

Caracterización morfológica y proximal de introducciones de *Capsicum chinense* Jaqc. (Solanaceae) para uso en programas de mejoramiento genético

Morphological and proximal characterization of *Capsicum chinense* Jaqc. (Solanaceae) introductions for use in plant breeding program

Daira Alicia del Pilar Cuarán Cuarán* , José René Jiménez Cardona , Rubén Darío Rojas Pantoja , Jorge Alberto Vélez Lozano , Franco Alirio Vallejo Cabrera  y Creucí Maria Caetano 

Acceso Abierto

Correspondencia:

dacuaranc@unal.edu.co
Facultad de Ciencias Agropecuarias.
Universidad Nacional de Colombia
sede Palmira, Colombia.

Sometido: 16-02-2022

Aceptado para publicación:
06-05-2022

Publicado en línea: 30-06-2022

Palabras clave:

Ajies; capsaicina; Capsicum;
descriptores morfológicos;
premejoramiento.

Key words:

Capsaicin; Capsicum;
morphological descriptors;
peppers; pre-breeding.

Citación:

Cuarán DA, Jiménez Cardona JR, Rojas Pantoja, RD, Vélez Lozano JA, Caetano CM. Caracterización morfológica y proximal de introducciones de *Capsicum chinense* Jaqc. (Solanaceae) para uso en programas de mejoramiento genético. *Magna Scientia UCEVA* 2022;2:1 117-128.
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n1a12>

Resumen

Se utilizaron técnicas de mejoramiento genético convencional (premejoramiento) para selección de genotipos élite de mayor productividad y con mayor contenido de capsaicina y otros nutrientes, para recomendar a los productores sobre materiales de siembra de *Capsicum chinense*. En la caracterización morfológica y proximal de 45 introducciones, colectadas en Colombia, Brasil y México, se utilizaron 50 descriptores (seis para plántula, siete para hojas, ocho para flores, 17 para frutos, cuatro para semillas, ocho para rendimiento y características de calidad) entre los 62 propuestos para Capsicum. Para el ensayo en campo, se empleó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, con 10 plantas por parcelas, tomando cada introducción como un tratamiento diferente. Los datos cuantitativos fueron sometidos al test de normalidad (test Shapiro-Wilk), análisis de variación y comparación de medias (test Tukey), utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) 9.01, al nivel de 5% de significancia. Para analizar la correlación simple entre las variables se ha utilizado la correlación de Pearson. También se realizó un análisis de componentes principales (ACP), con la conformación de clústeres. Para datos cualitativos, se hizo un ACMF (análisis de correspondencia múltiple factorial). Los análisis mostraron una variabilidad genética entre las introducciones de *Capsicum chinense*; la determinan los caracteres relacionados con la morfología de la planta, como caracteres específicos de la flor, fruto y hojas. Dicha variabilidad puede ser de utilidad para iniciar un programa de mejoramiento genético. Además, el estudio contribuye para caracterización y premejoramiento de *C. chinense*, como una estrategia de uso y conservación de este recurso amazónico.

Abstract

Conventional genetic improvement techniques (pre-breeding) were used to select elite genotypes with higher productivity and higher content of capsaicin and other nutrients, to recommend producers about planting materials of *Capsicum chinense*. In the morphological and proximal characterization of 45 introductions, collected in Colombia, Brazil and Mexico, 50 descriptors were used (six for seedlings, seven for leaves, eight for flowers, 17 for fruits, four for seeds, eight for yield and quality traits) among the 62 proposed for Capsicum. For the field assay, a randomized complete block design with three replicates was used, with 10 plants per plot, taking each introduction as a different treatment. Quantitative data were subjected to the normality test (Shapiro-Wilk test), analysis of variation and comparison of means (Tukey test), using the Statistical Analysis System (SAS) 9.01 statistical package, at the 5% level of significance. To analyze the simple correlation between the variables, the Pearson correlation was used. A principal component analysis (PCA) was also carried out, with the cluster formation. For qualitative data, an ACMF (factorial multiple correspondence analysis) was performed. The analyzes showed a genetic variability among the introductions of *Capsicum chinense*; determined by traits related to the plant morphology, such as specific flower, fruit and leaf traits. This variability can be useful to initiate a plant breeding program. In addition, the study contributes to the characterization and pre-breeding of *C. chinense*, as a strategy for the use and conservation of this Amazonian resource.



