fresco provee cerca de 57 kcal, además de 1,8 g de proteínas, 4,2 g de fibra y un contenido de vitamina C de 45,5 mg, métricas sujetas a variación por el grado de maduración y procedencia. Pese a que suele catalogarse como maleza o recurso silvestre con un comercio incipiente, investigaciones contemporáneas analizan sus variables de desarrollo, productividad y cualidades alimenticias para impulsar su domesticación agraria, una meta que aún demanda el perfeccionamiento de paquetes tecnológicos y esquemas de producción a gran escala (Royal Botanic Gardens, Kew, s. f.; PROSEA, s. f.; TBCA, s. f.; Novitasari et al., 2024; Yamika et al., 2024).



Fuente: https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/physalis/angulata/

1.2.5 *Physalis alkekengi* L.

Identificada popularmente con apelativos como linterna china, alquequenje, cereza de invierno o de vejiga, constituye una especie herbácea de carácter perenne dentro de las solanáceas. Su porte oscila entre los 40 y 80 cm de alto, configurando tallos verticales con hojas pecioladas de silueta ovada y márgenes que van de lisos a irregularmente aserrados, además de flores individuales blanquecinas con el centro en tonos amarillos o verdosos. Su rasgo morfológico más sobresaliente es el cáliz expandido que, al alcanzar la madurez, adquiere un vivo color rojo o anaranjado y envuelve por completo a una baya esférica rojiza de entre 1 y 1,5 cm de diámetro. Con un origen geográfico situado en Eurasia extendiéndose desde las regiones meridionales y centrales de Europa hasta territorio japonés y chino, medra de forma espontánea en praderas, pendientes, campos agrícolas y cunetas. Su cota de distribución se documenta entre los 50 y los 3 000 m s. n. m., intervalo que se atribuye de igual modo a su variante *P. alkekengi var. franchetii*. En términos nutricionales, provee compuestos fenólicos de efecto antioxidante, minerales, proteínas, fibra y vitaminas. Evaluaciones bromatológicas efectuadas en Bulgaria asocian un valor calórico de unas 43 kcal por cada 100 g de pulpa fresca, junto con aportes de flavonoides, si bien dichos indicadores fluctúan según las condiciones climatológicas y el fenotipo. Hoy en día se explota mayormente en el sector floral y ornamental por el atractivo de sus estructuras polícromas, registrando además usos en el herbolario tradicional de naciones asiáticas. Sin embargo, su aprovechamiento comercial e incorporación en la dieta aún exigen mayor soporte científico, recomendándose restringir la ingesta de órganos vegetales no validados debido al riesgo por componentes con potencial toxicidad (World Flora Online, 2026; Li et al., 2022; *Phytonutrient Composition of Two Phenotypes of Physalis alkekengi* , 2022; Royal Botanic Gardens, Kew, s. f.).



Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/Physalis_alkekengi

1.2.6 *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem.

Es una especie herbácea de ciclo anual integrada en las solanáceas. Su altura habitual se encuadra entre los 20 y 65 cm, si bien algunos ejemplares logran aproximarse a los 1,3 m. Desarrolla ejes caulinares verticales, angulados y divididos, con follaje peciolado de silueta ovada a ovado-lanceolada y contornos aserrados. Sus inflorescencias axilares y solitarias muestran tonos amarillos o corolas amarillo-verdosas, ornamentadas con máculas purpúreas o marrón-violáceas. Produce una baya de morfología esférica, prevalentemente verde, aunque manifiesta variantes amarillentas o moradas, guarecida por un cáliz acrescente y persistente. En el ámbito popular es conocida como miltomate, tomatillo, tomate verde, de cáscara o de fresadilla, alternando según la zona. Con raíces geográficas en el territorio mexicano, se encuentra diseminada y bajo labranza en múltiples regiones de Asia, Europa, África y América, prosperando en campos de cultivo, espacios abiertos y entornos antropizados. Su cota altitudinal es variable según el entorno, reportándose colonizaciones exóticas hasta cotas cercanas a los 1 400 m s. n. m. Sus frutos resultan aptos para la alimentación, aportando agua, minerales, fibra, carbohidratos y vitaminas; no obstante, su perfil bromatológico queda condicionado por el ecotipo, el manejo agrícola y el estado de madurez. En la actualidad ostenta un notable valor económico, primordialmente en México, donde su explotación comercial abastece el mercado en fresco y la manufactura de salsas tradicionales, expandiéndose a otras fronteras que registran su consumo (Royal Botanic Gardens, Kew, s. f.).



Fuente: https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:817444-1

1.2.7 *Physalis peruviana* L. (Aguaymanto)

Figura 4

P. peruviana, detalles de la planta, rama con hojas y carpelos con frutos.



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Physalis_peruviana

Physalis peruviana L., también llamado aguaymanto (uchuva), es una especie nativo de la región andina de Sudamérica, particularmente de Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia, donde crece en zonas situadas aproximadamente entre los 1.800 y 3.600 m s.n.m. Esta especie destaca por su alto valor nutricional y por la presencia de compuestos bioactivos que le confieren importantes propiedades funcionales y medicinales. En la actualidad, su cultivo se ha expandido significativamente, posicionando a Perú como productor y exportador principal, impulsado por la creciente demanda internacional como alimento nutracéutico (Puente et al., 2011; Ramadan, 2011).

1.2.7.1 TAXONOMÍA

De acuerdo con el sistema de clasificación APG IV (Angiosperm Phylogeny Group, 2016), *Physalis peruviana* L., pertenece al orden Solanales y a la familia Solanaceae. Su posición sistemática se presenta a continuación:

Dominio: Eukaryota
Reino: Plantae
Clado: Angiospermas
Clado: Eudicotiledóneas
Clado: Asteridas
Órden: Solanales
Familia: Solanaceae
Género: *Physalis* L.
Especie: *Physalis peruviana* L.

Otras denominaciones: en el Perú en conocida como Capulí, aguaymanto, guinda serrana, uvilla o tomatillo; en Bolivia como capulí o motojobobo embolsado; en Colombia como uvilla, uchuva y guchuba; en Venezuela es topotopo o cereza de judas; en Ecuador como uvilla; En México es cereza del Perú; y en otros lugares también se le denomina como cuchuva, amor en bolsa, sacabuche, lengua de vaca o tomate silvestre, entre otros. (Fischer et al., 2005).

1.2.7.2 IMPORTANCIA NUTRICIONAL

El fruto de *P. peruviana* presenta un contenido importante de vitaminas, especialmente provitamina A (expresada como carotenoides) y vitamina C. Asimismo, contiene proteínas en bajas proporciones, escaso contenido lipídico y una cantidad apreciable de minerales (Puente et al., 2011; Ramadan, 2011).

En cuanto a su composición fitoquímica, el aguaymanto contiene metabolitos secundarios como withanólidos, flavonoides, compuestos fenólicos, saponinas y carotenoides, presentes tanto en el fruto como en el cáliz acrescente. Estos compuestos le confieren una alta capacidad antioxidante, lo que ayuda a neutralizar los radicales libres y a reforzar el sistema inmunológico (Puente et al., 2011; Ramadan, 2011).

Tabla 1

Contenido nutricional de Physalis peruviana L. expresado por cada 100 g de fruto.

Componente	Unidad	Cantidad
Calorías	cal	54
Agua	%	79.6
Proteína	g	1.1
Grasas	g	0.4
Carbohidratos	g	13.1
Fibra	g	4.8
Cenizas	g	1
Calcio	g	7
Fosforo	g	38
Hierro	mg	1.2
Vitamina A	mg	1.1
Tiamina	mg	0.18
Riboflavina	mg	0.03
Niacina	mg	1.3
Ácido ascórbico	mg	26

Fuente: (Bravo, 2021).

Diversos estudios han evidenciado que *Physalis peruviana* posee propiedades biológicas como actividad antiinflamatoria, antioxidante, antidiabética, hepatoprotectora, antimicrobiana y potencial efecto antiproliferativo. Estas propiedades han sido asociadas con la prevención o tratamiento complementario de enfermedades como diabetes, trastornos hepáticos, afecciones respiratorias y ciertos tipos de cáncer. Además, se le atribuyen efectos diuréticos y un posible efecto relajante asociado a la presencia de flavonoides. Los extractos del cáliz, en particular, han mostrado actividad antibacteriana y propiedades antifibróticas en estudios experimentales (Puente et al., 2011; Ramadan, 2011).

1.2.7.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL Y COMERCIO DE EXPORTACIÓN DE *Physalis peruviana* L.

P. peruviana ha experimentado una notable expansión mundialmente en los últimos tiempos impulsada por una creciente demanda de los mercados internacionales como fruto

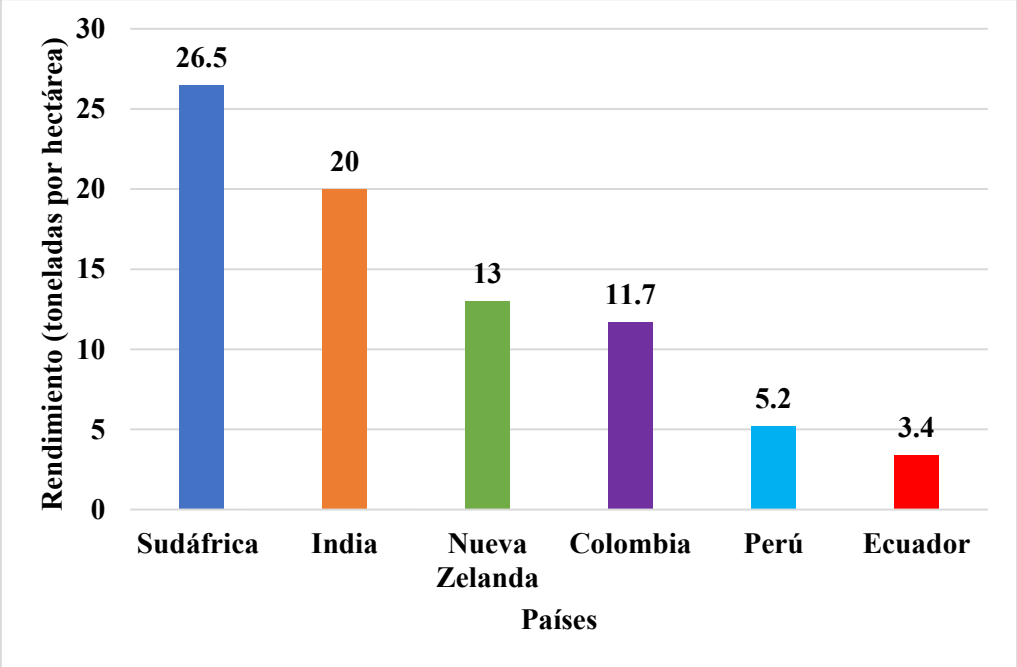
exótico y nutracéutico. Aunque proviene de la región andina de Sudamérica, su producción se ha extendido a diversos continentes, incluyendo Europa, África, Asia y Oceanía (Puente et al., 2011; Ramadan, 2011).

A nivel global, Colombia se posiciona como uno de los primeros países que producen y exportan el aguaymanto, destacándose por la calidad de su fruta y su consolidada cadena de exportación hacia mercados europeos, especialmente Países Bajos, Alemania y Reino Unido. En Perú ha incrementado notablemente su presencia en los mercados internacionales, con un crecimiento sostenido en áreas de cultivo y volumen de exportación, principalmente en regiones como Cajamarca, Cusco, Ayacucho y Junín, donde las condiciones agroecológicas favorecen su desarrollo (Sierra y Selva Exportadora, 2020).

Otros países como Ecuador y Bolivia también producen aguaymanto en menor escala, mientras que naciones fuera de su centro de origen, como Sudáfrica, Kenia, India, China y Nueva Zelanda, han incorporado este cultivo en sus sistemas agrícolas, aprovechando su adaptación a diversos climas y su alto valor comercial. En Europa, países como España han desarrollado cultivos bajo condiciones controladas, principalmente en invernaderos (Puente et al., 2011; Ramadan, 2011).

Figura 5

Países con mayor producción de P. peruviana a nivel global



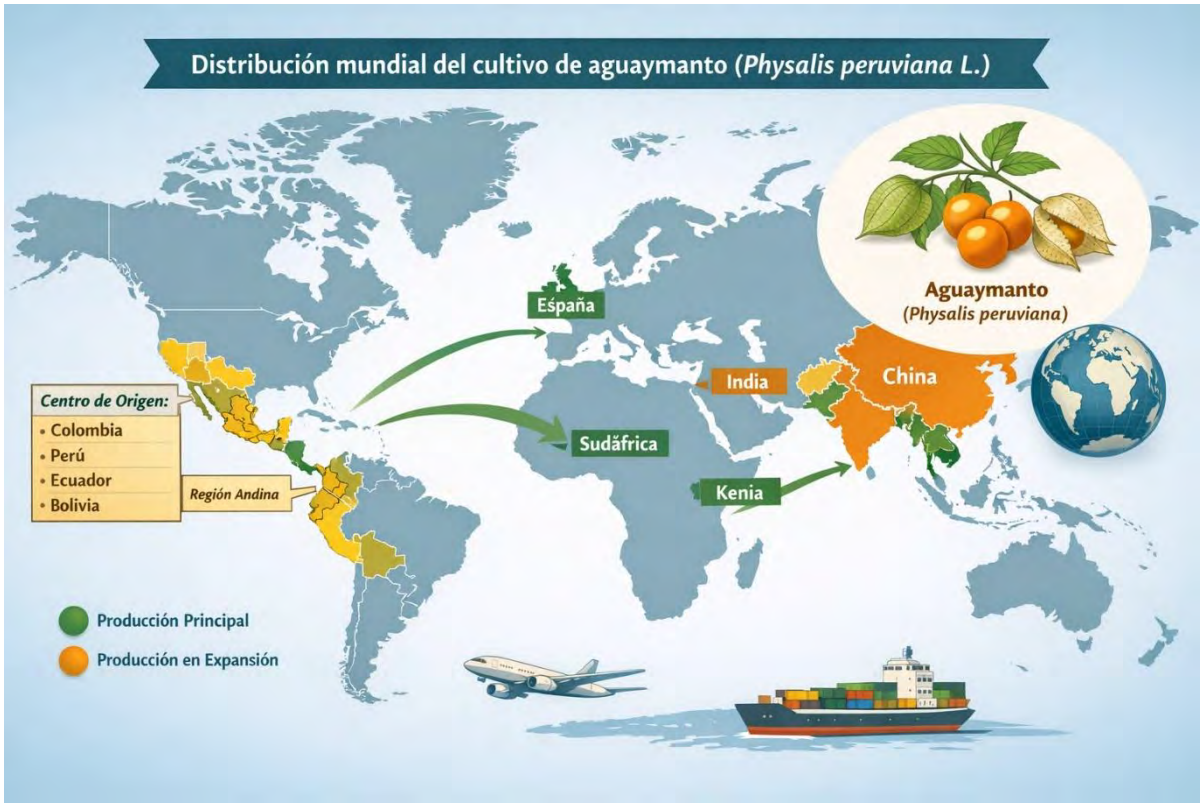
Fuente: Agraria.pe (2021).

El aguaymanto ha adquirido importancia como cultivo de exportación no tradicional, generando ingresos y oportunidades de desarrollo rural en países andinos. Su comercialización se realiza tanto en estado fresco como procesado (deshidratado, en conservas, jugos y productos funcionales), lo que amplía su valor agregado en el mercado internacional (Puente et al., 2011; Sierra y Selva Exportadora, 2020).

En el territorio peruano, esta fruta se industrializa para dar origen a múltiples derivados comestibles, transformándose en pulpas, jugos, jaleas, néctares, conservas, deshidratados, confitados con cobertura de chocolate, fruta en almíbar, congelados, soluciones extractivas o presentaciones pulverizadas. Dentro de este portafolio, la variante orgánica deshidratada con textura crujiente posee un fuerte protagonismo, enfocándose con prioridad hacia el comercio exterior. Dichas alternativas logran incrementar el valor económico del recurso vegetal, abriendo nuevas oportunidades de comercialización tanto en el entorno local como en el extranjero (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2021; Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo [PROMPERÚ], 2024).

Figura 6

Distribución geográfica de los cultivos de aguaymanto (Physalis peruviana L.) a nivel mundial



Fuente: Elaboración propia con base en datos de FAOSTAT (2026).

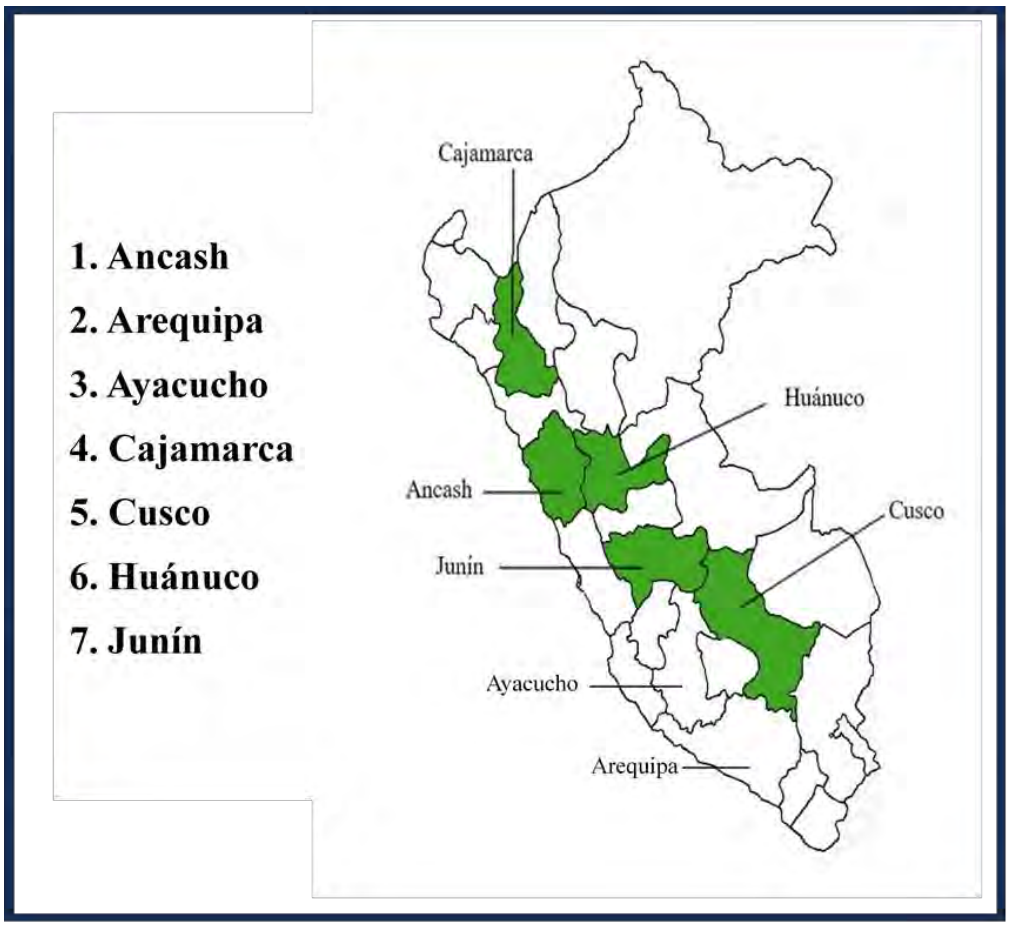
Nota: Mapa que muestra la distribución geográfica del cultivo de *Physalis peruviana* a nivel mundial, resaltando su lugar de origen en la zona andina de Sudamérica especialmente en Perú, Colombia, Bolivia y Ecuador, así como su expansión hacia otros continentes como África (Sudáfrica, Kenia), Asia (India, China) y Europa (España). Además, se señalan los países productores y exportadores principales.

1.2.7.4 PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE AGUAYMANTO EN EL PERÚ

El aguaymato ha sido cultivado en el Perú desde tiempos antiguos y alcanzó gran importancia durante el Imperio Incaico por sus propiedades nutritivas y su característica parecida a una perla de color amarillo intenso asociada a su elevado contenido de caroteno. Actualmente su producción se distingue en diversos departamentos entre ellos: Apurímac, Ancash, Ayacucho, Amazonas, Arequipa, Huánuco, Huancavelica, Lambayeque, Cerro de Pasco, Junín, Cajamarca, Lima, Moquegua y Cusco (Sierra y Selva exportadora, 2020).

Figura 7

Departamentos del Perú productores de aguaymanto



Fuente: Sierra y Selva Exportadora (2020).

Actualmente se han registrado tasas de crecimiento promedio anuales en la producción de 17%, la cosecha del 15% y el rendimiento de 2% del aguaymanto donde mostraron un incremento notable (Sierra y selva exportadora, 2020).

1.2.8 DESCRIPTORES TAXONÓMICOS Y MORFOLÓGICOS

Los **descriptores taxonómicos** son el conjunto de caracteres estandarizados utilizados para la descripción, identificación, comparación y diferenciación de especies, variedades o accesiones vegetales. Estos descriptores constituyen herramientas fundamentales en estudios de caracterización y clasificación taxonómica, ya que permiten registrar de manera objetiva y uniforme la variabilidad existente entre los materiales biológicos. Comprenden diferentes tipos de caracteres, entre ellos los morfológicos, fenológicos, agronómicos, fisiológicos, citológicos, bioquímicos y moleculares, dependiendo del propósito de la investigación (International Plant Genetic Resources Institute, 1995; UPOV, 2002).

Dentro de los descriptores taxonómicos, los **descriptores morfológicos** corresponden a los caracteres observables de la planta, tanto cualitativos como cuantitativos, que describen la forma, tamaño, color, estructura y disposición de los órganos vegetativos y reproductivos. Estos caracteres poseen un alto valor diagnóstico porque permiten identificar y diferenciar materiales vegetales mediante la evaluación de rasgos como el hábito de crecimiento, tallo, hojas, flores, frutos y semillas (International Plant Genetic Resources Institute, 1995; UPOV, 2002).

1.2.9 VIABILIDAD POLÍNICA

La viabilidad del polen constituye un componente fundamental en la biología reproductiva de las plantas con flores (angiospermas), debido a que influye directamente en el éxito de los procesos de fecundación y formación de semillas. El polen representa el gametofito masculino altamente reducido, encargado de transportar las células espermáticas hacia el saco embrionario, donde se lleva a cabo la doble fecundación, proceso distintivo de las angiospermas (Brewbaker, 1967; Dafni & Firmage, 2000).

La habilidad del polen para germinar sobre el estigma, formar un tubo polínico funcional y alcanzar el óvulo depende directamente de su viabilidad, la cual está influenciada tanto por factores estructurales como fisiológicos. Entre estos factores se incluyen la integridad de la pared celular (exina e intina), el contenido citoplasmático, la actividad metabólica y la disponibilidad de reservas energéticas (Dafni & Firmage, 2000; Pacini et al., 1997; Taylor & Hepler, 1997).

En términos botánicos, viabilidad del polen se entiende como la aptitud de un grano de polen para germinar y producir un tubo polínico funcional en condiciones adecuadas. Es importante diferenciar este concepto del de viabilidad, el cual implica el éxito final en la fecundación y la formación de semillas viables. En este sentido, un grano de polen puede ser viable, es decir, capaz de germinar, pero no necesariamente fértil, si se presentan fallas en etapas posteriores del proceso reproductivo (Dafni & Firmage, 2000; Heslop-Harrison & Heslop-Harrison, 1970; Pacini et al., 1997).

Desde un enfoque fisiológico, viabilidad del polen se vincula directamente con su estado de hidratación, la actividad enzimática y la estabilidad de sus membranas celulares. Asimismo, variables ambientales tales como la temperatura, la humedad relativa, radiación y el tiempo de almacenamiento pueden afectar significativamente su capacidad germinativo. Por ello, la evaluación de la viabilidad polínica es ampliamente utilizada en estudios de

reproducción vegetal, mejoramiento genético, conservación de germoplasma y caracterización de especies (Dafni & Firmage, 2000; Nepi et al., 2001; Pacini et al., 1997).

1.2.10 MÉTODOS PARA EVALUAR LA VIABILIDAD POLÍNICA

Para determinar la viabilidad del polen puede realizarse mediante métodos indirectos y directos, los cuales difieren por el tipo de información que ofrecen acerca del estado funcional del grano de polen. Los métodos indirectos se basan en pruebas de tinción que evalúan la integridad celular o la actividad metabólica, mientras que los métodos directos permiten comprobar la capacidad del polen para germinar y desarrollar el tubo polínico (Ari et al., 2016; da Silva et al., 2017).

a) Métodos de tinción (evaluación indirecta):

Los métodos de tinción constituyen una de las estrategias más utilizadas para la evaluación de la viabilidad polínica debido a su simplicidad, rapidez, bajo costo y facilidad de aplicación. Estas técnicas se basan en la utilización de colorantes con afinidad por determinados componentes celulares, principalmente los ácidos nucleicos, proteínas, lípidos o enzimas presentes en el citoplasma de los granos de polen. Como resultado, permiten diferenciar aquellos granos que conservan su organización celular e integridad estructural de aquellos que presentan procesos de degeneración o pérdida de su contenido citoplasmático (Peterson et al., 2010; Shivanna, 2019).

La evaluación mediante tinción se considera un método indirecto de determinación de la viabilidad polínica, ya que no mide de manera directa la capacidad del grano de polen para germinar ni formar el tubo polínico durante la fecundación. En cambio, estima la viabilidad a partir del estado fisiológico y estructural de las células, asumiendo que un grano de polen con citoplasma íntegro, adecuadamente desarrollado y con sus componentes celulares conservados presenta una mayor probabilidad de ser funcional. Por el contrario, los granos de polen vacíos, colapsados o con citoplasma degradado muestran una tinción débil o ausente y son considerados no viables (Ari et al., 2016; Shivanna, 2019). Entre ellas tenemos:

Tinción con acetocarmín o carmín acético: La tinción con acetocarmín, también denominada carmín acético, constituye uno de los métodos citológicos más utilizados para estimar la viabilidad polínica. Su fundamento se basa en la afinidad del colorante por los ácidos nucleicos y otros componentes del contenido celular, lo que permite que los granos de polen con citoplasma íntegro y adecuada organización celular adquieran una coloración rojo intensa. En contraste, los granos de polen que presentan degeneración celular, pérdida del

contenido citoplasmático o alteraciones estructurales muestran una tinción débil o permanecen incoloros. En consecuencia, este método proporciona una evaluación indirecta de la viabilidad polínica, al estimar el estado estructural y citológico de los granos de polen, sin determinar directamente su capacidad para germinar y formar el tubo polínico (Ari et al., 2016; Shivanna, 2019).

Prueba con TTC (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio): La prueba con cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (TTC) es un método bioquímico ampliamente utilizado para evaluar la viabilidad de semillas y granos de polen mediante la determinación de su actividad metabólica. Su fundamento se basa en la actividad de las enzimas deshidrogenasas presentes en las células vivas, las cuales participan en los procesos de respiración celular. En los tejidos metabólicamente activos, estas enzimas reducen el TTC, un compuesto incoloro, a formazán, un producto insoluble de color rojo intenso que se acumula en el citoplasma de las células viables. En consecuencia, los granos de polen que presentan una coloración roja intensa son considerados viables, mientras que aquellos que permanecen incoloros o muestran una tinción débil indican una baja actividad metabólica o pérdida de viabilidad.

A diferencia de los colorantes citológicos, como el carmín acético, que estiman la viabilidad a partir de la integridad estructural del contenido celular, el TTC proporciona una evaluación basada en la actividad metabólica de las células, reflejando el funcionamiento de los sistemas enzimáticos respiratorios. Por esta razón, este método suele considerarse más sensible para detectar células fisiológicamente activas, sin embargo, al igual que otros métodos de tinción, constituye una evaluación indirecta de la viabilidad, ya que no demuestra la capacidad del grano de polen para germinar y desarrollar el tubo polínico, por lo que sus resultados pueden complementarse con ensayos de germinación in vitro cuando se requiere evaluar la viabilidad funcional.

Fluoresceína diacetato (FDA): la prueba con fluoresceína diacetato (FDA) es un método fluorocromático utilizado para evaluar la viabilidad polínica mediante la detección de la actividad de esterasas intracelulares y la integridad de la membrana plasmática. El FDA, al ser un compuesto no fluorescente, atraviesa las membranas celulares intactas de los granos de polen. En las células viables, las esterasas intracelulares hidrolizan el FDA y liberan fluoresceína, la cual se acumula en el citoplasma cuando la membrana plasmática mantiene su integridad. Como resultado, los granos de polen viables presentan una fluorescencia verde intensa al ser observados mediante microscopía de fluorescencia, mientras que aquellos con

membranas deterioradas presentan una fluorescencia reducida o ausencia de señal (Ascari et al., 2020).

b) Germinación in vitro (evaluación directa):

La germinación del polen in vitro constituye el método de referencia para evaluar la viabilidad polínica, ya que determina de manera directa y funcional la capacidad de los granos de polen para germinar y desarrollar el tubo polínico, proceso indispensable para que ocurra la fecundación. A diferencia de los métodos de tinción, que estiman la viabilidad a partir de características estructurales o metabólicas del polen, la germinación in vitro evalúa la respuesta fisiológica del grano de polen bajo condiciones controladas, proporcionando una medida más precisa de su potencial reproductivo (Shivanna & Rangaswamy, 1992; Shivanna, 2019).

La técnica consiste en sembrar los granos de polen sobre un medio de cultivo artificial formulado para simular las condiciones del estigma. Generalmente, este medio contiene sacarosa, que actúa como fuente de energía y regulador osmótico; calcio, esencial para la organización del citoesqueleto y el crecimiento del tubo polínico; boro, indispensable para la síntesis y estabilidad de la pared celular durante la elongación del tubo; y un agente gelificante, como el agar, que proporciona soporte físico al medio. Dependiendo de la especie vegetal, también pueden incorporarse otros compuestos, como magnesio, potasio o polietilenglicol (PEG), con el fin de optimizar la germinación (Shivanna & Rangaswamy, 1992; Brewbaker & Kwack, 1963).

Una vez incubados bajo condiciones adecuadas de temperatura, humedad, pH y tiempo de cultivo, los granos de polen viables absorben agua, reanudan su actividad metabólica y emiten un tubo polínico, el cual puede observarse y medirse mediante microscopía óptica. El porcentaje de germinación se determina contabilizando los granos que desarrollan un tubo polínico cuya longitud es igual o superior al diámetro del propio grano, criterio ampliamente aceptado en estudios de biología reproductiva (Shivanna, 2019).

No obstante, su aplicación requiere la estandarización previa de las condiciones de cultivo para cada especie, ya que la composición del medio nutritivo, la concentración de sacarosa, el pH, la temperatura y el tiempo de incubación pueden variar considerablemente entre taxones. Asimismo, demanda mayor tiempo, infraestructura y control experimental que los métodos de tinción, razón por la cual estos últimos continúan siendo ampliamente

utilizados cuando el objetivo es realizar una estimación rápida de la viabilidad polínica en un gran número de muestras.

1.2.11 IMPORTANCIA DE LA VIABILIDAD POLÍNICA

La viabilidad polínica constituye uno de los principales indicadores del éxito reproductivo de las plantas con flores, ya que determina la capacidad del grano de polen para participar en la fecundación y, en consecuencia, en la formación de semillas y frutos. Su evaluación permite comprender el funcionamiento del sistema reproductivo de las especies vegetales y constituye una herramienta fundamental en estudios de biología reproductiva, ecología, taxonomía, fisiología vegetal y mejoramiento genético (Shivanna & Rangaswamy, 1992; Dafni, 1992).

Desde el punto de vista ecológico y evolutivo, la viabilidad del polen influye en la diversidad genética de los cultivos, la eficiencia de los sistemas de apareamiento y el mantenimiento de las interacciones entre plantas y polinizadores. Asimismo, factores ambientales como la temperatura, la humedad y el cambio climático pueden afectar significativamente la viabilidad del polen, reduciendo el éxito reproductivo y la producción de semillas (Fenster et al., 2004; Hegland et al., 2009; Zinn et al., 2010).

En el ámbito agrícola, la evaluación de la viabilidad polínica constituye una herramienta indispensable para estimar el potencial reproductivo de los cultivos, optimizar programas de mejoramiento genético, seleccionar progenitores con alta viabilidad y favorecer la producción de híbridos. Además, es ampliamente utilizada en la conservación de germoplasma, el estudio de la compatibilidad reproductiva y el control de la calidad fisiológica del polen, aspectos fundamentales para incrementar la productividad y preservar la diversidad genética de las especies cultivadas (Acquaah, 2012; Engels & Visser, 2003; Shivanna, 2019).

En la actualidad, la viabilidad polínica también representa un componente estratégico frente a los efectos del cambio climático, debido a que el incremento de la temperatura y otros factores de estrés ambiental pueden disminuir la viabilidad del polen y afectar el rendimiento de numerosos cultivos. Por ello, su evaluación constituye una herramienta de gran importancia para el desarrollo de variedades con mayor capacidad reproductiva y adaptación a condiciones ambientales cambiantes (Lobell & Gourdji, 2012; Shivanna, 2019).

1.2.12 MUESTREO NO PROBABILÍSTICO DE TIPO INTENCIONAL

El muestreo no probabilístico es una técnica de selección de unidades de estudio en la cual la inclusión de los elementos del cultivo no depende de una probabilidad conocida ni de un procedimiento de selección aleatoria, sino de criterios establecidos por el investigador de acuerdo con las características y los objetivos del estudio. En este tipo de muestreo, no todos los elementos del cultivo tienen necesariamente la misma posibilidad de ser seleccionados (Otzen & Manterola, 2017).

Dentro de los métodos de muestreo no probabilístico se encuentra el muestreo intencional, también denominado muestreo por juicio, mediante el cual el investigador selecciona deliberadamente aquellos casos que considera característicos o pertinentes para responder al propósito de la investigación. Esta selección se realiza a partir de criterios previamente establecidos y relacionados con las características del cultivo objeto de estudio (Otzen & Manterola, 2017).

En este sentido, el muestreo no probabilístico de tipo intencional permite conformar una muestra a partir de unidades que cumplen determinadas características de interés para la investigación, especialmente cuando se requiere trabajar con casos específicos o cuando las condiciones del estudio hacen pertinente una selección dirigida. Sin embargo, debido a que la selección no se realiza mediante procedimientos probabilísticos, los resultados obtenidos no permiten asumir necesariamente una representación estadística de todal cultivo ni realizar generalizaciones con el mismo nivel de certeza que en un muestreo probabilístico (Otzen & Manterola, 2017).

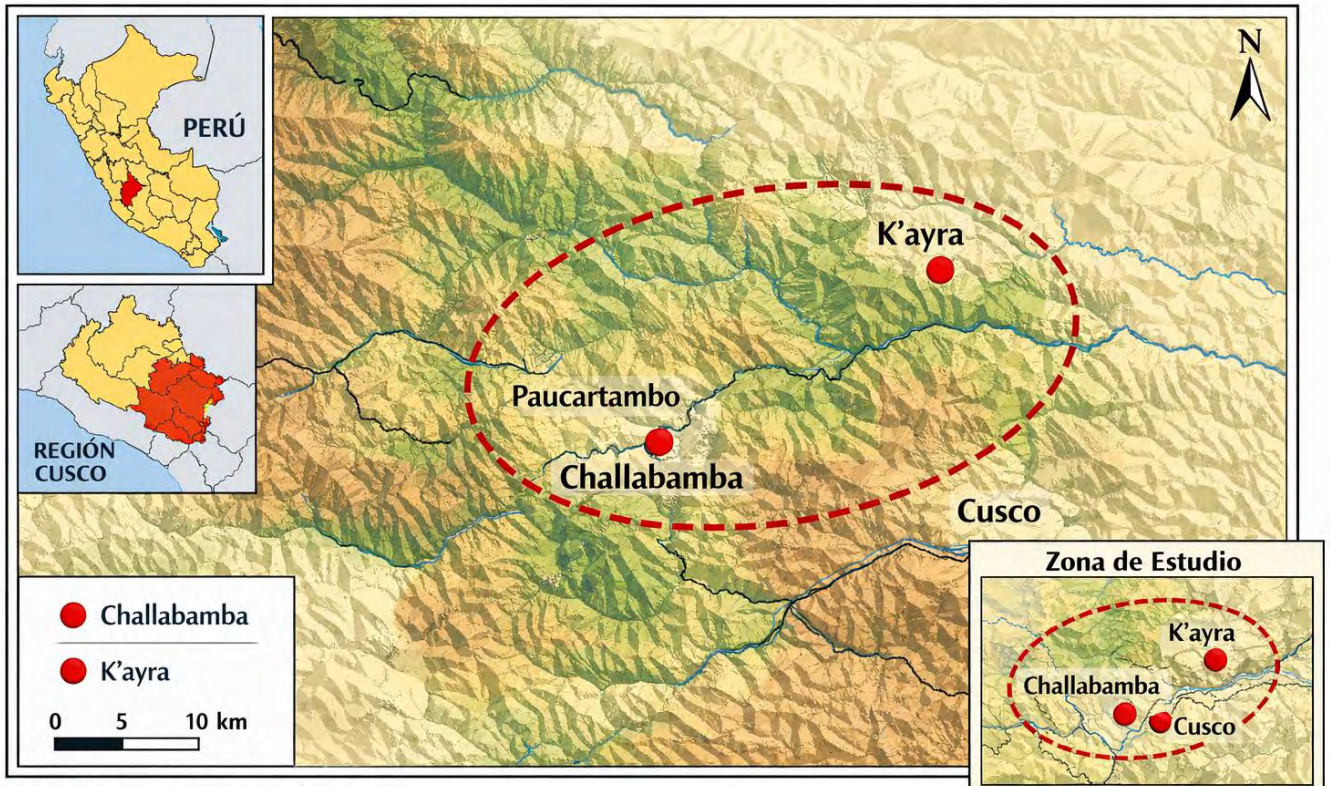
CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

La investigación fue realizada en el centro poblado de Labrampata, del distrito de Challabamba, Provincia de Paucartambo, Así como en el área de fruticultura del Centro Agronómico K'ayra, perteneciente al Distrito de San Jerónimo, Provincia de Cusco, Región Cusco.

Ubicación del área de estudio: Challabamba y K'ayra – Cusco, Perú



Fuente: Elaboración propia / IGN - Google Earth

2.1.1 CENTRO POBLADO DE LABRAMPATA, DISTRITO DE CHALLABAMBA (PAUCARTAMBO)

Localización política y geográfica:

El centro poblado de Labrampara del distrito de Challabamba, se encuentra bajo jurisdicción política de la Provincia de Paucartambo, en la región Cusco. En términos geográficos está ubicada entre los 12° 48', 36.2'' A 13° 14', 20.8'' latitud sur y 71° 43' 10.2'' y 71°56' 02.0'' longitud oeste, situándose en la parte derecha del rio Paucartambo o Mapacho (Alvarez Flores et al., 2012).

Límites geográficos:

NORTE: Limita con el distrito de Yanatile, perteneciente a la Provincia de Calca.

SUR: Colinda con los distritos de Colquepata y Paucartambo en la Provincia de Paucartambo.

OESTE: Se encuentra adyacente a los distritos de Lares y Calca, ambos de la Provincia de Calca).

ESTE: Limita con el distrito de Kcosñipata y el Parque Nacional del Manu en la Provincia de Paucartambo.

Fuente: (Alvarez Flores et al., 2012).

En el que el distrito de Challabamba se clasifica como un bosque montano pluviestacional húmedo de Yungas, donde se encuentra bosques con altura de 15 a 25 m que constituyen la vegetación natural del piso montano yungueño en áreas húmedas, tiene una notable disminución de lluvias de 2 a 3 meses al año (Alvarez Flores et al., 2012).

Figura 8 *Ubicación política del área de investigación – Distrito de Challabamba – Provincia de Paucartambo*



INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Los registros meteorológicos de precipitación, temperatura y humedad fueron obtenidos de la estación meteorológica Challabamba, situada en el distrito de Challabamba, provincia de Paucartambo, departamento del Cusco. Lat: 13°12’48” S Log: 71°38’56” O Alt: 2,816 msnm (SENAMHI, 2026).

Temperatura máxima (°C):

Representada por la línea azul en el gráfico, la temperatura máxima oscila entre los 18.6 y 21.2 °C.

A lo largo del periodo analizado, la temperatura máxima se mantiene relativamente constante, con variaciones mínimas. Esto indica que no hay grandes fluctuaciones en las temperaturas. Se observa una relativa estabilidad térmica a lo largo del periodo de evaluación, con un ligero incremento en el mes de junio de 21.2 °C.

Temperatura (°C):

Representada por la línea roja en el gráfico, la temperatura media anual durante los años 2017 hasta 2026 es de 13.1 °C con una temperatura mínima 10.5 °C (julio) y máxima de 15.1 °C (febrero)

Precipitaciones (mm):

Representada por la línea azul en el gráfico, la precipitación anual es de 690.9 mm durante el periodo del 2017 hasta 2026, con una precipitación mínima de 4.2 mm (julio) y máxima de 138.6 mm (enero).

Relación entre temperatura y precipitaciones:

Presenta una relación directa entre la temperatura y las precipitaciones: durante los meces con menor temperatura (mayo, junio, julio y agosto) las precipitaciones también son bajas. En contraste, los picos de las precipitaciones (diciembre, enero, febrero) coinciden con un ligero repunte en las temperaturas.

Tendencia Climática:

El gráfico sugiere un clima con estaciones diferenciadas. Los meses de mayo, junio, julio y agosto presentan menores temperaturas mínimas y máximas estables, acompañadas de bajas precipitaciones. Por otro lado, los meses de diciembre, enero y febrero están marcados por temperaturas más altas y un aumento en las precipitaciones, especialmente en enero y febrero.

Tabla 2

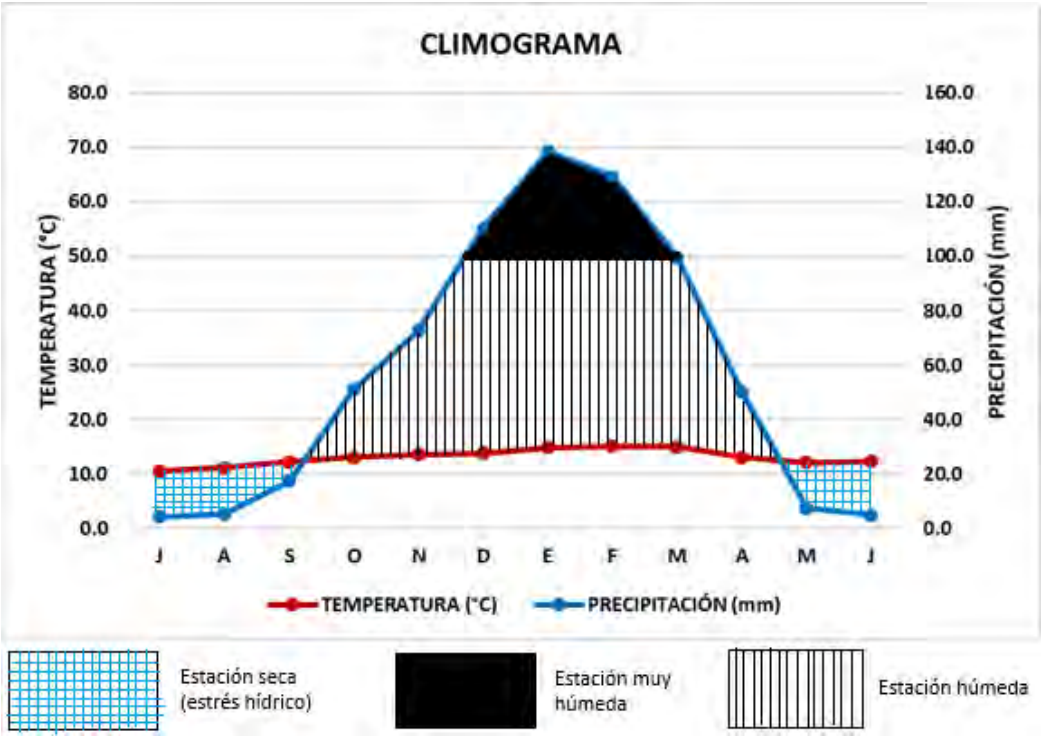
Datos meteorológicos de Julio a Junio promediadas desde el año 2017 hasta 2026

MES	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)
Julio	10.5	4.2
Agosto	11.1	5.3
Setiembre	12.2	17.5
Octubre	13.1	50.9
Noviembre	13.6	72.7
Diciembre	13.8	110.3
Enero	14.9	138.6
Febrero	15.1	129.3
Marzo	15.0	99.7
Abril	13.1	50.1
Mayo	12.1	7.4
Junio	12.4	4.9
Promedio	13.1	
Sumatoria		690.9

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Challabamba del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Figura 9

Climograma – Estación Meteorológica de Challabamba



Nota. Elaboración propia con datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Challabamba del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En referencia al climograma – Figura 9, muestra un periodo seco entre los meses de mayo a setiembre, un periodo húmedo de octubre a abril y un periodo muy húmedo de diciembre a marzo.

2.1.2 AREA DE FRUTICULTURA DEL CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA, DISTRITO DE SAN JERÓNIMO (CUSCO)

Localización política y geográfica:

La investigación fue realizada en el área de fruticultura del Centro Agronómico K'ayra, situado en el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco, en la región del Cusco, representa un sitio fundamental para investigaciones agrícolas, se encuentra bajo la administración de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco de la Facultad de Ciencias Agrarias. Con sus coordenadas UTM: Este 188618.30m, Norte 8499515.41m y a una altitud de 3,215

msnm (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2017).

UBICACIÓN HIDROGRÁFICA:

El Centro se sitúa dentro de la Cuenca del Urubamba, una de las más importantes del sur del Perú, la cual cumple una función clave en el suministro de agua tanto para la actividad agrícola como para el consumo urbano. En particular, se encuentra dentro de la subcuenca del Alto Urubamba y la microcuenca del Huanacaure, ambas esenciales para la gestión hídrica regional. Estas cuencas influyen en la disponibilidad de recursos hídricos, fundamentales para las actividades agrícolas locales (CENEPRED, 2017).

LÍMITES:

El Centro Agronómico K'ayra limita al:

NORTE: Colinda con el APV. Chimpahuaylla.

SUR: Limita con el Distrito de Yaurisque.

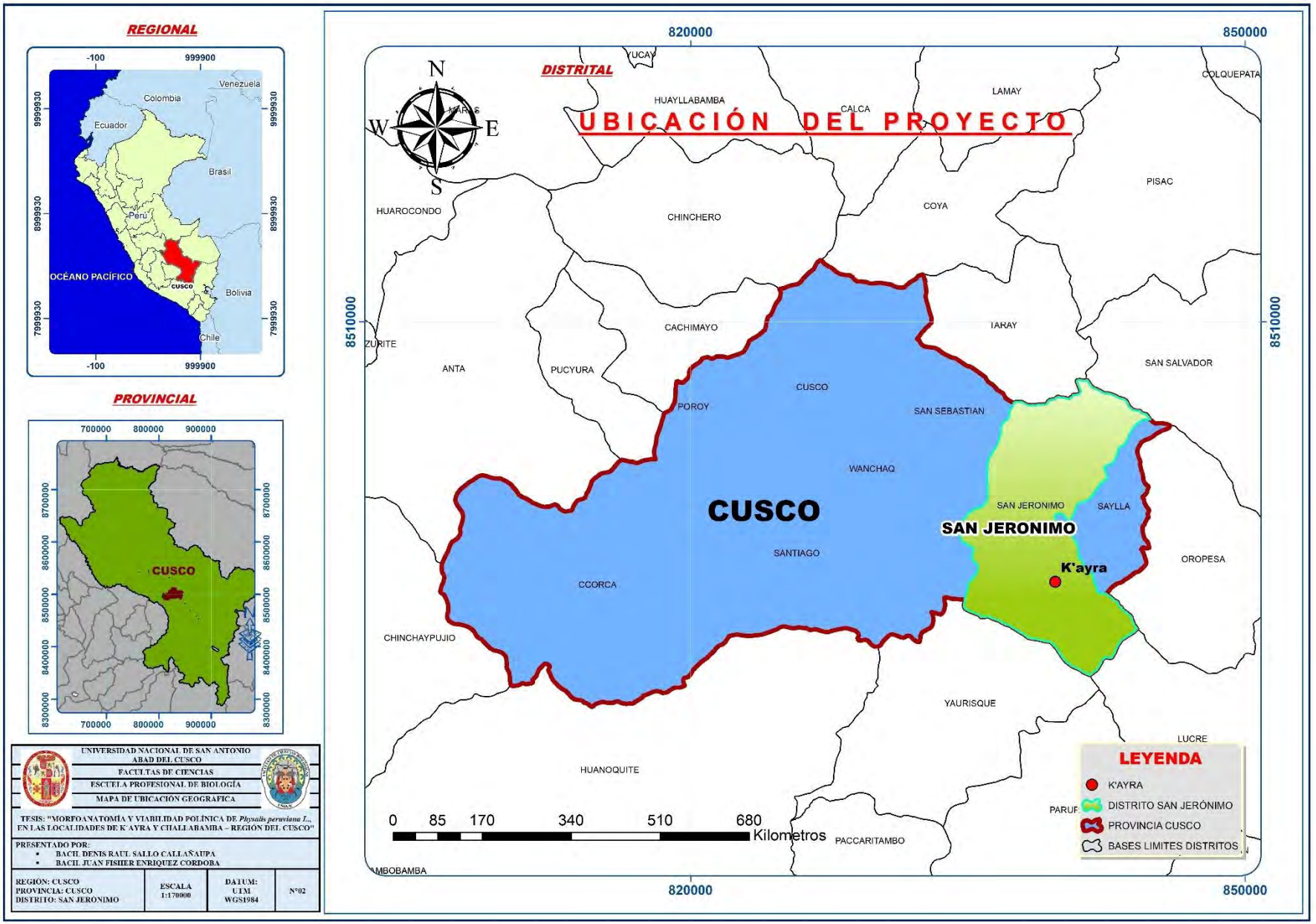
ESTE: Limita con el Distrito de Saylla.

OESTE: Colinda con la Comunidad Campesina Sucso Aucalle

Estos límites geográficos no solo definen el espacio físico del centro, sino que también enmarcan su interacción con las comunidades agrícolas circundantes, las cuales pueden aprovechar los avances tecnológicos y los resultados de investigación que se desarrollan allí.

Fuente: (CENEPRED, 2017).

Figura 10 *Ubicación política del área de investigación del Distrito de San jerónimo - Cusco*



ZONA DE VIDA:

Según Holdridge (1967), el Centro Agronómico de K´ayra se localiza en una zona de vida de Bosque Seco-Montano bajo Subtropical (bh-MBS), caracterizada con lluvias anuales que oscila entre 400- 600 mm, temperatura media anual de 15ºC y una humedad relativa promedio de 60 % al año. Este tipo de clima es característico de zonas montañosas con precipitaciones moderadas, lo cual resulta crucial para la investigación sobre técnicas de cultivo que se adapten a condiciones de agua limitada.

ACCESIBILIDAD:

Para acceder a la zona de investigación es facilitada por su cercanía a la carretera Cusco-Arequipa, una vía asfaltada que permite una llegada rápida desde la ciudad de Cusco. Al llegar al paradero K'ayra, se puede acceder directamente a las instalaciones de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la UNSAAC, hacia el Centro Agronómico K'ayra, luego dirigirse a su invernadero.

Tabla 3

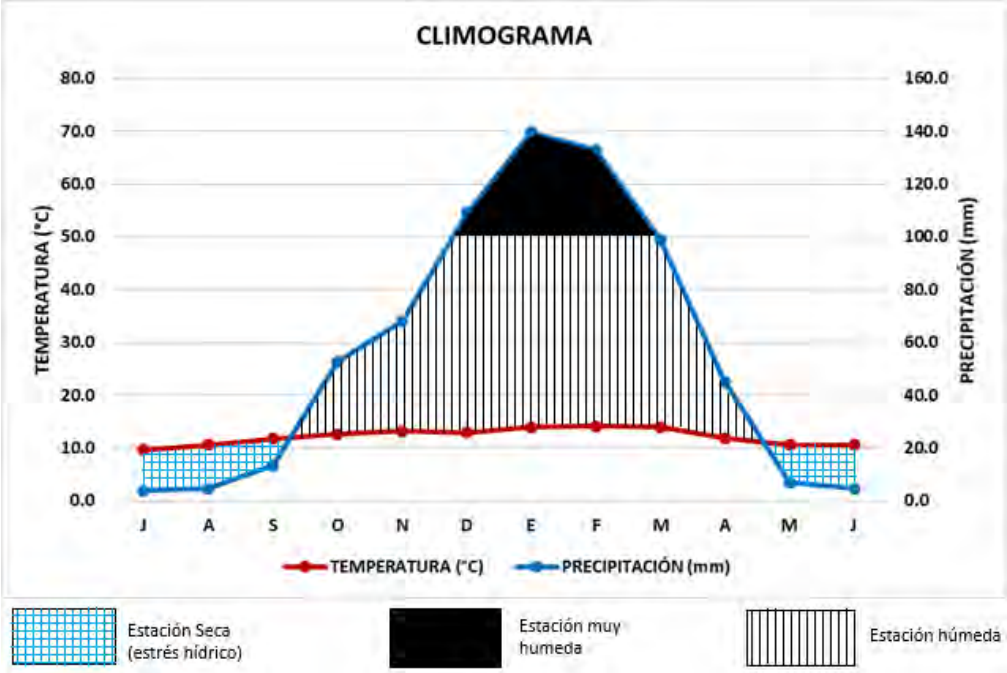
Datos meteorológicos de Julio a Junio promediadas desde el año 2017 hasta 2026

MES	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)
Julio	9.6	3.8
Agosto	10.6	4.5
Setiembre	11.7	13.3
Octubre	12.6	52.7
Noviembre	13.2	67.9
Diciembre	12.8	109.1
Enero	13.9	139.6
Febrero	14.1	132.8
Marzo	14.0	98.9
Abril	11.8	45.1
Mayo	10.6	6.9
Junio	10.6	4.5
Promedio	12.1	
Sumatoria		679.1

Nota. Elaboración propia con datos obtenidos de la Estación Meteorológica Granja K'ayra del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Figura 11

Climograma – Estación Meteorológica Granja K'ayra



Nota. Elaboración propia con datos obtenidos de la Estación Meteorológica Granja K'ayra del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En referencia al climograma – Figura 11, muestra un periodo seco entre los meses de mayo a setiembre, un periodo húmedo de octubre a abril y un periodo muy húmedo de diciembre a marzo.

INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Los registros meteorológicos de precipitación, temperatura y humedad fueron obtenidos de la estación meteorológica Granja Kayra, situada en el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco, departamento del Cusco. Lat: 13°33'24.29" S Log: 71°52'30.61" O Alt: 3,214 msnm (SENAMHI, 2026).

Temperatura (°C):

Representada por la línea roja en el gráfico, la temperatura media anual durante los años 2017 hasta 2026 es de 12.1 °C con una temperatura mínima 9.6 °C (julio) y máxima de 14.1 °C (febrero)

Precipitaciones (mm):

Representada por la línea azul en el gráfico, la precipitación anual es de 679.1 mm durante el periodo del 2017 hasta 2026, con una precipitación mínima de 3.8 mm (julio) y máxima de 139.6 mm (enero).

Relación entre temperatura y precipitación:

Presenta una relación directa entre la temperatura y las precipitaciones: durante los meces con menor temperatura (mayo, junio, julio y agosto) las precipitaciones también son bajas. En contraste, los picos de las precipitaciones (diciembre, enero, febrero) coinciden con un ligero repunte en las temperaturas.

Tendencia climática:

El gráfico sugiere un clima con estaciones diferenciadas. Los meses de mayo, junio, julio y agosto presentan menores temperaturas mínimas y máximas estables, acompañadas de bajas precipitaciones. Por otro lado, los meses de diciembre, enero y febrero están marcados por temperaturas más altas y un aumento en las precipitaciones, especialmente en enero y febrero.

2.2 MATERIALES

2.2.1 Material biológico

El material biológico estuvo constituido por muestras representativas de los órganos vegetativos y reproductivos de *Physalis peruviana* L. (aguaymanto), recolectadas directamente en dos localidades de la región del Cusco: el área de Fruticultura de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ubicada en K'ayra y el centro poblado de Labrampata, distrito de Challabamba, provincia de Paucartambo.

Las muestras recolectadas comprendieron hojas, pecíolos, tallos, raíces, flores y frutos, las cuales fueron destinadas a los análisis morfológicos, anatómicos y de viabilidad polínica. Posteriormente, el material vegetal fue acondicionado en contenedores térmicos (coolers) para preservar su integridad estructural y minimizar posibles alteraciones durante el transporte al laboratorio, donde fueron procesados conforme a los procedimientos establecidos para cada análisis.

2.2.2 Identificación del material biológico

Con el propósito de validar la determinación taxonómica, las muestras fueron comparadas con especímenes de referencia conservados en el herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Posteriormente, la identificación se realizó mediante la aplicación de claves taxonómicas y la consulta de descripciones contenidas en literatura botánica especializada.

Adicionalmente, con el fin de garantizar la exactitud en la identificación, se recurrió a la validación por parte de un especialista del Herbario Vargas perteneciente a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, quien, tras examinar los patrones del herbario institucional, corroboró que el material analizado corresponde a la especie *Physalis peruviana* L.

2.2.3 Descripción macromorfológica de *Physalis peruviana* L.

La descripción macromorfológica de *P. peruviana* se realizó mediante la observación de los caracteres externos de los órganos vegetativos y reproductivos de las plantas, empleando la terminología botánica descrita por Fischer G. et al., (2000), Herrera M. et al., (2012); Fischer G. et al., (2010), complementada con los descriptores mínimos para *Physalis spp*. propuestos por Daunay et al., (2013). Entre estos se incluyeron descriptores cuantitativos, como el diámetro de la flor, el diámetro del cáliz, el diámetro del fruto y el peso del fruto, los cuales fueron incorporados dentro del conjunto de variables evaluadas en la presente investigación.

Con la finalidad de realizar una caracterización morfométrica más detallada y disponer de una base de datos adecuada para los análisis estadísticos multivariados, la evaluación se amplió a un total de 32 descriptores morfológicos cuantitativos, seleccionados de acuerdo con los objetivos del estudio. Las mediciones obtenidas constituyeron la matriz de datos utilizada en la estandarización de variables, el análisis de componentes principales (ACP), el cálculo de distancias euclidianas y el agrupamiento mediante el método UPGMA, permitiendo la comparación objetiva de las diferencias morfológicas entre cada cultivo.

2.2.4 Equipos

- Microscopio biológico provisto de óptica de inmersión y captura de microimágenes, modelo Jenamet Karl Zeiss.
- Microscopio estereoscópico WESCO-7659 con zoom incorporado (30–80×).

- Cámara digital.
- Micrótomo manual Kawasa F-400 (Japón), con resolución de corte de 0.01 mm
- Navaja de acero.

2.2.5 Material experimental

- Vasos de precipitación de vidrio Pyrex (50 ml)
- Mechero de alcohol
- Lunas de reloj
- Pipetas Pasteur
- Placas excavadas
- Goteros
- Equipo de disección (pinzas de relojero y estiletes de acero)
- Hojas de afeitar
- Navaja de barbero de acero inoxidable
- Vernier digital Truper (1/1000 mm)
- Cinta métrica larga de 20 metros.
- Contómetro digital
- Papel filtro
- Láminas portaobjetos
- Láminas cubreobjetos

2.2.6 Reactivos Empleados

- Carmín (2 %)
- Colorante de safranina
- Colorante de azul de algodón al 1 %
- Hidróxido de potasio (2 %)

- Hipoclorito de sodio comercial
- Ácido acético (QP)
- Metanol (QP)
- Ácido clorhídrico (QP)
- Solución de Lugol
- Solución de Sudán III
- Reactivo de Dragendorff
- Tripsina (0.5 %)
- Resina Turtox
- Esmalte de uñas
- Xilol
- Tacos de celoidina
- Formol al 40 %
- Glicerina

Figura 12

Materiales de Laboratorio: Microtomos manuales, Navaja, Pinzas estiletes, Barras de Celoidina, Portaobjetos, Cubreobjetos, lamina excavada, Reactivos y colorantes





2.2.7 Procedimientos de laboratorio

2.2.7.1 Elaboración de soluciones y reactivos

- El **fijador FAA** fue preparado combinando alcohol etílico al 96 % (50 ml), agua destilada (35 ml), formol al 40 % (10 ml) y ácido acético (5 ml).
- La solución de **safranina al 1 %** se obtuvo disolviendo 1 g de safranina en polvo en 100 ml de metanol al 50 %.
- Para la preparación del **azul de algodón al 1 %**, se utilizó 1 g del colorante en polvo disuelto en 100 ml de agua bidestilada, al cual se añadieron dos gotas de ácido acético.
- La **gelatina glicerada** se elaboró a partir de una mezcla de gelatina (50 g), agua destilada (175 ml) y glicerina pura (150 ml), incorporando finalmente 7 g de fenol cristalizado.

2.2.8 De gabinete

- Laptop (12th Gen Intel (R) Core (TM) i5-12450HX)
- Impresora
- Hojas A4
- Memoria USB
- Software de sistema (Windows 11)
- Past versión 5.3
- *ANATI QUANTI* versión 2.0

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación, **el diseño fue no experimental, descriptivo-comparativo y de corte transversal**, debido a que no se manipularon deliberadamente las características de *P. peruviana* sino que estas fueron observadas y registradas tal como se presentaron en las unidades de estudio; asimismo, fue descriptivo-comparativo, porque se caracterizaron las variables morfológicas y de viabilidad polínica y posteriormente se compararon entre los cultivos de K'ayra y Challabamba; finalmente, fue de corte transversal, debido a que la recolección de información y las evaluaciones se realizaron durante un periodo determinado, sin efectuar un seguimiento longitudinal de las mismas unidades de estudio.

2.3.2 ENFOQUE

Cuantitativo, porque las características evaluadas fueron registradas mediante mediciones y conteos, generando datos numéricos que posteriormente fueron organizados y analizados estadísticamente para comparar los cultivos de *P. peruviana*.

2.3.3 FASE DE CAMPO

Las actividades de campo se desarrollaron en el centro poblado de Labrampata, distrito de Challabamba, provincia de Paucartambo, y en la localidad de K'ayra, ubicada en el distrito de San Jerónimo, provincia del Cusco.

Durante esta etapa se seleccionaron y evaluaron 3 cultivos correspondiente a 40 unidades muestrales de *Physalis peruviana* L. mediante observaciones y mediciones *in situ*. Cultivo de K'ayra, cultivo Nativo de Challabamba y cultivo Mejorado de Challabamba. El cultivo de K'ayra fue conformada por 20 unidades muestrales, el cultivo Nativo de Challabamba fue conformada por 10 unidades muestrales y el cultivo Mejorado de Challabamba fue conformada por 10 unidades muestrales. **Para efectos de la investigación, cada planta constituyó una unidad muestral.**

La selección de las unidades muestrales se realizó considerando plantas adultas, sanas y representativas de los cultivos evaluados en cada localidad. En cada planta se registraron características morfológicas mediante observación directa y se realizaron mediciones morfométricas de los diferentes órganos vegetales mediante el empleo de un vernier digital y cinta métrica larga, obteniéndose los datos correspondientes a las variables cuantitativas evaluadas. Asimismo, se realizó un registro fotográfico de las plantas y de sus diferentes

órganos vegetativos y reproductivos como respaldo de las observaciones efectuadas en campo y para complementar la caracterización morfológica.

Asimismo, para la caracterización morfológica se evaluaron 32 descriptores cuantitativos propuestos para la presente investigación, considerando su variabilidad y capacidad para discriminar fenotípicamente las unidades muestrales evaluadas, debido a la ausencia de un sistema estandarizado de descriptores específicos para *P. peruviana*. Los valores obtenidos mediante las mediciones morfométricas constituyeron la base para el posterior procesamiento y análisis estadístico de los caracteres cuantitativos.

De manera complementaria, las observaciones directas y el registro fotográfico permitieron documentar características morfológicas cualitativas de las plantas y sus órganos, contribuyendo a su descripción botánica y a la caracterización de los materiales evaluados en ambas localidades.

Finalizadas las evaluaciones de campo, se procedió a la recolección de muestras representativas de los diferentes órganos vegetativos y reproductivos para su posterior procesamiento y análisis en laboratorio.

2.3.4 SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE MUESTREO

2.3.4.1 DISTRITO DE CHALLABAMBA – PAUCARTAMBO

Tras las visitas de reconocimiento efectuadas en las comunidades del distrito de Challabamba y la aplicación de entrevistas a los pobladores y propietarios de cultivos de aguaymanto, se determinó que el centro poblado de Labrampata presentaba una importante producción de este cultivo, evidenciada por la presencia de extensas áreas de siembra. Asimismo, mediante los testimonios recogidos en campo, se identificó que los propios agricultores reconocen dos tipos de aguaymanto, denominados localmente cultivo Nativo y cultivo Mejorado, según la terminología empleada por la población. Estas denominaciones se adoptaron en la presente investigación para diferenciar ambos cultivos, considerando el reconocimiento y la identificación tradicional de los productores, así como las diferencias morfológicas observadas durante el estudio. Cabe precisar que estas denominaciones corresponden al uso local de los agricultores y no constituyen, por sí mismas, una clasificación taxonómica formal ni implican necesariamente una validación genética de ambos grupos.

Figura 13

Ubicación geográfica de la comunidad con mayor producción (puente de la comunidad Labrampata).



La obtención de las muestras se realizó mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, seleccionando plantas adultas, sanas y representativas de los cultivos de *P. peruviana* establecidos en la comunidad de Labrampata. En esta localidad se evaluaron un total 2 cultivos de *P. peruviana* correspondientes a 20 unidades muestrales, El cultivo nativo de Challabamba fue conformada por 10 unidades muestrales y el cultivo mejorado de Challabamba fue conformada por 10 unidades muestrales, considerando como unidad muestral una planta individual.

El procedimiento se desarrolló en dos etapas**. La primera comprendió el monitoreo de las áreas de cultivo durante noviembre y marzo de 2025**, periodo en el cual se observaron plantas de *P. peruviana* en pleno crecimiento vegetativo y fructificación. En esta fase también se recolectaron órganos vegetativos destinados a posteriores análisis en el laboratorio de la universidad. **La segunda etapa se llevó a cabo entre agosto y enero de 2026** coincidiendo con el desarrollo avanzado y la maduración de las plantas.

Figura 14

Unidades muestrales de Physalis peruviana en pleno desarrollo - Cultivo 01. Comunidad de Labrampata



Figura 15

Unidades muestrales de Physalis peruviana en pleno desarrollo - Cultivo 02. Comunidad de Labrampata



Figura 16

Comunidad de Labrampata, coordenadas: (19L 98253.29 m E, 8557715.99 m S altitud 2485 m).



Entrevista a agricultores

Para el registro de información de campo y la obtención de datos morfométricos, se diseñaron fichas de evaluación destinadas a los tres cultivos identificadas en la comunidad de Labrampata.

Asimismo, se aplicaron entrevistas a los agricultores y propietarios de cultivos de *P. peruviana*, recopilándose información relacionada con la producción, manejo, aprovechamiento y localización de los cultivos. Los datos obtenidos permitieron realizar una evaluación preliminar de la situación actual del aguaymanto en la comunidad. Cabe señalar que las entrevistas se desarrollaron tanto en idioma español como en quechua, con la finalidad de facilitar la comunicación y obtener información pertinente para la investigación.

Figura 17

Entrevista aplicada a propietario de 02 cultivos de P. peruviana.



2.3.4.2 DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO

En el distrito de San Jerónimo el muestreo se realizó en la granja K'ayra específicamente en el área de Fruticultura de la facultad de ciencias agrarias de la UNSAAC. En esta localidad se evaluó 1 cultivo correspondiente a 20 unidades muestrales de *P. peruviana* seleccionando las de mejor comportamiento. Para ello correspondió al monitoreo del cultivo donde se observó la parte vegetativa y fruto de *P. peruviana* en pleno desarrollo.

Figura 18

Ubicación geográfica de la Localidad K'ayra - Área de fruticultura



2.3.5 CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

2.3.5.1 Unidades muestrales de *Physalis peruviana* L. – Distrito Challabamba

En la comunidad de Labrampata se evaluaron 2 cultivos de *P. peruviana* correspondientes a 20 unidades muestrales, El cultivo nativo de Challabamba fue conformada por 10 unidades muestrales y el cultivo mejorado de Challabamba fue conformada por 10 unidades muestrales. Cada planta individual constituyó una unidad muestral.

La selección de las unidades muestrales se realizó mediante un **muestreo no probabilístico de tipo intencional**, considerando plantas adultas, sanas y representativas de los cultivos presentes en la zona de estudio. En cada unidad muestral se realizaron las evaluaciones morfológicas correspondientes, siguiendo los criterios y descriptores establecidos previamente en la sección 1.5.3.

Figura 19

Cultivo 01 de P. peruviana - Comunidad Labrampata



Figura 20 *Cultivo 02 de P. peruviana - Comunidad Labrampata*



Durante el monitoreo correspondiente a la segunda fase de establecimiento, se constató la presencia de dos cultivos de *P. peruviana* en la comunidad de Labrampata. En los dos cultivos observados, la totalidad de las plantas presentó una cobertura vegetal favorable y un desarrollo adecuado durante el periodo de establecimiento, evidenciando condiciones apropiadas para su evaluación. En este sentido, se recomienda realizar un seguimiento durante la etapa vegetativa, considerando tanto la época de lluvias como la de estiaje, a fin de evaluar la respuesta de las plantas a las condiciones ambientales de cada periodo. Este seguimiento permitirá identificar las unidades muestrales con mejor adaptación y desarrollo, así como aquellas que presenten menor afectación por plagas y enfermedades.

2.3.5.2 Unidades muestrales de *Physalis peruviana* L. – Distrito San Jerónimo

En la Granja K'ayra se evaluó 1 cultivo correspondiente a 20 unidades muestrales de *P. peruviana*, específicamente en el área de Fruticultura de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

La selección de las unidades muestrales se realizó mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, considerando plantas adultas, sanas y representativas del cultivo presente en la zona de estudio. En cada unidad muestral se realizaron las evaluaciones morfológicas correspondientes, siguiendo los criterios y descriptores establecidos previamente en la sección 1.5.3.

Figura 21

Cultivo 01 de P. peruviana presentes en la Granja K'ayra - Área de fruticultura



Para la caracterización y evaluación fenotípica de las unidades muestrales de *P. peruviana* se emplearon 32 descriptores morfológicos cuantitativos correspondientes a características de los principales órganos vegetativos y reproductivos, incluyendo tallo, raíz, hoja, pecíolo, flor y fruto. Las variables fueron evaluadas mediante observación y mediciones morfométricas, de acuerdo con los criterios establecidos para la presente investigación.

Los descriptores propuestos están contemplados en la siguiente tabla:

Tabla 4

Clasificación de descriptores morfológicos por órgano vegetativo en P. peruviana.

Órgano / Estructura	N°	Descriptor morfológico	Unidad de medida	Tipo
Planta	1	Altura total de la planta	m	Cuantitativo
	30	Número de flores por planta	N°	Cuantitativo
	31	Número de hojas por planta	N°	Cuantitativo
Raíz	26	Longitud de la raíz	cm	Cuantitativo
Tallo	2	Longitud total del tallo principal	m	Cuantitativo
	3	Ancho del tallo principal	mm	Cuantitativo
	4	Ancho del tallo secundario	mm	Cuantitativo
	29	Longitud de entrenudos	mm	Cuantitativo
Hoja	5	Longitud de las hojas maduras	mm	Cuantitativo
	6	Ancho de las hojas maduras	mm	Cuantitativo
Pecíolo	27	Longitud del pecíolo	mm	Cuantitativo
	28	Ancho del pecíolo	mm	Cuantitativo
Flor	7	Longitud de las flores	mm	Cuantitativo
	8	Ancho de las flores	mm	Cuantitativo
	9	Longitud de las máculas	mm	Cuantitativo
	10	Ancho de las máculas	mm	Cuantitativo
	11	Longitud de anteras	mm	Cuantitativo
	12	Ancho de anteras	mm	Cuantitativo
	13	Longitud del filamento	mm	Cuantitativo
	14	Longitud del pistilo	mm	Cuantitativo
	15	Ancho del pistilo	mm	Cuantitativo
	32	Longitud del pedicelo	mm	Cuantitativo
Fruto	16	Peso de fruto maduro con cáliz	g	Cuantitativo
	17	Peso de fruto maduro	g	Cuantitativo
	18	Longitud del fruto	mm	Cuantitativo
	19	Diámetro transversal del fruto	mm	Cuantitativo
	20	Longitud del cáliz del fruto	mm	Cuantitativo
	21	Ancho del cáliz del fruto	mm	Cuantitativo
	22	Número de semillas por fruto	N°	Cuantitativo
Semilla	23	Longitud de semillas	mm	Cuantitativo
	24	Ancho de semillas	mm	Cuantitativo
	25	Peso de semillas por fruto	g	Cuantitativo

2.3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABILIDAD MORFOLÓGICA

Siguiendo recomendaciones de Sneath, P. H. A., & Sokal, R. R. (1973) se utilizará un enfoque taxonómico numérico para determinar las relaciones fenotípicas, es decir, una evaluación numérica de la relación o similitud de taxones en función de su estado de carácter.

La tecnología numérica se encuentra dentro de la clasificación numérica y emplea cálculos matemáticos para calcular afinidades entre taxones en función de sus estados característicos.

Para aplicar una clasificación numérica, se sigue los siguientes pasos:

Almacenamiento de la información y procesamiento de la información.

2.3.7 ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN

Esto incluye:

1. Designación de las unidades de trabajo u OTU (Unidad Taxonómica Operativa)
2. Elección de los caracteres.
3. Construcción de la matriz básica de datos

2.3.7.1 a) Selección de las Unidades Taxonómicas Operativas

Las unidades operacionales taxonómicas seleccionadas serán los tres cultivos del género *Physalis* investigadas, es decir:

- OTU 1: Cultivo K´ayra
- OTU 2: Cultivo mejorado de Challabamba
- OTU 3: Cultivo nativo de Challabamba

La información o data asociada a cada tipo o variante será extraída del material analizado, el cual ha sido mencionado en la descripción especifica individual por cada morfoespecie o ecotipo.

2.3.7.2 b) Selección de caracteres

Se tomarán registros de N caracteres para cada OTU correspondientes a valores morfológicos y anatómicos. Los valores morfológicos (N) corresponderán a las regiones vegetativas y (M) a las regiones anatómicas. Las regiones reproductivas serán 5 de fruto y 5 de semilla; que podrán ser valores cuantitativos ya sean continuos y discontinuos y valores cualitativos referentes a datos de multiestado y datos de doble estado. Los valores de doble estado serán representados con valores que indiquen la presencia y ausencia. Seguidamente los valores de doble estado excluyentes serán representados de la misma manera.

2.3.7.3 c) Elaboración de la matriz básica de datos

Después de recopilar toda la data del estado de los atributos de los tres cultivos investigadas, se creará una tabla llamada Matriz Básica de Datos. En esta tabla, la data estará organizada mediante filas que simbolizan a las Unidades Taxonómicas Operativas (OTU) y en columnas correspondientes a los atributos que simbolizan a datos no disponibles, como valores faltantes o atributos no observados en la OTU, se utilizará la notación 999 (no comparable) y estos mismos se eliminarán cuando se procese la información.

Según lo planteado por Raymond, B. C. (1952), la matriz básica de datos puede analizarse desde dos perspectivas principales: la asociación entre las OTU y la relación existente entre los caracteres evaluados.

En la presente investigación, la matriz estuvo conformada por 3 OTU y 32 caracteres, los cuales fueron sometidos a diferentes métodos de análisis numérico. Para ello, se aplicaron técnicas de agrupamiento (Cluster Analysis) y análisis de componentes principales (ACP), considerados dentro de los métodos de ordenación multivariada. Estos análisis se desarrollaron siguiendo la metodología propuesta por F. J. Rohlf (1988), empleando el programa PAST 5 (Paleontological Statistics).

.

El procesamiento estadístico de los datos se realizó mediante el análisis de matrices de similitud, procedimiento descrito por Peter H. A. Sneath y Robert R. Sokal (1973), el cual permite reconocer las relaciones existentes entre el conjunto de OTU evaluadas.

Antes de aplicar los métodos numéricos, la matriz básica de datos fue sometida a un proceso de normalización por caracteres. La estandarización consistió en expresar los datos originales en unidades de desviación estándar, con la finalidad de evitar que las diferencias en las escalas de medición otorgaran un peso desigual a los caracteres considerados en el análisis.

2.3.8 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

2.3.8.1 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTOS

Análisis de asociación entre OTU

Consiste en los posteriores pasos:

1. La relación de similitud entre los diferentes pares de las 3 OTU fue estimada mediante el cálculo de la distancia taxonómica (Taxonomic Distance o Average Euclidean Distance), de acuerdo con la metodología propuesta por Peter H. A. Sneath y Robert R. Sokal (1973). Para ello se empleó la siguiente fórmula:

"Distancia taxonómica"

$$TD = \left(\sum_{i=1}^{n} (x_{ij} - x_{ik})^2 \right)^{1/2}$$

En el cual:

xi j= Es el valor del carácter i en la OTU j

xi k= Es el valor del carácter i en la OTU k

n = Número de caracteres

La información obtenida oscila entre 0 a ∞ (cero a infinito), donde 0 (cero) representa la máxima similitud.

2. Elaboración de la matriz de similitud utilizando los valores previamente mencionados. En esta matriz, las Unidades Taxonómicas Operativas (OTU) se organizan en filas y columnas manteniendo el orden establecido. De este modo, se llevarán a cabo comparaciones entre cada OTU respecto a todas las demás y consigo misma. La diagonal principal de la matriz representa la comparación de cada OTU consigo misma, donde el valor alcanza su máximo (cero en este contexto), indicando así la similitud máxima.
3. Siguiendo recomendaciones de Sokal & Michener (1958) las 03 Unidades Taxonómicas Operativas (OTU) serán agrupados en un fenograma de distancia entre individuos utilizando el método de ligamiento promedio, **Método de Agrupamiento Promedio de Pares sin Ponderación (UPGMA).**

El fenograma, una representación gráfica en forma de árbol es utilizada para mostrar la relación de similitud fenética entre Unidades Taxonómicas Operativas (OTU) o grupos de estas unidades. Los niveles de similitud son representados en una escala que acompaña al gráfico. En este diagrama, las OTU se representan mediante líneas horizontales, las cuales se conectan mediante líneas verticales que muestran el grado de similitud entre ellas conforme a la escala. Un conjunto de OTU está conformado por todas las líneas horizontales que parten de una misma línea vertical y las ramificaciones asociadas a estas.

4. Según lo establecido por Sokal & Rohlf (1962) la determinación del coeficiente de correlación cofenética (CCC) es utilizado para evaluar la discrepancia generada al construir el fenograma a partir de la matriz de similitud. Las simbolizaciones típicas del coeficiente de correlación suelen variar entre 0,6 y 0,95 y aquellos por encima de 0,8 sugieren una distorsión mínima.

Clasificación de variables (asociaciones entre variables)

Implica los mismos procedimientos que el Método Q, sin embargo, en esta situación los elementos y/o caracteres son considerados mediante la representación de Unidades Taxonómicas Operativas conocidas como OTU; el diagrama producido es una representación fenotípica (fenograma) de la distancia entre caracteres.

El propósito de utilizar este método es determinar qué caracteres estén asociados, formando agrupaciones y quiénes no. Lo que implica que los primeros son fuertemente correlacionados, al mismo tiempo se establece que aquellos elementos que no se encuentran reunidos en grupos muestran una relativa autonomía y separación respecto a otros elementos dentro del mismo conjunto.

2.3.8.2 ORDENACIÓN MULTIVARIADA MEDIANTE ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Ordenación de las OTU

Los métodos de ordenación se diferencian del análisis de agrupamientos debido a que no delimitan categorías o grupos mediante fronteras específicas dentro del espacio de análisis multivariado (Moss, 1967; Harman, 1967; Boyce, 1969; Jensen & Eshbaugh, 1976).

Las asociaciones entre cada Unidad Taxonómica Operativa (OTU) o entre los diferentes caracteres se visualizan mediante su ubicación o disposición en un espacio determinado. Este análisis se fundamenta en la matriz de correlación entre las OTU o los caracteres, y sus hallazgos se muestran a través de modelos geométricos en dos o tres dimensiones.

Comenzando con una matriz que describe las similitudes entre las Unidades Taxonómicas Operativas (OTU) utilizando el método Q, se identifica la interconexión entre las especies según su cercanía en un espacio tridimensional: a medida que las especies se encuentran más próximas, se interpreta que existe una relación más estrecha entre ellas. Esta representación tridimensional de las OTU se materializa en un gráfico, donde cada punto,

identificado y conectado mediante vectores de línea punteada al origen de coordenadas, refleja una OTU específica.

Por otro lado, mediante el empleo de una matriz de similitud entre caracteres, conocida como Método R, se lleva a cabo una representación gráfica que guarda una estrecha relación con la correlación existente entre dichos caracteres. En esta representación, los puntos se distinguen mediante los números asignados a los caracteres que representan.

2.3.9 ANÁLISIS ANATÓMICO VEGETAL

Obtención de secciones anatómicas en material fresco

Los análisis anatómicos se desarrollaron utilizando hojas completamente desarrolladas con sus respectivos pecíolos y tallos provenientes de plantas adultas en etapa de floración. El material vegetal recolectado fue fijado en una solución FAA compuesta por formaldehído al 37 %, ácido acético glacial y etanol al 70 %, **siguiendo el procedimiento descrito por Johansen (1940).** Posteriormente, las muestras fueron incorporadas en bloques de celoidina comercial para la obtención de cortes transversales en la región media de los órganos, empleándose para ello un microtomo de deslizamiento con navaja, modelo X-5243 de procedencia japonesa. La separación de la epidermis respecto al mesófilo se efectuó mediante la técnica de Jeffrey, citada por Johansen (1940). Tanto las epidermis como los cortes obtenidos fueron sometidos a una doble tinción con azul de algodón al 0,5 % y safranina al 0,1 %, conforme a la metodología propuesta por Luque et al. (1996). Finalmente, las preparaciones microscópicas se montaron en gelatina glicerada, según lo indicado por Johansen (1940), y en Euparal como medio sintético de montaje, **siguiendo el procedimiento descrito por Kraus y Arduin (1996).**

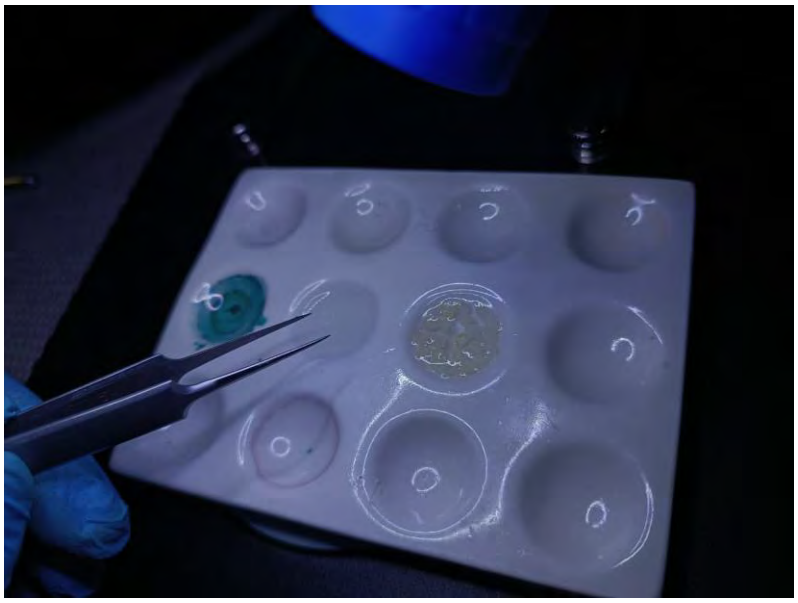
1. Material vegetal empleado

El material utilizado en el estudio estuvo conformado por diferentes estructuras vegetales, entre ellas hojas, pecíolos y tallos, a partir de las cuales se realizaron cortes histológicos para el análisis anatómico.

Figura 22

Estructuras de Physalis peruviana empleadas en el análisis anatómico, incluyendo secciones de hoja, pecíolo, tallo y raíz.







2. Fijación.

Se trata del procedimiento mediante el cual se inmovilizará la muestra con el fin de prevenir cualquier cambio en la estructura anatómica morfológica a nivel celular y tisular. Esto se lleva a cabo sumergiendo la muestra que en este caso serán hojas con peciolos completamente expandidos, tallos de plantas maduras en floración y fructificación, en una solución fijadora formaldehído, alcohol, ácido acético (FAA) durante un período de 12 a 24 horas (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997).

3. Deshidratación

Para evitar alteraciones después de la fijación, se sumergirá gradualmente las muestras en diversos niveles de alcohol, desde 25%, 50%, 80% hasta 100% progresivamente, con el propósito de deshidratarla (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997).

Figura 23

Proceso de deshidratación en alcoholes sucesivos de las muestras biológicas.