Introducción

El género *Capsicum* (ajíes, pimientos, chiles, pimentones) comprende las Solanaceae de mayor consumo a nivel mundial [1]. Aproximadamente 22 de sus especies son silvestres y endémicas de las zonas tropicales de América [2]. En Colombia, comercialmente, se siembran las variedades tabasco, cayenne y habanero para consumo en fresco y exportación. El habanero (*C. chinense*), ha sido reconocido como el chile más picante del mundo [3]. De gran importancia en Colombia, sus frutos presentan alta demanda tanto en plazas de mercado tradicionales como en supermercados de grandes cadenas; además, ocupa mano de obra no sólo en las labores del campo sino también en los centros de consumo, debido a que es comercializado por los vendedores informales [4]. A nivel mundial, China, México, Turquía e India, son los mayores productores de ají, siendo los responsables de una producción aproximada de 30 millones de toneladas de *Capsicum* en fresco y en productos secos en 2011 [5].

Los capsaicinoides, presentes especialmente en los frutos del género *Capsicum*, son una clase de compuestos bioactivos con diferentes propiedades terapéuticas; entre ellas, anticancerígena, antioxidante y anti-obesidad [6]. Los chiles son reconocidos como una fuente rica de un valioso fitoquímico, la capsaicina; un alcaloide o capsaicinoide constituido por un vaniloide, una amida y una cadena lateral hidrófoba. Principal componente del picante e irritante de los pimientos, la capsaicina también posee propiedades antimicrobianas, lo que permite explorar este potencial como fuente de inhibidor natural de microorganismos patógenos en los alimentos [7]. Conocer la variabilidad genética de *C. chinense* es importante para la conservación del germoplasma y utilización en futuros programas de mejoramiento genético basados en la productividad, uniformidad, tamaño, formato, color y concentración de capsaicina del fruto. Esto expande las posibilidades de selección de materiales que presentan atributos promisorios y deseables para la industria del procesamiento y para el mercado consumidor del fruto en fresco. Por ello, resulta válido en la actualidad, el caracterizar y evaluar los genotipos de interés agronómico, comercial y nutricional de poblaciones poco estudiadas.

De acuerdo con Bozokalfa y Eşiyok [8] y Shiragaki et al. [9], es esencial disponer de una detallada caracterización geográfica, morfológica y molecular de la diversidad de *Capsicum*. En el caso particular de Colombia, ésta

presenta una alta distribución de formas cultivadas y silvestres de *Capsicum*, pero debido a la pérdida de diversidad, se requiere ampliar el conocimiento, el uso y valoración para resolver los problemas que disuaden el aprovechamiento sostenible. En este sentido, se han realizado trabajos de caracterización de distintas colecciones de germoplasma de pimiento a nivel morfológico, y se han analizado los principales descriptores cuantitativos y cualitativos para este género [10]. Es posible seleccionar genotipos comerciales de ají con características estables y uniformes, por medio de características agromorfológicas y contenido de capsaicina, para formación de un cultivar con fines económico y científico [11]. Así, este estudio busca seleccionar por sus rasgos morfoagronómicos sobresalientes, las introducciones de ajíes (*C. chinense*) como una estrategia de uso y conservación de este recurso amazónico, que conformen una base para el programa de mejoramiento genético y obtención de un cultivar que pueda contribuir al cultivo en el territorio colombiano, en especial en el Departamento del Valle del Cauca.

Métodos

Localización y material de siembra

El trabajo de investigación se desarrolló en dos municipios del Valle del Cauca, Colombia. Los ensayos de campo se realizaron entre enero de 2016 y enero de 2017 en el municipio de El Cerrito (Santa Elena vía El Castillo), a 1300 m.s.n.m. Previamente, la selección y siembra de semillas de 61 introducciones de *C. chinense* se realizó en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (CEUNP), ubicado en el municipio de Candelaria-Valle del Cauca, Colombia en el año 2015. A partir de cultivares maduros, se extrajeron semillas de 20 frutos por planta, las cuales fueron secadas a condiciones de sombra, a temperatura ambiente; seleccionando aquellas sin daño alguno con el fin de garantizar el debido desarrollo fisiológico. Posteriormente, fueron almacenadas en bolsas plásticas hasta el inicio de los ensayos.