Figura 24

Conservación del material vegetal recolectado

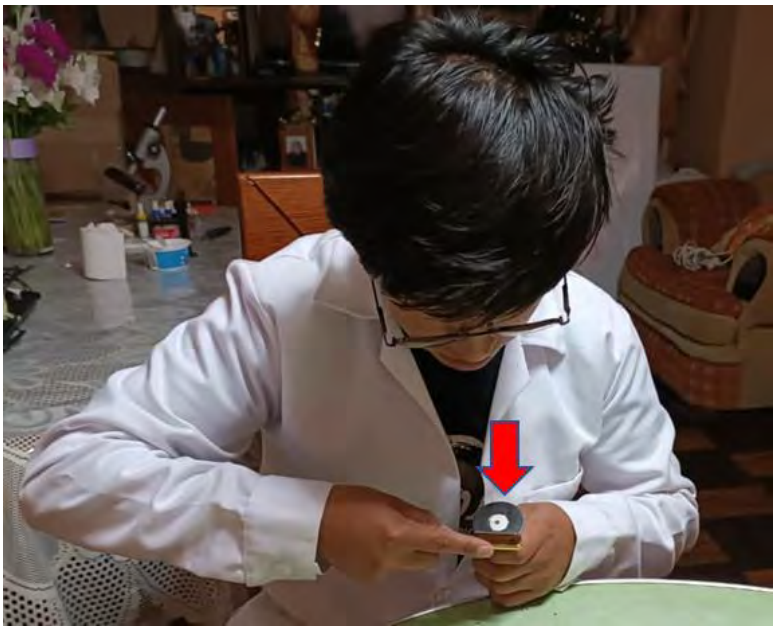


4. Inclusión

Para lograr cortes más delgados utilizando el micrótomo, las muestras se incluyen en tacos de celoidina o en parafina (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997).

Figura 25

Órganos vegetativos incluidos en parafina y posterior corte



5. Corte.

Para llevar a cabo la sección de muestras de tejido, se hace necesario el uso de un micrótomo manual de deslizamiento, donde se inserta el bloque de celoidina que contiene el tejido. Es esencial que los cortes sean extremadamente finos, lo cual requiere el uso de una cuchilla de acero inoxidable con un filo afilado de manera óptima, preferiblemente una cuchilla de barbero (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997).

Figura 26

Cortes obtenidos de hoja, peciolo, tallo y raíz

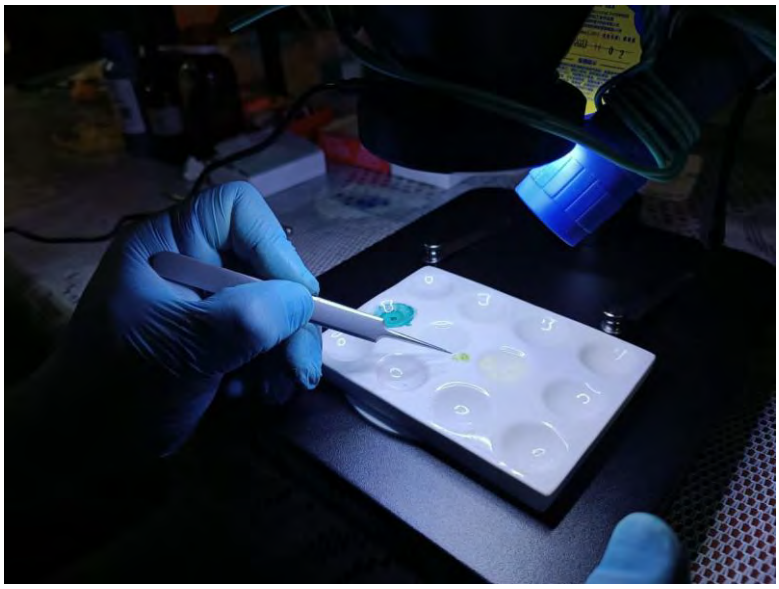


6. Aclaración.

Para mejorar la visualización bajo el microscopio, se realizará un proceso de aclaramiento utilizando sustancias como: NaOH (Hidróxido de sodio), KOH (Hidróxido de potasio), NaCLO (Hipoclorito de sodio) y Solución activa de Tripsina. Todo esto según el tipo de tejido vegetal (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997).

Figura 27

Procedimiento de clarificación de los cortes utilizando tripsina.

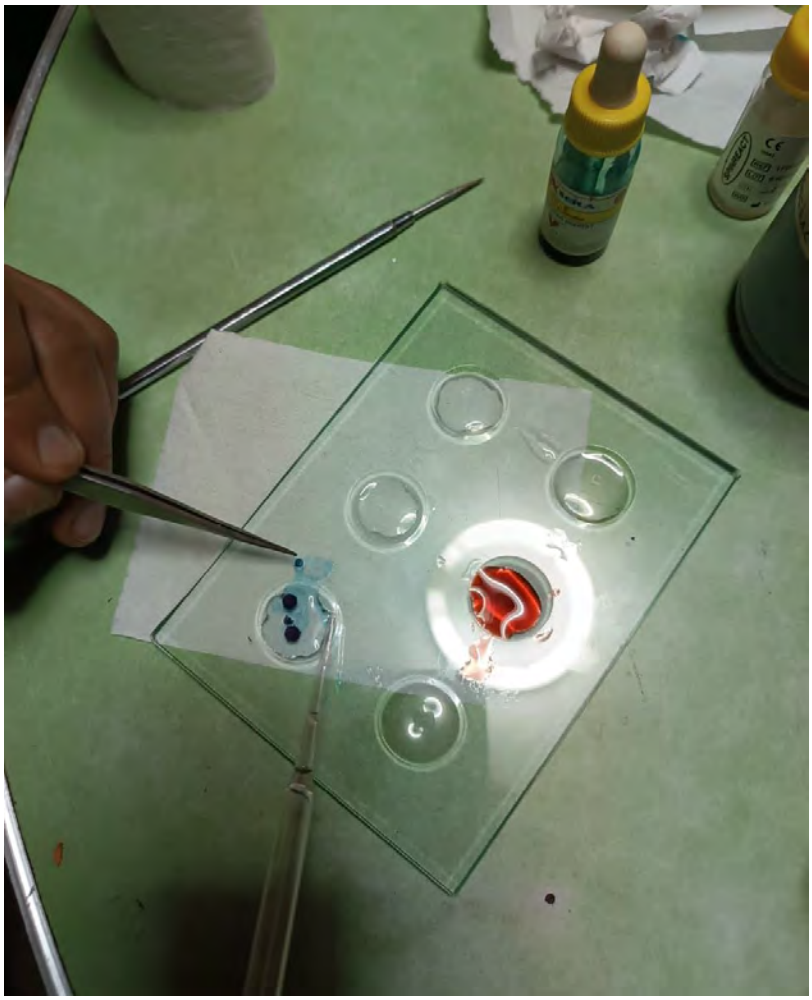


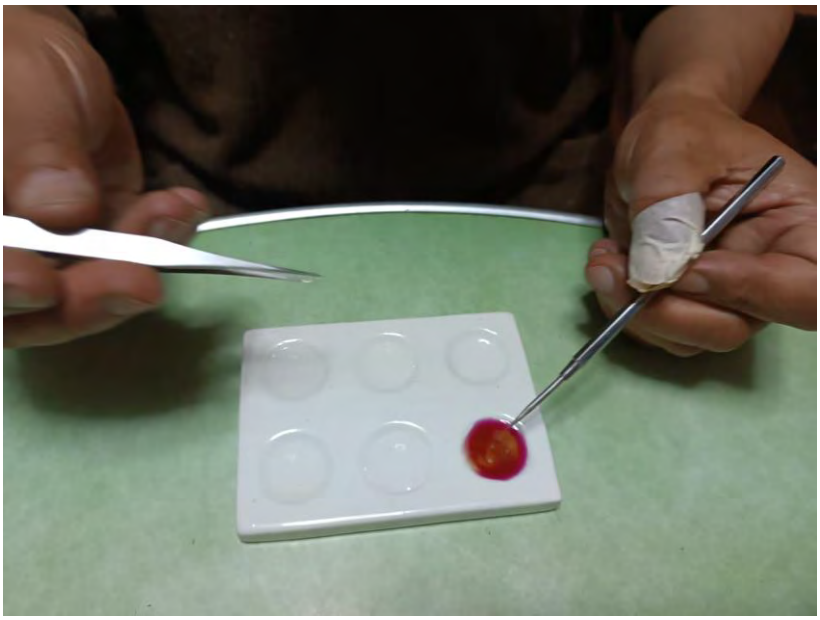
7. Coloración.

Para distinguir las distintas estructuras en el tejido analizado, se llevarán a cabo procesos de tinción utilizando una variedad de colorantes que incluyen Azul de algodón, Safranina, Hematoxilina y Cristal violeta (Luque et al., 1996).

Figura 28

Coloración de corte transversal de órganos vegetativos de Aguaymanto con Safranina y Azul de algodón





8. Montaje.

Finalmente, las preparaciones fueron montadas para su observación y conservación. Se empleó bálsamo de Canadá como medio de montaje permanente, así como gelatina glicerinada como alternativo. En el caso del montaje definitivo, se utilizó una gota de resina sintética (Euparal), la cual fue sellada con esmalte y debidamente etiquetada para su identificación (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997).

Figura 29

Evaluación microscópica de las muestras analizadas

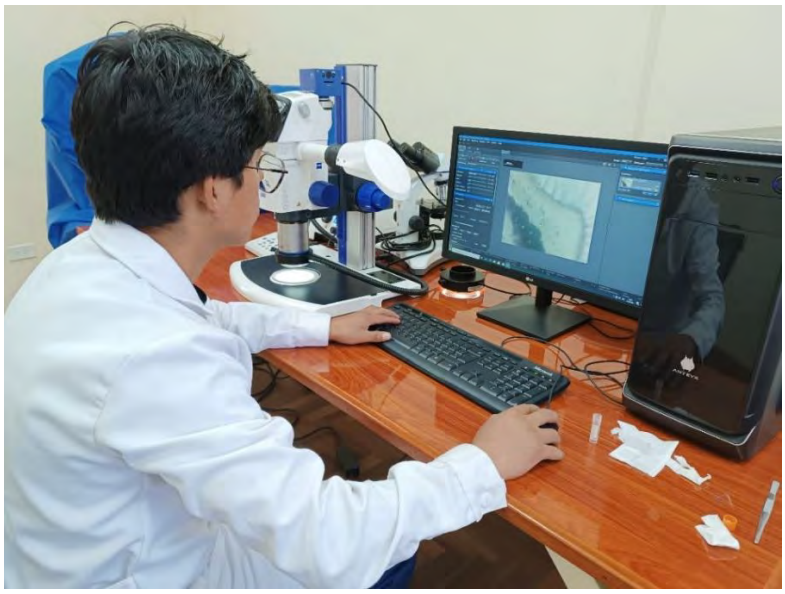
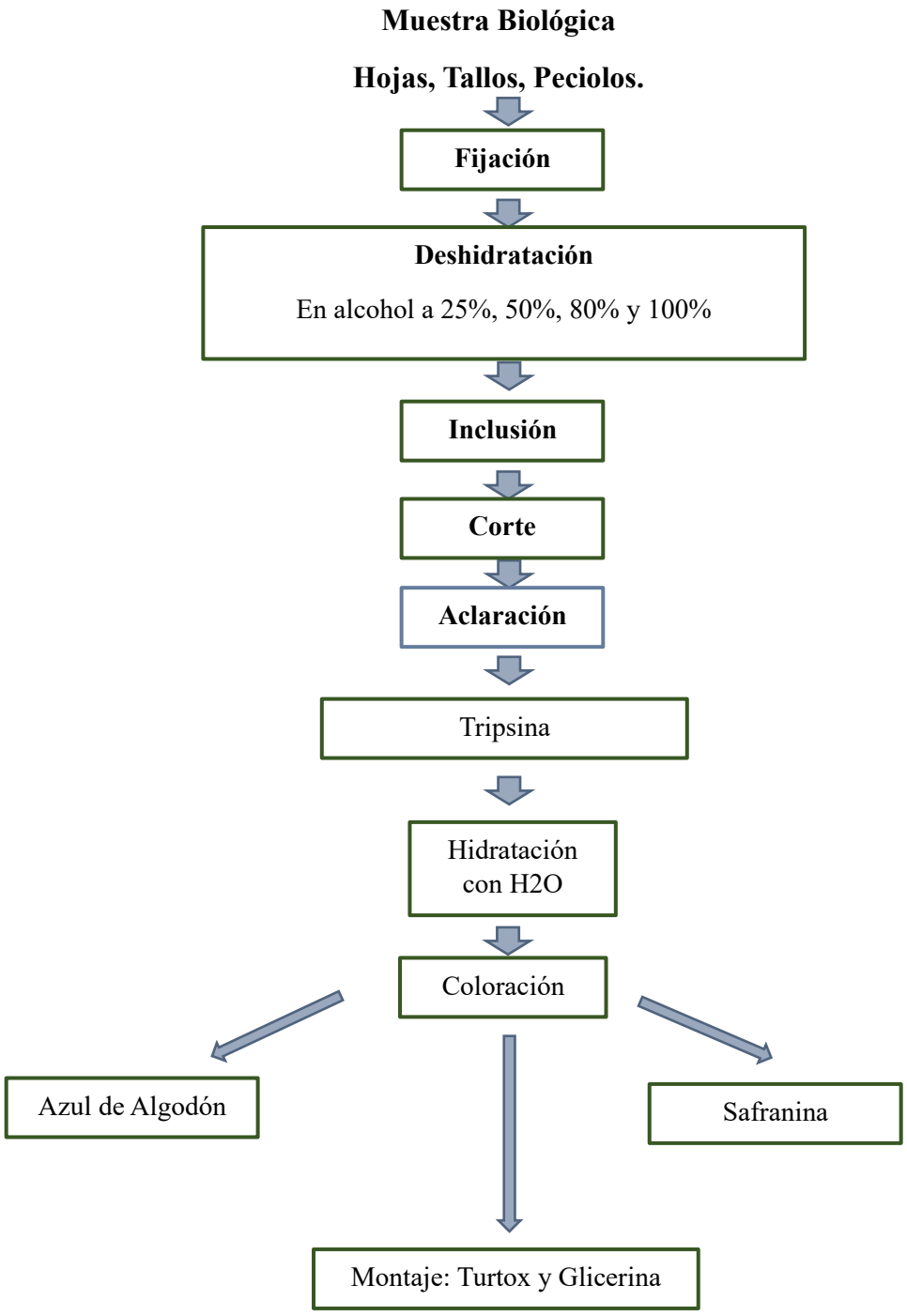




DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGIA DE ESTUDIO HISTOLOGICO (Clark, 1981)



2.3.10 EVALUACIÓN DEL ÍNDICE ESTOMÁTICO

La evaluación de las características estomáticas se realizó mediante el análisis de tres muestras independientes por órgano vegetal. En cada muestra se efectuó el recuento de estomas y células epidérmicas, cuyos resultados se utilizaron para determinar la densidad estomática (DE) y el índice estomático (IE). La densidad estomática se calculó mediante la ecuación propuesta por Salisbury, E. J. (1927), citado por Wilkinson, H. P. (1979), mientras que el índice estomático se determinó siguiendo la metodología descrita por Wilkinson, H. P. (1979). Finalmente, los resultados obtenidos en las tres muestras se promediaron para establecer los valores correspondientes a cada órgano vegetal.

2.3.10.1 Obtención de epidermis foliar y recuento de estomas

Para la obtención de la epidermis foliar y el recuento de estomas, primero se seleccionaron hojas sanas, las cuales fueron lavadas con agua destilada con el fin de eliminar cualquier impureza o suciedad superficial. Posteriormente, se cortaron fragmentos de aproximadamente 0.5 a 1 cm^2. Estos fragmentos fueron sometidos a un proceso de maceración mediante la adición de hidróxido de sodio (NaOH) al 5–10%, asegurando que las muestras quedaran completamente cubiertas. La incubación se realizó a temperatura ambiente durante 12 a 24 horas o, alternativamente, a una temperatura de 40 a 60 °C durante 1 a 3 horas para acelerar el proceso. El NaOH permitió la disolución de los tejidos internos, principalmente el mesófilo, facilitando así la separación de la epidermis (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997).

Una vez finalizada la maceración, el NaOH fue retirado y las muestras se lavaron entre 3 a 5 veces con agua destilada. Luego, se procedió a la clarificación utilizando hipoclorito de sodio al 5–10%, dejándolo actuar entre 5 y 15 minutos, controlando visualmente el proceso. Posteriormente, con ayuda de pinzas y una aguja, se realizó la separación cuidadosa de la epidermis adaxial (cara superior) y abaxial (cara inferior), siendo esta última generalmente la que presenta mayor cantidad de estomas (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997).

Seguidamente, se realizó la tinción de las muestras, la cual, aunque opcional, es recomendable para mejorar la visualización. Se empleó safranina durante 1 a 3 minutos para resaltar las paredes celulares o, alternativomente, azul de toluidina durante 30 a 60 segundos para mejorar el contraste estructural. Luego de la tinción, se enjuagaron ligeramente las muestras con agua destilada (Luque et al., 1996).

Las epidermis obtenidas fueron montadas en portaobjetos utilizando glicerina o gelatina glicerinada como medio de preparación microscópica (Johansen, 1940; Kraus & Arduin, 1997). Después de colocar el cubreobjetos con precaución para evitar burbujas, se procedió a la evaluación microscópica utilizando aumentos de 10x a 40x sobre un área de 1 mm^2. El recuento se realizó en campos seleccionados aleatoriamente, considerando el número de estomas y de células epidérmicas observadas (Bhat et al., 2018).

Estimación del índice estomático

Para la obtención del índice estomático se empleó la ecuación descrita por Wilkinson H. P. (1979).

Índice estomático:

(Número de estomas/ Número de células epidérmicas + Número de estomas) * 100

Los estomas de las plantas superiores participan activamente en los procesos de intercambio gaseoso, regulando tanto la absorción de CO_2 como la transpiración. Su funcionamiento se encuentra influenciado por diversos factores ambientales, entre ellos la luz, la humedad y la concentración de dióxido de carbono, de acuerdo con Hetherington & Woodward (2003).

Figura 30

Uso del programa ANATI QUANTI versión 2.0, para la micro morfometría de células y tejidos y recuento de estomas

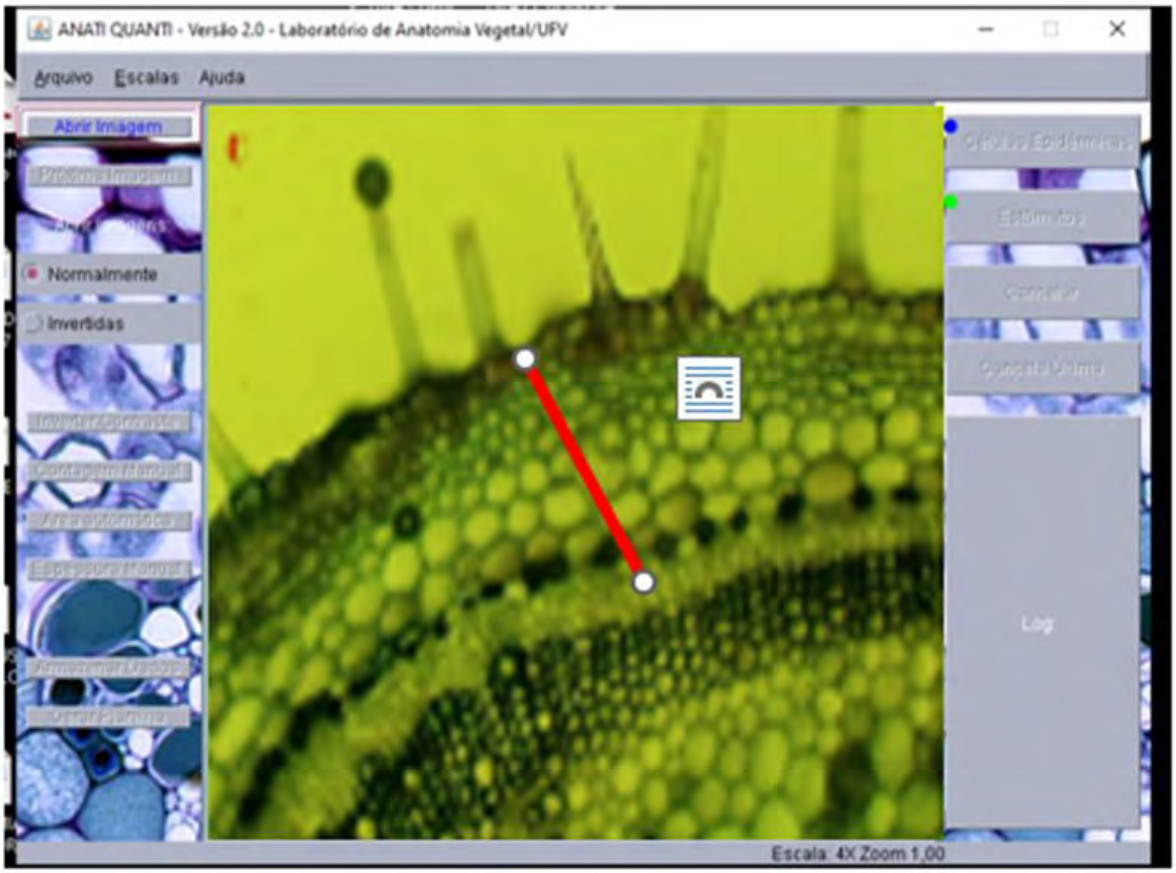
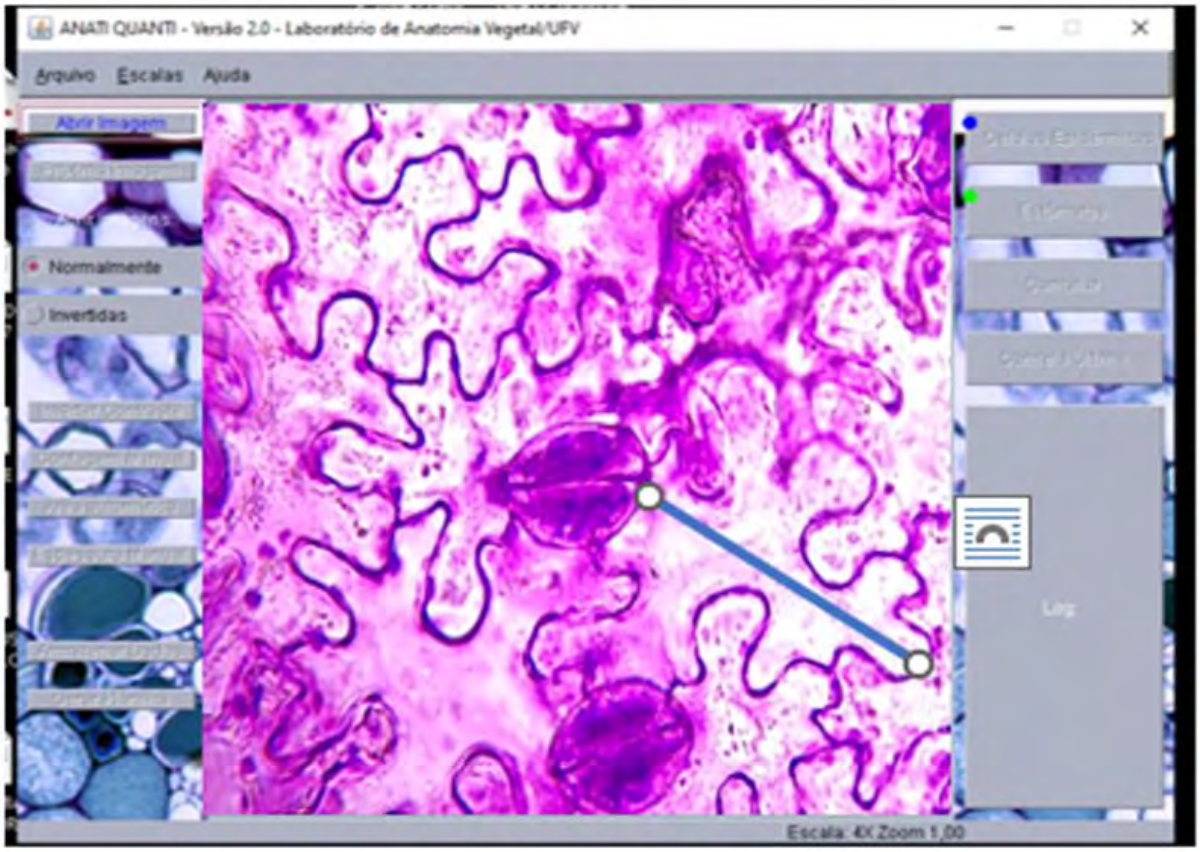
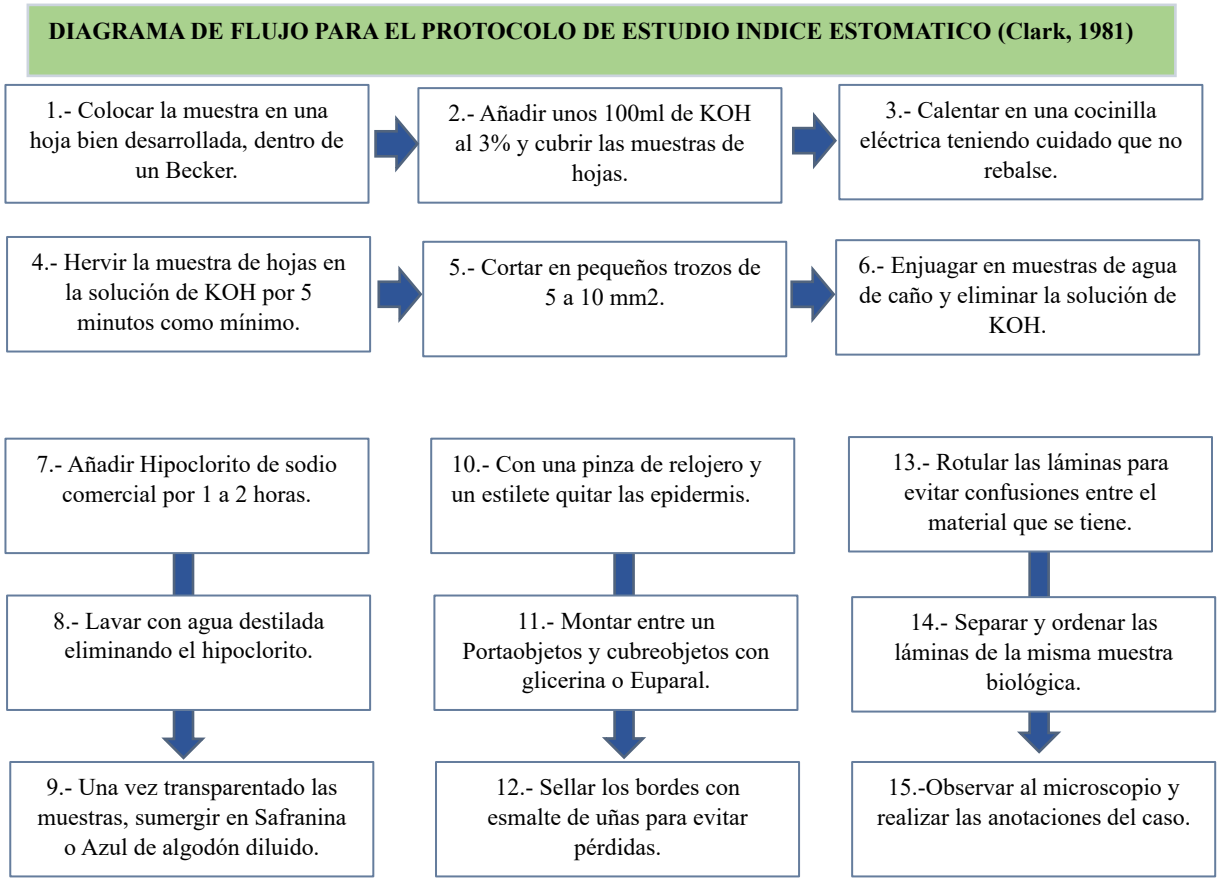


Figura 31

Medición de células anexas en epidermis de Physalis peruviana L. usando el programa ANATI QUANTI 2.0



ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE ESTOMÁTICO (Obtención de epidermis para el análisis de estomas y tricomas)



2.3.11 VIABILIDAD POLÍNICA, TINCIÓN CON CARMÍN ACÉTICO

1. Muestra biológica

Se recolectaron flores en estado de antesis provenientes de plantas sanas. De estas, se extrajeron las anteras maduras, ya que contienen granos de polen viables para el análisis.

Figura 32

Muestra biológica - flores en estado de antesis.



2. Preparación del colorante

La solución de carmín acético al 1-2 % fue preparada mediante la disolución de carmín en ácido acético, siguiendo protocolos empleados en estudios de biología reproductiva vegetal para la evaluación indirecta de la viabilidad del polen (Kearns & Inouye, 1993; Shivanna, 2019). El carmín acético presenta afinidad por los componentes citoplasmáticos de los granos de polen con mayor integridad celular, permitiendo diferenciar granos con tinción positiva de aquellos con tinción ausente o reducida (Lagos et al., 2005).

3. Obtención del polen

La obtención del polen se realizó a partir de flores completamente desarrolladas de *P. peruviana* en estado de antesis, provenientes de plantas adultas durante la etapa reproductiva. Las flores fueron seleccionadas considerando la presencia de anteras maduras y disponibilidad de granos de polen, condiciones recomendadas para evaluaciones de

viabilidad polínica, debido a que la madurez del polen influye en la respuesta a los métodos de tinción (Kearns & Inouye, 1993; Shivanna, 2019). La colecta del material floral se efectuó durante el horario matutino, aproximadamente entre las 07:00 y 10:00 h (Lagos et al., 2008), en las localidades de K'ayra y Challabamba. Posteriormente, las flores recolectadas fueron procesadas para la extracción de los granos de polen mediante la apertura manual de las anteras utilizando una aguja de disección o pinza fina.

4. Tinción

Sobre el polen liberado en la lámina portaobjetos se adicionó una gota de solución de carmín acético al 1-2 %, siguiendo procedimientos empleados para la evaluación indirecta de viabilidad polínica mediante tinciones (Kearns & Inouye, 1993). Posteriormente, se realizó una ligera presión con el cubreobjetos para dispersar homogéneamente los granos y facilitar la penetración del colorante. La preparación se dejó reposar durante 5 a 15 minutos para permitir una adecuada tinción (Muñoz et al., 2006).

5. Montaje de las preparaciones

Posteriormente, se dispuso el cubreobjetos sobre la preparación procurando evitar la formación de burbujas. El exceso de tinción, cuando estuvo presente, fue retirado con papel absorbente. Las muestras preparadas fueron aptas para observación inmediata sin necesidad de sellado definitivo (Kearns & Inouye, 1993).

6. Análisis microscópico

La evaluación de las muestras se efectuó utilizando un microscopio óptico con aumentos de 10x y 40x. Los campos analizados fueron elegidos al azar con el propósito de obtener observaciones representativas.

7. Criterios de evaluación de viabilidad

La viabilidad polínica se evaluó mediante la técnica de tinción con carmín acético al 1-2 %, considerando los criterios morfológicos y citológicos descritos por Lagos et at., (1992), Peterson et al. (2010) y Shivanna (2019).

Se consideraron granos de polen viables aquellos que presentaron:

- Respuesta positiva a la tinción con carmín acético, con coloración rojiza intensa a rojizo uniforme del contenido citoplasmático.
- Contenido citoplasmático conservado, abundante y relativamente homogéneo.

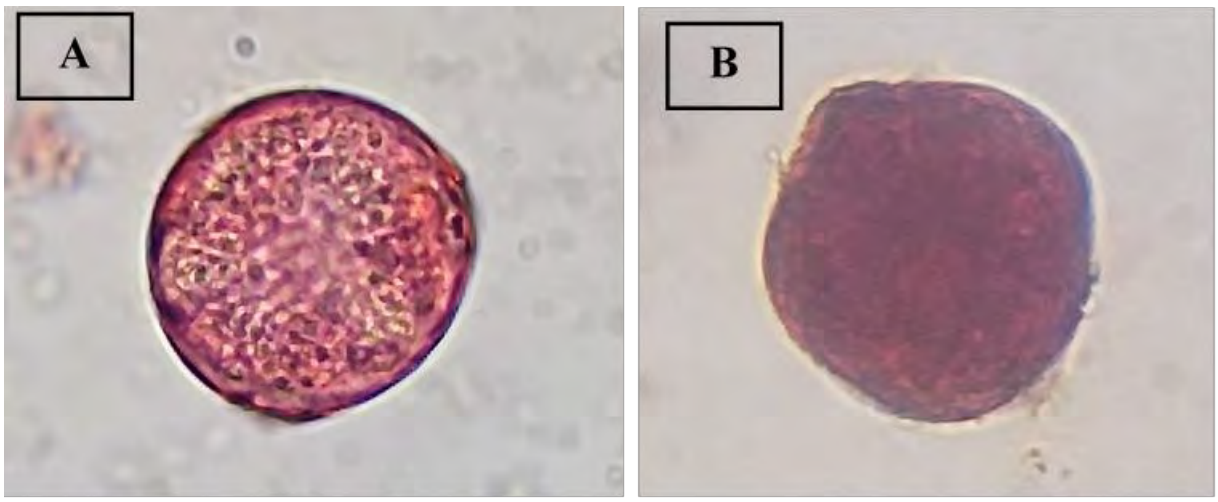
- Organización interna del contenido celular sin alteraciones evidentes.
- Contorno regular y exina íntegra, sin evidencias de colapso o deformación.

Por el contrario, se clasificaron como granos de polen no viables aquellos que presentaron una o más de las siguientes características:

- Ausencia de tinción o respuesta de tinción marcadamente débil o irregular.
- Contenido citoplasmático escaso, contraído, desorganizado o ausente.
- Heterogeneidad o alteración evidente de la distribución del contenido citoplasmático.
- Granos colapsados o con deformaciones evidentes del contorno.
- Alteraciones estructurales manifiestas compatibles con deterioro del grano.

Figura 33

Muestras de polen de Physalis peruviana L. A) Polen viable B) Polen no viable



8. Cuantificación de la viabilidad del polen

Se contabilizaron 200 granos de polen por muestra, registrando el número de granos viables y no viables a través de matrices de datos.

El porcentaje de viabilidad se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Viabilidad (\%)} = \frac{Número\ de\ granos\ viables}{Número\ total\ de\ granos\ observados} * 100$$

9. Registro de datos

Los resultados se expresaron como valores porcentuales promedio obtenidos a partir de cinco repeticiones por cultivo y contabilizando 200 granos de polen por repetición, asegurando así, la confiabilidad de los datos.

CAPITULO III

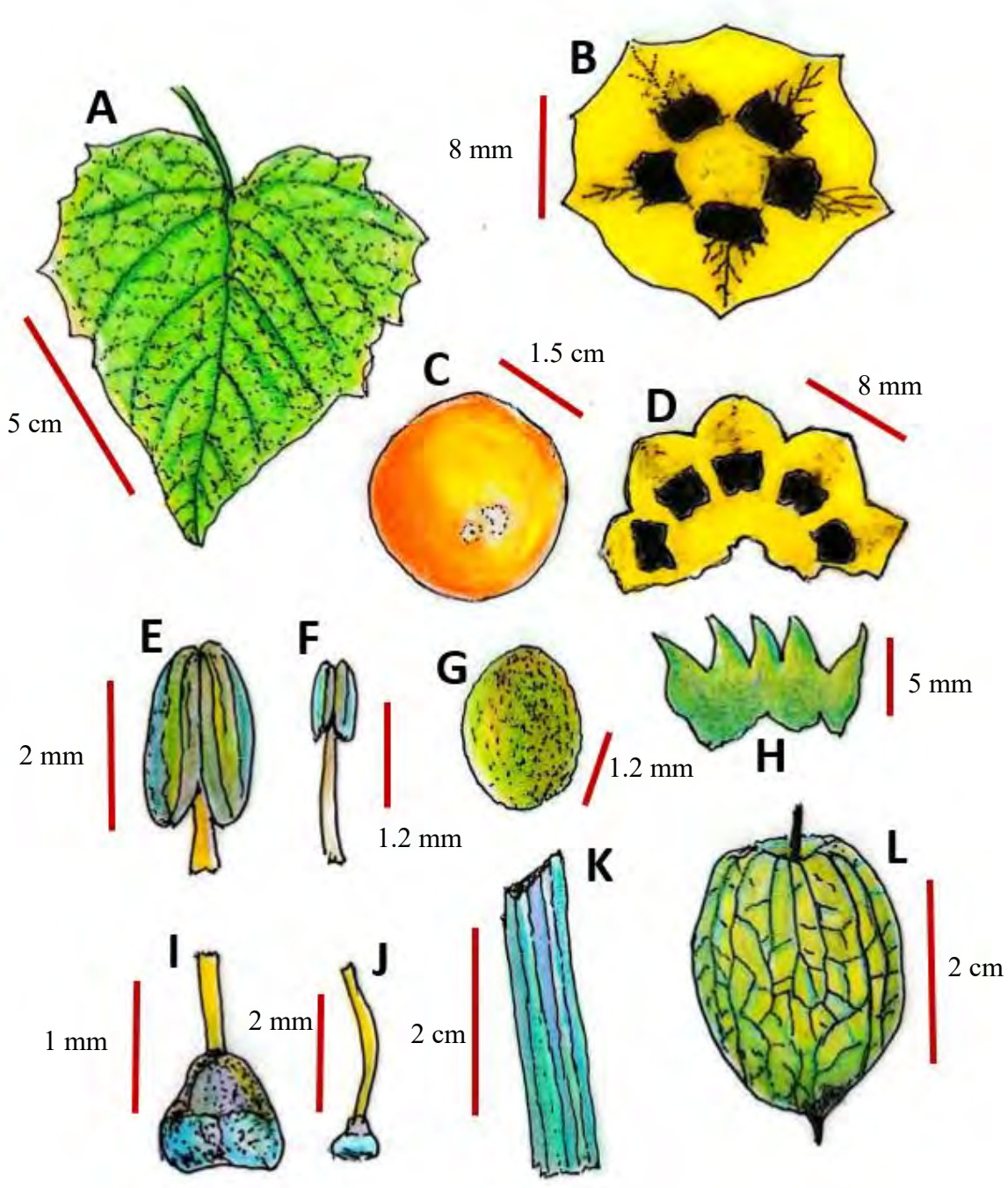
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 HABITO Y ALTURA DE LOS CULTIVOS, EN LAS LOCALIDADES DE ESTUDIO

En la presente investigación se evaluaron tres cultivos de *Physalis peruviana* en la región Cusco. El cultivo K'ayra proviene del área de fruticultura de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ubicada en el distrito de San Jerónimo. Los dos cultivos restantes fueron evaludos en el distrito de Challabamba, provincia de Paucartambo, correspondiendo una de ellas a un cultivo nativo de Challabamba y la otra a un cultivo mejorado de Challabamba que destaca por su alta productividad, sus características fenotípicas y su buena comercialización en los mercados locales.

Figura 34

Physalis peruviana L, detalles de la planta. (Dibujo original).



Nota: A) hoja, B) flor, C) fruto, D) Pétalos abiertos, E) y F) Estambres, G) Semilla, H) Sépalos abiertos. I) J) Gineceo, K) Tallo, L) Fruto protegido por hojas carpelares, Escalas: A: 5 cm, B: 8 mm, D: 8 mm, C: 1.5 cm, H: 5 mm, G: 1.2 mm, E: 2 mm, F: 1.2 mm, I: 1 mm, J: 2 mm, K: 2 cm y L: 2 cm.

Las plantas exhibieron variaciones morfológicas graduales, influenciadas por las condiciones del entorno como el clima y cualidades del suelo, así como de sus componentes

genéticos y adaptativos, encontrándose el hábito herbáceo perenne con transición a subarbusto, semileñoso en fases reproductivas avanzadas, lo que refleja una estrategia adaptativa a entornos ecológicos como los existentes en la provincia de Paucartambo, distrito de Challabamba, donde coexisten dos cultivos bien diferenciados, la primera que es el cultivo nativo de Challabamba y la segunda el cultivo mejorado de Challabamba. Esta última introducida desde el año 2000, Quillilli (2025).

El porte fue predominantemente erguido (75% de las muestras), pasando a semipostrado en condiciones de alta densidad.

La ramificación inició desde la base, con patrones dicotómicos (ramas opuestas) en el 60% de los casos y simpódicos (una rama dominante) en el 40%, favoreciendo la captura de luz en las respectivas parcelas de cultivo, así las alturas promedio fueron de 95.00 a 1.35 ± 0.45 m en el cultivo de K'ayra, variando en el caso de Challabamba en el cultivo nativo de Challabamba con una altura promedio de 1.60 a 1.71 ± 0.25 m, predominantemente erguida, en comparación con el cultivo mejorado de Challabamba con mayor vigor en su desarrollo arbustivo y frondoso, con 1.79 a 2.36 ± 0.65 m (ver las tablas correspondientes).

3.2 DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

Tabla 5

Comparación morfológica de los tres cultivos de Physalis peruviana L.

Physalis peruviana L.		
CULTIVO K'AYRA	**CULTIVO NATIVO DE CHALLABAMBA**	**CULTIVO MEJORADO DE CHALLABAMBA**
❖ Hábito: Perenne herbáceo, con ramificación dicotómica. ❖ Altura: 0.95 m - 1.55 m. ❖ Tallo: Forma erguida o ramificada, morfología subcilíndrica y abundante pubescencia. Tallo principal alcanza longitudes comprendidas entre 1 m – 1.65 m y presenta un grosor de 10.10 mm – 20.50 mm. Tallos secundarias varían entre 5.10 mm – 8.5 mm de grosor. ❖ Raíz: raíz principal axonomorfa, sistema radical capaz de penetrar hasta los 41 cm en el suelo con raíces laterales fibrosas que se distribuyen superficialmente entre 10 - 15 cm de profundidad. ❖ Hojas: Disposición alterna con densa pubescencia. Se estima que existen alrededor de 362 – 518 hojas por planta madura. ❖ Pecíolos: Con dimensiones aproximadas de 26.85 – 49.20 mm de longitud y 2.50 – 3.55 mm de ancho. ❖ Lámina foliar: Forma ampliamente ovada a romboidal, con medidas que oscilan entre 9.21 cm – 11.69 cm de largo y entre 7.22 cm – 9.75 cm de ancho. Base foliar subcordada, margen entero o ligeramente dentado. ❖ Ápice: corto con terminación apiculada. ❖ Pedúnculo floral (pedicelo): presentan longitudes comprendidas entre 12.9 mm – 21.1 mm.	❖ Habito: planta erguida, perenne, con ramificación dicotómica. ❖ Altura: 1.24 – 1.50 m. ❖ Tallo: Forma erguida con ramificación desde la base, de sección cuadrangular a cilíndrica, con abundante pubescencia conformada por tricomas simples, eglandulares, de paredes lisas y base engrosada. Tallo principal 1.48 m – 1.61 m de longitud y grosor de 12.3 – 13.5 mm. Tallos secundarios varían entre 7.05 – 10.40 mm. ❖ Raíz: Raíz principal axonomorfa, con sistema radical desarrollado alzando los 35 cm de profundidad y raíces laterales fibrosas distribuidas superficialmente. ❖ Hojas: Disposición alterna con abundante pubescencia, con tricomas simples dispersos. Se estima que existen alrededor de 375 – 632 hojas por planta madura. ❖ Pecíolos: Cilíndricos, pubescentes, con longitudes comprendidas entre 22.05 mm – 48.05 mm y grosor de 1.10 – 2.90 mm. ❖ Lámina foliar: Forma ovalada a ovado-elíptica, con dimensiones que varían entre 5.57 cm – 12.1 cm de longitud y 5.13 – 8.24 cm de ancho. Base foliar cordiforme, frecuentemente asimétrica u oblicua; margen entero a sinuado-dentado, ocasionalmente con ligeras lobulaciones. Es concolora (ambos lados de tonalidad verde media), indumentada con	❖ Hábito: Planta herbácea perenne, con tendencia a desarrollar una consistencia semileñosa en los tallos. Con desarrollo vegetativo vigoroso, que le confiere una apariencia frondosa. ❖ Altura: 1.68 – 2.10 m. ❖ Tallo: Forma erguida, robusta y ramificada dicotómicamente, con base caulinar leñosa y rígida. Presenta coloración púrpura a malva y abundante pubescencia. Tallo principal 1.89 – 2.40 m de longitud y un grosor de 2.59 cm – 5.08 cm. Tallos secundarios varían entre 1.65 – 2.36 cm. ❖ Raíz: Sistema radical axonomorfo con raíz principal robusta, profunda (35 - 45 cm) y leñosa; base caulinar fuertemente lignificada, abundantes raíces secundarias y terciarias de distribución radial, confiriendo elevado anclaje y resistencia mecánica. ❖ Hojas: Disposición alterna con abundante pubescencia. Se estima que existen alrededor de 1500 – 1990 hojas por planta madura. ❖ Pecíolos: Pubescentes con longitudes comprendidas entre 37.35 mm – 74.25 mm y grosor de 3.55 – 4.95 mm. ❖ Lámina foliar: Forma ampliamente ovada, con longitudes que alcanzan los 11.36 cm – 23.01 cm y ancho de 9.90 cm – 18.51 cm. Base foliar cordada a subcordada, con margen entero o ligeramente dentado. ❖ Ápice: Agudo a ligeramente acuminado.