Las introducciones de *C. chinense* provenientes de Brasil, fueron obtenidas a partir de colectas en campo en diferentes municipios de los Estados de Tocantins y Rondônia, en la Amazonia brasileña, y algunas depositadas en el banco de germoplasma de la Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Las introducciones provenientes de México, fueron obtenidas junto al CIIDIR Oaxaca-Centro

Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, México. Adicionalmente, se contó con semillas de la misma especie depositadas en la colección de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, colectadas especialmente en la Amazonia colombiana (Tabla 1).

Tabla 1 Introducciones de *C. chinense* (Cch) sometidas a caracterización morfológica y proximal, provenientes de Brasil (76), Colombia (170) y México (474)

No.	Código ID	Procedencia
1	Cch-76-001	Cacoal, Rondônia, Brasil
2	Cch-76-002	Cacoal, Rondônia, Brasil
3	Cch-76-003	Cacoal, Rondônia, Brasil
4	Cch-76-004	Cacoal, Rondônia, Brasil
5	Cch-76-005	Cacoal, Rondônia, Brasil
6	Cch-76-006	Cacoal, Rondônia, Brasil
7	Cch-76-007	Cacoal, Rondônia, Brasil
8	Cch-76-008	Cacoal, Rondônia, Brasil
9	Cch-76-009	Cacoal, Rondônia, Brasil
10	Cch-76-010	Cacoal, Rondônia, Brasil
11	Cch-76-011	Cacoal, Rondônia, Brasil
12	Cch-76-012	Cacoal, Rondônia, Brasil
13	Cch-76-013	Cacoal, Rondônia, Brasil
14	Cch-76-014	Presidente Médici, Rondônia, Brasil
15	Cch-76-015	Presidente Médici, Rondônia, Brasil
16	Cch-76-016	Rolim de Moura, Rondônia, Brasil
17	Cch-76-017	Rolim de Moura, Rondônia, Brasil
18	Cch-76-018	Rolim de Moura, Rondônia, Brasil
19	Cch-76-019	Rolim de Moura, Rondônia, Brasil
20	Cch-76-020	Araguatins, Tocantins, Brasil
21	Cch-76-021	Araguatins, Tocantins, Brasil
22	Cch-76-022	Araguatins, Tocantins, Brasil
23	Cch-170-001	Departamento del Amazonas, Colombia
24	Cch-170-003	Departamento del Amazonas, Colombia
25	Cch-170-004	Departamento del Amazonas, Colombia
26	Cch-170-005	Departamento del Amazonas, Colombia
27	Cch-170-008	Departamento del Amazonas, Colombia
28	Cch-170-009	Departamento del Amazonas, Colombia
29	Cch-170-011	Departamento del Amazonas, Colombia
30	Cch-170-015	Departamento del Amazonas, Colombia
31	Cch-170-016	Departamento del Amazonas, Colombia
32	Cch-170-018	Departamento del Amazonas, Colombia
33	Cch-170-020	Departamento del Amazonas, Colombia
34	Cch-170-021	Departamento del Amazonas, Colombia
35	Cch-170-022	Departamento del Amazonas, Colombia
36	Cch-170-023	Departamento del Amazonas, Colombia
37	Cch-170-024	Departamento del Amazonas, Colombia
38	Cch-170-025	Departamento del Amazonas, Colombia
39	Cch-170-026	Departamento del Amazonas, Colombia
40	Cch-170-028	Departamento del Amazonas, Colombia
41	Cch-170-030	Departamento del Amazonas, Colombia
42	Cch-170-031	Departamento del Amazonas, Colombia
43	Cch-484-001	Estado de Oaxaca, México
44	Cch-484-002	Estado de Oaxaca, México
45	Cch-484-003	Estado de Oaxaca, México
46	Cch-484-006	Estado de Oaxaca, México
47	Cch-484-007	Estado de Oaxaca, México
48	Control	Estado de Oaxaca, México

soportes tipo bancada y mantenidas en casa malla hasta el momento del trasplante. Las plántulas 30 dds se llevaron a condiciones de campo, cuando contaban con una altura de 15cm y con tres o cuatro pares de hojas verdaderas, a una distancia entre plantas de 0.40cm y 1.0m entre surcos; se utilizó un sistema de riego por goteo. Se ejecutó un diseño de bloques completamente al azar (BCA), conformado por 48 introducciones, con tres repeticiones, 10 plantas por parcela, tomando cada introducción como un tratamiento diferente. A pesar de haber sido sembradas inicialmente 61 introducciones, germinaron 48 introducciones, número que fue llevado a condiciones de campo.