- Inflorescencia: Flores de posición erguida o levemente inclinadas, miden entre 2.28 cm – 4.54 cm de longitud por 2.17 cm – 2.86 cm de ancho. Se estima que existen alrededor de 111 – 200 flores por planta.
- Cáliz (sépalos): Forma campanulada y muestra pubescencia en la superficie externa. Durante la antesis alcanza entre 15 y 18 mm de longitud; posteriormente, en la etapa de fructificación se vuelve acrescente, adquiriendo tonalidad verde y una forma ovoide con 5 a 10 nervaduras prominentes ligeramente rojizas. En esta fase presenta dimensiones aproximadas de 3.38 cm – 4.38 cm de largo por 2.91 cm – 3.53 cm de ancho, conservando una pubescencia externa dispersa.
- Corola (pétalos): forma de campana de color amarillo y mide entre 1 y 1.8 cm de longitud y entre 1.2 y 2 cm de ancho.
- Garganta del tubo floral: Presenta 5 máculas de tonalidad púrpura oscura a negra, de 3.15 – 6.85 mm de longitud y 3.25 – 6.50 mm de diámetro. Acompañadas por un anillo denso de tricomas ubicado inmediatamente debajo de ellas.
- Androceo: Con 5 estambres, los filamentos y anteras con coloración azul púrpura. Las anteras alcanzan una longitud de 3.20 a 4.50 mm y un grosor de 0.95 a 1.70 mm, mientras que los filamentos presentan una longitud de 3.60 a 6.50 mm.
- Ovario: verde y posee un disco basal
- Estilo: tonalidad púrpura, con un diámetro comprendido entre 0.50 mm – 0.75 mm.
- Estigma: forma claviforme.
- Fruto: En baya de color amarillo a anaranjado, con tamaños que oscilan entre 1.68 – 2.17 cm de largo y 1.41 – 1.89 cm de diámetro, alcanzando pesos de 2 a 4 g.
- Cada baya contiene aproximadamente entre 72 - 239 semillas amarillas, con dimensiones que varían entre tricomas simples antrorsos y presenta una nerviación actinódroma de orden superior.
- Ápice: Agudo a acuminado.
- Pedúnculo floral (pedicelo): Erguido, filiforme y pubescente, con longitudes comprendidas entre 12.40 – 19.55 mm; raramente recurvado en el ápice durante la antesis avanzada.
- Inflorescencia: Flores solitarias axilares, miden entre 2.19 – 2.57 cm de longitud por 2.09 – 2.51 cm de ancho. Se estima que existen alrededor de 98 – 115 flores por planta.
- Cáliz (sépalos): Forma de copa a acampanado, con una longitud de 5 a 10 mm; presenta un tubo corto y lóbulos triangulares deltados de 3.5 a 6 mm. Durante la fructificación se vuelve acrescente, envolviendo completamente al fruto, presenta una longitud entre 2.42 cm – 4 cm por 1.82 cm – 3.12 cm de ancho.
- Corola (pétalos): Actinomorfa (rotácea), de color amarillo intenso a amarillo verdoso, con un diámetro comprendido entre 1 y 2 cm.
- Garganta del tubo floral: Presenta 5 máculas nectaríferas internas de color oscuro, de 3.20 – 6.65 mm de longitud y 3.25 – 6.20 mm de diámetro. Acompañadas por una corona anular de tricomas amarillo dorado en la inserción de los estambres.
- Androceo: Con 5 estambres glabros, los filamentos son filiformes, con longitudes de 4.65 a 6.70 mm; las anteras son dorsifijas, de color púrpura violáceo y alcanzan entre 3.35 - 4.50 mm de longitud por 0.95 – 1.55 mm de diámetro.
- Ovario: Verde, súpero y glabro.
- Estilo: Filiforme, con un diámetro comprendidas entre 0.45 – 0.80 mm.
- Estigma: Capitado-punciforme.
- Fruto: Baya esférica a ovoide, con diámetros comprendidos entre 1.73 – 2.07 cm y una longitud de 1.85 - 2.17cm, de color amarillo, naranja o rojo intenso al madurar, alcanzando pesos de 3 a 6 g.
- Pedúnculo floral (pedicelo): Sostiene flores axilares solitarias, con longitudes comprendidas entre 7.80 mm – 14.10 mm.
- Inflorescencia: flores solitarias axilares, miden entre 2.11 cm – 3 cm de longitud por 2.04 cm – 2.89 cm de ancho. Se estima que existen alrededor de 335 – 640 flores por planta.
- Cáliz (sépalos): Acrescente, envolviendo completamente al fruto durante la fructificación; puede presentarse erguido o péndulo, alcanzando longitudes de 4.42 cm – 6.44 cm por 3.82 cm – 5.12 cm de diámetro.
- Corola (pétalos): De color amarillo pálido a amarillo, con cinco máculas de tonalidad violeta oscura, violácea o pardusca en la garganta.
- Garganta del tubo floral: Presenta cinco máculas oscuras, excepcionalmente entre 6 y 8, que contrastan con el fondo amarillo de la corola con 4.35 – 5.35 mm de longitud por 3.05 – 3.95 mm de diámetro.
- Androceo: 5 estambres, los filamentos son filiformes, de color púrpura, con algunos tricomas y una longitud de 3.00 a 4.50 mm. Las anteras presentan forma oblonga, coloración azulada a rojo púrpura y alcanzan entre 3.60 – 4.90 mm de longitud por 1.05 – 1.45 mm de diámetro.
- Ovario: Ovoide a globoso, glabro.
- Estilo: Filiforme, de color púrpura, con un diámetro comprendidas entre 0.25 – 1.05 mm.
- Estigma: Capitado.
- Fruto: Baya de forma ovoide, elipsoide o casi globosa, de color anaranjado al alcanzar la madurez (con una superficie externa brillante, superficie epidérmica lisa lo que confiere en aspecto lustroso). Alcanza tamaños de 2.41 – 3.03 cm de longitud y entre 2.55 – 3.28 cm de diámetro, alcanzando pesos de 11 a 17 g.
- Contiene entre 275 - 404 semillas por fruto, de color pardo, forma ovada a casi orbicular, ocasionalmente

1.80 mm – 2.10 mm de longitud y 1.25 – 1.5 mm de ancho y estas pesan entre 0.08 – 0.24 g por fruto.	❖ Contiene entre 82 – 235 semillas por fruto, ovoides a esféricas, con dimensiones aproximadas de 1.80 mm – 2.10 mm de longitud y 1.25 – 1.90 mm de ancho y estas pesan entre 0.18 – 0.29 g por fruto.	reniforme, con dimensiones aproximadas de 1.65 - 2.05 mm de longitud por 1.40 – 1.75 mm de ancho y estas pesan entre 0.25 – 0.39 g por fruto.

3.2.1 CULTIVO K'AYRA

El cultivo evaluado de *P. peruviana* presenta un hábito de crecimiento perenne y subherbáceo, alcanzando alturas comprendidas entre 0,95 y 1,65 m. El tallo puede desarrollarse de forma erguida o ramificada, mostrando una morfología subcilíndrica y abundante pubescencia, con diámetros que varían entre 5,91 y 10,90 mm.

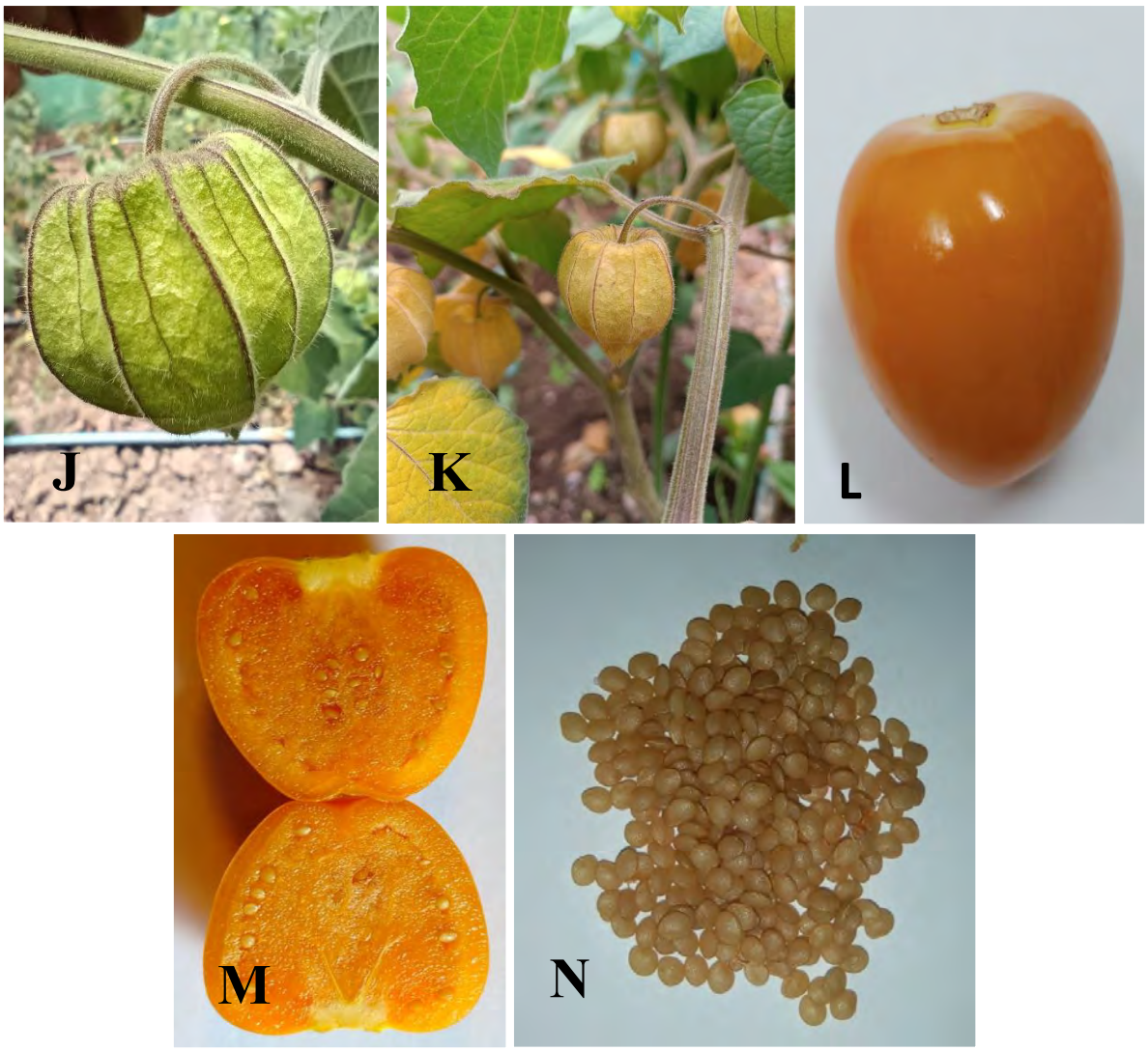
El sistema radical se caracteriza por la presencia de una raíz principal profunda, capaz de penetrar entre 50 y 80 cm en el suelo, mientras que la mayor parte de las raíces fibrosas se distribuyen superficialmente, entre 10 y 15 cm de profundidad, lo que favorece su adaptación a las condiciones edáficas del cultivo.

Las hojas se disponen de manera alterna y presentan una densa pubescencia, sostenidas por pecíolos con dimensiones aproximadas de 105,80 mm de longitud y 86,47 mm de ancho. La lámina foliar muestra una forma ampliamente ovada a romboidal, con medidas que oscilan entre 0,9 y 13,5 cm de largo y entre 1,4 y 10 cm de ancho. Además, presenta base subcordada, margen entero o ligeramente dentado y un ápice corto con terminación apiculada.

Figura 35

Morfología de Physalis peruviana L.- Cultivo K'ayra.





Nota: A) Planta entera, B) Tallo, C) Raíz, D) Hoja y peciolo, E) Pedúnculo Floral y Cáliz, F) Flor en antesis, G) Corola con 5 maculas, H) Filamentos y anteras, I) Ovario y estilo, J) K) Cáliz inmaduro y maduro, L) Fruto y M) N) Semillas.

Los pedúnculos florales presentan longitudes comprendidas entre 10 y 13 mm, sosteniendo flores de posición erguida o levemente inclinada. El cáliz posee forma ampliamente campanulada y muestra pubescencia en la superficie externa. Durante la antesis alcanza entre 15 y 18 mm de longitud; posteriormente, en la etapa de fructificación, se vuelve acrescente, adquiriendo tonalidad verde y una forma ovoide con 5 a 10 nervaduras prominentes ligeramente rojizas. En esta fase presenta dimensiones aproximadas de 8 a 10 mm de largo por 3 mm de ancho, conservando una pubescencia externa dispersa.

La corola es de color amarillo y mide entre 1 y 1,8 cm de longitud y entre 1,2 y 2 cm de ancho. En la región de la garganta del tubo floral se observan cinco máculas de tonalidad púrpura oscura a negra, acompañadas por un anillo denso de tricomas ubicado inmediatamente

debajo de ellas. Los filamentos y las anteras presentan coloración azul púrpura, mientras que las anteras alcanzan entre 2,5 y 3 mm de longitud. El ovario es verde y posee un disco basal, mientras que el estilo, de tonalidad púrpura, termina en un estigma de forma claviforme.

Los frutos maduros corresponden a bayas de color amarillo a anaranjado, con tamaños que oscilan entre 1 y 2 cm de largo y entre 1 y 1,5 cm de diámetro, alcanzando pesos de 4 a 10 g. Cada baya contiene aproximadamente entre 140 y 300 semillas amarillas, cuyo diámetro varía entre 1,25 y 2,5 mm (véase la tabla morfométrica correspondiente).

3.2.2 CULTIVO NATIVO DE CHALLABAMBA.

El cultivo Nativo de Challabamba se comporta como una planta herbácea erguida, perenne, alcanzando alturas de hasta 1.24 a 1.50m.

Los tallos son erguidos, de sección cuadrangular a cilíndrica, ramificados desde la base y cubiertos por una indumentación densa de tricomas simples, glandulares, de paredes lisas y base engrosada, que aportan protección mecánica contra herbivoría y desecación (Silva et al., 2015).

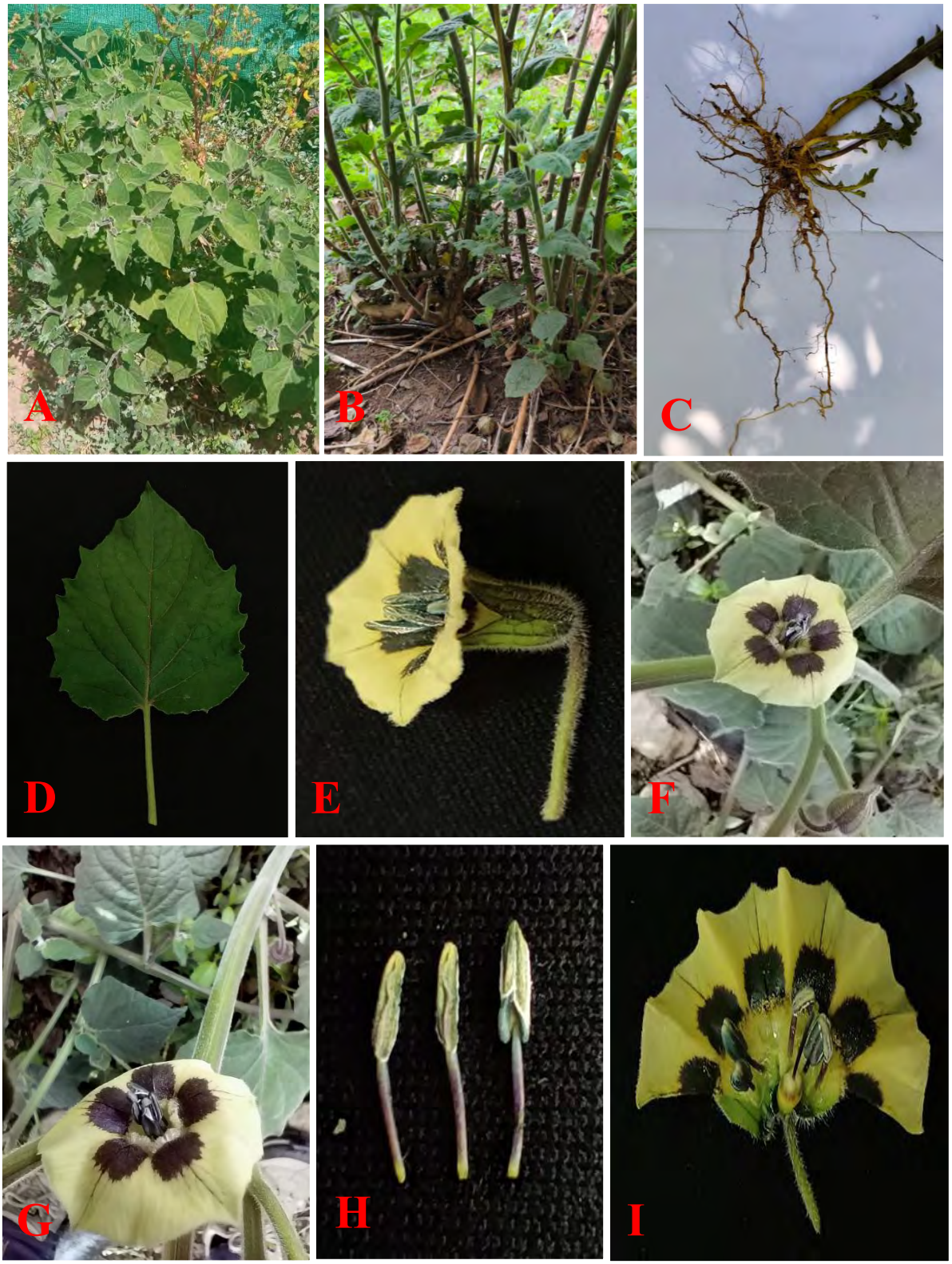
Las hojas con pecíolo cilíndrico, de 1 – 5,2 cm de largo, pubescente con tricomas simples dispersos. Lámina foliar ovalada a ovado-elíptica, de tamaño variable (Ver tabla morfométrica), con base cordiforme y frecuentemente asimétrica u oblicua, ápice agudo a acuminado, y margen entero con pequeños dientes poco definidos, ocasionalmente con lobulaciones leves en ejemplares juveniles o vigorosos. La lámina es concolora (ambos lados de tonalidad verde media), indumentada con tricomas simples antrorsos, más densos sobre los nervios principales y en el envés, donde forman un tomento laxo.

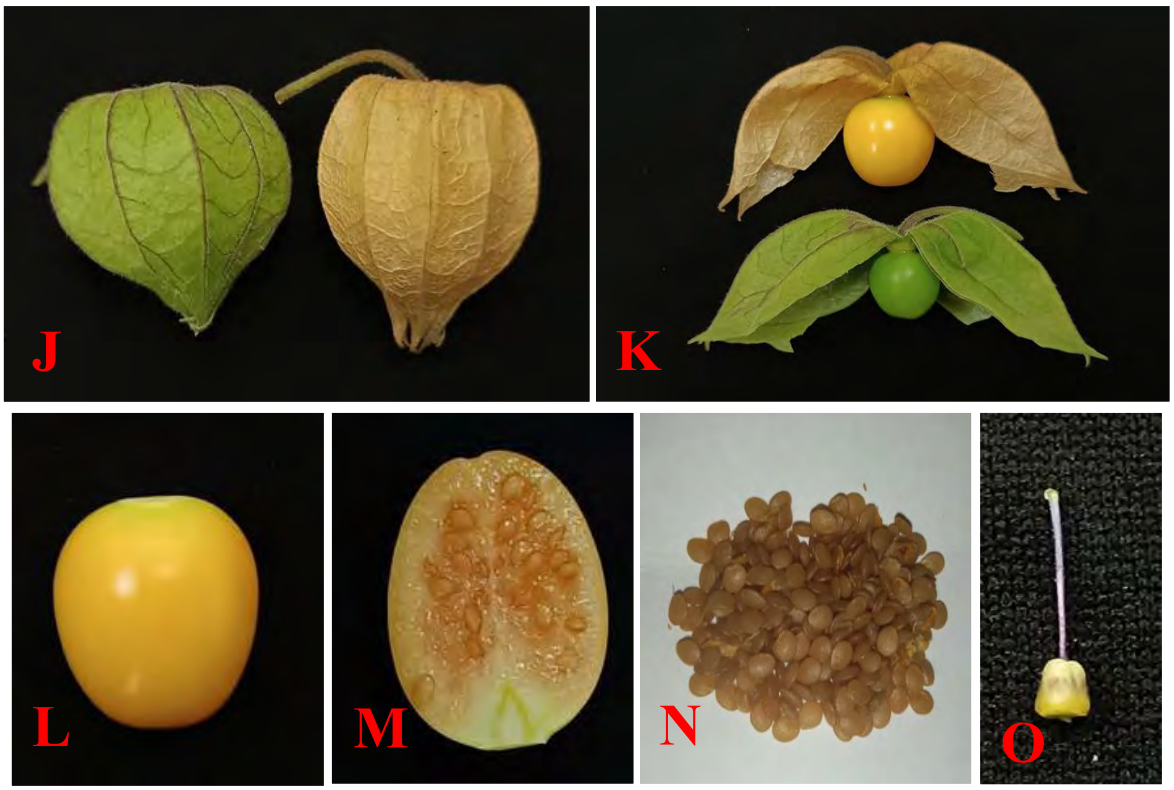
Inflorescencia con flores solitarias axilares. Pedicelo erguido, filiforme, de 6 – 12 mm de largo, pubescente, raramente recurvado en el ápice en antesis avanzada. Cáliz en forma de copa a acampanado, de 5 – 10 mm de longitud total, con tubo corto y lóbulos triangulares deltados de 3,5 – 6 mm, corola actinomorfa, (rotácea), de 1 – 2 cm de diámetro, con limbo de color amarillo intenso a amarillo verdoso, adornado en la base de la garganta por 5 máculas nectaríferas internas oscuras que guían a polinizadores. En la inserción estaminal se observa una corona anular de tricomas amarillos dorados.

Lóbulos corolinos ampliamente triangulares, de 1 – 2 × 2,5 – 6 mm, con márgenes hialinos y ápice agudo. Androceo con 5 estambres glabros, filamentos filiformes de 2,5 – 5 mm, anteras dorsifijas de 3 – 4 mm de largo, teñidas de púrpura violáceo, dehiscencia longitudinal por estrías. Gineceo con estilo filiforme de 4,5 – 7 mm, estigma capitado-punciforme, fruto en baya esférica a ovoide, de 0,8 – 1,5 cm de diámetro, epicarpo liso y

Figura 36

Morfología de Physalis peruviana L.- Cultivo Nativo de Challabamba





Nota: A) Planta entera, B) Tallo, C) Raíz, D) Hoja y peciolo, E) Pedúnculo Floral y Cáliz, F) Flor en antesis, G) Corola con 5 maculas, H) Filamentos y anteras, I) Ovario y estilo, J) K) Cáliz inmaduro y maduro, L) Fruto, M) N) semillas y O) Gineceo.

brillante, de color amarillo, naranja o rojo intenso al madurar, con mesocarpo jugoso y ácido-dulce, encerrado en el cáliz hipertrofiado. Semillas numerosas, ovoides a esféricas, de 1,5 – 2 × 1 – 1,7 mm (con más de 211 semillas por fruto).

3.2.3 CULTIVO MEJORADO DE CHALLABAMBA.

El cultivo mejorado de Challabamba se comporta como una planta erguida, robusta y ramificada de forma dicotómica comportándose como arbustiva, semileñosa rígida lo que confiere mayor resistencia mecánica.

Alcanzando entre 1,8 y 2,3 metros de altura. Sistema radical axonomorfo, conformado por una raíz principal bien desarrollada, robusta y de consistencia leñosa, capaz de alcanzar aproximadamente 60 cm de profundidad. La raíz principal presenta un marcado engrosamiento en la región proximal, con abundantes ramificaciones secundarias y terciarias distribuidas de forma irregular. La porción superior del sistema radical se encuentra estrechamente unida a una base caulinar lignificada, de aspecto robusto y consistencia rígida, que constituye la zona de transición entre el tallo y la raíz. Esta región presenta un notable incremento del diámetro

debido al crecimiento secundario, lo que proporciona mayor resistencia mecánica y favorece el soporte de la parte aérea de la planta. La superficie externa de las raíces presenta una coloración pardo claro a pardo oscuro, con textura rugosa y ligeramente fisurada en las porciones más desarrolladas debido a la suberización de los tejidos externos.

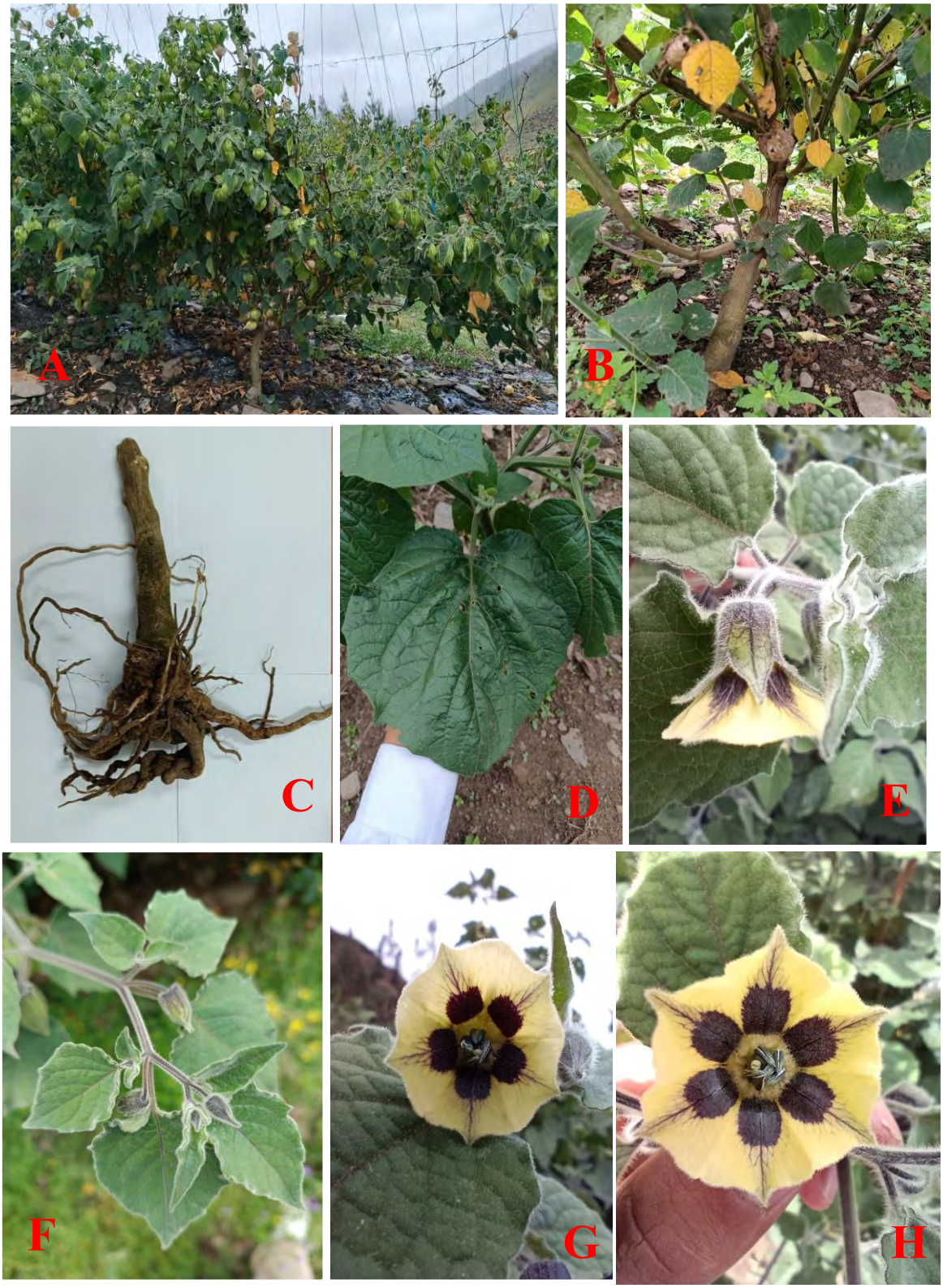
Con flores axilares solitarias con estambres, casi iguales en tamaño, filamentos, de color púrpura y entre 3 a 4,5 mm de largo, son filiformes y están unidos al tubo de la corola cerca de su base, con algunos pelos. Las anteras miden entre 3 y 4 mm, presentan un contorno oblongo y tienen coloraciones azuladas a rojo púrpura; permanecen rectas tras la antesis.

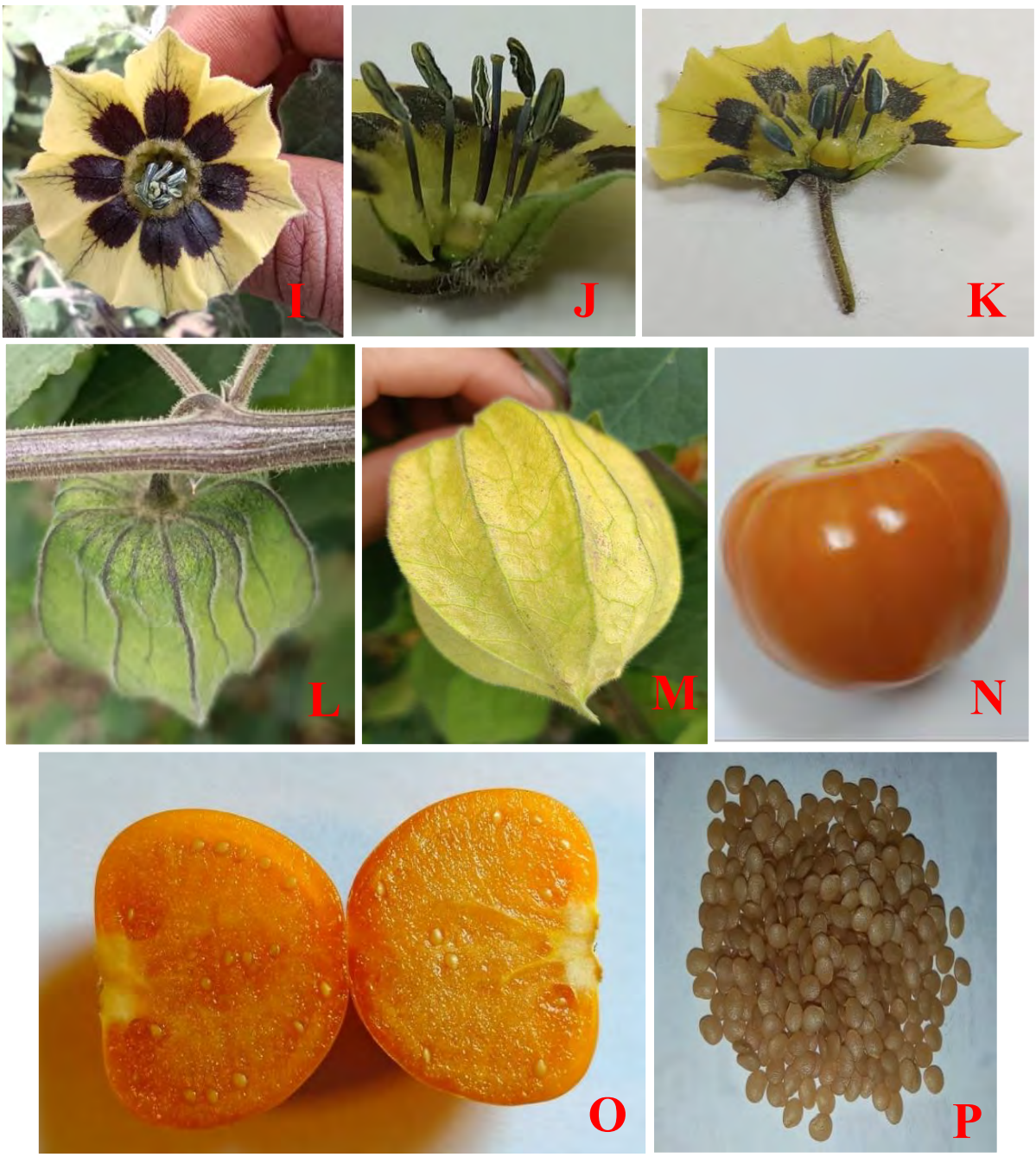
La corola presenta un color amarillo pálido o amarillo, salpicada con aproximadamente cinco manchas de tonos violeta oscuro, violáceos o parduscos que contrastan marcadamente con el fondo amarillo. Algunas manchas pueden variar en número mayor a 5 como es 6 y 8 maculas negras por flor, aunque la frecuencia es muy baja y rara.

El ovario, ovoide a casi globoso, mide entre 2 y 2,5 mm de largo y 1,5 a 2 mm de ancho, y es glabro. El estilo, filiforme y de color púrpura, mide entre 6 y 8 mm de largo y puede ser recto o ligeramente curvado hacia arriba. El disco es carnoso, glabro, y mide entre 0,3 y 0,4 mm de alto. Los frutos más grandes de lo normal con semillas parduscas, de 2 × 1,5 - 1,8 mm, con forma ovada a casi orbicular, a veces reniformes, y reticuladas-foveadas por toda su superficie. El fruto es verde cuando inmaduro, tornándose dorado, amarillo o naranja al madurar. Es sésil o tiene una ginobasa de hasta 0,8 mm en la base invaginada del cáliz erguido o péndulo, mide 11 – 20 × 10 – 15 mm y presenta forma ovoide, elipsoide o casi globosa, puede albergar más de 336 semillas por fruto y las bayas de mayor tamaño son bien parecidas y comercializadas en los mercados de la ciudad de Cusco. (Ver tabla morfométrica correspondiente.).

Figura 37

Morfología de Physalis peruviana L.- Cultivo Mejorado de Challabamba.





Nota: A) Planta entera, B) Tallo, C) Raíz, D) Hoja y peciolo, E) Pedúnculo Floral y Cáliz, F) Flor en antesis, G) H) I) Corola con 5,6 y 8 maculas, J) Filamentos y anteras, K) Ovario y estilo, L y M) Cáliz inmaduro y maduro, N) Fruto, O y P) semillas.

3.3 ANATOMÍA Y MICROMORFOLOGÍA DE *Physalis peruviana* L.

3.3.1 HOJA.

Epidermis:

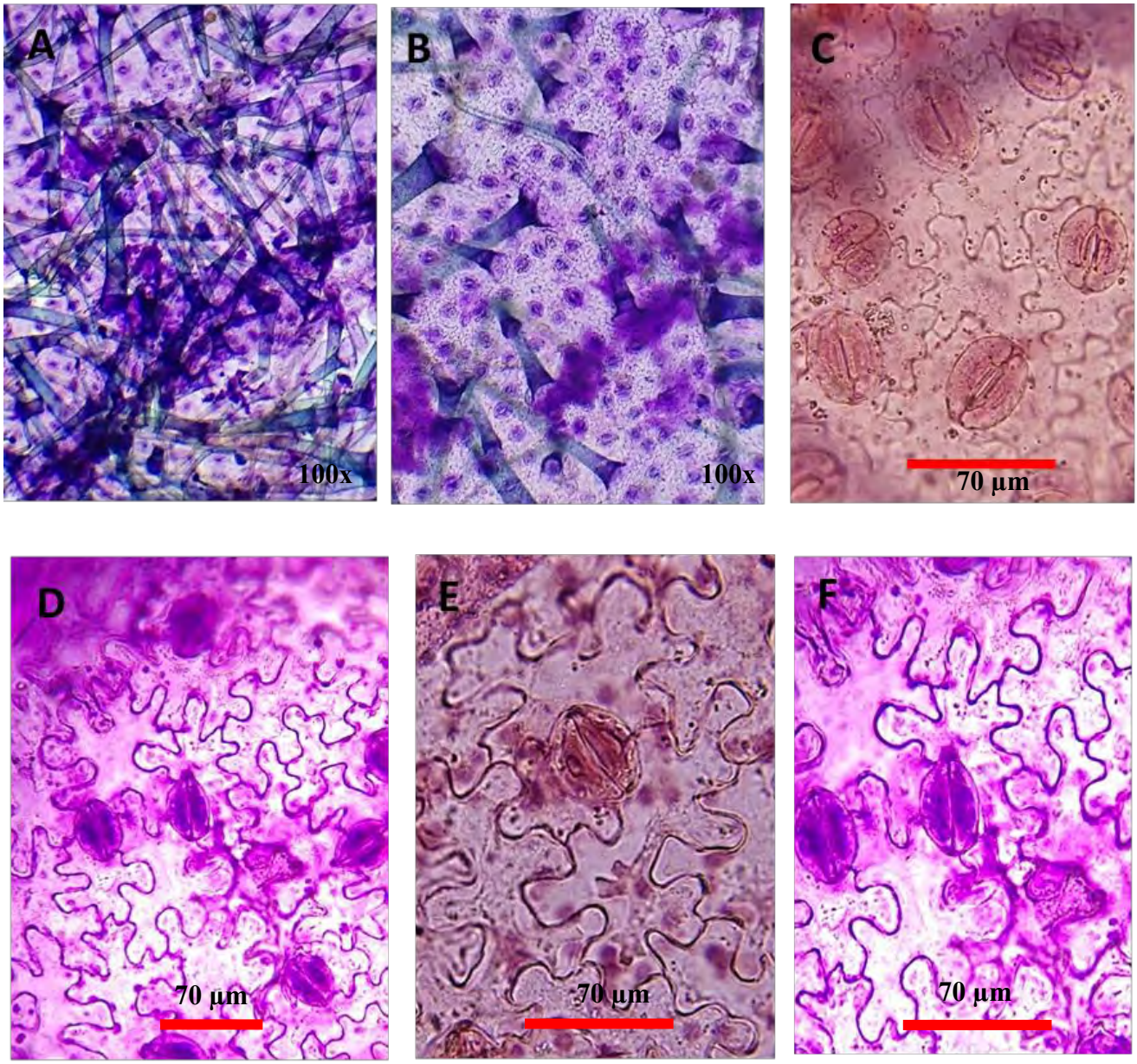
En vista transversal, la epidermis superior e inferior presentan condición uniestratificada, al estar constituidas por una única capa de células compactas de forma

subrectangular a cilíndrica, recubiertas externamente por una cutícula delgada. La epidermis adaxial tiene células tabulares cutinizadas; la abaxial es más delgada. En observación superficial, las células epidérmicas presentan contornos irregulares y paredes con márgenes ondulados; los estomas son de tipo anisocíticos (rodeados por tres células subsidiarias), y también estomas anomociticos con cuatro células subsidiarias, elevados y presentes en ambas caras (anfiestomáticas), son distribuidos irregularmente, así se tiene que en la epidermis adaxial, los estomas se encuentran entre 50 a 70 estomas por milímetro cuadrado y en la epidermis abaxial las estomas son más densos variando entre 120 a 150 estomas por milímetro cuadrado.

El indumento de la hoja formado por los tricomas es abundante y variado: no glandular o tricoma tector (uniseriados, cónicos, de 1-3 células, con ápice romo o puntiagudo, rectos o curvos, adornados con micropápilas) y glandular (capitados con cabeza unicelular o peltados con cabeza de cuatro células).

Figura 38

Epidermis de P. peruviana.



A) Indumento denso con tricomas textores superficie adaxial. B) Indumento moderado en epidermis abaxial. C) Estomas y células anexas, cultivo K'ayra. D) Estomas y células anexas, cultivo nativo de Challabamba. E) y F) Estomas y células anexas, cultivo mejorado de Challabamba. Barra roja 70 Micrometros. A, B en un aumento total de 100x y C, D, E y F en un aumento total de 400x.

Mesófilo:

La hoja es bifacial, con una capa de parénquima clorofiliano en empalizada (células alargadas y compactas adaxiales con multiples cloroplastos alargados y citoplasma denso), estas células miden aproximadamente 50-70 µm de largo y 15-20 µm de ancho ocupa un 60% del ancho del mesófilo, seguida de 3-4 capas de parénquima esponjoso irregular con células irregulares, lobuladas o ramificadas (20-40 µm de diámetro), con espacios aéreos estrechos, ocupando un 40% del ancho del respectivo mesofilo. Algunas células del parénquima esponjoso contienen drusas grandes de oxalato de calcio que son cristaloides estrellados con puntas agudas irregulares. Esta disposición es común en la familia Solanaceae y favorece la fotosíntesis eficiente.

Región del nervio medio:

En corte transversal el nervio medio, la epidermis es monoestratificada formando una fina cuticula uniforme, ligeramente convexa en el extremo abaxial, terminado en un extremo estrecho con colénquima angular subyacente formando un estrato de 3 a 4 capas de células continuo al parénquima clorofiliano.