Caracterización morfológica y proximal de variables cuantitativas

La caracterización se llevó a cabo con base en los descriptores para especies del género *Capsicum* [13], que consta de 62 descriptores, entre variables cuantitativas y cualitativas. Aunque se realizó la lectura de todos los descriptores, se optó por utilizar en los análisis, aquellos que tendían a ser más discriminantes. Por lo tanto, en los análisis estadísticos, se utilizaron datos de 18 variables cuantitativas, siendo 10 morfológicas y ocho proximales o fisicoquímicas (ver tabla 2).

Tabla 2 Variables cuantitativas morfológicas y proximales consideradas en los análisis de caracterización de las introducciones de *C. chinense* provenientes de Brasil, Colombia y México

No.	Sigla	Variable
1	AP	Altura de planta
2	LHM	Longitud de la hoja madura
3	AHM	Ancho de la hoja madura
4	LA	Longitud de las anteras
5	LFIL	Longitud del filamento de la antera
6	LF	Longitud del fruto
7	AF	Ancho del fruto
8	LP	Longitud del pedicelo
9	PFF	Peso del fruto fresco
10	PCF	Peso de cada fruto
11	MSI	Materia seca inicial
12	MSA	Materia seca analítica
13	MST	Materia seca total
14	HUM	Humedad
15	CT	Cenizas totales
16	pH	Potencial hidrogeniónico
17	°BX	Grados Brix
18	CART	Carotenoides totales

Análisis estadístico de las variables

Los datos fueron sometidos al test de normalidad (test Shaphiro-Wilk), análisis de variación y comparación de

Las semillas fueron sembradas en bandejas de polietileno de 128 alvéolos, usando como sustrato turba y compuesto orgánico en iguales proporciones; fueron dispuestas en

medias (test Tukey), utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) 9.01®, al nivel de 5% de significancia. Para analizar la correlación simple entre las variables, se ha utilizado la correlación de Pearson. También se realizó un análisis de componentes principales (ACP), con la conformación de clústeres. Para datos cualitativos, se hizo un ACMF (análisis de correspondencia múltiple factorial) y finalmente, se tomaron datos de 28 descriptores cualitativos.

Resultados

Caracterización morfológica y proximal de variables cuantitativas en introducciones de *C. chinense*

En *C. chinense*, se evaluaron 18 descriptores cuantitativos, entre morfológicos y proximales o físico-químicos (tabla 3). La tabla 3 expone el análisis de las 10 variables morfológicas, de introducciones provenientes de Brasil, Colombia y México. Como se observa en la tabla 3, una variable que se destaca entre las demás, es la longitud de la hoja madura (LHM), que presentó diferencia estadística significativa. Esta se presenta con valor más alto en el conjunto de las introducciones del Brasil (9.50), similar en Colombia (9.49), y con menor

valor para las introducciones provenientes de México (7.57). Las demás variables fueron similares entre los sitios de origen de las introducciones. Con relación a las variables físico-químicas o proximales (tabla 4), sobresale el peso de materia seca inicial (MSI), especialmente en lo que respecta a las introducciones colombianas (9.41) de las mexicanas (11.34); mientras que las introducciones brasileñas, exhiben un valor intermedio (10.44). Para las demás variables físico-químicas no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

Correlación de variables cuantitativas morfológicas y proximales

En la tabla 5 se muestra el análisis de correlación de las variables cuantitativas morfológicas y proximales. Las variables altura de planta (AP) y longitud de hoja madura (LHM), presentaron un valor de significancia menor al 5%; lo que indica que están directamente correlacionadas en un $r=0.48$; mientras que AP con ancho de hoja madura (AHM), en un $r=0.46$ y con peso de fruto fresco (PFF), con $r=0.32$. A su vez, LHM también presentó correlación con AHM con $r=0.64$; con ancho de fruto (AF) con $r=0.40$; mientras materia seca inicial (MSI), obtuvo una correlación negativa ($r=-0.51$).

Tabla 3 Variables cuantitativas morfológicas y proximales consideradas en los análisis de caracterización de las introducciones de *C. chinense* provenientes de Brasil, Colombia y México

Variables	País			Coeficiente de variación %	Probabilidad
	Brasil	Colombia	México		
AP	65.34	67.08	61.90	14.82	0.5064
LHM	9.50 ^a	9.49 ^a	7.57 ^b	14.33	0.0073
AHM	4.69	4.54	4.56	16.58	0.8127
LA	0.24	0.22	0.23	11.68	0.0545
LFIL	0.24	0.26	0.26	12.81	0.2041
LF	3.23	3.40	3.46	35.75	0.8761
AF	1.70	1.97	1.98	30.16	0.3109
LP	2.67	2.42	2.32	16.39	0.0842
PFF	17.98	18.03	19.27	23.59	0.7987
PCF	7.54	7.47	7.86	21.34	0.8755

Medias con letras diferentes difieren significativamente ($p=0.005$).

Tabla 4 Análisis de las variables físico-químicas o proximales de introducciones de *C. chinense* provenientes de Brasil, Colombia y México

Variables	País			Coeficiente de variación %	Probabilidad
	Brasil	Colombia	México		
MSI	10.44 ^{ab}	9.41 ^b	11.34 ^a	16.10	0.0271
MSA	9.12	8.29	8.81	17.00	0.2142
MST	0.99	0.83	1.02	32.26	0.1671
CT	0.09	0.09	0.09	24.68	0.8610
HUM	90.66	91.70	91.18	1.51	0.0750
Ph	4.99	4.95	4.81	4.64	0.2680
*BX	8.50	8.37	8.13	12.51	0.7448
CART	91.19	73.90	95.63	46.25	0.2888

Medias con letras diferentes difieren significativamente ($p=0.005$).

Tabla 5 Correlación simple entre las variables morfológicas y proximales de introducciones de *C. chinense*

	LHM	AHM	LA	LFIL	LF	AF	LP	PCF	PFF	MSI	MSA	MST	pCT	HUM	pH	°BX	CART
AP	0.48348	0.46754	0.12520	-0.16912	0.24969	0.28721	0.21612	0.28604	0.32109	0.01862	0.07122	0.12641	0.04654	-0.08331	-0.06695	-0.00776	0.03760
P	0.0007	0.0011	0.4071	0.2612	0.0942	0.0558	0.0540	0.0540	0.0296	0.9045	0.6381	0.4025	0.7587	0.5864	0.6622	0.9592	0.8085
LHM		0.64535	-0.00241	-0.11810	0.15424	0.40482	0.18038	0.17573	0.22739	-0.51030	-0.21328	-0.24734	-0.08015	0.10735	0.11547	-0.14446	-0.05392
P		<.0001	0.9873	0.4344	0.3061	0.0058	0.2303	0.2427	0.1286	0.0004	0.1547	0.0975	0.5964	0.4828	0.4501	0.3381	0.7281
AHM			0.24304	0.17961	0.21788	0.22215	0.08153	0.20082	0.22355	-0.36783	-0.28893	-0.30476	-0.10785	0.25502	-0.15224	-0.10478	-0.12458
P			0.1036	0.2323	0.1458	0.1425	0.5901	0.1808	0.1353	0.0140	0.0515	0.0395	0.4756	0.0909	0.3181	0.4883	0.4204
LA				-0.71430	-0.18405	0.17056	0.06120	0.16667	0.17170	0.28108	0.26781	0.32179	0.14579	-0.27651	0.08949	-0.21610	0.22889
P				<.0001	0.22130	0.2626	0.6862	0.2683	0.2539	0.0646	0.0720	0.0292	0.3337	0.0660	0.5588	0.1492	0.1351
LFIL					0.22130	-0.10814	0.01343	-0.05491	-0.05460	-0.16174	-0.20756	-0.25262	0.06733	0.26666	-0.03282	0.19207	-0.31211
P					0.1394	0.4795	0.9294	0.7170	0.7185	0.2942	0.1663	0.0903	0.6566	0.0766	0.8305	0.2010	0.0392
LF						0.27913	0.58464	0.38020	0.40734	-0.07252	0.00724	0.00596	0.03693	0.00514	0.22024	0.04304	-0.10032
P						0.0633	<.0001	0.0092	0.0050	0.6399	0.9619	0.9687	0.8075	0.9732	0.1460	0.7764	0.5171
AF							0.23851	0.51431	0.59945	-0.38004	-0.27550	-0.17580	-0.07444	0.22108	0.25107	-0.41289	0.18890
P							0.1146	0.0003	<.0001	0.0119	0.0670	0.2480	0.6270	0.1493	0.1002	0.0048	0.2251
LP								0.41188	0.46646	0.05297	0.15590	0.17764	0.07535	-0.15754	0.37645	0.06646	0.04741
P								0.0045	0.0011	0.7328	0.3009	0.2376	0.6187	0.3013	0.0108	0.6608	0.7599
PCF									0.98127	0.04071	0.05431	0.10124	0.19160	0.00158	0.16315	-0.44365	-0.11566
P									<.0001	0.7930	0.7200	0.5032	0.2021	0.9918	0.2842	0.0020	0.4547
PFF										0.01667	0.06010	0.10993	0.13679	-0.01838	0.21332	-0.39795	-0.07377
P										0.9145	0.6916	0.4671	0.3647	0.9046	0.1594	0.0062	0.6342
MSI											0.81208	0.93707	0.07825	-0.78348	-0.11703	0.27800	0.02870
P											<.0001	<.0001	0.6136	<.0001	0.4548	0.0677	0.8568
MSA												0.88120	0.04395	-1.00000	0.00471	0.17591	0.10237
P												<.0001	0.7718	<.0001	0.9755	0.2423	0.5085
MST													0.10769	-0.87961	0.05524	0.12785	0.08414
P													0.4763	<.0001	0.7186	0.3971	0.5871
CT													0	0.01599	0.03925	-0.17477	-0.08127
P													0.9170	0.7979	0.2454	0.6000	
HUM															-0.00471	-0.12046	-0.10237
P															0.9755	0.4306	0.5085
pH																-0.09649	0.19230
P																0.5283	0.2111
°BX																	-0.15066
P																	0.3290
CART																	1.000
P																	