El haz vascular medio forma un arco prominente en sección transversal, con xilema orientado hacia la cara adaxial y floema hacia la abaxial, rodeado por fibras esclerenquimatosas y parénquima. Esta disposición bicolateral incluye dos grupos de floema interno (entre xilema y epidermis adaxial) y externo, conectados por haces accesorios.

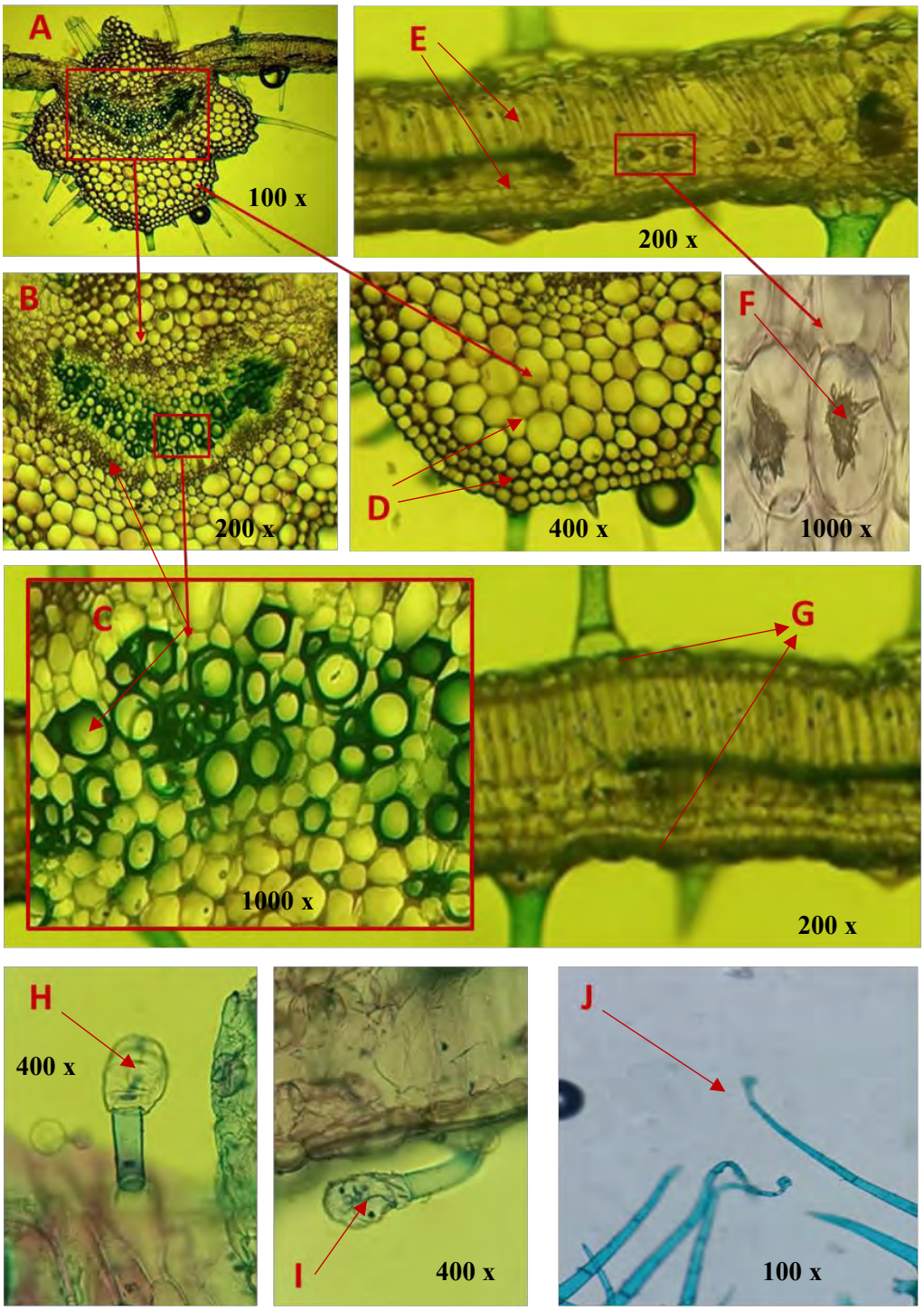
La porción protóxilema es helicoidal o escalariforme de 10-20 µm diámetro, mientras el metaxilema contiene vasos anulares o reticulados más anchos (30-50 µm). El floema consta de elementos cribosos compuestos, tubos cribosos oblicuos y células compañeras nucleadas.

Tejidos asociados:

Inmediatamente bajo la epidermis adaxial y abaxial del nervio medio, se encuentra colénquima hipodérmico angular con engrosamientos celulósicos en las esquinas lamelares, proporcionando soporte mecánico. El parénquima medular es grande, con células vacuoladas y almidón, intercalado entre los haces vasculares del arco. El extremo adaxial, inferior es más prominente notándose dos lobulaciones laterales y una media, en la epidermis se desarrolla un indumento formado por largos tricomas textores y en menor número los pequeños tricomas glandulares.

Figura 39

Anatomía y micromorfología de hoja de P. peruviana.



Nota: A) Nervadura principal, B) Ampliación del has vascular, C) Xilema (paredes más gruesas, lignificada) y Floema (paredes delgadas), D) Parénquima clorofiliano y Colenquima hipodérmico angular, E) Corte transversal de la hoja: parénquima empalizada y parénquima esponjoso, F) Drusas formadas por Cristales de oxalato de calcio), G) Epidermis

uniestratificada bifacial, H, I) Tricoma glandular que produce aceites esenciales y J) Tricoma textor de protección.

3.3.2 PECIOLO.

Presenta una forma subesferica con tres crestas o costillas cortas subparalelas en el extremo superior, base envainadora y alas delgadas que continúan con el limbo. Cubierto por tricomas no glandulares uniseriados (1-3 células, cónicos, puntiagudos o romos) y glandulares pequeños en menor frecuencia.

Epidermis y tejidos periféricos:

Epidermis uniestratificada de células rectangulares o tabulares compactas (10-20 µm alto), con cutícula gruesa y estomas anisiocíticos elevados dispersos. Subyacente, 2-3 capas de colénquima angular o laminar con engrosamientos pectinocelulósicos en paredes, seguido de 4-5 capas de parénquima cortical delgado vacuolado con almidón.

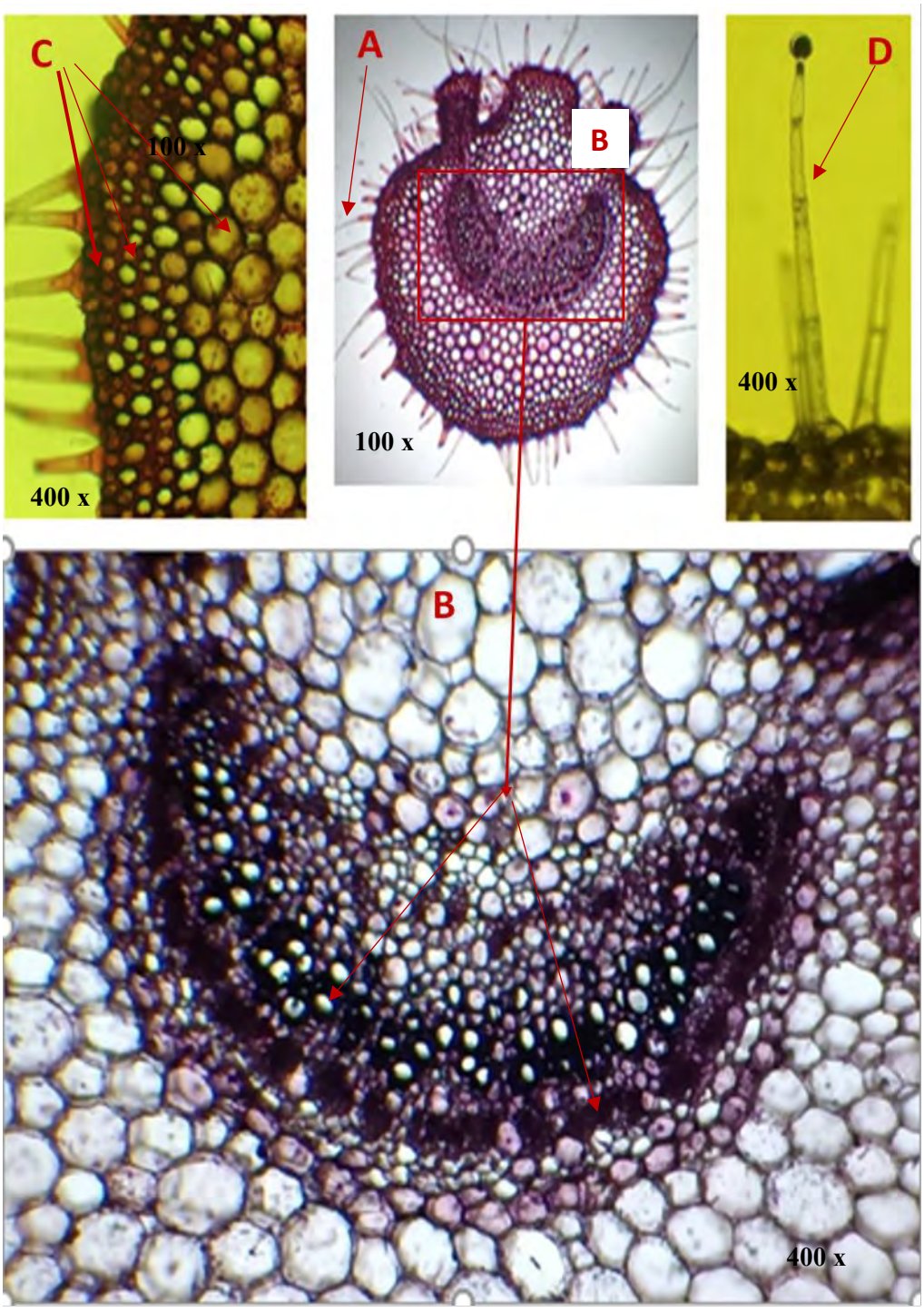
Haz vascular central:

Disposición en arco abierto o "U" bicollateral: haz mediano grande con xilema adaxial (protoxilema helicoidal, metaxilema reticulado) y floema abaxial (tubos cribosos oblicuos, compañeras nucleadas), rodeado de fibras esclerenquimatosas lignificadas. Dos haces accesorios dorsales en las alas, más pequeños.

Parénquima medular central amplio (hasta 200-300 µm), con células poligonales vacuoladas, drusas de oxalato de calcio y espacios intercelulares limitados. Plasmodesmos abundan en paredes para transporte radial; fibras periféricas de 3 a 4 capas compactas.

Figura 40

Anatomía y micromorfología de peciolo de P. peruviana.



Nota: A) Tricomas textores de protección, B) Haz vascular central en forma de arco abierto: Xilema (paredes más gruesas, lignificada) y Floema (paredes delgadas), C) Epidermis, colénquima angular y parénquima cortical, D) Tricoma glandular.

3.3.3 TALLO.

Epidermis y tejidos periféricos:

El tallo tiene una forma subcircular con 4 costillas cortas de extremo romo, con indumento pubescente conformado por tricomas no glandulares alargados y pluricelulares, textores de protección mecánica.

El tejido vascular del tallo de *P. peruviana* se organiza en una eustela con haces vasculares bicolaterales dispuestos en anillo, que facilita un transporte bidireccional eficiente de savia bruta y elaborada en condiciones de altitud variable.

Haces vasculares:

Se observan 8-15 haces vasculares primarios separados por parénquima medular interfascicular, formando un cilindro vascular continuo. Cada haz es bicolateral con xilema interno abaxial (hacia la médula) y floema externo adaxial (hacia la corteza), delimitado por cambium fascicular en tiras delgadas que inician crecimiento secundario temprano.

Xilema primario y secundario:

El protoxilema periférico contiene traqueidas helicoidales o escalariformes (10-15 μm diámetro) con punteaduras areoladas y espirales; el metaxilema central tiene vasos reticulados o punteados (25-45 μm diámetro) con paredes secundarias lignificadas. El xilema secundario, producido por cambium vascular, forma radios medulares estrechos con fibras libriformes (paredes gelatinosas, 15-30 μm).

Floema primario y secundario:

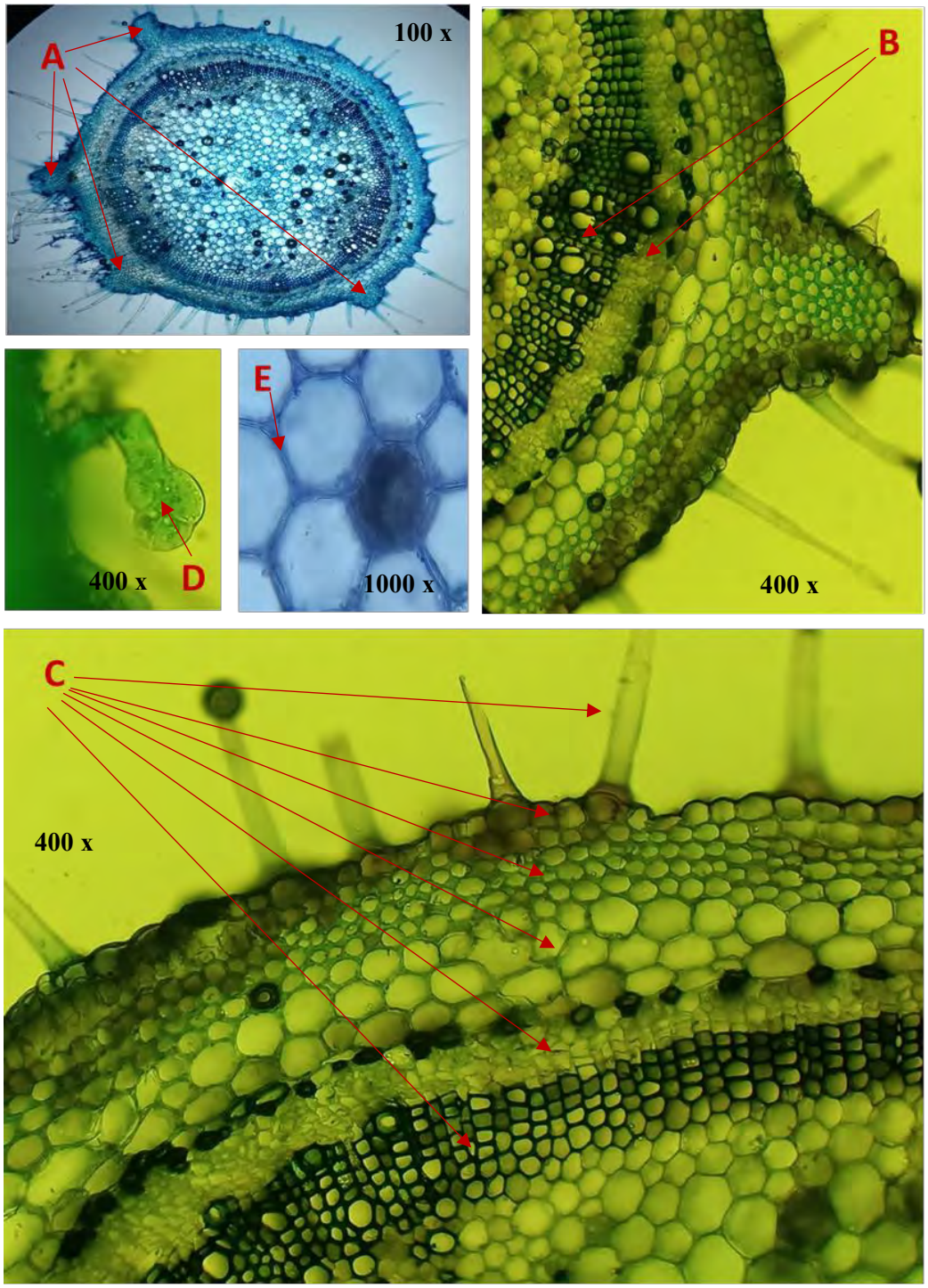
El floema primario comprende el protofloema, constituido por elementos cribosos elongados, y el metafloema, donde se observan elementos de los tubos cribosos con placas de cribación (10-20 μm diámetro), células acompañantes densas con núcleos y plasmodesmos abundantes. El floema secundario externo incluye esclereidas fibriformes y parénquima floemático, cuyas células presentan vacuolas desarrolladas con almidón.

Tejidos de soporte y conexiones:

Fibras esclerenquimatosas anillan los haces (paredes ligno-suberizadas, punteaduras simple), mientras cambium vascular refuerzan la transición corteza-cilindro. Plasmodesmos densos (3-6 por μm^2) y radios medulares aseguran flujo lateral.

Figura 41

Anatomía y micromorfología de tallo de Physalis peruviana L.



A) Forma subcircular con 4 costillas cortas de extremo romo, B) Xilema y Floema delimitado por Cambium fasicular, C) Parte superior Capa de epidermis con tricomas textores, colénquima angular de 4 capas, parénquima clorofiliano de 2 a 3 capas, Xilema y Floema formando un anillo, D) Tricoma glandular que produce aceites esenciales, E) Plasmodemos.

3.3.4 RAIZ

Epidermis y exodermis:

La epidermis es uniestratificada, constituida por células de forma rectangular a elongada, de aproximadamente 20–40 µm de longitud, dispuestas de manera continua en la periferia de la raíz. Presenta una cutícula suberosa delgada. Inmediatamente por debajo de la epidermis se observa una exodermis diferenciada, constituida por aproximadamente 2–3 capas de células relativamente pequeñas y compactamente dispuestas, cuyas paredes celulares son más evidentes que las de las células parenquimáticas del córtex subyacente.

Corteza y endodermis:

Corteza amplia, de aproximadamente 200 a 400 µm de grosor, constituida por numerosas capas de células parenquimáticas, dispuestas en aproximadamente 8 a 12 capas celulares. Las células presentan forma predominantemente poligonal, con tamaños variables, observándose células de mayor tamaño y una disposición relativamente regular hacia la región externa de la corteza. Hacia la región interna, las células muestran una organización progresiva que conduce hacia el límite con el cilindro vascular. En el límite interno de la corteza se distingue una endodermis diferenciada y prominente, con características lignosuberizadas, que delimita el cilindro vascular.

Periciclo:

El periciclo se presenta como una capa celular ubicada hacia la periferia del cilindro vascular, adyacente a los tejidos conductores, y constituida por una hilera de células de tamaño relativamente pequeño. Esta disposición es compatible con un periciclo uniestratificado, relacionado con la formación de raíces laterales.

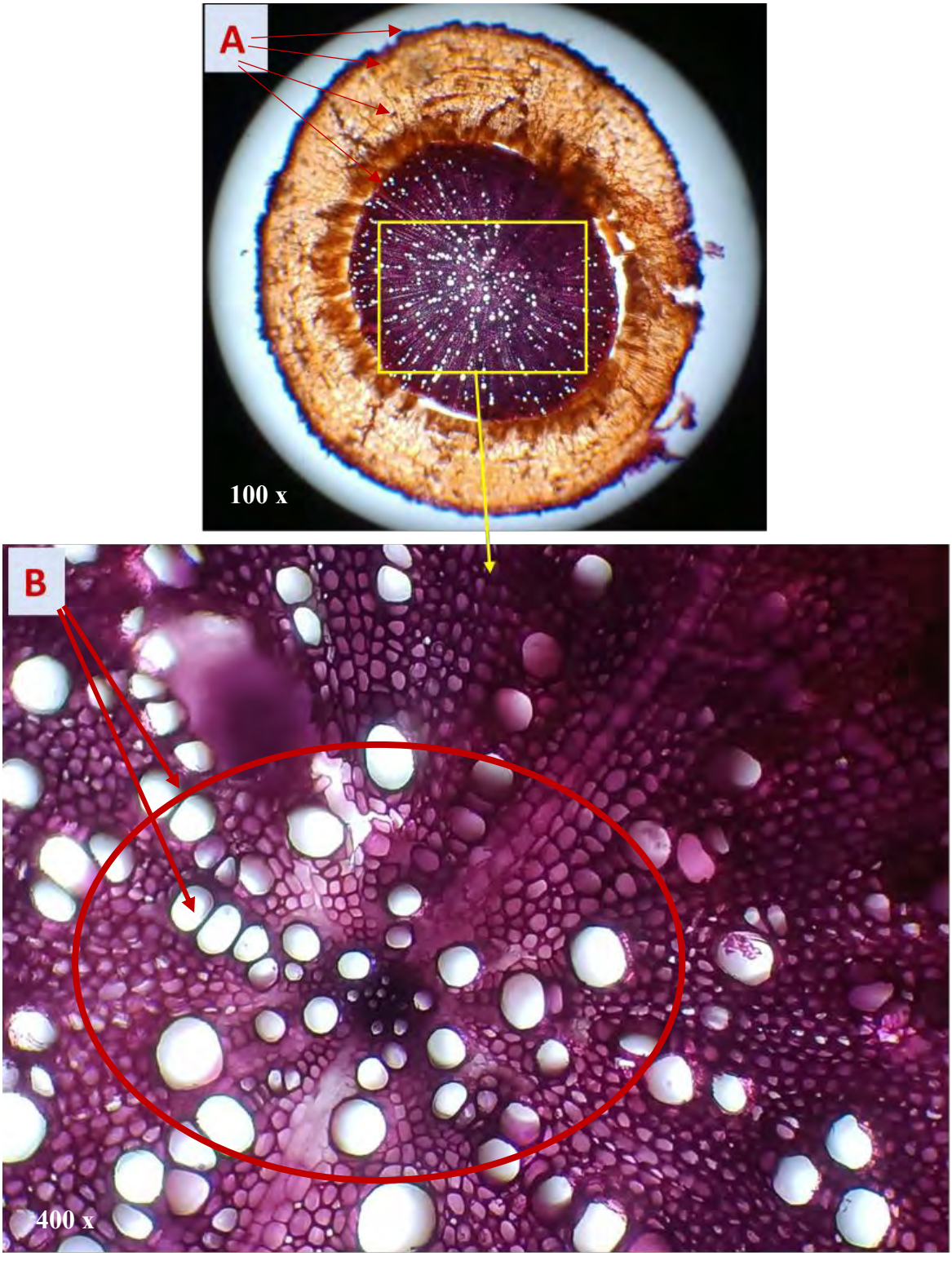
Cilindro vascular:

Cilindro vascular central, claramente diferenciado de la región cortical, constituido por tejidos conductores dispuestos radialmente. El xilema presenta una organización poliarca, evidenciada por la presencia de numerosos polos de xilema primario dispuestos alrededor de la región central del cilindro vascular. Se observan numerosos elementos de conducción de diámetro variable, entre los cuales destacan elementos del metaxilema con lúmenes relativamente amplios y de formas circulares a ovaladas, distribuidos hacia la región central y asociados con células de menor tamaño. El xilema es exarco, debido a que la maduración de sus elementos ocurre desde la región externa hacia la región interna, con los elementos del metaxilema de mayor tamaño ubicados hacia la región central. Entre los grupos xilemáticos se

observan regiones constituidas por células de menor tamaño, correspondientes al floema, dispuesto de manera alterna con respecto al xilema.

Figura 42

Anatomía y micromorfología de raíz de Physalis peruviana L.



Nota: A) Se observa en la parte exterior con cuticula ligeremanete suberizada, seguida de epidermis, exodermis, corteza, endodermis y cilindro central. B) Cilindro vascular en forma de estela poliarca, metaxilema (células grandes), floema en forma radial.

3.4 ANÁLISIS FENÉTICO

Tabla 6

Número de unidades muestrales colectadas por cultivo.

DATOS GENERALES DE UNIDAD MUESTRAL - *Physalis peruviana L.*				
PROVINCIA	**DISTRITO**	**COMUNIDAD y/o LOCALIDAD**	**N° UNIDAD MUESTRAL**	**TOTAL**
PAUCARTAMBO	CHALLABAMBA	LABRAMPATA	Nativo	10
			Mejorado	10
			Total	**20**
CUSCO	SAN JERÓNIMO	GRANJA K'AYRA	20	20
			TOTAL, DE UNIDADES MUESTRALES	**40**

Nota. Elaboración propia

La tabla presentada resume la distribución de las unidades muestrales evaluadas en cada comunidad y/o localidad de estudio. Del total analizado, 20 unidades muestrales correspondieron a la localidad de Labrampata y las otras 20 a la localidad de K'ayra, representando cada una el 50 % del conjunto total de muestras evaluadas in situ en los distritos de Challabamba y San Jerónimo.

Cada unidad muestral fue caracterizada mediante la aplicación de 32 descriptores morfológicos, lo que permitió identificar variaciones y rasgos particulares entre las muestras procedentes de ambas localidades. Estas diferencias hicieron posible establecer una diferenciación fenotípica y comparar los distintos morfotipos presentes en *P. peruviana* dentro de las zonas evaluadas.

Se organizaron un total de 32 caracteres cuantitativos, los cuales fueron previamente codificados considerando sus respectivas variaciones, dichos caracteres fueron obtenidos a partir del análisis de la morfometría externa de los tres cultivos de aguaymanto, abarcando aspectos relevantes de su estructura vegetativa y reproductiva. La selección de estos caracteres responde a su importancia taxonómica y a su capacidad discriminante entre cultivos.

A partir de esta información, se elaboró 02 matrices básica de datos, en la cual se integraron para la primera las 40 unidades muestrales junto con los 32 descriptores

cuantitativos y para la segunda las tres OTUs junto con las 32 variables cuantitativas mencionadas anteriormente. Estas matrices constituyen el insumo fundamental del análisis fenético, ya que resume de manera estructurada las características observadas en cada unidad taxonómica. La matriz fue organizada de tal forma que cada fila representa una OTU y/o UNIDAD MUESTRAL (es decir, cada cultivo de aguaymanto), mientras que cada columna corresponde a uno de los caracteres evaluados.

Tabla 7

Matriz básica de datos de los caracteres y unidades muestrales para P. peruviana de las dos localidades.

Accesión	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28	a29	a30	a31	a32
Nativo 01	1.45	1.56	12.45	10.40	120.80	82.05	24.50	24.35	6.65	6.20	3.80	1.20	5.00	7.85	0.55	5.56	5.32	18.90	19.10	35.90	26.35	257.00	2.10	1.40	0.28	35.00	48.05	2.90	42.60	98	518	14.50
Nativo 02	1.32	1.50	12.60	10.05	85.80	82.40	24.87	24.67	4.40	4.20	3.90	1.10	5.40	7.15	0.60	4.42	3.93	20.40	18.60	28.60	24.60	186.00	2.00	1.35	0.19	31.15	37.05	2.85	41.10	110	550	15.00
Nativo 03	1.47	1.57	12.75	8.05	71.40	64.75	23.10	22.68	4.75	3.80	3.95	1.55	4.95	7.55	0.75	3.75	3.18	19.05	17.60	34.35	31.20	200.00	1.80	1.40	0.21	30.00	29.55	2.10	43.75	115	542	12.40
Nativo 04	1.50	1.61	13.50	7.50	71.70	61.40	21.84	20.90	3.20	4.60	3.35	1.40	6.70	8.25	0.60	4.60	4.18	18.50	18.45	28.90	21.40	178.00	1.95	1.45	0.18	30.00	27.85	2.15	103.40	100	560	13.40
Nativo 05	1.25	1.48	13.25	8.60	63.60	55.20	23.65	23.40	4.15	3.90	3.70	1.50	5.15	8.05	0.75	4.13	3.49	19.05	17.60	33.15	18.20	221.00	1.90	1.25	0.23	32.00	22.15	1.15	86.45	108	572	14.75
Nativo 06	1.33	1.60	13.30	7.60	72.35	63.30	22.45	22.05	4.80	4.10	4.50	1.40	5.25	8.05	0.50	5.62	5.39	21.70	20.70	37.30	23.90	265.00	1.90	1.90	0.27	34.00	26.10	1.45	104.50	109	584	18.15
Nativo 07	1.31	1.49	12.50	7.05	71.10	65.90	25.65	25.10	4.40	3.70	3.60	1.35	6.25	8.30	0.70	4.61	4.43	20.55	20.70	40.05	30.40	262.00	2.05	1.50	0.27	31.80	26.45	1.60	126.50	110	596	19.55
Nativo 08	1.29	1.59	13.10	7.80	63.10	54.50	25.50	24.75	4.10	3.90	4.40	1.40	4.65	7.80	0.50	3.60	3.12	18.90	17.25	26.50	22.70	282.00	2.05	1.40	0.29	31.74	22.85	1.10	137.05	111	608	14.40
Nativo 09	1.27	1.55	12.30	8.40	61.30	51.25	24.20	23.40	3.60	3.25	4.05	0.95	4.95	8.05	0.60	5.98	5.46	18.50	20.40	32.05	24.15	212.00	2.00	1.45	0.20	31.69	25.85	1.95	113.20	112	620	16.80
Nativo 10	1.24	1.52	13.20	7.20	55.70	53.50	23.80	23.00	6.10	4.50	4.20	1.25	5.00	8.15	0.65	4.12	3.73	19.60	19.80	24.15	20.50	235.00	2.10	1.45	0.24	31.63	22.05	2.05	93.50	114	632	15.20
K'ayra 01	0.95	1.17	10.90	5.50	109.90	95.50	26.95	26.10	6.85	6.50	3.80	1.20	5.10	7.90	0.50	2.83	2.49	21.70	18.90	43.80	33.90	120.00	2.05	1.45	0.12	31.00	33.90	2.50	76.55	142	362	15.10
K'ayra 02	1.60	1.72	12.40	5.25	111.80	93.05	26.35	26.10	4.60	4.40	3.90	1.10	5.80	7.35	0.50	4.28	3.72	17.40	14.10	43.50	31.15	162.00	2.05	1.45	0.13	33.00	41.90	2.80	60.05	187	432	15.10
K'ayra 03	1.00	1.30	10.90	6.40	116.35	97.50	23.60	22.65	4.90	4.05	3.95	1.55	4.60	7.60	0.50	4.74	4.06	19.70	18.50	39.35	32.80	229.00	1.85	1.45	0.24	29.00	49.20	3.05	110.20	143	422	12.90
K'ayra 04	1.20	1.50	15.70	5.05	112.95	91.55	22.80	22.45	3.15	4.60	3.35	1.40	6.50	8.20	0.60	2.08	2.56	18.70	17.30	38.80	32.10	72.00	2.05	1.45	0.10	36.00	46.10	3.10	74.45	139	414	13.40
K'ayra 05	1.40	1.50	10.80	7.10	115.30	82.45	23.65	23.40	4.15	3.90	3.70	1.50	5.10	7.50	0.75	3.14	3.04	18.80	16.25	36.05	29.10	76.00	1.90	1.25	0.09	31.00	45.90	2.90	49.50	150	420	17.80
K'ayra 06	1.42	1.51	11.30	7.50	106.50	72.15	25.40	24.55	4.80	4.10	4.50	1.40	5.25	8.05	0.50	2.28	2.20	17.60	16.10	36.90	31.25	239.00	1.90	1.45	0.21	35.00	39.70	2.50	53.60	148	429	18.25
K'ayra 07	1.35	1.40	9.60	5.45	94.10	82.50	25.95	25.25	4.40	3.70	3.60	1.35	6.25	8.30	0.70	3.60	2.40	18.30	16.30	38.50	30.10	137.00	2.05	1.50	0.10	37.00	37.80	2.70	51.30	143	442	19.90
K'ayra 08	1.48	1.55	10.05	4.30	96.70	91.55	25.30	24.20	4.10	3.90	4.40	1.40	4.65	7.80	0.50	2.89	2.58	18.70	16.95	37.80	32.10	180.00	2.10	1.40	0.16	32.00	32.80	2.50	48.40	140	450	14.40
K'ayra 09	1.52	1.63	8.60	4.60	95.45	80.70	24.10	23.30	3.60	3.25	4.05	0.95	5.60	7.95	0.65	3.06	2.32	18.50	15.05	33.80	31.20	82.00	2.10	1.45	0.08	34.00	47.20	2.90	55.80	138	458	16.50
K'ayra 10	1.46	1.59	10.25	7.90	92.90	77.70	23.90	23.10	6.10	4.50	4.20	1.25	5.05	8.15	0.75	2.31	1.92	17.70	14.90	36.30	30.05	106.00	2.05	1.50	0.12	30.00	34.15	3.05	55.75	135	467	15.10
K'ayra 11	1.57	1.30	10.80	5.20	109.80	90.05	33.90	21.70	5.50	4.10	4.30	1.60	4.50	7.80	0.60	2.98	2.55	20.60	17.50	39.10	32.90	123.00	2.00	1.50	0.17	23.00	33.90	3.20	97.05	133	432	15.50
K'ayra 12	1.61	1.00	11.40	5.30	113.60	83.06	45.35	22.90	4.60	3.80	3.90	1.60	4.50	7.30	0.50	2.55	2.32	17.60	14.50	39.90	32.95	175.00	2.05	1.45	0.13	29.78	45.35	3.40	72.85	130	468	13.90
K'ayra 13	1.65	1.36	10.50	6.50	102.70	94.40	35.50	21.90	4.40	3.90	4.50	1.70	4.90	7.50	0.70	4.50	4.06	16.75	15.50	38.10	31.60	215.00	2.05	1.40	0.24	29.43	35.50	3.20	70.10	128	474	15.80
K'ayra 14	1.69	1.35	14.60	5.10	92.10	82.05	31.25	23.70	4.90	3.80	4.05	1.35	4.40	8.10	0.60	2.80	1.90	17.70	17.10	38.50	32.35	85.00	1.80	1.45	0.11	29.07	31.25	3.05	65.95	125	480	13.30
K'ayra 15	1.74	1.34	11.50	6.15	106.05	86.95	29.05	24.45	5.90	4.70	3.50	1.30	3.80	7.80	0.70	3.14	3.04	18.50	16.25	41.20	33.80	80.00	2.05	1.25	0.09	28.72	29.05	3.55	65.50	123	486	16.20
K'ayra 16	1.78	1.33	11.20	7.70	93.70	85.80	26.85	24.10	6.05	4.80	3.50	1.40	4.70	8.60	0.55	2.30	2.15	17.60	16.10	36.60	30.40	225.00	1.90	1.45	0.21	28.36	26.85	2.75	54.95	120	493	20.70
K'ayra 17	1.82	1.32	10.60	6.50	101.85	82.65	30.70	23.70	5.60	4.05	3.20	1.35	4.05	7.90	0.70	3.60	2.90	18.20	16.10	38.60	35.25	145.00	1.95	1.30	0.15	28.01	30.70	3.40	56.60	118	499	18.50
K'ayra 18	1.86	1.31	10.10	4.25	112.60	86.01	28.50	27.90	6.20	5.20	3.40	1.35	4.40	7.50	0.60	2.86	2.40	18.40	15.90	36.35	33.80	170.00	2.05	1.40	0.16	27.65	28.50	2.85	55.60	115	505	17.80
K'ayra 19	1.90	1.30	9.50	3.90	104.90	88.65	30.95	27.65	5.40	4.80	3.70	1.50	3.60	7.60	0.60	3.05	2.60	18.50	16.10	38.60	32.60	89.00	2.10	1.45	0.10	27.30	30.95	2.60	74.80	113	512	18.20
K'ayra 20	1.94	1.29	10.10	7.60	116.90	79.08	44.50	28.60	4.50	4.40	3.30	1.30	3.90	8.20	0.75	2.30	2.25	17.70	15.20	35.65	31.55	115.00	2.05	1.50	0.13	26.95	44.50	3.35	71.80	110	518	21.10

Mejorado 01	1.79	2.36	36.65	20.65	137.95	106.10	25.20	24.40	5.15	3.55	3.95	1.15	3.25	6.10	0.60	16.60	15.13	26.85	32.80	55.90	46.35	340.00	2.05	1.75	0.31	49.00	55.20	3.85	96.75	640	1780	14.10
Mejorado 02	1.65	1.95	27.25	22.65	140.45	103.60	29.90	28.90	4.35	3.65	3.60	1.15	4.40	5.50	0.60	14.93	14.38	27.40	29.60	58.60	44.60	404.00	1.85	1.65	0.39	50.00	60.95	3.55	100.05	544	1989	12.25
Mejorado 03	1.67	2.26	30.45	21.05	135.65	125.50	21.10	20.40	5.10	3.10	4.90	1.10	3.55	4.40	4.05	11.74	16.34	27.90	30.70	54.35	51.20	305.00	1.95	1.40	0.35	52.00	74.25	3.85	95.40	455	1521	9.05
Mejorado 04	1.68	2.07	23.70	16.50	127.10	114.45	23.10	22.60	4.90	3.05	3.70	1.05	3.15	7.05	0.60	9.06	14.63	25.05	27.40	48.90	41.40	365.00	2.05	1.70	0.33	47.00	54.90	3.55	88.95	490	1778	10.05
Mejorado 05	2.00	2.30	27.40	18.70	113.60	102.95	24.50	24.10	4.95	3.75	3.60	1.10	3.40	6.25	0.36	10.38	14.28	26.10	28.25	53.15	38.20	394.00	1.90	1.60	0.36	55.00	49.50	3.85	92.70	527	1755	9.80
Mejorado 06	2.07	2.35	26.90	20.15	141.70	148.35	21.80	21.60	5.05	3.95	3.90	1.25	3.60	7.70	0.60	15.21	16.00	26.10	28.90	57.30	43.90	333.00	2.05	1.60	0.36	51.00	56.95	4.95	95.50	447	1686	11.40
Mejorado 07	1.98	2.26	27.70	21.95	133.35	108.55	23.76	23.65	5.35	3.40	4.15	1.45	2.95	9.40	0.75	14.88	14.29	24.05	25.75	60.05	50.40	275.00	1.65	1.40	0.29	54.00	58.60	3.65	96.95	419	1660	7.80
Mejorado 08	2.10	2.40	25.15	19.80	125.90	98.95	23.90	22.95	4.55	3.25	4.25	1.25	2.95	8.10	0.50	10.12	12.19	26.85	25.45	46.50	42.70	299.00	2.05	1.60	0.26	60.00	43.05	3.90	100.90	391	1634	10.50
Mejorado 09	1.85	2.00	39.10	22.25	131.20	106.05	27.30	27.80	4.75	3.30	4.05	1.25	3.85	7.35	0.25	11.73	13.16	25.80	27.60	52.05	44.15	367.00	2.05	1.65	0.39	58.00	56.95	3.90	78.45	363	1608	8.60
Mejorado 10	1.72	1.89	33.75	23.60	125.05	102.95	24.15	23.60	4.85	3.20	3.80	1.20	4.05	8.50	0.45	12.75	11.31	24.60	26.10	44.15	40.50	280.00	2.05	1.70	0.25	50.00	37.35	3.55	108.85	335	1581	12.10

Valores y su respectivo descriptor morfológico:

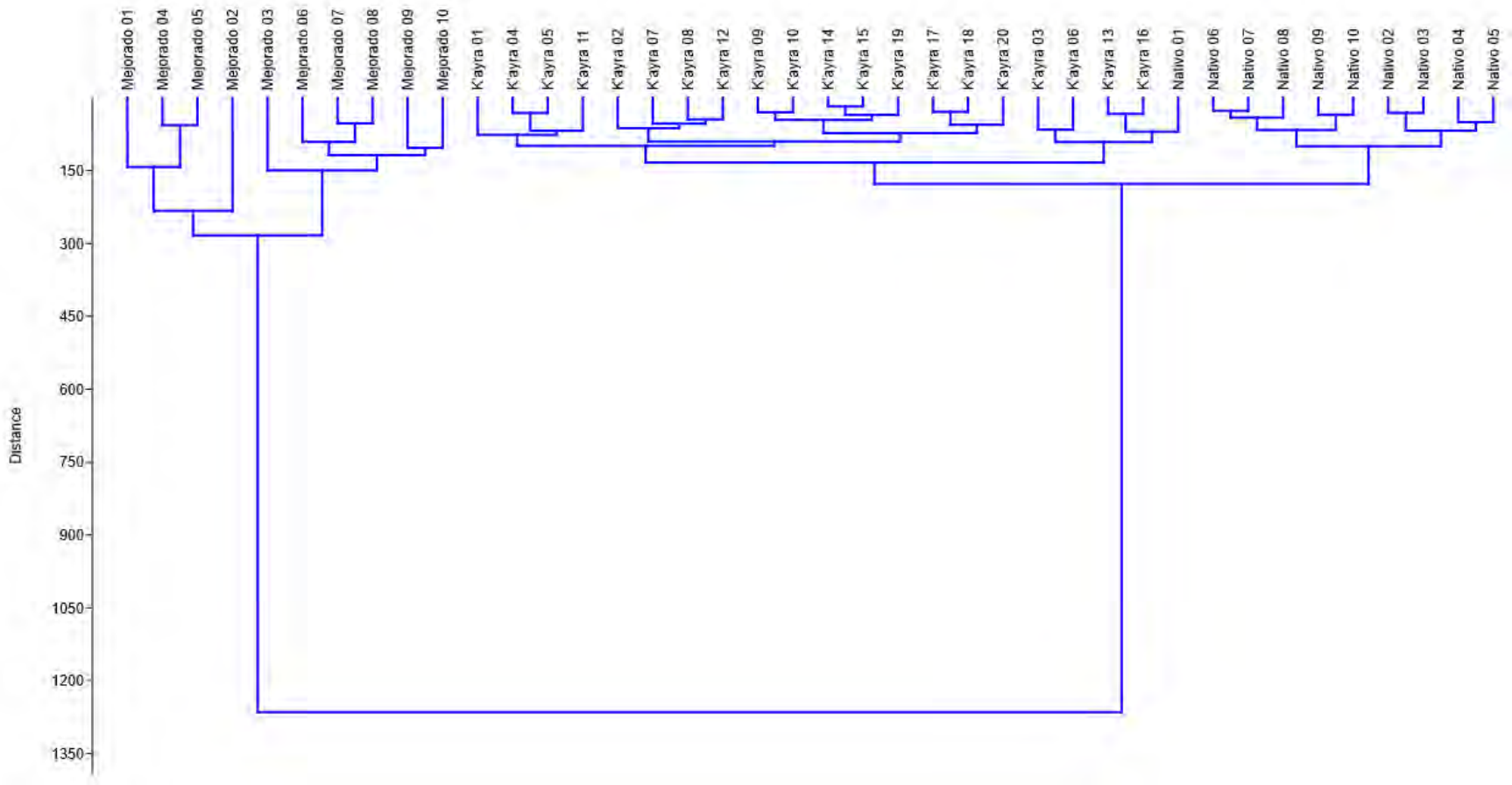
a1	**"Altura total de la planta (m)"**	**a17**	**"Peso de fruto maduro (g) "**
a2	**"Longitud total del tallo principal (m)"**	**a18**	**"Longitud del fruto (mm)"**
a3	**"Ancho del tallo principal (mm)"**	**a19**	**"Transversal del fruto (mm) "**
a4	**"Ancho del tallo secundario (mm)"**	**a20**	**"Longitud del carpelo del fruto (mm)"**
a5	**"Longitud de las hojas maduras (mm)"**	**a21**	**"Ancho del carpelo del fruto (mm)"**
a6	**"Ancho de las hojas maduras (mm)"**	**a22**	**"Numero de semillas por fruto (Unidades)"**
a7	**"Longitud de las flores (mm)"**	**a23**	**"Longitud de semillas (mm)"**
a8	**"Ancho de las flores (mm)"**	**a24**	**"Ancho de semillas (mm)"**
a9	**"Longitud de las maculas (mm) "**	**a25**	**"Peso de semillas por fruto (g) "**
a10	**"Ancho de las maculas (mm)"**	**a26**	**"Longitud de la raíz (cm)"**
a11	**"Longitud de estambres (mm)"**	**a27**	**"Longitud del peciolo (mm) "**
a12	**"Ancho de estambres (mm)"**	**a28**	**"Ancho del peciolo (mm) "**
a13	**"Longitud del conectivo (mm)"**	**a29**	**"Longitud de entrenudos (mm)"**
a14	**"Longitud del pistilo (mm)"**	**a30**	**"Numero de flores por planta (Unidades)"**
a15	**"Ancho del estilo (mm) "**	**a31**	**"Numero de hojas por planta (Unidades)"**
a16	**"Peso de fruto maduro con cáliz (g)"**	**a32**	**"Longitud del pedicelo (mm)"**

Análisis del Fenograma para las 40 unidades muestrales de *P. peruviana*

El análisis del fenograma general para *Physalis peruviana* L., obtenido mediante el método de agrupamiento UPGMA a partir de distancias euclidianas calculadas sobre 32 descriptores cuantitativos evaluados en 40 unidades muestrales (Fig. 61), evidenció una estructura jerárquica claramente definida y altamente confiable, con un coeficiente de correlación cophenética de 0.9555, lo que indica una excelente concordancia entre la matriz de distancias original y su representación fenogramática. A nivel global, se observó la formación de dos grupos principales separados a una distancia aproximada de 1300 unidades, reflejando una marcada divergencia morfológica entre los conjuntos analizados. El primer grupo estuvo conformado predominantemente por unidades muestrales del cultivo mejorado de Challabamba, las cuales presentaron una alta similitud interna al agruparse a distancias relativamente bajas (150–300), evidenciando una menor variabilidad fenotípica atribuible a procesos de selección dirigida. En contraste, el segundo grupo incluyó unidades muestrales correspondientes a los cultivos K'ayra y nativo de Challabamba, dentro de las cuales se identificaron subgrupos bien definidos; las unidades muestrales del cultivo K'ayra mostraron una agrupación más compacta, mientras que el cultivo nativo de Challabamba presentaron una mayor dispersión, indicando una mayor diversidad morfológica. En conjunto, estos resultados demuestran la existencia de una variabilidad significativa entre las unidades muestrales evaluadas de *Physalis peruviana* L., destacándose una clara diferenciación entre el cultivo mejorado de Challabamba y las unidades muestrales del cultivo nativo de Challabamba y K'ayra; en este sentido, las unidales muestrales del cultivo mejorado de Challabamba presenta una mayor homogeneidad fenotípica como resultado de la selección dirigida, mientras que las unidades muestrales del cultivo nativo de Challabamba constituyen un importante reservorio de variabilidad genética con potencial para su aprovechamiento en programas de mejoramiento.