Para longitud de anteras (LA), se encontró correlación negativa con longitud de filamento (LFIL) con $r = -0.71$, mientras con materia seca total (MST) en un $r = 0.32$. La LFIL, se correlacionó negativamente con carotenoides totales (CART; $r = -0.31$). Por otro lado, la longitud de fruto (LF), se correlacionó con la longitud del pedicelo (LP) en un $r = 0.58$, con peso de cada fruto (PCF) con $r = 0.38$ y con PFF en un $r = 0.40$. El AF, se correlacionó con PCF en $r = 0.51$ y con el PFF en un $r = 0.60$; mostró correlación negativa con materia seca inicial (MSI; $r = -0.38$) y también con grados Brix ($^{\circ}\text{BX}$; $r = -0.41$). LP correlacionó con PCF ($r = 0.41$), PFF ($r = 0.47$) y potencial hidrogeniónico (pH) con $r = 0.38$. A su vez, PCF correlacionó con PFF ($r = 0.98$) y $^{\circ}\text{BX}$ ($r = -0.40$). PFF correlacionó con $^{\circ}\text{BX}$ ($r = -0.40$). Así mismo, MSI correlacionó con materia seca analítica (MSA), con $r = 0.81$; materia seca total (MST) con $r = 0.94$ y con humedad (HUM) en un $r = -0.78$. MSA correlacionó con MST ($r = 0.88$) y con HUM ($r = -1.00$). Finalmente, MST correlacionó con HUM con $r = -0.88$ (ver tabla 5).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El Análisis de Componentes Principales (ACP) de tales introducciones de *C. chinense* indicó que con seis componentes (CP), se explicó el 75% de la variabilidad total (ver tabla 6).

Tabla 6 Análisis de componentes principales (ACP) de la caracterización morfológica de introducciones de *C. chinense*

CP	Valores propios	Diferencia	Proporción	Acumulado
1	372.462.114	0.39043427	0.2069	0.2069
2	333.418.688	105.957.762	0.1852	0.3922
3	227.460.926	0.48704696	0.1264	0.5185
4	178.756.230	0.45660006	0.0993	0.6178
5	133.096.224	0.23277174	0.0739	0.6918
6	109.819.050	0.07881380	0.0610	0.7528
7	101.937.670	0.28428895	0.0566	0.8094

El primer componente, CP1, se caracteriza por tener una proporción del 20% respecto a la variabilidad total; siendo representado por los caracteres peso de cada fruto, peso de fruto fresco, materia seca inicial, materia seca analítica y materia seca total. El CP2 (40%), por las

variables longitud de hoja madura y ancho de hoja madura. El CP3 (52%), por longitud de fruto, humedad y pH. El CP4 (61%) por grados Brix ($^{\circ}\text{BX}$) y longitud del fruto. El CP5 (69%), por el ancho de fruto y carotenoides totales y finalmente, el CP6 (75%), por las variables altura de la planta y cenizas totales (ver tabla 6).

Análisis de clústeres

El ACP de la caracterización morfológica y fisicoquímica, resultó en la formación de tres clústeres o grupos, presentando una diferenciación del 5%, con una muy baja variabilidad intraespecífica para las introducciones de *C. chinense* evaluadas, entre países (figura 1).

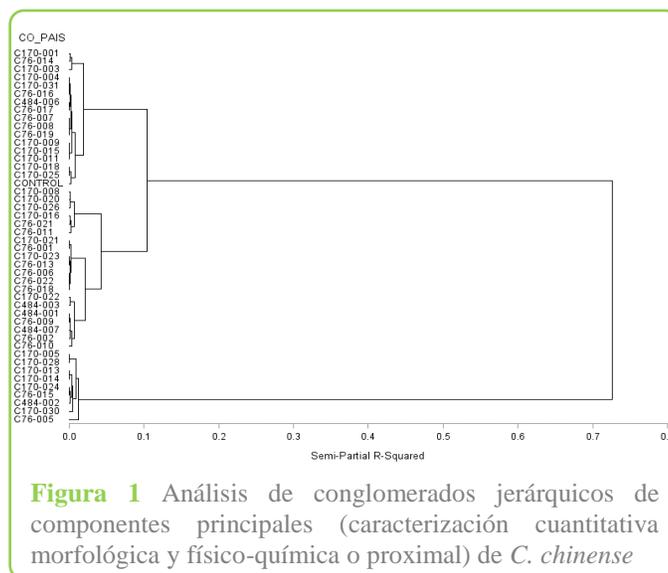


Figura 1 Análisis de conglomerados jerárquicos de componentes principales (caracterización cuantitativa morfológica y físico-química o proximal) de *C. chinense*

A partir de la información suministrada en la figura 1, se puede evidenciar que en el clúster I, se ubican las variables relacionadas con el fruto, como la longitud de fruto y el ancho de fruto (AF). En el clúster II, variables del fruto y materia seca. En el clúster III, se ubican las variables proximales, como carotenoides totales.

Análisis de correspondencia múltiple discriminante para variables cualitativas

Para evaluar las características cualitativas, se realizó un análisis descriptivo, donde se consideró el análisis de frecuencia por categoría del descriptor, seguido de un análisis de correspondencia múltiple para hacer un agrupamiento de los individuos en los cuales se resaltan las características asociadas con el fruto; se analizaron 28 variables cualitativas, las cuales se exponen en la tabla 7.

Tabla 7 Frecuencia de las 28 variables cualitativas en las 45 introducciones de *Capsicum chinense* evaluadas

Variable	Frecuencia	Porcentaje (%)	Descriptor
[CT] color del tallo	28	58.33	Verde
[ANP] antocianinas del nudo de la planta	27	56.25	Verde
[FT] forma del tallo	28	58.33	Cilíndrico
[HC] hábito de crecimiento	27	56.25	Intermedia
[NP] número de pétalos	31	64.58	5-6
[NFA] número flores/axila	30	62.50	3
[MP] macollamiento (planta)	28	58.33	Intermedio
[DH] densidad de la hoja	21	43.75	Intermedia
[CH] color de la hoja	17	35.42	Verde
[FH] forma de la hoja	28	58.33	Oval
[PH] pubescencia en la hoja	30	62.50	Intermedia
[PF] posición de la flor	26	54.17	Intermedia
[CC] color de la corola	40	83.33	Crema
[FC] forma de la corola	27	56.25	Campanulada
[CANT] color de anteras	36	75	Morado
[CFL] color del filamento	24	50	Morado
[PCL] pigmentación del cáliz	47	97.92	Presente
[MC] margen del cáliz	32	66.67	Dentada
[CAC] constricción anular del cáliz	33	68.75	Presente
[MAN-RANT] manchas/rayas antocianinas tallo	24	50	Presente
[COL-FINM] color de fruto en estado intermedio	31	64.58	Verde
[CUA-FRU] cuajado de fruto	29	60.42	Intermedio
[CO-EMAD] color de fruto en estado maduro	37	77.08	Rojo
[FORM-FRU] forma del fruto	15	31.25	Triangular
[FOR-UPE] forma unión del pedicelo	30	62.50	Obtusa
[CUBA-FRU] cuello en la base del fruto	40	83.33	Ausente
[FOR-AFR] forma ápice de fruto	23	47.92	Romo
[AFRU-VEST] apéndice del fruto con vestigio floral	36	75	Presente