Figura 43

Fenograma UPGMA de las 40 unidades muestrales de P. peruviana.



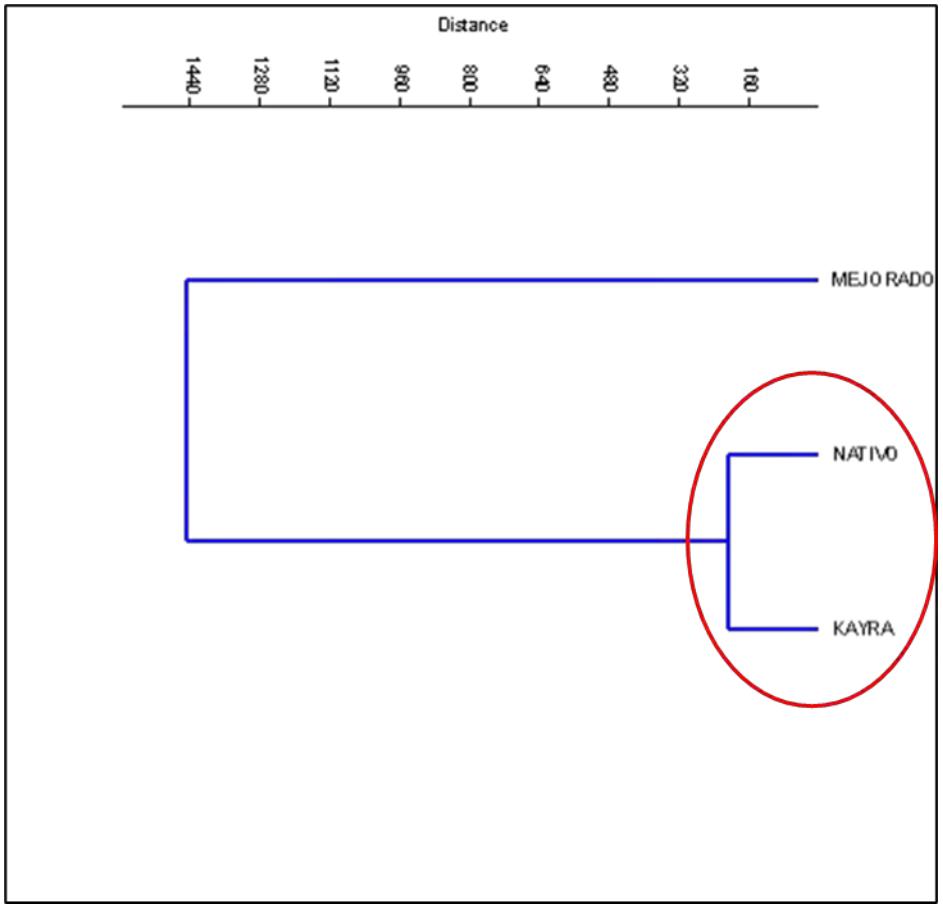
Nota. Elaboración propia

Análisis del fenograma para los tres cultivos de *P. peruviana*

De acuerdo con el fenograma obtenido a partir de los promedios de la matriz básica de datos de 40 unidades muestrales de *P. peruviana* (Fig. 62), evaluadas mediante 32 descriptores cuantitativos y analizadas mediante el método UPGMA con distancias euclidianas, se observa claramente la formación de dos grupos principales bien definidos, evidenciando una diferenciación morfológica entre los cultivos estudiados. El coeficiente de correlación cophenética alcanzó un valor de 0.9966, lo cual indica una alta concordancia entre la matriz de distancias original y su representación fenogramática, validando la consistencia y confiabilidad del análisis. El primer grupo está conformado exclusivamente por el cultivo mejorado de Challabamba proveniente de la localidad de Challabamba (provincia de Paucartambo), cuya ubicación independiente sugiere la presencia de características morfológicas distintivas que la diferencian de los demás cultivos. Esta separación refleja el efecto del proceso de mejoramiento genético, el cual ha inducido cambios fenotípicos significativos, expresados en su divergencia respecto a los otros materiales evaluados. Por otro lado, el segundo grupo está integrado por el cultivo nativo de Challabamba y el cultivo de K'ayra, las cuales se agrupan a una menor distancia, evidenciando una mayor similitud morfológica entre ellas. Este patrón sugiere que ambos cultivos comparten características fenotípicas afines, posiblemente asociadas a un origen genético común o a condiciones ambientales similares que han influido en su desarrollo. Asimismo, la menor distancia que las separa indica que presentan diferencias menos marcadas en comparación con el cultivo mejorado de Challabamba. En conjunto, la estructura del dendrograma refleja de manera coherente las relaciones fenéticas entre los cultivos estudiados y confirma la utilidad del análisis basado en caracteres cuantitativos para discriminar entre ellas. En consecuencia, se evidencia una diferenciación morfológica significativa, donde el cultivo mejorado de Challabamba presenta mayor homogeneidad fenotípica como resultado de la selección dirigida, mientras que el cultivo nativo de Challabamba y el cultivo de K'ayra muestran mayor similitud entre sí, manteniendo una base fenotípica más conservada. Estos resultados no solo permiten identificar patrones claros de agrupamiento, sino que también resaltan el impacto del mejoramiento genético en la diferenciación de *Physalis peruviana* L., así como la importancia del cultivo nativo de Challabamba como recurso con potencial valor para la conservación y futuros programas de mejoramiento genético.

Figura 44

Fenograma de los tres cultivos de P. peruviana



Nota. Elaboración propia

Análisis del fenograma específico para raíz

El fenograma UPGMA construido a partir del descriptor longitud de la raíz (cm) evidencia la formación de dos grupos fenéticos entre los tres cultivos evaluados de *P. peruviana* (Fig. 63). El primer grupo está integrado por los cultivos K'ayra y nativo de Challabamba, las cuales presentan la menor distancia euclidiana (0.762), reflejando una elevada similitud fenética para este carácter. Este agrupamiento se explica porque ambos cultivos registraron valores promedio de longitud de raíz muy próximos, con 31.14 cm para K'ayra y 31.90 cm para el cultivo nativo de Challabamba, mostrando una diferencia de apenas 0.76 cm.

Por el contrario, el cultivo mejorado de Challabamba se separa claramente del grupo anterior, formando un grupo independiente. Esta diferenciación responde a que presentó una longitud promedio de raíz de 39.90 cm, superior en aproximadamente 8 cm respecto a los cultivos K'ayra y nativo de Challabamba. Esta diferencia se refleja en las distancias euclidianas obtenidas entre el cultivo mejorado de Challabamba, cultivo nativo de Challabamba (7.999) y

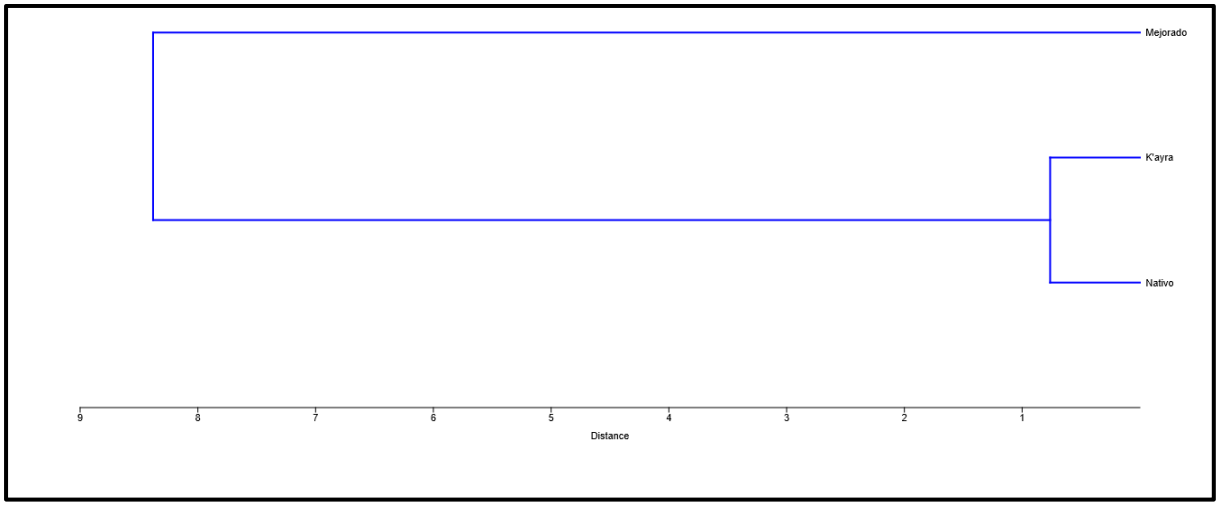
el cultivo de K'ayra (8.761), evidenciando una marcada divergencia fenética para este descriptor.

Asimismo, el coeficiente de correlación cofenética (r = 0.9963) indica una correspondencia casi perfecta entre la matriz original de distancias y el fenograma obtenido, demostrando que el fenograma representa con alta fidelidad las relaciones de similitud entre los cultivos.

En conjunto, estos resultados indican que la longitud de la raíz constituye un descriptor morfológico con alta capacidad discriminante, ya que permite diferenciar claramente el cultivo mejorado de Challabamba de los cultivos K'ayra y nativo de Challabamba, mientras que estas últimas mantienen una elevada similitud para este carácter.

Figura 45

Fenograma específico para raíz de los tres cultivos de P. peruviana basado en el descriptor longitud de la raíz (cm).



Nota. Elaboración propia

Análisis del fenograma específico para tallo

El fenograma específico obtenido mediante el método UPGMA, utilizando la distancia euclidiana calculada sobre datos de la variable tallo (Fig. 64), previamente estandarizados, evidenció la formación de dos grupos fenéticos entre los tres cultivos de *P. peruviana.* El primer grupo estuvo integrado por el cultivo nativo de Challabamba y cultivo K'ayra, las cuales presentaron la menor distancia fenética (23.24), indicando una mayor semejanza morfológica en los caracteres del tallo. Esta similitud se explica porque ambos cultivos registraron valores promedio cercanos en la longitud total del tallo (1.55 m y 1.39 m, respectivamente), así como

en el diámetro del tallo principal (12.90 mm y 12.56 mm). Aunque el cultivo nativo de Challabamba presentó mayor diámetro del tallo secundario (8.27 mm) y entrenudos más largos (89.21 mm) que el cultivo K'ayra (6.45 mm y 66.04 mm), dichas diferencias fueron menores respecto a las observadas con el cultivo mejorado de Challabamba.

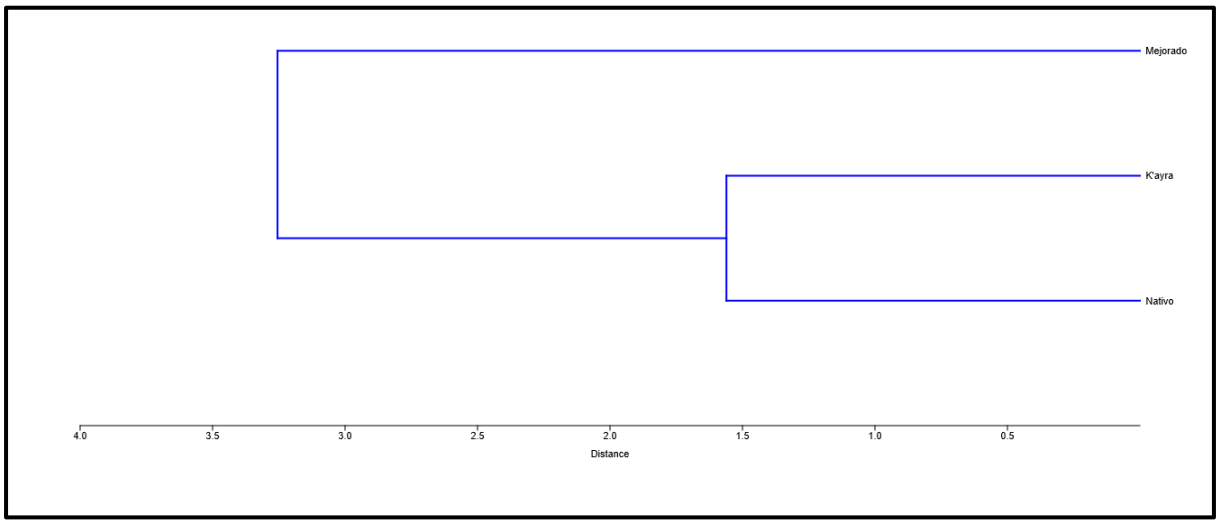
Por su parte, El cultivo mejorado de Challabamba se agrupó de manera independiente, mostrando las mayores distancias fenéticas respecto al cultivo nativo de Challabamba (23.33) y, principalmente, respecto al cultivo K'ayra (37.84). Esta diferenciación responde a que presentó los valores promedio más elevados en la mayoría de los descriptores evaluados, alcanzando una longitud total del tallo de 2.18 m, un diámetro del tallo principal de 31.59 mm, un diámetro del tallo secundario de 20.73 mm y una longitud de entrenudos de 95.45 mm, evidenciando un desarrollo vegetativo superior respecto a los otros dos cultivos.

El coeficiente de correlación cofenética (r = 0.9142) indica un alto grado de correspondencia entre la matriz original de distancias euclidianas y el fenograma obtenido, lo que demuestra que el fenograma representa de manera confiable las relaciones de similitud morfológica entre los cultivos estudiados.

En conjunto, los resultados evidencian que los descriptores del tallo poseen una adecuada capacidad discriminante para diferenciar el cultivo Mejorado de Challabamba de los cultivos nativo de Challabamba y cultivo K'ayra. Asimismo, la proximidad fenética observada entre estas dos últimas sugiere una mayor afinidad morfológica en los caracteres del tallo, mientras que el cultivo mejorado de Challabamba presenta un patrón estructural claramente diferenciado, probablemente asociado a su proceso de selección y mejoramiento agronómico.

Figura 46

Fenograma específico para tallo de los tres cultivos de P. peruviana basado en 04 descriptores morfológicos.



Nota. Elaboración propia

Análisis del fenograma específico para hoja

El fenograma específico obtenido mediante el método UPGMA, a partir de la matriz de distancias euclidianas calculada sobre datos de la variable hoja (Fig. 65), previamente estandarizados, evidencia la formación de dos grupos fenéticos entre los tres cultivos de *P. peruviana*, utilizando como variables la longitud y el ancho de las hojas maduras.

El primer grupo estuvo conformado por el cultivo nativo de Challabamba y el cultivo K'ayra, las cuales presentaron la menor distancia euclidiana (1.119), indicando una mayor similitud morfológica en los caracteres foliares evaluados. Este agrupamiento se explica porque ambos cultivos registraron dimensiones relativamente próximas en la longitud de las hojas maduras (73.69 mm y 105.31 mm, respectivamente) y en el ancho de las hojas (63.43 mm y 86.17 mm), mostrando un patrón morfológico más semejante entre sí que con el cultivo mejorado de Challabamba.

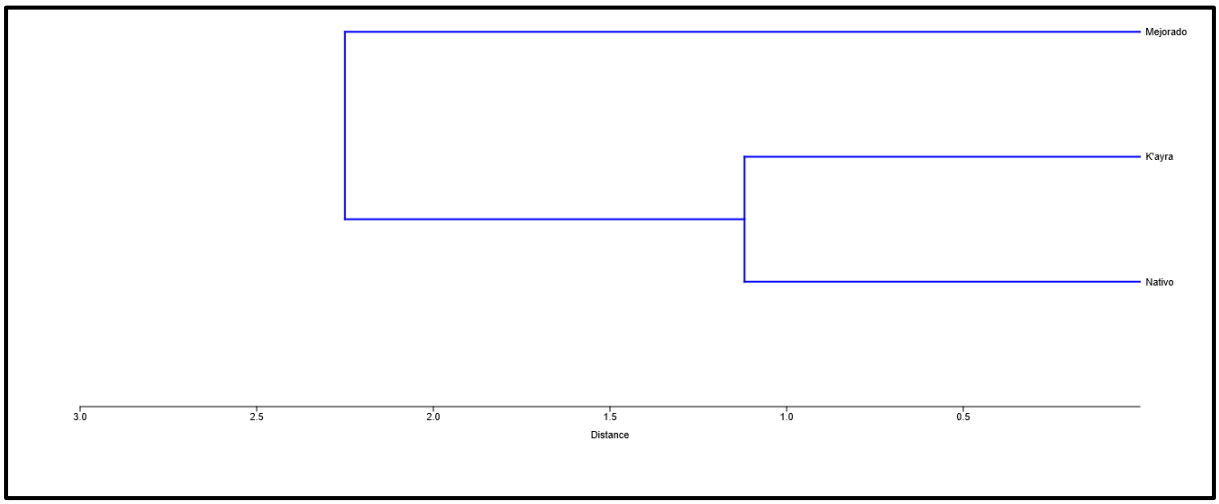
Por su parte, el cultivo mejorado de Challabamba se agrupó de manera independiente, debido a que presentó los mayores valores promedio para ambos descriptores, alcanzando una longitud foliar de 147.11 mm y un ancho de 126.01 mm. Estas diferencias se reflejan en las mayores distancias fenéticas respecto al cultivo nativo de Challabamba (2.807) y el cultivo K'ayra (1.694), evidenciando una diferenciación morfológica en el tamaño de las hojas.

El coeficiente de correlación cofenética (r = 0.7612) indica una correspondencia aceptable entre la matriz original de distancias y el fenograma obtenido, lo que permite considerar que el fenograma representa de manera adecuada las relaciones de similitud entre los cultivos evaluados, aunque con un nivel de ajuste inferior al observado en otros órganos vegetativos analizados (raíz y tallo).

En conjunto, los resultados evidencian que los descriptores foliares poseen una capacidad moderada para discriminar los cultivos de *P. peruviana*, permitiendo diferenciar claramente al cultivo mejorado de Challabamba por presentar hojas de mayor tamaño, mientras que el cultivo nativo de Challabamba y cultivo K'ayra conservan una mayor afinidad morfológica entre sí.

Figura 47

Fenograma específico para hoja de los tres cultivos de P. peruviana basado en 02 descriptores morfológicos.



Nota. Elaboración propia

Análisis del fenograma específico para peciolo

El fenograma específico obtenido mediante el método UPGMA, utilizando la distancia euclidiana calculada sobre datos previamente estandarizados, evidenció la formación de dos grupos fenéticos entre los tres cultivos de *P. peruviana*, considerando como variables la longitud y el ancho del pecíolo (Fig. 66).

El primer grupo estuvo conformado por el cultivo nativo de Challabamba y el cultivo K'ayra, las cuales registraron la menor distancia euclidiana (8.53), indicando una mayor similitud morfológica en los caracteres del pecíolo. Este agrupamiento se explica porque ambos

cultivos presentaron dimensiones relativamente próximas tanto en la longitud del pecíolo (28.80 mm y 37.26 mm, respectivamente) como en su ancho (1.93 mm y 2.97 mm), evidenciando un patrón morfológico semejante.

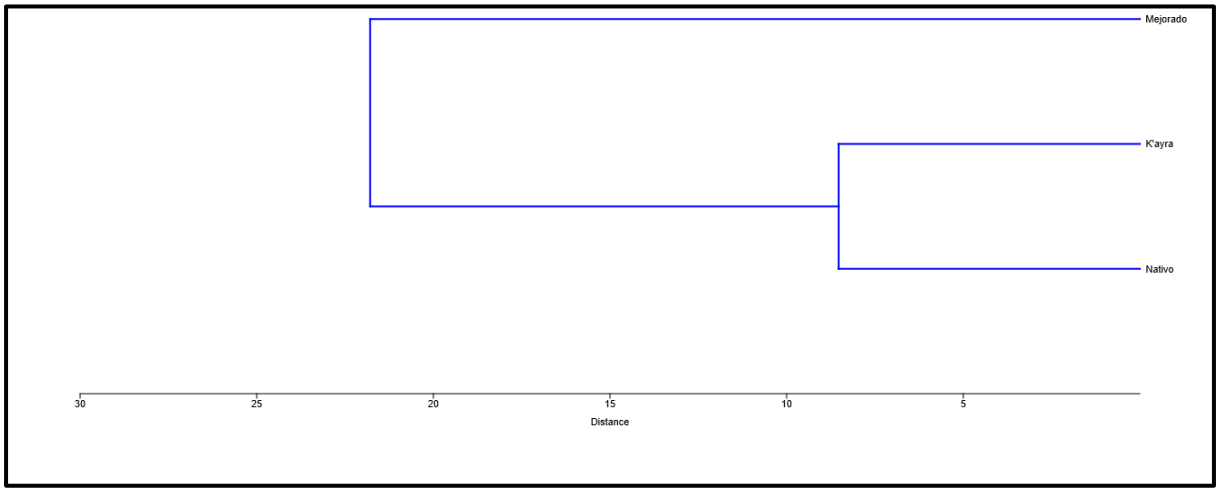
En contraste, el cultivo mejorado de Challabamba se agrupó de forma independiente debido a que presentó los mayores valores promedio en ambos descriptores, alcanzando una longitud del pecíolo de 54.77 mm y un ancho de 3.86 mm. Estas diferencias se reflejan en las mayores distancias fenéticas respecto al cultivo nativo de Challabamba (26.05) y al cultivo K'ayra (17.53), lo que evidencia una marcada diferenciación morfológica de este cultivo para los caracteres evaluados.

El coeficiente de correlación cofenética (r = 0.874) indica una buena correspondencia entre la matriz original de distancias y el fenograma obtenido, demostrando que el fenograma representa de manera confiable las relaciones de similitud morfológica entre los cultivos estudiados.

En conjunto, los resultados muestran que los descriptores del pecíolo poseen una adecuada capacidad discriminante para diferenciar el cultivo mejorado de Challabamba del cultivo nativo de Challabamba y el cultivo K'ayra. Asimismo, la menor distancia observada entre estas dos últimas sugiere una mayor afinidad fenética en los caracteres del pecíolo, mientras que el cultivo mejorado de Challabamba presenta un patrón morfológico claramente diferenciado, probablemente asociado a características derivadas de su proceso de selección y mejoramiento.

Figura 48

Fenograma específico para peciolo de los tres cultivos de P. peruviana basado en 02 descriptores morfológicos.



Nota. Elaboración propia

Análisis del fenograma específico para flor

El fenograma específico obtenido mediante el método UPGMA, basado en diez descriptores morfológicos de la flor (Fig. 67), permitió evaluar el grado de similitud calculada sobre datos previamente estandarizados entre los tres cultivos de *P. peruviana* (cultivo K'ayra, cultivo nativo de Challabamba y cultivo mejorado de Challabamba). Obteniéndose un coeficiente de correlación cofenética de 0.9406, lo que indica una excelente correspondencia entre la matriz de distancias euclidianas y la representación gráfica del fenograma. Este valor confirma que el agrupamiento refleja de manera confiable las relaciones morfológicas existentes entre las variedades evaluadas.

Los descriptores considerados fueron: longitud de la flor, ancho de la flor, longitud y ancho de las máculas, longitud y ancho de las anteras, longitud del filamento, longitud del pistilo (gineceo), ancho del estilo y longitud del pedicelo.

El fenograma muestra la formación de dos grupos principales. El primer grupo está conformado por el cultivo K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba, las cuales presentan la menor distancia euclidiana (3.72), evidenciando una mayor similitud en los caracteres florales evaluados. Esta asociación se explica porque ambas variedades presentan valores cercanos para la longitud de las máculas (4.615 y 4.985 mm), ancho de las máculas (4.215 y 4.323 mm), longitud de las anteras (3.945 y 3.840 mm), ancho de las anteras (1.310 y 1.378 mm), longitud del pistilo (7.920 y 7.855 mm) y ancho del estilo (0.620 y 0.613 mm). Asimismo, la longitud del pedicelo mostró valores relativamente próximos (15.415 y 16.473 mm), lo que contribuyó a la estrecha asociación entre ambos materiales.

Aunque el cultivo K'ayra presentó una mayor longitud de flor (29.23 mm) que el cultivo nativo de Challabamba (23.96 mm), esta diferencia no modificó el patrón de agrupamiento, debido a que el análisis de conglomerados considera el comportamiento conjunto de todos los caracteres evaluados y no únicamente una variable de manera aislada.

Por otra parte, el cultivo mejorado de Challabamba se agrupó a una distancia superior, registrando una distancia euclidiana de 4.57 respecto al cultivo nativo de Challabamba y de 5.02 respecto al cultivo K'ayra, siendo esta última la mayor distancia observada. Estos resultados indican que el cultivo mejorado de Challabamba presenta la mayor diferenciación morfológica floral entre los materiales evaluados. La separación del cultivo mejorado de Challabamba se encuentra asociada principalmente a la menor longitud del pedicelo (10.57

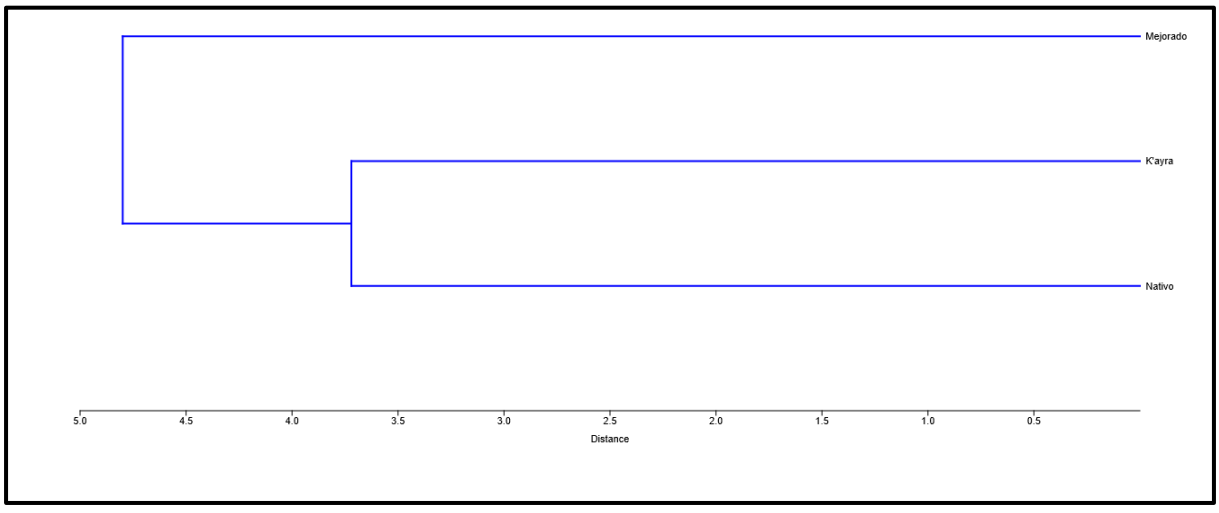
mm), menor longitud del filamento (3.52 mm), menor longitud del pistilo (7.04 mm), menor ancho del estilo (0.576 mm), así como al menor ancho de las máculas (3.42 mm) y de las anteras (1.20 mm). En conjunto, estas diferencias incrementaron la distancia euclidiana y determinaron su ubicación en un grupo separado dentro del fenograma.

La matriz de distancias euclidianas confirma el patrón observado en el fenograma, donde la menor distancia correspondió al par cultivo K'ayra y cultivo nativo de Challabamba (3.72), seguida por cultivo nativo de Challabamba y cultivo mejorado de Challabamba (4.57) y cultivo K'ayra y cultivo mejorado de Challabamba (5.02). Este comportamiento demuestra que la similitud morfológica floral fue mayor entre los cultivos K'ayra y cultivo nativo de Challabamba, mientras que el cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor grado de diferenciación.

En conjunto, el análisis evidencia la existencia de variabilidad morfológica intraespecífica dentro de *P. peruviana*. Los descriptores florales evaluados permitieron discriminar fenéticamente los tres cultivos, identificando una mayor afinidad entre cultivo K'ayra y cultivo nativo de Challabamba y una diferenciación más marcada del cultivo mejorado de Challabamba. Estos resultados demuestran que los caracteres florales constituyen una herramienta útil para la caracterización morfológica y la diferenciación varietal de *P. peruviana*.

Figura 49

Fenograma específico para flor de los tres cultivos de P. peruviana basado en 10 descriptores morfológicos.



Nota. Elaboración propia

Análisis del fenograma específico para fruto

El fenograma específico, realizado mediante el método UPGMA a partir de datos estandarizados de los descriptores morfológicos del fruto (Fig. 68), permitió evaluar el grado de similitud entre los tres cultivos de *P. peruviana* (cultivo K'ayra, cultivo nativo de Challabamba y cultivo mejorado de Challabamba). El fenograma presentó un coeficiente de correlación cofenética de 0.9995, valor muy próximo a la unidad, lo que indica una representación prácticamente exacta de la matriz de distancias euclidianas y confirma la alta confiabilidad del agrupamiento obtenido.

El análisis se realizó considerando los siguientes descriptores: peso del fruto maduro con cáliz, peso del fruto maduro sin cáliz, longitud del fruto, diámetro transversal del fruto, longitud del cáliz, ancho del cáliz y número de semillas por fruto.

El fenograma evidencia la formación de dos grupos claramente diferenciados. El primer grupo está conformado por el cultivo K'ayra y cultivo nativo de Challabamba, las cuales presentan la menor distancia euclidiana (1.175), indicando un elevado grado de similitud en las características morfológicas del fruto. Esta estrecha asociación refleja que ambos cultivos poseen dimensiones y pesos del fruto relativamente semejantes. El cultivo nativo de Challabamba registró un peso promedio del fruto de 4.223 g, mientras que el cultivo K'ayra presentó 2.673 g. Asimismo, ambas mostraron longitudes del fruto de 19.52 mm y 18.43 mm, respectivamente, así como valores relativamente próximos en el diámetro transversal (19.02 y 16.23 mm). Aunque se observaron diferencias en el tamaño del cáliz y en el número de semillas, estas no fueron suficientes para modificar el patrón general de similitud determinado por el conjunto de variables analizadas.

Por el contrario, el cultivo mejorado de Challabamba se agrupó de manera independiente, incorporándose al dendrograma a una distancia euclidiana de 4.445 respecto al cultivo nativo de Challabamba y de 4.567 respecto al cultivo K'ayra, constituyendo el material con mayor diferenciación morfológica del fruto. Esta separación se explica por los valores considerablemente superiores registrados en la mayoría de los descriptores evaluados.

En efecto, el cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor peso del fruto con cáliz (15.1 g) y sin cáliz (14.171 g), superando ampliamente al cultivo nativo de Challabamba y cultivo K'ayra. De igual forma, registró una mayor longitud del fruto (26.76 mm) y un mayor diámetro transversal (28.255 mm), indicando frutos de mayor tamaño. Asimismo, presentó el cáliz de mayores dimensiones, con una longitud promedio de 54.885 mm y un ancho de 44.34

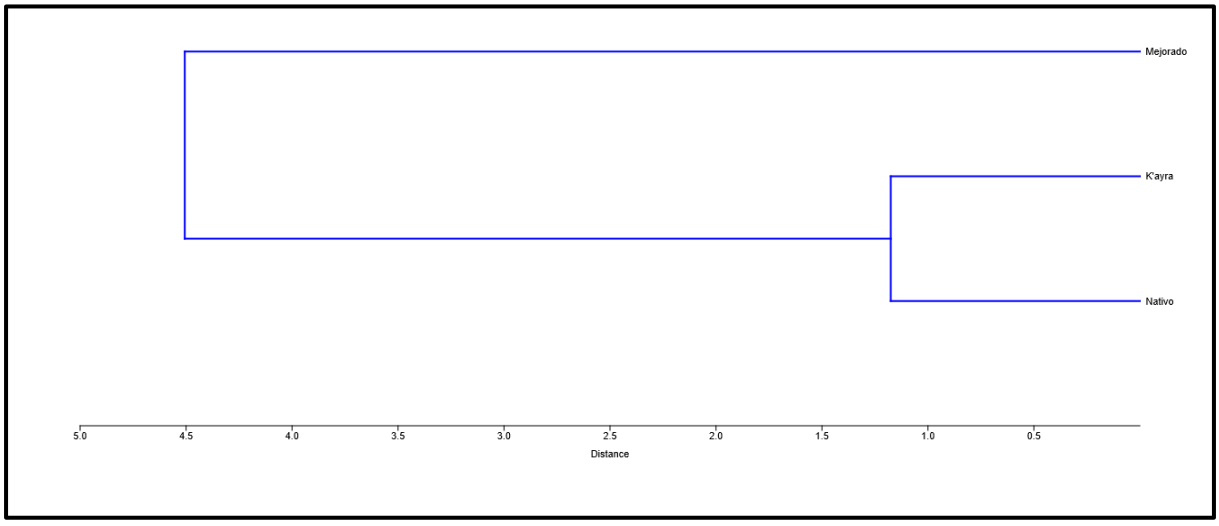
mm, valores considerablemente superiores a los observados en los otros cultivos. Otro carácter que contribuyó significativamente a su diferenciación fue el número de semillas por fruto, alcanzando un promedio de 336 semillas, mientras que el cultivo nativo de Challabamba y cultivo K'ayra registraron 175 y 141 semillas, respectivamente.

La matriz de distancias euclidianas respalda el patrón observado en el fenograma. La menor distancia correspondió al par cultivo K'ayra y cultivo nativo de Challabamba (1.175), evidenciando una alta similitud morfológica del fruto entre ambos cultivos. En contraste, las mayores distancias se registraron entre el cultivo mejorado de Challabamba y el cultivo nativo de Challabamba (4.445) y cultivo K'ayra (4.567), confirmando la marcada diferenciación del cultivo mejorado de Challabamba respecto a las demás.

En conjunto, los resultados evidencian una variabilidad morfológica intraespecífica entre los cultivos de *P. peruviana*. Los descriptores del fruto permitieron una diferenciación más marcada que la observada para los caracteres florales, debido a la amplia separación del cultivo mejorado de Challabamba respecto a cultivo K'ayra y cultivo nativo de Challabamba. Esto demuestra que los caracteres relacionados con el tamaño, peso y número de semillas del fruto poseen un alto poder discriminante para la caracterización morfológica de cultivos de aguaymanto.

Figura 50

Fenograma específico para fruto de los tres cultivos de P. peruviana basado en 07 descriptores morfológicos.



Nota. Elaboración propia

Evaluación por análisis de componentes principales de los cultivos de *Physalis peruviana* L.

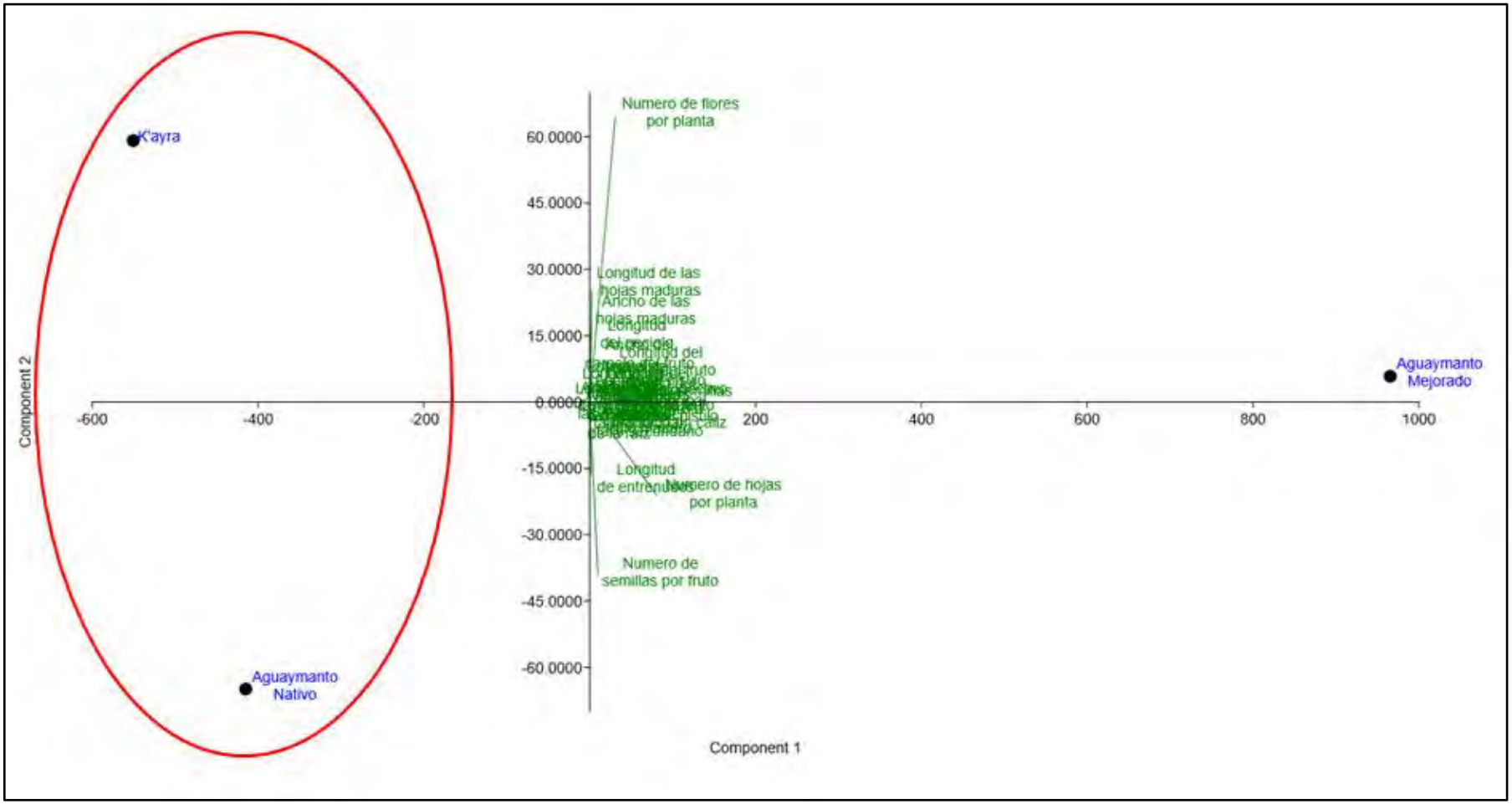
El análisis de componentes principales (ACP), aplicado a los valores promedio de los 32 descriptores cuantitativos evaluados en los cultivos de *P. peruviana* permitió visualizar la estructura de la variabilidad morfológica y la relación de similitud entre los materiales estudiados. **En el plano bidimensional definido por los dos primeros componentes principales (Componente 1 y Componente 2), se observa una diferenciación entre los cultivos evaluados. El cultivo mejorado de Challabamba se ubica de manera aislada hacia el extremo positivo del Componente 1, evidenciando una marcada divergencia morfológica respecto a los cultivos K'ayra y nativo de Challabamba**. Esta separación debe interpretarse como resultado del efecto conjunto y acumulado de los 32 descriptores cuantitativos evaluados, que actúan de manera combinada sobre la variación morfológica, debido a que ningún vector individual presenta una proyección fuertemente asociada con el Componente 1. **Por otro lado, el cultivo K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba se agrupan hacia el extremo opuesto del eje del Componente 1, mostrando una mayor proximidad entre sí, lo que refleja una mayor similitud morfológica en el conjunto de caracteres evaluados. Asimismo, la diferenciación observada a lo largo del Componente 2 permite identificar variación entre el cultivo K'ayra, ubicado en la parte superior del plano, y el cultivo nativo de Challabamba, ubicado en la parte inferior.** En este sentido, los vectores correspondientes al número de flores por planta, longitud de hojas maduras, ancho de hojas maduras y número de semillas por fruto presentan una orientación predominantemente vertical, por lo que se relacionan principalmente con la variación observada a lo largo del Componente 2 y contribuyen a interpretar la diferenciación entre el cultivo K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba. Estas variables, por tanto, no deben considerarse como responsables de la separación del cultivo mejorado de Challabamba sobre el Componente 1, sino como descriptores asociados a la variación vertical entre el cultivo K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba.

En conjunto, el ACP confirma los patrones observados en el análisis de agrupamiento, evidenciando una clara separación del cultivo mejorado de Challabamba y una mayor afinidad morfológica entre el cultivo K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba. La posición diferenciada del cultivo mejorado de Challabamba refleja el efecto combinado de los 32 descriptores evaluados, mientras que las variables con orientación predominantemente vertical permiten interpretar principalmente la variación observada entre cultivo K'ayra y el cultivo

nativo de Challabamba. Estos resultados respaldan la existencia de diferenciación morfológica entre los cultivos de *P. peruviana* evaluados.

Figura 51

Representación gráfica del análisis de componentes principales (ACP) del cultivo mejorado de Challabamba, cultivo K'ayra y cultivo nativo de Challabamba de Physalis peruviana L.*, en función de 32 descriptores cuantitativos.*



Nota. Elaboración propia

Análisis de índices de distancia entre cultivos de *Physalis peruviana* L.

El análisis de la matriz de distancias euclidianas entre los cultivos de *Physalis peruviana* L. evidenció diferencias cuantitativas claras en el grado de similitud morfológica entre los materiales evaluados. La menor distancia se registró entre el cultivo K'ayra y cultivo nativo de Challabamba (206.24), lo que indica una alta similitud morfológica entre ambas, confirmando su proximidad observada tanto en el fenograma como en el análisis de componentes principales (ACP). En contraste, las mayores distancias se observaron entre el cultivo mejorado de Challabamba y el cultivo K'ayra (1519.9) y cultivo nativo de Challabamba (1382.1), lo que evidencia una marcada divergencia morfológica del cultivo mejorado de Challabamba respecto a los otros dos cultivos. Esta diferencia sugiere que el cultivo mejorado de Challabamba presenta características fenotípicas significativamente distintas, atribuibles a procesos de selección dirigida que han modificado su estructura morfológica. Asimismo, la distancia entre el cultivo mejorado de Challabamba y el cultivo nativo de Challabamba (1382.1) fue ligeramente menor que la registrada entre el cultivo mejorado de Challabamba y cultivo K'ayra (1519.9). Esto indica que, aunque el cultivo mejorado de Challabamba presenta una marcada diferenciación morfológica respecto a ambos materiales, presenta una mayor cercanía morfológica relativa con el cultivo nativo de Challabamba. Esta relación podría estar asociada con el origen del cultivo mejorado de Challabamba a partir del cultivo nativo de Challabamba, la cual habría constituido el material base para procesos de selección y mejoramiento, permitiendo conservar algunas características morfológicas compartidas.

En conjunto, los resultados de la matriz de distancias euclidianas evidencian que el cultivo K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba presentan la mayor similitud morfológica, mientras que el cultivo mejorado de Challabamba constituye el material más diferenciado. No obstante, la menor distancia relativa del cultivo mejorado de Challabamba respecto al cultivo nativo de Challabamba, en comparación con el cultivo K'ayra, sugiere una mayor afinidad morfológica relativa entre ambos materiales. Estos resultados son concordantes con los patrones de agrupamiento observados en el fenograma y con la distribución de los materiales en el análisis de componentes principales (ACP), donde el cultivo K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba presentan mayor proximidad, mientras que el cultivo mejorado de Challabamba se encuentra separado de ambos.

Tabla 8

Matriz de distancias euclidianas que muestra el grado de similitud morfológica entre el cultivo K'ayra, cultivo nativo de Challabamba y cultivo mejorado de Challabamba de Physalis peruviana L., en función de 32 descriptores cuantitativos.

	Cultivo K'ayra	Cultivo nativo de Challabamba	Cultivo mejorado de Challabamba
K'ayra	0	206.24	1519.9
Nativo	206.24	0	1382.1
Mejorado	1519.9	1382.1	0

Nota. Elaboración propia

3.5 VARIABILIDAD Y RECUENTO ESTOMÁTICO

En las hojas de *Physalis peruviana* L. evaluadas en esta investigación, se registraron diferencias cuantitativas en la densidad estomática entre el cultivo K'ayra, cultivo nativo de Challabamba y cultivo mejorado de Challabamba, todas ellas exhibiendo un patrón anfiestomático característico de especies adaptadas a entornos andinos. Esta distribución asimétrica, con mayor concentración de estomas en la cara abaxial (envés), optimiza el intercambio gaseoso para la asimilación de CO_2 mientras minimiza la transpiración en condiciones de alta irradiación solar y variabilidad hídrica típica de Cusco.

Tabla 9

Recuento de estomas en la superficie foliar de aguaymanto, P. peruviana.

RECUENTO ESTOMÁTICO E INDICE ESTOMÁTICO EN LA HOJA DE *Physalis peruviana* L.

Parámetro	Cultivo K'ayra	Cultivo nativo de Challabamba	Cultivo mejorado de Challabamba
Estomas adaxiales	65	50	70
Índice estomático	11.93	10.94	14.14
Estomas abaxiales	145	120	150
Índice estomático	18.95	17.14	22.52
Relación abaxial/adaxial	2.23	2.4	2.14

Nota. Elaboración propia

3.5.1 Densidad Estomática por Cultivo

En el cultivo K'ayra, se contabilizaron 65 estomas por mm2 en la cara adaxial y 145 estomas por mm2 en la cara abaxial, lo que genera un índice estomático de 11.93% en la cara adaxial y 18.95% en la cara abaxial. Esta configuración refleja una baja densidad adaxial que limita la pérdida de agua bajo exposición solar directa, contrastando con la elevada densidad abaxial 2,23 veces superior, que favorece la difusión de gases en un microambiente más húmedo y sombreado, incrementando la eficiencia hídrica en climas altoandinos.

Tabla 10

Recuento de estomas y células anexas en el cultivo K'ayra, cultivo de aguaymanto P. peruviana.

RECUENTO DE ESTOMAS Y CELULAS ANEXAS EN EL CULTIVO KAYRA, CULTIVO DE AGUAYMANTO *Physalis peruviana* L.		
EPIDERMIS	ESTOMAS mm2	CELULAS ANEXAS
ADAXIAL	65	480
INDICE ESTOMATICO	11.93%	
ABAXIAL	145	620
INDICE ESTOMATICO	18.95 %	

Nota. Elaboración propia

El cultivo nativo de Challabamba presentó 50 estomas adaxiales y 120 abaxiales, con un índice estomático de 10.94% en la cara adaxial y 17.14% en la cara abaxial. Aquí, la densidad adaxial moderada reduce aún más el riesgo transpiratorio en altitudes elevadas, mientras que la cara abaxial 2,4 veces más densa potencia el flujo de CO_2 en condiciones de aire fresco y saturado, equilibrando fotosíntesis y conservación hídrica en ecosistemas cusqueños variables.

Tabla 11

Recuento de estomas y células anexas en el cultivo nativo de Challabamba, cultivo de aguaymanto P. peruviana.

RECUENTO DE ESTOMAS Y CELULAS ANEXAS EN EL CULTIVO NATIVO DE CHALLABAMBA, CULTIVO DE AGUAYMANTO *Physalis peruviana* L.		
EPIDERMIS	ESTOMAS mm2	CELULAS ANEXAS
ADAXIAL	50	407
INDICE ESTOMATICO	10.94%	
ABAXIAL	120	580
INDICE ESTOMATICO	17.14%	

Nota. Elaboración propia

Por su parte, el cultivo mejorado de Challabamba registró 70 estomas adaxiales y 150 abaxiales, alcanzando un índice estomático de 14.14 % en la cara adaxial y 22.52 % en la cara

abaxial. En conjunto, presentó un total de 220 estomas, evidenciando una mayor presencia estomática respecto a los cultivos K'ayra y al cultivo nativo de Challabamba. La variación observada en los caracteres estomáticos puede estar relacionada con diferencias genéticas entre los materiales evaluados, considerando que en especies de la familia Solanaceae se ha demostrado variación genética y evidencia de selección sobre caracteres estomáticos, incluyendo la densidad y distribución de los estomas (Muir et al., 2014). Asimismo, en *P. peruviana* se han reportado diferencias en caracteres estomáticos asociadas con variaciones genéticas relacionadas con el nivel de ploidía (Ciprian Salcedo, 2022).

Con mayor exposición de la superficie adaxial a la radiación solar, lo que puede favorecer la actividad fotosintética y el intercambio gaseoso a través de los estomas, incluyendo la entrada de CO_2 (Hepworth et al., 2020; Lawson & Matthews, 2020). Y una superficie abaxial dominante, con una densidad estomática 2,14 veces superior a la registrada en la superficie adaxial, patrón de distribución frecuente en especies de la familia Solanaceae (Adedeji et al., 2007; Galmés et al., 2013).

Tabla 12

Recuento de estomas y células anexas en el cultivo mejorado de Challabamba, cultivo de aguaymanto P. peruviana.

RECUENTO DE ESTOMAS Y CELULAS ANEXAS EN EL CULTIVO MEJORADO DE CHALLABAMBA, CULTIVO DE AGUAYMANTO *Physalis peruviana* L.		
EPIDERMIS	ESTOMAS mm2	CELULAS ANEXAS
ADAXIAL	70	425
INDICE ESTOMATICO	14.14%	
ABAXIAL	150	516
INDICE ESTOMATICO	22.52%	

Nota. Elaboración propia

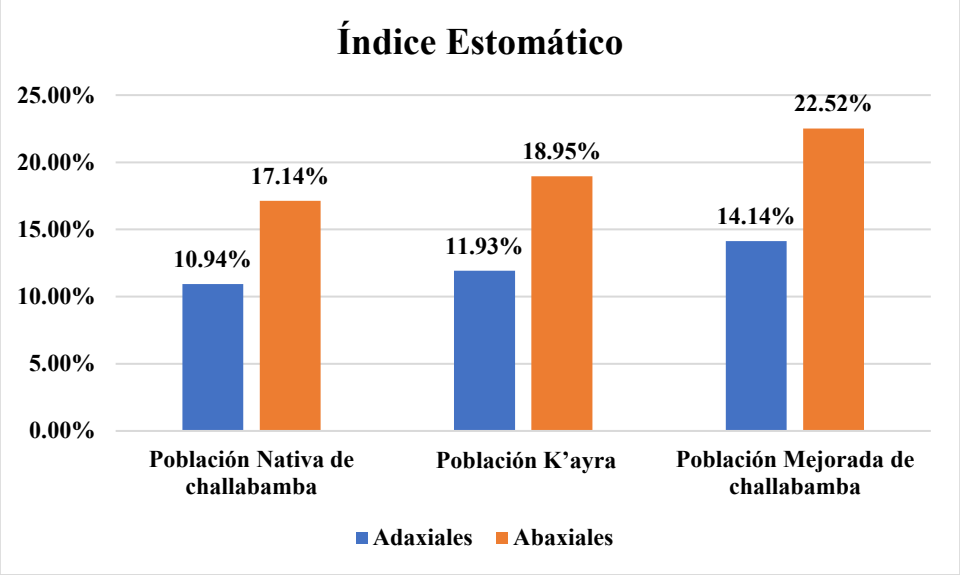
3.5.2 Comparación Cuantitativa

La comparación cuantitativa evidenció variación fenotípica en los caracteres estomáticos de los materiales de *P. peruviana* evaluados. El cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor índice estomático tanto adaxial (14.14 %) como abaxial (22.52 %), seguido del cultivo K'ayra (11.93%) (18.95%) y del cultivo nativo de Challabamba (10.94%) (17.14%).

Asimismo, se observaron diferencias en la densidad y distribución de los estomas entre las superficies adaxial y abaxial de los materiales evaluados. Estas diferencias pueden estar influenciadas por las condiciones ambientales de las localidades de procedencia, debido a que factores como la disponibilidad hídrica, la temperatura, la radiación y la concentración de CO_2 pueden afectar el desarrollo y funcionamiento estomático (Pillitteri & Torii, 2012; Xu et al., 2016). Debido a que los materiales no fueron evaluados bajo condiciones ambientales homogéneas o controladas, no es posible atribuir las diferencias observadas directamente a procesos de adaptación o a diferencias genéticas. En consecuencia, los resultados evidencian variación fenotípica en los caracteres estomáticos de *P. peruviana*.

Figura 52

Índice Estomático de los tres cultivos de P. peruviana.



Nota. Elaboración propia

3.6 VIABILIDAD DEL POLEN

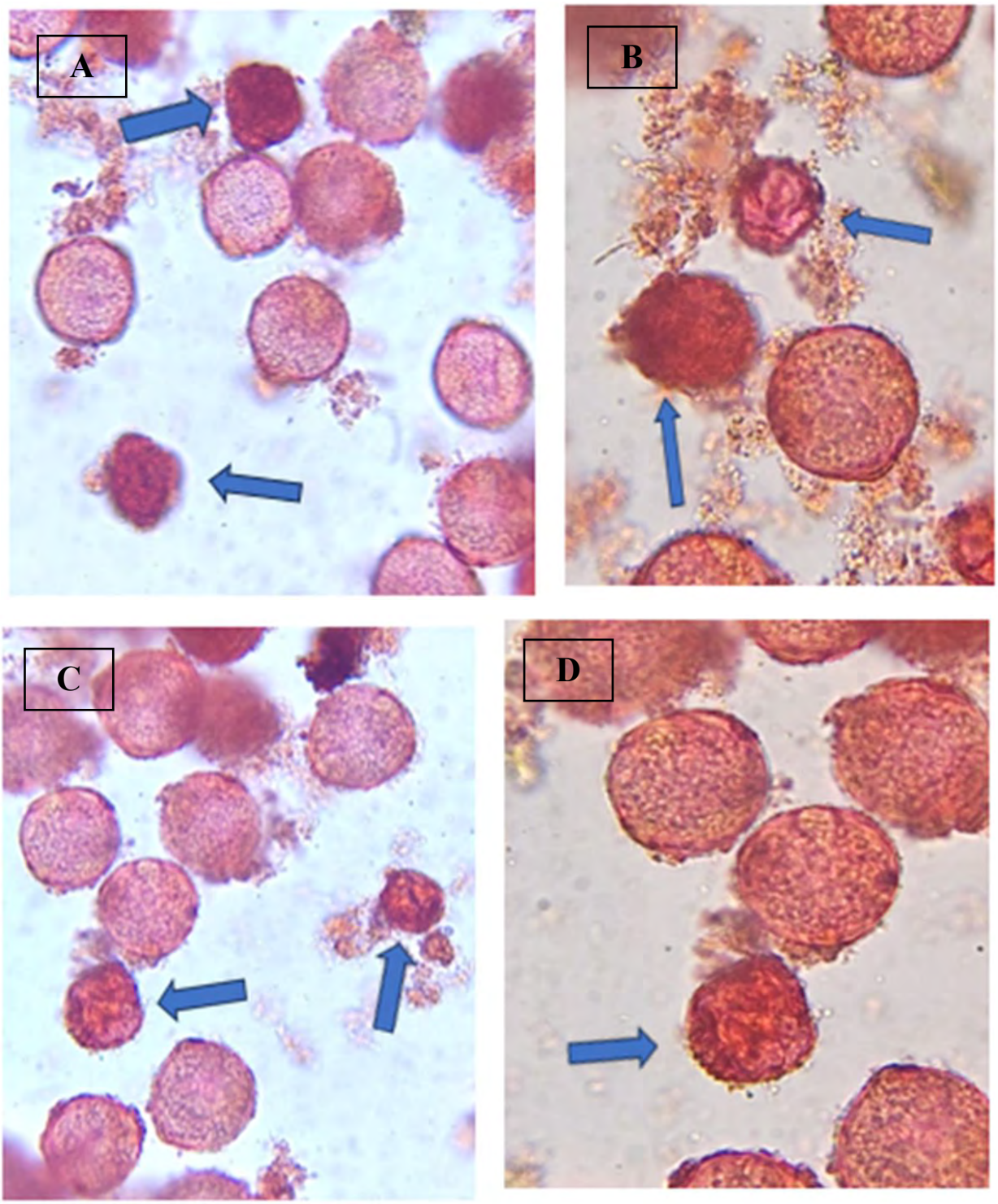
La viabilidad del polen constituye un parámetro fundamental en el estudio de la biología reproductiva de las plantas, ya que permite evaluar la capacidad de los granos de polen para germinar, desarrollar tubos polínicos funcionales y llevar a cabo el proceso de fecundación. Este indicador refleja el estado fisiológico del polen y se encuentra estrechamente relacionado con el éxito reproductivo de la especie (Shivanna & Rangaswamy, 1992; Dafni, 1992).

En el caso de *P. peruviana* se evaluó la viabilidad del polen mediante tinción con carmín acético en tres cultivos: cultivo K'ayra, cultivo mejorado de Challabamba y cultivo nativo de Challabamba. Los granos de polen clasificados como viables presentaron una coloración rojiza de intensidad variable, acompañada de un contenido citoplasmático conservado, homogéneo y organizado, así como una morfología regular y paredes íntegras. Por su parte, los granos clasificados como no viables también pudieron presentar una coloración rojiza intensa; por ello, la intensidad de la tinción no se consideró un criterio determinante de manera aislada. Su clasificación se realizó considerando conjuntamente otras características, como la desorganización, reducción o ausencia del contenido citoplasmático, irregularidad del contorno, deformaciones y colapso o alteración de la estructura del grano.

En el cultivo K'ayra (Figura 71: A), los granos viables son escasos y muestran una forma subesférica con ligera contracción, conservando parcialmente la integridad de la exina. En el cultivo nativo de Challabamba (Figura 71: B), el polen abortivo exhibe mayor variabilidad morfológica, observándose granos colapsados, deformados y con plegamientos evidentes de la exina, indicando un mayor grado de aborto polínico. En el cultivo mejorado de Challabamba (Figuras 71: C y D), los granos no viables presentan una intensidad de tinción elevada y una leve reducción del tamaño, aunque mantienen una forma más regular que los observados en el cultivo nativo de Challabamba, evidenciando una menor severidad en las alteraciones estructurales. En los tres cultivos predominan ampliamente los granos de polen viables, mientras que los granos no viables aparecen de manera aislada entre ellos; las flechas azules señalan los granos de polen no viables o defectuosos, diferenciados por su coloración más intensa y sus alteraciones morfológicas.

Figura 53

Microfotografías de polen de P. peruviana.



Nota: A) cultivo K'ayra, B) cultivo nativo de Challabamba y C, D) cultivo mejorado de Challabamba. A, B, C, D, en un aumento total de 400x.

Los resultados obtenidos mediante la tinción con carmín acético evidenciaron diferencias en el porcentaje de viabilidad polínica entre los tres cultivos de *P. peruviana*

evaluados. El cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor porcentaje promedio de viabilidad, con 91.0 %, seguido del cultivo K'ayra, con 82.8 %, mientras que el cultivo nativo de Challabamba registró el menor valor, con 76.0 %.

Para determinar si las diferencias observadas entre los promedios fueron estadísticamente significativas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. El análisis mostró un valor de $p = 3.8477 \times 10^{-8}$, inferior al nivel de significancia establecido ($p < 0.05$), por lo que se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias. En consecuencia, se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas en la viabilidad polínica entre los cultivos evaluados.

Debido a que el ANOVA permite establecer la existencia de diferencias globales, pero no determina entre qué grupos se presentan dichas diferencias, se realizó posteriormente la prueba de comparación múltiple de Tukey. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en todas las comparaciones realizadas. Entre el cultivo K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba se obtuvo un valor de $p = 0.00010614$; entre K'ayra y el cultivo mejorado de Challabamba, $p = 0.00001722$; y entre el cultivo nativo y el cultivo mejorado de Challabamba, $p = 2.5445 \times 10^{-8}$. En todos los casos, los valores de p fueron inferiores a $\alpha = 0.05$, evidenciando diferencias significativas entre cada par de cultivos.

En términos descriptivos, el cultivo mejorado de Challabamba presentó la mayor viabilidad polínica (91.0 %), seguido del cultivo K'ayra (82.8 %) y del cultivo nativo de Challabamba (76.0 %). Los resultados de la prueba de Tukey respaldan estadísticamente este orden, debido a que las diferencias entre los tres cultivos fueron significativas. Por tanto, el cultivo mejorado presentó una proporción significativamente mayor de granos de polen viables respecto al cultivo K'ayra y al cultivo nativo, mientras que el cultivo K'ayra presentó una proporción significativamente mayor que el cultivo nativo.

Asimismo, la variabilidad de los datos, expresada mediante la desviación estándar y el coeficiente de variación, fue relativamente baja en los tres cultivos. El cultivo mejorado de Challabamba presentó el menor coeficiente de variación (0.017), seguido del cultivo nativo de Challabamba (0.021) y del cultivo K'ayra (0.023). Estos resultados indican una relativa homogeneidad de las mediciones obtenidas dentro de cada grupo evaluado. Sin embargo, esta menor variabilidad debe interpretarse como una característica de los datos obtenidos en las repeticiones analizadas y no como evidencia de uniformidad genética de los cultivos.

Tabla 13

Viabilidad de polen (%) de los tres cultivos de P. peruviana.

Repetición	Cultivo K'ayra (%)	Cultivo mejorado de Challabamba (%)	Cultivo nativo de Challabamba (%)
1	82	91	75
2	85	89	78
3	80	92	74
4	83	90	76
5	84	93	77
Promedio	82.8	91	76
Desv Estándar	1.92	1.58	1.58
Coef Variación	0.023	0.017	0.021

Nota. Elaboración propia

Tabla 14

Resultados del análisis estadístico de la viabilidad polínica de los tres cultivos de P. peruviana.

Comparación	p-valor	α = 0.05	Interpretación
ANOVA: tres cultivos	3.8477×10^{-8}	0.05	**Diferencias significativas**
K'ayra vs. Nativo	0.00010614	0.05	**Diferencia significativa**
K'ayra vs. Mejorado	0.00001722	0.05	**Diferencia significativa**
Nativo vs. Mejorado	2.5445×10^{-8}	0.05	**Diferencia significativa**

Nota. Elaboración propia

El cultivo K'ayra presentó una viabilidad polínica promedio de 82.8 %, ocupando una posición intermedia entre los materiales evaluados. La diferencia observada respecto al cultivo mejorado y al cultivo nativo de Challabamba fue estadísticamente significativa según la prueba de Tukey. Este resultado evidencia que, bajo las condiciones en las que se realizó la evaluación, la proporción de granos de polen considerados viables mediante la tinción empleada fue diferente entre este cultivo y los otros dos materiales.

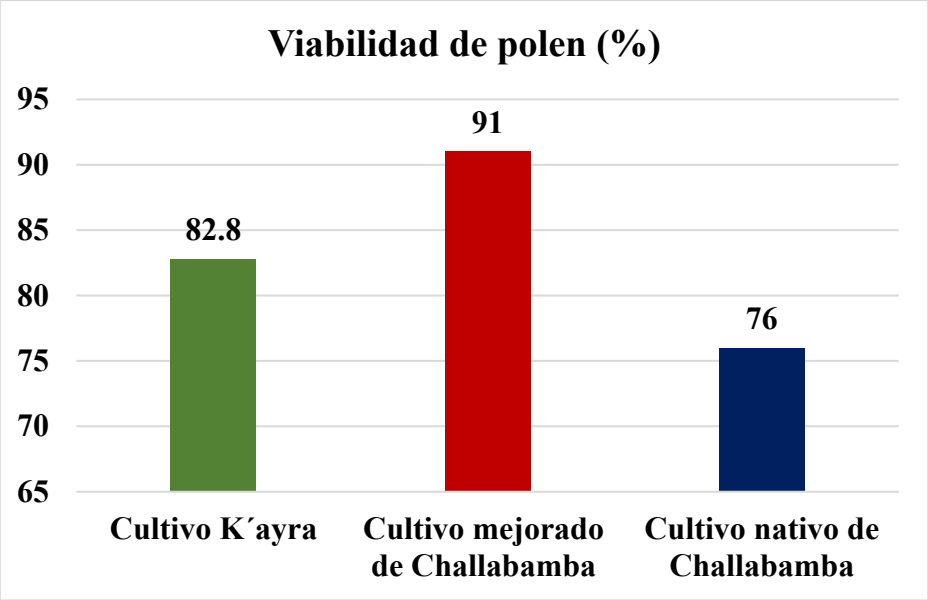
Por su parte, el cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor porcentaje promedio de viabilidad polínica, alcanzando 91.0 %. La diferencia respecto al cultivo K'ayra y al cultivo nativo de Challabamba fue estadísticamente significativa. Este resultado indica que el cultivo mejorado presentó una mayor proporción de granos de polen viables bajo las condiciones de evaluación. No obstante, este resultado debe interpretarse específicamente

como una mayor viabilidad determinada mediante la metodología de tinción utilizada y no necesariamente como evidencia directa de una mayor capacidad de germinación, fecundación o productividad, debido a que dichos procesos no fueron evaluados experimentalmente en el presente estudio.

En contraste, el cultivo nativo de Challabamba presentó el menor porcentaje de viabilidad polínica, con 76.0 %, mostrando diferencias significativas respecto al cultivo K'ayra y al cultivo mejorado de Challabamba. La menor proporción de granos viables observada en este material podría estar relacionada con las características propias del material vegetal y con las condiciones ambientales o de manejo durante el desarrollo de las plantas; sin embargo, el presente estudio no permite determinar la contribución específica de factores genéticos, ambientales o agronómicos sobre esta diferencia. Por ello, estas posibles explicaciones deben considerarse como hipótesis que requieren estudios adicionales.

Figura 54

Viabilidad de polen (%) de Physalis peruviana L.



Nota. Elaboración propia

Complementariamente, el análisis microscópico permitió diferenciar granos de polen viables y no viables en los tres cultivos evaluados (Figura 71). Los granos considerados viables mediante la tinción con carmín acético presentaron una coloración intensa y uniforme, mientras que los granos considerados no viables presentaron una coloración tenue o ausente. Estas características permitieron realizar la diferenciación y cuantificación de los granos viables y no viables de acuerdo con el criterio establecido en la metodología.

La proporción de granos viables observada microscópicamente fue concordante con los porcentajes obtenidos mediante el análisis cuantitativo. El cultivo mejorado de Challabamba presentó la mayor proporción de granos viables, seguido del cultivo K'ayra, mientras que el cultivo nativo presentó la menor proporción. Esta tendencia fue respaldada por el análisis estadístico, que evidenció diferencias significativas entre los tres cultivos.

En conjunto, los resultados muestran que la viabilidad polínica difirió significativamente entre los tres cultivos de *P. peruviana* estudiados. El cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor porcentaje de viabilidad (91.0 %), seguido de K'ayra (82.8 %) y del cultivo nativo de Challabamba (76.0 %), y las diferencias entre cada uno de estos materiales fueron estadísticamente significativas según la prueba de Tukey. Estos resultados evidencian variación en la viabilidad polínica entre los materiales evaluados. Sin embargo, debido a que la evaluación se realizó mediante tinción con carmín acético y no se efectuaron ensayos de germinación in vitro ni pruebas de fecundación, los resultados deben interpretarse como una estimación de la viabilidad polínica y no como una medida directa de la capacidad germinativa, éxito reproductivo o potencial productivo de los cultivos.

Tabla 15

Recuento de granos de polen viables en tres cultivos de Physalis peruviana L.

RECUENTO DE GRANOS DE POLEN VIABLES EN TRES CULTIVOS DE AGUAYMANTO, *Physalis peruviana* L. (n=200)		
Cultivo K'ayra	**Cultivo nativo de Challabamba**	**Cultivo mejorado de Challabamba**
164	150	182
170	156	178
160	148	184
166	152	180
168	154	186

Nota: Granos de polen normales

Tabla 16

Recuento de granos de polen no viables en tres cultivos de Physalis peruviana L.

RECUENTO DE GRANOS DE POLEN NO VIABLES EN TRES CULTIVOS DE AGUAYMANTO, *Physalis peruviana* L. (n=200)		
Cultivo K'ayra	**Cultivo nativo de Challabamba**	**Cultivo mejorado de Challabamba**
36	50	18
30	44	22
40	52	16
34	48	20
32	46	14

Nota: Granos de polen no viables

Las Tablas 13 y 14 muestran los resultados del recuento de granos de polen utilizados para la estimación indirecta de la viabilidad polínica de *P. peruviana* mediante tinción con carmín acético. Se evaluaron tres cultivos: cultivo K'ayra, cultivo nativo de Challabamba y cultivo mejorado de Challabamba. Para cada uno se realizaron cinco repeticiones de 200 granos de polen, alcanzándose un total de 1 000 granos por cultivo y 3 000 granos en el conjunto de la investigación.

En el cultivo K'ayra se registraron 828 granos de polen considerados viables y 172 no viables, correspondientes al 82,8 % y 17,2 %, respectivamente. En el cultivo nativo de Challabamba se contabilizaron 760 granos viables y 240 no viables, equivalentes al 76,0 % y 24,0 %. Por su parte, el cultivo mejorado de Challabamba presentó 910 granos viables y 90 no viables, correspondientes al 91,0 % y 9,0 %, respectivamente.

La comparación entre los materiales evaluados evidencia diferencias en los porcentajes de viabilidad polínica estimada. El cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor

porcentaje (91,0 %), seguida del cultivo K'ayra (82,8 %) y cultivo nativo de Challabamba (76,0 %). Considerando conjuntamente los tres cultivos, se contabilizaron 2 498 granos viables de un total de 3 000, obteniéndose una viabilidad polínica estimada global de 83,27 %.

En términos generales, los resultados evidencian un alto porcentaje de viabilidad polínica estimada en los cultivos evaluados de *P. peruviana*.

3.7 DISCUSIÓN

3.7.1 ANALISIS MORFOLOGICO.

La morfología analítica descrita para *Physalis peruviana* L. muestra una alta coherencia con las descripciones clásicas de la familia Solanaceae, aunque también evidencia variaciones cuantitativas y adaptativas que han sido señaladas por diversos autores en distintos contextos ecológicos. En este sentido, el hábito de crecimiento erguido a ascendente, con tendencia ocasional rastrera y ramificación difusa desde la base, coincide con lo reportado por Madriñan (2010), quienes describen a las especies del género *Physalis* como sufruticosas o herbáceas perennes con marcada plasticidad estructural, especialmente en ambientes perturbados.

Asimismo, la presencia de tallos robustos, parcialmente lignificados en la base y con pubescencia densa de tricomas simples eglandulares, concuerda con lo indicado por Săvulescu y Hoza (2011), quien señala que el indumento en Solanaceae cumple funciones defensivas frente a herbívoros y estrés ambiental. Sin embargo, la densidad reportada en esta descripción (50–80 tricomas/cm²) resulta superior a la mencionada por Fischer (2012), lo que sugiere una posible respuesta adaptativa a condiciones altoandinas, como radiación intensa o baja humedad.

En relación con la morfología del tallo, la condición cilíndrica a ligeramente angular, con entrenudos largos y ramificación dicotómica, se alinea con lo descrito por Rodrigues (2011), aunque este autor enfatiza una menor variabilidad en el diámetro basal. La presencia de tallos huecos en los ápices también ha sido documentada como una estrategia para optimizar el transporte de sustancias y reducir costos estructurales en tejidos jóvenes (Legge, 1974).

Las hojas simples, alternas y espiraladas con ángulo de divergencia cercano al ángulo áureo (~137°) representan un patrón filotáctico eficiente, ampliamente reconocido en plantas vasculares descrito por Thepsithar y Thongpukdee (2013) y Bhat et al. (2018). La variabilidad en la forma de la lámina (ovada, elíptica, lanceolada) coincide con lo reportado por Săvulescu y Hoza (2011), quien destaca la plasticidad foliar de *Physalis peruviana* en función de factores ambientales como luz y disponibilidad hídrica. La pubescencia diferencial entre superficies

adaxial y abaxial también ha sido interpretada como una adaptación para reducir la transpiración y proteger los estomas, lo cual es consistente con ambientes de alta radiación.

Las características florales descritas, flores solitarias axilares, corola amarilla con máculas púrpuras, androceo epipétalo y gineceo bicarpelar, son diagnósticas del género, como lo confirma Bhat et al. (2018). No obstante, la cuantificación precisa del diámetro floral y la intensificación cromática ontogenética aportan un nivel de detalle poco abordado en estudios clásicos, lo que representa un valor añadido en términos de caracterización fenotípica.

El sistema radical pivotante con desarrollo lateral superficial concuerda con lo descrito por Fischer (2012), quien destaca la adaptación de esta especie a suelos pobres mediante una estrategia de exploración horizontal. Sin embargo, la profundidad relativamente limitada (25–40 cm) observada en esta descripción podría estar asociada a condiciones edáficas específicas de suelos andinos, donde la materia orgánica se concentra en horizontes superficiales.

Finalmente, el fruto tipo baya envuelto por un cáliz acrescente inflado constituye uno de los caracteres más distintivos del género *Physalis*, ampliamente documentado por Rodrigues (2011). La variación en coloración y brillo del epicarpio en función de la exposición solar coincide con observaciones de Fischer (2012), quien relaciona estos cambios con la acumulación de carotenoides y compuestos fenólicos.

En conjunto, la descripción presentada no solo se ajusta a los parámetros morfológicos establecidos en la literatura, sino que también amplía el conocimiento existente mediante la incorporación de datos cuantitativos detallados y evidencia de plasticidad fenotípica, lo cual es clave para comprender la adaptación de *Physalis peruviana* a ambientes andinos específicos.

3.7.2 ANÁLISIS ANATÓMICO.

La organización anatómica de la hoja de *Physalis peruviana* descrita en el presente estudio coincide en términos generales con los patrones típicos reportados para la familia Solanaceae, caracterizada por presentar epidermis uniestratificadas, hojas dorsiventrales y haces vasculares bicollaterales, la presencia de una epidermis adaxial y abaxial monoestratificada con cutícula delgada concuerda con lo descrito por Thepsithar y Thongpukdee (2013) y Bhat et al. (2018), quienes señalan que muchas dicotiledóneas mesofíticas presentan este tipo de organización como adaptación a condiciones intermedias de humedad.

La variación en el grosor entre la epidermis adaxial y abaxial observada en este estudio también ha sido documentada en otras especies del género *Physalis*, donde la epidermis abaxial tiende a ser más delgada y funcionalmente más activa en el intercambio gaseoso (Martínez et

al., 2013). En este sentido, la condición anfiestomática encontrada, con predominancia estomática en la cara abaxial, coincide con lo reportado por Fahn (1990), quien indica que esta distribución es común en especies expuestas a alta radiación, optimizando la fotosíntesis y reduciendo la pérdida excesiva de agua.

Respecto al tipo estomático, la presencia de estomas anomocíticos y anisocíticos es consistente con lo reportado para Solanaceae (Silva & Agra, 2005), aunque algunos autores como Barboza et al. (2016) destacan que el predominio de uno u otro tipo puede tener valor taxonómico dentro del grupo. La densidad estomática mayor en la epidermis abaxial (120–150 estomas/mm²) en comparación con la adaxial (50–70 estomas/mm²) coincide con lo observado en especies adaptadas a ambientes de alta radiación y altitud, como menciona Bhat et al. (2018), sugiriendo un control fisiológico eficiente del balance hídrico.

El indumento foliar descrito, compuesto por tricomas tectores y glandulares, también es característico del género *Physalis* y de muchas Solanáceas (Săvulescu & Hoza, 2011). La presencia de tricomas glandulares capitados ha sido asociada con funciones defensivas y producción de metabolitos secundarios (Glas et al., 2012; Silva et al., 2015) , lo cual podría relacionarse con la adaptación de *P. peruviana* a condiciones ambientales adversas y presión biótica.

En cuanto al mesófilo, la estructura bifacial con parénquima en empalizada ocupando aproximadamente el 60% del mesófilo y parénquima esponjoso el 40% coincide con lo descrito por Thepsithar y Thongpukdee (2013), quien señala que esta proporción favorece una alta eficiencia fotosintética. La presencia de drusas de oxalato de calcio en el parénquima esponjoso es un rasgo ampliamente reportado en Solanaceae (Săvulescu & Hoza, 2011), asociado a funciones de regulación iónica y defensa contra herbívoros.

La anatomía del nervio medio, con haces vasculares bicolaterales y presencia de floema interno y externo, es consistente con lo descrito por Bhat et al. (2018), quienes consideran esta característica como diagnóstica de la familia. Asimismo, la diferenciación del protoxilema y metaxilema observada en este estudio coincide con lo señalado por Evert (2006), indicando un desarrollo vascular típico de dicotiledóneas herbáceas.

En el pecíolo, la disposición de los haces vasculares en arco abierto y la presencia de haces accesorios concuerdan con lo reportado por Bhat et al. (2018), quien destaca que esta configuración permite mayor flexibilidad mecánica y eficiencia en la conducción. La presencia de colénquima subepidérmico y parénquima cortical con almidón también ha sido descrita en otras Solanáceas (Dickison, 2000), sugiriendo funciones de soporte y reserva.

El tallo presenta una eustela con haces bicolaterales dispuestos en anillo, lo cual coincide con lo descrito por Săvulescu y Hoza (2011), para dicotiledóneas avanzadas. La presencia de crecimiento secundario temprano mediante cambium vascular también ha sido reportada en especies de *Physalis* (Zamora-Tavares et al., 2015), indicando una estrategia adaptativa para reforzar la conducción en condiciones ambientales variables.

Finalmente, la anatomía de la raíz, con estela poliarca, presencia de exodermis suberizada, coincide con lo descrito por Rodrigues (2011), quienes señalan que estas estructuras son fundamentales para el control del flujo de agua y solutos. La formación de xilema secundario y la presencia de drusas también han sido documentadas en raíces de Solanaceae (Franceschi & Nakata, 2005), reforzando la consistencia de los resultados obtenidos.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que *P. peruviana* presenta una anatomía coherente con los patrones estructurales de Solanaceae, aunque con variaciones cuantitativas como densidad estomática, proporción de mesófilo y desarrollo de tricomas (Bhat et al., 2018; Rodrigues, 2011), que podrían interpretarse como adaptaciones a condiciones ecológicas específicas, particularmente ambientes de altitud andina (Fischer et al., 2024). Estas diferencias coinciden con lo señalado por Larcher (2003), quien indica que las plantas de altura desarrollan modificaciones anatómicas que optimizan la fotosíntesis y reducen el estrés hídrico.

3.7.3 VIABILIDAD POLINICA.

La viabilidad polínica estimada mediante tinción constituye un indicador indirecto de la integridad citoplasmática de los granos de polen, permitiendo diferenciar aquellos que presentan afinidad por el colorante de aquellos con tinción reducida o ausente. En el presente estudio, los porcentajes estimados de viabilidad polínica obtenidos para *Physalis peruviana* L. fueron del 76,0 al 91,0 % (superan el 70%) y se encuentran dentro del rango reportado para diversas especies de la familia Solanaceae evaluadas mediante métodos de tinción (Kearns & Inouye, 1993; Shivanna & Rangaswamy, 1992). Estos resultados evidencian diferencias en la proporción de granos con tinción positiva entre los cultivos evaluados; sin embargo, deben interpretarse como una estimación indirecta de la viabilidad polínica, sin inferir de manera directa la capacidad germinativa o el desempeño reproductivo del polen.

El cultivo mejorado de Challabamba, con una viabilidad promedio de 91.0%, mostró un **desempeño superior** en comparación con las demás. Este resultado coincide con lo señalado por Frankel et al. (1995), quienes indican que los procesos de selección y mejoramiento genético tienden a incrementar la viabilidad del polen como consecuencia de la

selección indirecta de caracteres reproductivos favorables. Asimismo, Taiz et al. (2015) destacan que altos niveles de viabilidad del polen están directamente relacionados con una mayor eficiencia en la germinación y el crecimiento del tubo polínico, lo cual incrementa la probabilidad de fecundación y, por ende, la producción de frutos. En este sentido, el alto porcentaje observado en el cultivo mejorado de Challabamba podría estar relacionado a su mayor potencial productivo, coincidiendo con estudios en cultivos solanáceos donde la viabilidad del polen se correlaciona positivamente con el rendimiento (Sato et al., 2002).

Por otro lado, el cultivo K'ayra presentó una viabilidad intermedia (82.8%), pero con una **notable uniformidad** entre repeticiones. Este comportamiento sugiere una estabilidad fisiológica y genética, lo cual es consistente con lo descrito por Allard (1999) quien menciona que las poblaciones con menor variabilidad fenotípica en caracteres reproductivos tienden a mostrar mayor estabilidad en diferentes condiciones ambientales. Asimismo, en *Physalis peruviana*, Garzón-Martínez et al. (2015) y Bonilla et al. (2019) evidenciaron variación genética entre poblaciones y accesiones, así como diferentes niveles de homogeneidad genética. Estos antecedentes permiten considerar que la uniformidad observada en el cultivo K'ayra podría estar asociada, al menos parcialmente, con características genéticas de la población. Además, Dafni (1992) señala que valores de viabilidad superiores al 80% son considerados adecuados para asegurar una polinización efectiva en la mayoría de especies entomófilas. En *P. peruviana* Lagos et al. (2005) y Grisales et al. (2010) reportaron una viabilidad promedio de 80,43 % y valores de viabilidad entre 54,12 y 98,82 % bajo condiciones ambientales contrastantes y señalaron que este valor se encontraba dentro de los rangos normales para la especie. Por lo tanto, el cultivo K'ayra puede considerarse funcionalmente eficiente, aunque no tan sobresaliente como el cultivo mejorado de Challabamba.

En contraste, el cultivo nativo de Challabamba presentó la menor viabilidad del polen (76.0%), junto con una mayor variabilidad en sus valores. Este comportamiento podría estar relacionado con su origen genético menos intervenido y su adaptación a condiciones ambientales específicas. Según Larcher (2003), las plantas adaptadas a ambientes particulares pueden mostrar variabilidad en sus procesos reproductivos debido a la influencia de factores ambientales como temperatura, radiación y disponibilidad hídrica. Asimismo, Shivanna y Johri (1985) indican que la viabilidad del polen puede verse afectada por condiciones de estrés, lo cual podría explicar la menor eficiencia observada en este cultivo.

Las diferencias entre cultivos evidencian la existencia de variabilidad genética dentro de *Physalis peruviana*, lo cual coincide con lo reportado por Lagos et al. (2008), quienes encontraron una amplia diversidad genética en poblaciones de aguaymanto en los Andes. Esta

variabilidad es fundamental para los programas de mejoramiento genético, ya que permite seleccionar genotipos con características superiores, incluyendo una mayor viabilidad del polen. En este contexto, Acquaah (2012) destaca que la viabilidad del polen es un criterio importante en la selección de materiales parentales, debido a su influencia directa en la producción de semillas y frutos. Adicionalmente, los altos valores de viabilidad polínica registrados en este estudio, podrían estar asociados a una mayor productividad, tal como ha sido reportado en otras especies agrícolas. Sato et al. (2002) demostraron que una alta viabilidad del polen en tomate (también perteneciente a Solanaceae) se traduce en un mayor cuajado de frutos, especialmente bajo condiciones ambientales favorables. De manera similar, Kearns y Inouye (1993) señalan que la calidad del polen es un factor determinante en el éxito reproductivo, incluso en presencia de polinizadores eficientes.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la viabilidad del polen es un parámetro sensible para evaluar el potencial reproductivo de los cultivos de aguaymanto. La superioridad del cultivo mejorado de Challabamba sugiere que ha sido favorecida por procesos de selección, mientras que la estabilidad del cultivo de K'ayra la posiciona como una alternativo confiable. Por su parte, el cultivo nativo de Challabamba, aunque presenta menor viabilidad, representa una fuente importante de diversidad genética y posibles adaptaciones locales, lo cual coincide con lo señalado por Frankel et al. (1995) sobre la importancia de conservar germoplasma nativo.

En conclusión, los tres cultivos de *P. peruviana* evaluados en las localidades de K'ayra y Challabamba presentaron porcentajes diferenciados de viabilidad polínica estimada mediante tinción con carmín acético. El cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor porcentaje promedio (91,0 %), seguido del cultivo K'ayra (82,8 %) y del cultivo nativo de Challabamba (76,0 %). El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los cultivos ($p = 3{,}8477 \times 10^{-8}$; $\alpha = 0{,}05$). Asimismo, la prueba de comparación múltiple de Tukey mostró diferencias estadísticamente significativas entre K'ayra y el cultivo nativo de Challabamba ($p = 0{,}00010614$), entre K'ayra y el cultivo mejorado de Challabamba ($p = 0{,}00001722$), y entre el cultivo nativo y el cultivo mejorado de Challabamba ($p = 2{,}5445 \times 10^{-8}$). Por tanto, los tres cultivos presentaron diferencias significativas entre sí en el porcentaje de viabilidad polínica estimada mediante la metodología empleada. Estos resultados respaldan estadísticamente la variación observada entre los materiales evaluados y evidencian que la tinción con carmín acético permitió realizar una estimación comparativa de la viabilidad polínica en los cultivos estudiados.

CONCLUSIONES

1. La caracterización morfológica de *Physalis peruviana* L., realizada mediante la evaluación de 32 descriptores cuantitativos en 40 unidades muestrales procedentes de las localidades de K'ayra y Challabamba, permitió describir las principales variaciones morfológicas externas de los tres cultivos estudiados. Se observaron diferencias en caracteres relacionados con el hábito de crecimiento, dimensiones del tallo, hojas, pecíolos, flores, frutos y sistema radical, evidenciando una variabilidad morfológica intraespecífica. Los análisis fenéticos, mediante el método UPGMA basado en distancias euclidianas y el análisis de componentes principales, permitieron diferenciar claramente el cultivo mejorado de Challabamba del cultivo nativo de Challabamba y el cultivo de K'ayra, las cuales presentaron una mayor afinidad morfológica entre sí. Esta diferenciación fue consistente en los diferentes órganos evaluados, siendo los caracteres asociados al tamaño de los órganos vegetativos y reproductivos, así como el peso, dimensiones y número de semillas del fruto, los de mayor poder discriminante. Asimismo, el elevado coeficiente de correlación cofenética obtenido en el análisis general ($r = 0.9966$) confirmó la confiabilidad del agrupamiento, demostrando que la caracterización morfológica constituye una herramienta útil para la diferenciación fenotípica y la identificación de cultivos de *P. peruviana*.
2. El análisis anatomohistológico de los órganos vegetativos de *Physalis peruviana* L. permitió caracterizar la organización interna de hojas, pecíolos, tallos y raíces de los cultivos procedentes de K'ayra y Challabamba, identificándose caracteres anatómicos diagnósticos propios de la especie. Entre ellos destacan la lámina foliar anfiestomática con estomas anisocíticos y anomocíticos, epidermis uniseriada de paredes sinuosas, mesófilo dorsiventral con parénquima en empalizada y esponjoso, nervadura central biconvexa con haz vascular bicolateral, pecíolo subrectangular con proyecciones laterales, tallo pentagonal irregular con sistema vascular anfiflóico sifonostélico y abundantes cristales prismáticos de oxalato de calcio, así como una raíz con estructura circular y sistema vascular sifonostélico. En conjunto, estos caracteres anatomohistológicos constituyen atributos de valor taxonómico que complementan la caracterización morfológica de la especie y proporcionan información útil para su identificación, diferenciación fenotípica y futuras investigaciones anatómicas dentro del género *Physalis*.

3. La evaluación de la viabilidad polínica de *P. peruviana* mediante mediante la técnica de tinción con carmín acético, permitió estimar y comparar la proporción de granos de polen viables en los tres cultivos estudiados. El cultivo mejorado de Challabamba presentó el mayor porcentaje promedio de viabilidad polínica (91,0 %), seguido del cultivo K'ayra (82,8 %) y del cultivo nativo de Challabamba (76,0 %). El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tres cultivos ($p = 3{,}8477 \times 10^{-8}$; $\alpha = 0{,}05$), mientras que la prueba de comparación múltiple de Tukey confirmó diferencias significativas entre cada par de cultivos evaluados. Asimismo, los coeficientes de variación obtenidos entre las cinco repeticiones fueron bajos, lo que indica una relativa homogeneidad de los valores registrados dentro de cada cultivo. En conjunto, los resultados evidencian diferencias estadísticamente significativas en la viabilidad polínica estimada mediante tinción con carmín acético entre los materiales evaluados, siendo el cultivo mejorado de Challabamba el que presentó el mayor porcentaje y el cultivo nativo de Challabamba el menor. Estos resultados demuestran que los tres cultivos presentan una alta viabilidad polínica estimada mediante tinción con carmín acético.

RECOMENDACIONES

1. Aprovechar la plasticidad morfológica de *P. peruviana* para su cultivo en distintos pisos ecológicos andinos, seleccionando ambientes donde exprese mejor su crecimiento y rendimiento.
2. Incorporar el análisis del indumento (tricomas) como criterio de selección en programas de mejoramiento, debido a su papel en la protección contra estrés biótico y abiótico.
3. Priorizar el cultivo mejorado de Challabamba en sistemas de producción intensiva, debido a su mayor divergencia morfométrica y superior desempeño agronómico.
4. Seleccionar cultivos con alta viabilidad de polen en programas productivos, especialmente el cultivo mejorado de Challabamba, para asegurar mayores rendimientos.
5. Revalorizar el cultivo nativo de Challabamba como recurso genético, enfocándose en su conservación y uso en cruzamientos para introducir resiliencia ambiental.
6. Fomentar estudios de diversidad genética intraespecífica, para fortalecer estrategias de conservación y adaptación al cambio climático.
7. Integrar enfoques multidisciplinarios (morfológicos, anatómicos, fenéticos y reproductivos) en investigación y producción, para mejorar la toma de decisiones en manejo agronómico y programas de mejoramiento.
8. Debido a la escasa información existente sobre la morfología y palinología de los granos de polen de *P. peruviana* especialmente en materiales cultivados en el Perú y la región del Cusco, se recomienda que futuras investigaciones desarrollen una caracterización morfológica detallada del polen mediante técnicas especializadas como la acetólisis de Erdtman, microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (MEB). Estas metodologías permitirán describir con precisión los caracteres palinológicos de la especie y generar información de utilidad para estudios taxonómicos y sistemáticos.
9. Se recomienda que futuras investigaciones complementen la estimación de la viabilidad polínica mediante tinción con carmín acético con ensayos de germinación del tubo polínico *in vitro*, a fin de evaluar la capacidad germinativa del polen bajo condiciones controladas y obtener información complementaria sobre la funcionalidad reproductiva de los cultivos estudiados.

ANEXOS

- Certificado de determinación taxonómica de *Physalis Peruviana* L.
- Permiso de obtención y uso de *Physalis peruviana* L. por parte del INIA
- Permiso de obtención y uso de *Physalis peruviana* L. por parte del SERFOR

DESCRIPTORES MÍNIMOS para *Physalis spp*. propuestos por Daunay et al., (2013). ECPGR: Programa cooperativo europeo de recursos fitogenéticos.

Numero	Nombre del descriptor	Estado del descriptor
1	Hábito de la planta	1. Postrado 2. Intermedio 3. Erecto
2	Característica del tallo	0. Desnudo 1. Peludo
3	Diámetro de la flor (cm)	1. < 2cm 2. 2-3 cm 3. > 3 cm
4	Diámetro del cáliz (cm)	Promedio de 10 frutos maduros.
5	Diámetro del fruto (cm)	Promedio de 10 frutos maduros.
6	Peso del fruto (g)	Promedio de 10 frutos maduros.
7	Forma del fruto	1. Redondo 2. Elíptico 3. Plano 4. Estriado
8	Color del fruto maduro	1. Verdoso 2. Amarillo 3. Naranja 4. Morado (al exponerse a la luz)
9	Fotografía	Registro visual de frutos con su cáliz.
10	Notas - Observaciones	Información adicional no cubierta por los demás descriptores.

PANEL FOTOGRÁFICO DE MEDICIONES MORFOMÉTRICAS *IN SITU*

Figura 55 *Toma de datos de la caracterización morfológica in situ.*



Figura 56 *Medición de la altura de la planta.*



Figura 57 *Medición del ancho del tallo de la planta.*



Figura 58 *Comparación del ancho de la hoja de la planta.*



Figura 59 *Medición del ancho de la hoja de la planta.*



Figura 60 *Medición de longitud entrenudos de la planta.*



Figura 61 *Medición del ancho de la flor en la planta.*



Figura 62 *Medición de longitud de la hoja de la planta.*



Figura 63 *Obtención, Medición y Comparación de los frutos de P. peruviana.*





Figura 64 *Toma de datos de la caracterización morfológica in situ.*



Figura 65 *Medición de la Longitud del peciolo de la planta.*



Figura 66 *Medición de la Longitud de las hojas maduras de la planta*



Figura 67 *Medición del Ancho de las hojas maduras de la planta*



Figura 68 *Medición de la longitud de entrenudos de la planta*



Figura 69 *Medición del Ancho del tallo secundario de la planta*



Figura 70 *Medición del Ancho del peciolo de la planta*



Figura 71 *Medición de la longitud de las flores de la planta*



PANEL FOTOGRÁFICO DE LAS MEDICIONES MORFOMÉTRICAS DE FRUTOS DE *PHYSALIS PERUVIANA* L.

Figura 72

Peso de caliz acrecenté con fruto



Figura 73

Comparación de frutos de los tres cultivos de P. peruviana (longitud, color, diámetro y forma).



Figura 74

Frutos de los tres cultivos de P. peruviana (Mejorado, K'ayra y Nativo)



Figura 75

Pesaje de frutos de P. peruviana.



BIBLIOGRAFIA

Acquaah, G. (2012). *Principles of Plant Genetics and Breeding* (2nd ed.). Oxford: Wiley-Blackwell. https://goo.su/ljsL6ui

Adedeji, O., Ajuwon, O. Y., & Babawale, O. O. (2007). Foliar epidermal studies, organography distribution and taxonomic importance of trichomes in the family Solanaceae. International Journal of Botany, 3(3), 276–282. https://doi.org/10.3923/IJB.2007.276.282

Agraria.pe. (2021, 4 de mayo). *Exportaciones peruanas de aguaymanto alcanzaron las 288 toneladas por US$ 2.659.000 en 2020.* https://agraria.pe/noticias/exportaciones-peruanas-de-aguaymanto-alcanzaron-las-288-tone-24284

Aguilar, M. G., & Carolina, F. (2018). Evaluación preliminar de la morfología de frutos *Physalis peruviana* L. ecotipo Yungay (Ancash - Perú). *Revista Doctorado UMH*, 4(1), p1–p1. https://doi.org/10.21134/doctumh.v4i1.1484

Allard, R. W. (1999). *Principles of Plant Breeding* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons. https://goo.su/qHl3Z

Alvarez Flores, C. C., Sánchez Huamán, S., Rummenhoeller, K., & Advíncula Zeballos, O. (2012). *Guía de estimación de riesgo para el distrito de Challabamba, provincia de Paucartambo - Región Cusco*. UNESCO Office Lima. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000225958

Angiosperm Phylogeny Group. (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), 1–20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

Angulo, H. S. (2018). *Sinopsis taxonómica de la familia Solanaceae Juss*. En Bogotá, distrito capital, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ciencias y Educación; Proyecto Curricular Licenciatura en Biología, 13-14. https://docslib.org/doc/1065230/sinopsis-taxon%C3%B3mica-de-la-familia-solanaceae-juss

Ari, E., Yildirim, T., Mutlu, N., Büyükalaca, S., Gökmen, Ü., & Akman, E. (2016). Comparison of different androgenesis protocols for doubled haploid plant production in ornamental pepper (*Capsicum annuum* L.). *Turk. J. Biol*, 40(4), 944–954. https://doi.org/10.3906/biy-1509-36

Ascari, L., Novara, C., Dusio, V., Oddi, L., & Siniscalco, C. (2020). Métodos cuantitativos mediante microscopía para evaluar la viabilidad del polen en diferentes taxones de plantas. *Plant Reproduction,* *33*(3–4), 205–219. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7648740/pdf/497_2020_Article_398.pdf

Autores del estudio sobre composición nutricional (2022). *Phytonutrient composition of two phenotypes of Physalis alkekengi L. fruit. Horticulturae*, 8(5), 373. https://doi.org/10.3390/horticulturae8050373

Barboza, G. E., Knapp, S., Bohs, L., & Olmstead, R. G. (2016). A taxonomic overview of the family Solanaceae. *PhytoKeys*, 63, 1–45.

Bhat, N., Jeri, L., Mipun, P., & Kumar, Y. (2018). Systematic studies (micro-morphological, leaf architectural, anatomical and palynological) of genus *Physalis* L. (solanaceae) in northeast

india. https://www.semanticscholar.org/paper/SYSTEMATIC-STUDIES-(-MICRO-MORPHOLOGICAL-%2C-LEAF-%2C-)-Bhat-Jeri/ec58d8d892ef0a22649c75dc5fb335051f50c4c7

Bombarely, A., Moser, M., Amrad, A., Bao, M., Bapaume, L., Barry, C. S., Kuhlemeier, C. (2016). Insight into the evolution of the Solanaceae from the parental genomes of *Petunia hybrida*. *Nature Plants, 2*, 16074. https://doi.org/10.1038/nplants.2016.74

Bonilla, H., Carbajal, Y., Siles, M., & López, A. (2019). Diversidad genética de tres poblaciones de *Physalis peruviana* a partir del fraccionamiento y patrón electroforético de proteínas de reserva seminal. *Revista Peruana de Biología, 26*(2), 243–250. https://me-l.co/qj5xkn1e

Boyce, R. L. (1969). Numerical taxonomy: A review. *Systematic Zoology*, 18(2), 117–130.

Brako, L., & Zarucchi, J. L. (1993). *Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms of Peru* (Monographs Series. Systematic Botany. Missouri Botanical Garden, No. 45, pp. i–xl, 1–1286). https://www.biodiversitylibrary.org/page/62031348#page/8/mode/1up

Bravo Romaina, J. M. (2021). *Elaboración de alimento extruido empleando harina de papa morada (Solanum tuberosum L. var. Vitelotte) y concentrado de aguaymanto (Physalis peruviana* L.*) con características antioxidantes* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Repositorio Institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/148b0a4b-f2bd-4246-b59f-5ac684683289

Brewbaker, J. L. (1967). The distribution and phylogenetic significance of binucleate and trinucleate pollen grains. *American Journal of Botany*, 54(9), 1069–1083. https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.1537-2197.1967.tb10735.x

Brewbaker, J. L., & Kwack, B. H. (1963). The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. *American Journal of Botany*, 50(9), 859–865. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1963.tb06564.x

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2017). *Informe de evaluación del riesgo de desastres del río Huanacaure del Centro Experimental Agronómico Kayra – Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco*. Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID). https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//15387_informe-de-evaluacion-del-riesgo-de-desastres-del-rio-huanacaure-del-centro-experimental-agronomico-kayra-universidad-nacional-san-antonio-abad-del-cu.pdf

Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., Soltis, D. E., Mabberley, D. J., Sennikov, A. N., Soltis, P. S., Stevens, P. F., Briggs, B., Brockington, S., Chautems, A., Clark, J. C., Conran, J., Haston, E., Möller, M., Moore, M., Olmstead, R., … Weber, A. (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), 1–20. https://doi.org/10.1111/BOJ.12385

Ciprian Salcedo, G. C. (2022). Niveles de Ploidía de plantas androgénicas de Aguaymanto (Physalis peruviana L.) asociado a caracteres citogenéticos y morfológicos. Universidad Nacional Agraria La Molina. https://hdl.handle.net/20.500.12996/5332

Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo. (2024). *Ficha mercado producto aguaymanto deshidratado Japón.* https://repositorio.promperu.gob.pe/items/90399075-4281-491e-acff-0b5ef224cf7e

da Silva, D. F., Pio, R., Nogueira, P. V., Silva, P. A. de O., & Figueiredo, A. L. (2017). Viabilidade polínica e quantificação de grãos de pólen em espécies de fisális. *Revista Ciencia Agronomica*, 48(2), 365–373. https://www.scielo.br/j/rca/a/5w5ZxjckZPWHTwzNZZkHN7B/?format=pdf&lang=pt

Dafni, A. (1992). *Pollination Ecology: A Practical Approach.* Oxford: Oxford University Press. https://goo.su/r5vd2gV

Dafni, A., & Firmage, D. (2000). Pollen viability and longevity: Practical, ecological and evolutionary implications. *Plant Systematics and Evolution*, 222, 113–132. https://doi.org/10.1007/BF00984098

Daunay, P., Prohens, & Van Dooijeweert. (2013). *Minimum descriptors for Pepino, Groundcherry and Tree Tomato*. ECPGR, 9–9. https://www.ecpgr.org/fileadmin/templates/ecpgr.org/upload/NW_and_WG_UPLOADS/Solanaceae_Miscc/Descriptors_minor_crops_NEW_for_Web_22022013.pdf

Dickison, W. C. (2000). *Integrative Plant Anatomy*. San Diego: Academic Press. https://goo.su/P2wguWT

Dos Santos, K. S., Passos, A. R., Dos Santos Serejo, J. A., Lino, L. S. M., Figueiredo, M. C. C., & Santos, R. M. F. (2017). Microsporogenesis and Pollen Viability in *Physalis ixocarpa*. CYTOLOGIA, 82(4), 363–367. https://doi.org/10.1508/CYTOLOGIA.82.363

Engels, J. M. M., & Visser, L. (Eds.). (2003). *A guide to effective management of germplasm collections.* International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/af8e81b2-a9bc-467c-9cee-7660f18059cf/content

Erdtman G. (1952). *Pollen Morphology and Plant Taxonomy: Angiosperms*. Stockholm: Almqvist & Wiksell.

Esau K. (1977). *Anatomy of Seed Plants* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Esau, K. (2006). *Anatomy of Seed Plants* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons. https://goo.su/3HErT

Estrada, E., & Martinez, M. (1999). *Physalis* L. (Solanoideae; Solaneae) and allied genera: I. A morphology-based cladistic analysis. En M. Nee, D. E. Symon, R. N. Lester y J. P. Jessop (Eds.), *Solanaceae IV: Advances in Biology and Utilization* (pp. 139-159). Kew: The Royal Botanic Gardens, Kew.

Evert, R. F. (2006). *Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body* (3rd ed.). Hoboken: John Wiley & Sons. https://goo.su/mfN3r

Fahn, A. (1990). *Plant Anatomy* (4th ed.). Oxford: Pergamon Press.

Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R., & Thomson, J. D. (2004). Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 375–403. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132347

Fischer G. (2012). *Physalis peruviana* L*.: Cultivation and Uses*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. https://www.redalyc.org/pdf/1803/180324653003.pdf

Fischer, G., Balaguera-López, H. E., & Melgarejo, L. M. (2024). Crop physiology of *Physalis peruviana*. En M. F. Ramadan (Ed.), *Handbook of goldenberry (Physalis peruviana): Cultivation, processing, chemistry, and functionality* (pp. 101–119). Academic Press. https://me-l.co/nchzplaq

Fischer, G.; Florez, R.; Angel, D.; Sora, R. (2000). *Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana* L*).* Universidad Nacional de Colombia sede Santafé de Bogotá. Facultad de Agronomía. 175 p. https://repositorio.unal.edu.co/items/d46a3a1f-a56c-4889-9349-ef867712887c

Fischer, Gerhard & Miranda, Diego & Piedrahita, Wilson & Romero, Jorge. (2005). *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana* L*.) en Colombia.* https://www.researchgate.net/publication/258052317_Avances_en_cultivo_poscosecha_y_exportacion_de_la_uchuva_Physalis_peruviana_L_en_Colombia

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *FAOSTAT: Crops and livestock products*. https://www.ccacoalition.org/resources/faostat-crops-and-livestock-products

Franceschi, V. R., & Nakata, P. A. (2005). Calcium oxalate in plants: Formation and function. *Annual. Review of Plant Biology*, 56, 41–71. https://goo.su/R9OK7

Frankel, O. H., Brown, A. H. D., & Burdon, J. J. (1995). *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge: Cambridge University Press. https://goo.su/lfU7zg

Galiano, W., Tupayachi, A., & Nuñez, P. (2005). Flora del Valle del Cusco. *En Historia Natural del Valle del Cusco* (pp. 42-51). SOPRONAC.

Galmés, J., Ochogavía, J. M., Gago, J., Roldán, E. J., Cifre, J., & Conesa, M. À. (2013). Leaf responses to drought stress in Mediterranean accessions of Solanum lycopersicum: Anatomical adaptations in relation to gas exchange parameters. Plant, Cell and Environment, 36(5), 920–935. https://doi.org/10.1111/PCE.12022;JOURNAL:JOURNAL:13653040;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:13653040;WGROUP:STRING:PUBLICATION

García-Godos, P., Prado-Sumari, I., Estrada, R., & Millán, B. (2022). Caracterización morfológica *in situ* de 34 accesiones de *Physalis peruviana* L. del departamento de Ayacucho (Perú). *Información Tecnológica*, 33(2), 169–180. https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000200169

Garzón-Martínez, G. A., Osorio-Guarín, J. A., Delgadillo-Durán, P., Mayorga, F., Enciso-Rodríguez, F. E., Landsman, D., Mariño-Ramírez, L., & Barrero, L. S. (2015). Genetic diversity and population structure in *Physalis peruviana* and related taxa based on InDels and SNPs derived from COSII and IRG markers. *Plant Gene*, 4, 29–37. https://doi.org/10.1016/J.PLGENE.2015.09.003

Gentry H. (1996). *A field guide to the families and genera of woody plants of northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru),* The Universyty of Chicago press 462 pp. https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-FCF:9491/Description

Glas, J. J., Schimmel, B. C. J., Alba, J. M., Escobar-Bravo, R., Schuurink, R. C., & Kant, M. R. (2012). Plant glandular trichomes as targets for breeding or engineering of resistance to herbivores. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(12), 17077–17103. https://www.mdpi.com/1422-0067/13/12/17077Dec

Grisales N, Trillos O, Cotes J, Orosco L, (2010). Estudios de viabilidad de pólen en la Uchuva *Physalis peruviana* L. Univ Mil, Nuev. Granada. 6 (1): 42-51. https://goo.su/eA1h

Harman, H. H. (1967). *Modern factor analysis* (2nd ed.). University of Chicago Press.

Harrison, E. L., Arce Cubas, L., Gray, J. E., & Hepworth, C. (2019). The influence of stomatal morphology and distribution on photosynthetic gas exchange. The Plant Journal, 101(4), 768. https://doi.org/10.1111/TPJ.14560

Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A. L., & Totland, Ø. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions. *Ecology Letters*, 12(2), 184–195. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x

Herrera M, A. M., Fischer, G., & Chacón S, M. I. (2012). Agronomical evaluation of cape gooseberries (*Physalis peruviana* L.) from central and north-eastern Colombia. *Agronomía Colombiana,* 30(1), 15–24. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652012000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Herrera, F. L. (1921). *Contribución a la flora del Departamento del Cuzco*. Cuzco: Edit. El Trabajo. https://goo.su/XVS6n

Herrera, F. L. (1945). *Plantas usuales del Departamento del Cusco* (670 pp). Lima, Perú: Edith Minerva.

Heslop-Harrison, J., & Heslop-Harrison, Y. (1970). Evaluation of pollen viability by enzymatically induced fluorescence; intracellular hydrolysis of fluorescein diacetate. *Stain Technology*, 45(3), 115–120. https://doi.org/10.3109/10520297009085351

Hetherington, A. M., & Woodward, F. I. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 424(6951), 901–908. https://doi.org/10.1038/NATURE01843

Huaman Capcha, K. E. (2019). *Morfología y metodología para la determinación de la viabilidad en semillas de aguaymanto (Physalis peruviana* L.). https://hdl.handle.net/20.500.12996/3864

Hunziker A.T. (2001). *The Genera of Solanaceae.* Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag. https://bioone.org/journals/systematic-botany/volume-29/issue-1/036364404772974130/Genera-Solanacearum--The-Genera-of-Solanaceae-Illustrated-Arranged-According/10.1600/036364404772974130.short

Hunziker T. A. (1979). *South American Solanaceae: A Synoptic Survey.* Volumen 3; Volume 8 Trabajos del Museo Botánico, Río Primero Museo Botánico Córdoba. https://goo.su/gWZAMi

International Plant Genetic Resources Institute. (1995). *Descriptors for Capsicum (Capsicum spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute. https://alliancebioversityciat.org/publications-data/descriptors-capsicum-capsicum-spp

International Union for the Protection of New Varieties of Plants. (2002). *Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability: Capsicum annuum* L. UPOV. https://www.upov.int/documents/d/upov/tg-documents-es-tg076.pdf

Jensen, U., & Eshbaugh, W. H. (1976). Numerical taxonomic studies in the *Capsicum* complex. *Systematic Botany*, 1(1), 43–59.

Jiang, Y., Jin, Y., Shan, Y., Zhong, Q., Wang, H., Shen, C., & Feng, S. (2024). Advances in *Physalis* molecular research: applications in authentication, genetic diversity, phylogenetics, functional genes, and omics. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1407625. https://doi.org/10.3389/FPLS.2024.1407625/FULL

Johansen, D. A. (1940). *Microtécnica vegetal*. McGraw-Hill. https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.271824/page/n85/mode/2up

Kearns, C. A., & Inouye, D. W. (1993). *Techniques for Pollination Biologists*. Niwot: University Press of Colorado. https://goo.su/jYzKO1

Knapp S. (2002). Tobacco to Tomatoes: A Phylogenetic Perspective on Fruit Diversity in the Solanaceae. *Journal of Experimental Botany*, 53(377), 2001–2022. https://academic.oup.com/jxb/article/53/377/2001/497225

Kraus, J. E., & Arduin, M. (1997). *Manual básico de métodos em morfologia vegetal.* https://repositorio.usp.br/item/000930286

L., D. M., Fischer, G., & Ulrichs, C. (2010). Growth of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants affected by salinity. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 83(2), 175–181. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2009.083.028

Lagos, T. C., Caetano, C. M., Alirio Vallejo, F., Muñoz, J. E., Criollo, H., & Olaya, C. (2005). Caracterización palinológica y viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. y *Physalis philadelphica* Lam. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 55-61. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316951009

Lagos, T. C., Vallejo, F. A., & Criollo, H. (2008). Biología reproductiva de la uchuva. *Acta Agronómica, 57*(2), 81–88. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/1346/1924

Lagos, T., Criollo, H. (2003). Caracterización morfológica de la colección Nariño de uvila o uchuva *Physalis peruviana* L., *Fitotec Colomb*, 3(2) 1-9. https://goo.su/nmIuc0

Larcher, W. (2003). *Physiological Plant Ecology* (4th ed.). Berlin: Springer. https://goo.su/9kWWkEl

Legge A. (1974). Notes on the Genus *Physalis* in North America. *Canadian Journal of Botany*, 52(9), 2007–2023.

Leiva-Brondo, M., Prohens, J., & Nuez, F. (2001). Genetic Analyses Indicate Superiority of Performance of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.) Hybrids. *Journal of New Seeds*, 3(3), 71-84. https://doi.org/10.1300/J153v03n03_04

León, B., Pitman, N., & Roque, J. (2006). Introducción a las plantas endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología, 13*(2), 9s–22s. https://doi.org/10.15381/rpb.v13i2.1782

Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology*, 160(4), 1686–1697. https://doi.org/10.1104/pp.112.208298

Luque, R., Sousa, H. C. de, & Kraus, J. E. (1996). Métodos de coloração de Roeser (1972): modificado - e Kropp (1972) visando a substituição do azul de astra por azul de alcião 8GS ou 8GX. *Acta Botanica Brasilica*, 10(2), 199–212. https://doi.org/10.1590/S0102-33061996000200001

MacBride F.J. (1962). *Flora of Peru- Botanical series*. Field Museum of Natural History (Chicago), Volumen XIII, Part V-B, No 1: 1- 267. https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/2256

Madriñan C. (2010). *Caracterización morfológica de unidades muestrales de Physalis peruviana* L. *del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira*. Tesis de Maestría Fac. Cienc. Agropecuarias. UNC, Palmira. 70 pp. https://repositorio.unal.edu.co/items/5d3aeca8-b6c6-4dd5-807d-a22fd2b749ed

María Isabel Chacón, S., del Pilar Sánchez, Y., & Luz Stella Barrero, M. (2016). Genetic structure of a Colombian cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) coll section by means of microsatellite markers. *Agronomía Colombiana*, 34(1), 5–16. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1.52960

Martínez, E., Vargas, O., & Rodríguez, A. (2013). Anatomía foliar comparada en especies del género *Physalis. Revista Colombiana de Botánica*, 12(2), 45–58.

Martínez, M. (1998). Revisión de *Physalis* sección *Epeteiorhiza* (Solanaceae). *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica, 69*(2), 71–117. https://www.redalyc.org/pdf/400/40069201.pdf

Matthews, J. S. A., Vialet-Chabrand, S., & Lawson, T. (2019). Role of blue and red light in stomatal dynamic behaviour. Journal of Experimental Botany, 71(7), 2253. https://doi.org/10.1093/JXB/ERZ563

Metcalfe, C. R., & Chalk, L. (1979). *Anatomy of the Dicotyledons* (Vol. 1, 2nd ed.). Oxford: Clarendon Press. https://archive.org/details/anatomyofthedico033552mbp/page/n5/mode/2up

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021, 8 de abril). *Perú exportó 287 toneladas de aguaymanto en 2020 que representaron más de USD 2.5 millones en ventas al exterior.* Gobierno del Perú. https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/419044-peru-exporto-287-toneladas-de-aguaymanto-en-2020-que-representaron-mas-de-usd-2-5-millones-en-ventas-al-exterior

Miranda, D. L., Fischer, G., & Ulrichs, C. (2010). Growth of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants affected by salinity. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 83(2), 175-181. https://ojs.openagrar.de/index.php/JABFQ/article/view/2146

Morton J.F. (1987). *Fruits of Warm Climates*. Miami: Creative Resource Systems. https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/6473665be17b74d22254747b

Moss, E. H. (1967). Ordination of vegetation data. *Ecology*, 48(2), 312–325.

Muir, C. D., Pease, J. B., & Moyle, L. C. (2014). Quantitative genetic analysis indicates natural selection on leaf phenotypes across wild tomato species (Solanum sect. lycopersicon; solanaceae). Genetics, 198(4), 1629–1643. https://doi.org/10.1534/GENETICS.114.169276/-/DC1

Muñoz M., A. M., Caetano, C. M., Vallejo C., F. A., & Sánchez O., M. S. (2006). Comportamiento meiótico y descripción morfológica del polen de pronto alivio. Acta Agronómica, 55(2), 12–20. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/216/530

Nee M. (1999). Synopsis of *Physalis* (Solanaceae) in the New World. New York Botanical Garden.

Nepi, M., Franchi, G. G., & Pacini, E. (2001). Pollen hydration status at dispersal: Cytophysiological features and strategies. *Protoplasma*, 216, 171–180. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11732185/

Novitasari, A., Rohmawaty, E., & Rosdianto, A. M. (2024). *Physalis angulata* Linn. as a medicinal plant (Review). Biomedical Reports, 20(3), Article 47. https://doi.org/10.3892/br.2024.1735

Olmstead, R. G., & Palmer, J. D. (1992). A chloroplast DNA phylogeny of the Solanaceae: Subfamilial relationships and character evolution. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 79(2), 346–360. https://doi.org/10.2307/2399773

Olmstead, R. G., Bohs, L., Abdel Migid, H., Santiago-Valentín, E., García, V. F., & Collier, S. M. (2008). A molecular phylogeny of the Solanaceae. *Taxon*, 57(4), 1159–1181. https://bohs.biology.utah.edu/PDFs/Olmstead_et_al-1999.pdf?utm_source=chatgpt.com

Olmstead, R. G., Sweere, J. A., Spangler, R. E., Bohs, L., & Palmer, J. D. (1999). Phylogeny and provisional classification of the Solanaceae based on chloroplast DNA. En M. Nee, D. E. Symon, R. N. Lester, & J. P. Jessop (Eds.), *Solanaceae IV: Advances in Biology and Utilization* (pp. 111–137). Royal Botanic Gardens, Kew. https://bohs.biology.utah.edu/PDFs/Olmstead_et_al-1999.pdf?utm_source=chatgpt.com

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre un cultivoa Estudio. International Journal of Morphology, 35(1), 227–232. https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037

Pacini, E., Franchi, G. G., Lisci, M., & Nepi, M. (1997). *Pollen viability related to type of pollination in six angiosperm species*. *Annals of Botany, 80*(1), 83–87. https://www.researchgate.net/publication/257155538_Pollen_Viability_Related_to_Type_of_Pollination_in_Six_Angiosperm_Species

Peterson, R., Slovin, J. P., & Chen, C. (2010). A Simplified Method for Differential Staining of Aborted and Non-Aborted Pollen Grains. *International Journal of Plant Biology 2010*, Vol. 1, Page E13, 1(2), e13. https://doi.org/10.4081/PB.2010.E13

Pillitteri, L. J., & Torii, K. U. (2012). Mechanisms of stomatal development. Annual Review of Plant Biology, 63, 591–614. https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ARPLANT-042811-105451

Prohens, T., & Sepúlveda, M. (2014). Recursos genéticos y mejoramiento de *Physalis peruviana* L. fao. In *Physalis peruviana* L.: *Fruta andina para el mundo* (pp. 8–27). https://www.researchgate.net/publication/272420292_Physalis_Peruviana_L_Fruta_andina_para_el_mundo_Capitulo_Alternativos_competitivas_de_transformacion_para_la_valorizacion_de_la_produccion_de_Physalis_peruviana_L_para_los_paises_andinos

Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.09.034

Quillilli Medina, C. B. (2025). *Efecto de la fertilización química y orgánica en el rendimiento y características agronómicas del cultivo de aguaymanto (Physalis peruviana* L.*) en fitotoldo en el huerto frutícola K'ayra - San Jerónimo - Cusco.* [Tesis, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco] https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/11372

Ramadan, M. F. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International*, 44(7), 1830–1836. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.042

Raymond, B. C. (1952*).* *Análisis factorial: Introducción y manual para psicólogos y científicos sociales*. Harper.

Rodrigues, F. A. (2011). *Caracterização físico-química e anatômica de Physalis peruviana* L. (Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras). Repositório Institucional da Universidade Federal de Lavras. Repositorio institucional de la UFLA

Rodrigues, F. A. (2014). *Caracterização físico-química e anatômica de Physalis peruviana* L. https://repositorio.ufla.br/handle/1/3093

Rodrigues, F. A., Soares, J. D. R., Silva, R. A. L., Penoni, E. dos S., Pasqual, M., Pereira, F. J., & Castro, E. M. de. (2014). Anatomy of vegetative organs and seed histochemistry of *Physalis peruviana* L. https://repositorio.ufla.br/handle/1/28647

Rohlf, F. J. (1988). *NTSYS-pc - Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System*. Applied Biostatistics Inc. New York. 2.1. 44 pp. https://goo.su/jeZRP

Royal Botanic Gardens, Kew. (s. f.). *Alkekengi officinarum Moench. Plants of the World Online.* https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:814247-1

Royal Botanic Gardens, Kew. (s. f.). *Physalis angulata* L. *Plants of the World Online.* https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:195334-2

Royal Botanic Gardens, Kew. (s. f.). *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem. Plants of the World Online. https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:817444-1

Salisbury, E.J. (1927). Sobre la causa y el significado ecológico de la frecuencia estomática con especial referencia a la flora forestal. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences*, 216, 1-65. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.1928.0001.

Salomón-Torres, R., Krueger, R., García-Vázquez, J. P., Villa-Angulo, R., Villa-Angulo, C., Ortiz-Uribe, N., Sol-Uribe, J. A., & Samaniego-Sandoval, L. (2021). Date Palm Pollen: Features, Production, Extraction and Pollination Methods. *Agronomy 2021*, Vol. 11, Page 504, 11(3), 504. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11030504

Sandra Knapp. (2010). On "various contrivances": Pollination, phylogeny and flower form in the Solanaceae. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1539), 449–460. https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0236

Sato, S., Peet, M. M., & Thomas, J. F. (2002). Determining critical pre- and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* exposed to moderately elevated temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 53(371), 1187–1195. https://goo.su/mQI6t

Săvulescu, E., & Hoza, G. (2011). Anatomy study of *Physalis peruviana L.* species (Solanaceae). *Scientific Papers. Series B: Horticulture, 55*, 643–646. https://horticultura-bucuresti.ro/site-vechi/images/Cercetare/Abstract_LS_2011.pdf

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2026). *Datos hidrometeorológicos de estaciones meteorológicas del Perú*. SENAMHI. https://www.senamhi.gob.pe/

Shivanna, K. R. (2019). *Pollen Biology and Biotechnology*. Pollen Biology and Biotechnology. https://doi.org/10.1201/9780429187704

Shivanna, K. R., & Rangaswamy, N. S. (1992). *Pollen Biology: A Laboratory Manual*. Berlin: Springer. https://goo.su/QPcD

Sierra y Selva Exportadora. (2020). *Análisis de mercado del aguaymanto*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. https://www.gob.pe/institucion/agromercado/informes-publicaciones/1745797-analisis-de-mercado-aguaymanto-2015-2020?utm_source=chatgpt.com

Silva, D. F. da, Strassburg, R. C., & Villa, F. (2015). Morfoanatomia do caule de espécies do gênero Physalis. Revista de Ciências Agroveterinárias, 14(1), 38–45. https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5737

Silva, M., & Agra, C. (2005). Estudo farmacobotânico comparativo entre *Nicandra physalodes* e *Physalis angulata* (Solanaceae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 15(4), 344-351. https://doi.org/10.1590/S0102-695X2005000400016

Sneath, P. H. A., & Sokal, R. R. (1973). *Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification.* W. H. Freeman and Company. San Francisco and London. 573 pp. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1229485

Sokal, R. R., & Michener, C. D. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas science bulletin*, 38, 1409-1438. https://goo.su/3vTtsz

Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1962). The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, Vol. 1, No. 2, pp. 34-40 URL: https://www.researchgate.net/publication/232128980_Sokal_RR_Rohlf_FJ_The_comparison_of_dendrograms_by_objective_methods_Taxon_11_33-40

Sullivan J. R. (2004). The genus *Physalis* (Solanaceae) in the southeastern United States. *Rhodora* 106. 305-326. https://www.researchgate.net/publication/296616773_The_genus_Physalis_Solanaceae_in_the_southeastern_United_States

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sunderland: Sinauer Associates. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1752778

Tapia, M., & Fries, A. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima: FAO y ANPE. https://www.fao.org/publications/card/en/c/f28ebc93-3410-5973-bffa-122099a5711e/

Taylor, L. P., & Hepler, P. K. (1997). Pollen germination and tube growth. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48, 461–491. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.461

Thepsithar, C. & Thongpukdee, A. (2013). Micromorfología, anatomía y arquitectura comparadas de la hoja de *Physalis*. *Academia Mundial de Ciencia, Ingeniería y Tecnología, Revista Internacional de Ingeniería Biológica, Biomolecular, Agrícola, Alimentaria y Biotecnológica*, 7, 806-810. https://www.semanticscholar.org/paper/Comparative-Micro-Morphology%2C-Anatomy-and-of-Leaf-Thepsithar-Thongpukdee/5b1d57bfcf4de08cbd3bbbc6dd1837776c62d500

Ulloa Ulloa, C., Zarucchi, J. L., & León, B. (2004). *Diez años de adiciones a la flora del Perú*: 1993–2003. *Arnaldoa*, Edición Especial, 7–242. https://www.mobot.org/MOBOT/research/peru/pdf/DiezA%C3%B1osArnaldoa2004.pdf

Universidade de São Paulo, Food Research Center. (s. f.). *Physalis angulata* L.: *Physalis, raw (imported data)*. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). https://tbca.net.br/base-dados-en/int_food_composition.php?cod_produto=BRC0307C&utm_source=chatgpt.com

Weese, T. L., & Bohs, L. (2007). A three-gene phylogeny of the genus *Solanum* (Solanaceae). *Systematic Botany*, 32(2), 445–463. https://doi.org/10.1600/036364407781179671

Werker, E. (2000). Trichome diversity and development. *Advances in Botanical Research*, 31, 1–35. https://goo.su/wXsu4z6

Whitson M. & Manos P. (2005). Untangling *Physalis* (Solanaceae) from the Physaloids: A Two-Gene Phylogeny of the Physalinae. *Systematic Botany*, 30(1), 216–230. https://www.ingentaconnect.com/content/aspt/sb/2005/00000030/00000001/art00017

Wilkinson, H. P. (1979). La superficie de la planta (principalmente la hoja). En C. R. Metcalfe y L. Chalk (Eds.), *Anatomía de las dicotiledóneas* (2.ª ed., pp. 97-167). Clarendon Press.

World Flora Online. (2026). *Physalis alkekengi* L. *World Flora Online.* https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0001024553

Xu, Z., Jiang, Y., Jia, B., & Zhou, G. (2016). Elevated-CO2 response of stomata and its dependence on environmental factors. Frontiers in Plant Science, 7(MAY2016), 169580. https://doi.org/10.3389/FPLS.2016.00657/FULL

Yamika, W. S. D., Waluyo, B., Aini, N., & Sebayang, H. T. (2024). Breeding lines influence on growth, yield and quality characteristics of cutleaf groundcherry (*Physalis angulata* L.). *Agricultural Science Digest*, 44(3), 467–471. https://arccjournals.com/journal/agricultural-science-digest/DF-503

Zamora-Tavares, P., Vargas-Ponce, O., Sánchez-Martínez, J., & Cabrera-Toledo, D. (2015). Diversity and evolution of the genus *Physalis*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 83, 86–97. https://link.springer.com/article/10.1007/s10722-014-0163-9

Zinn, K. E., Tunc-Ozdemir, M., & Harper, J. F. (2010). Temperature stress and plant sexual reproduction: Uncovering the weakest links. *Journal of Experimental Botany*, 61(7), 1959–1968. https://doi.org/10.1093/jxb/erq053