Considerando las variables más sobresalientes (igual o mayor que 60%), se puede observar en la tabla 7 que se destacaron el número de pétalos (NP), 5- 6 en 64.58%; el número de flores por axila (NFA), 3, 62.50%; la pubescencia de la hoja (PH) intermedia, 62.50%; el color de la corola (CC) crema, 83.33%; el color de anteras (CANT) morado, 75%; la pigmentación del cáliz (PCL) presente, 97.92%; el margen del cáliz (MC), dentado, 66.67%; la constricción anular del cáliz (CAC) presente, 68.75%; el color del fruto en estado intermedio (COL-FINM) morado, 64.58%; el cuajado de fruto (CUA-FRU)

intermedio, 60.42%; el color de fruto en estado maduro (CO-EMAD) rojo, 77.08%; la forma de unión del fruto con el pedicelo (FOR-UPE) obtusa, 62.50%; y el cuello en la base del fruto (CUBA-FRU) ausente en 83.33%. Entre las 13 variables cualitativas más sobresalientes, cabe anotar que siete de ellas, se relacionan con la flor, cinco al fruto y solo una a la hoja (ver tabla 7).

Análisis de valores propios

El análisis del histograma de valores propios (tabla 8), permitió seleccionar los primeros tres factores que explican en conjunto, un 35.59% de variabilidad respecto a las variables cualitativas; sobresale el primer factor que explica el 15.51% de la variabilidad. El segundo y tercer factor acumulados, explican el 25.75% y 35.59% de la variabilidad, respectivamente.

Tabla 8 Histograma de los tres primeros factores que explican la variabilidad en *C. chinense*

Valor propio	%	% acumulado	Histograma
0.0187	15.51	15.51	*****
0.0123	10.24	25.75	*****
0.0118	9.84	35.59	*****

Del análisis de contribuciones de las variables a la conformación de los ejes (tabla 9), se puede inferir que las variables que presentan mayor contribución a la conformación del factor 1, fueron: i) la forma del tallo (FT=0.11); ii) el color del filamento (CFL=0.15); iii) la forma del fruto (FORM-FRU=0.17) y iv) la forma del ápice del fruto (FOR-AFR=0.12). En la contribución del eje 2 (tabla 9), se tiene mayor contribución con las variables forma de hoja (FH=0.24) y forma de fruto (FORM-FRU=0.36); en el componente 3, se tiene contribución de hábitos de crecimiento (HC=0.13), macollamiento de la planta (MP=0.21), forma de la unión del pedicelo (FOR-UPE=0.11) y forma del ápice del fruto (FOR-AFR=0.16) (ver tabla 9).

Análisis de clúster basado en variables cualitativas

El análisis de clasificación de 28 variables basado en las variables cualitativas para la caracterización de *Capsicum chinense*, permite la conformación de cinco grupos o clústeres. Los genotipos clasificados se observan en la tabla 10 y figura 2.

Tabla 9 Análisis de contribuciones parciales de las variables cualitativas de introducciones de *C. chinense*.

Variable	Componentes		
	1	2	3
CT	0.0271	0.0015	0.1355
ANP	0.0210	0.0082	0.0005
FT	0.1106	0.0251	0.0011
HC	0.0228	0.0052	0.1344
NP	0.0142	0.0004	0.0000
FA	0.0003	0.0584	0.0003
MP	0.0308	0.0083	0.2159
DH	0.0583	0.0223	0.0149
CH	0.0551	0.0745	0.0149
FH	0.0045	0.2441	0.0014
PH	0.0164	0.0016	0.0000
PF	0.0005	0.0003	0.0272
CC	0.0038	0.0012	0.0043
FC	0.0008	0.0352	0.0148
CANT	0.0557	0.0312	0.0480
CFL	0.1540	0.0189	0.0749
PCL	0.0006	0.0001	0.0000
MC	0.0067	0.0048	0.0013
CAC	0.0159	0.0002	0.0068
MAN_RANT	0.0001	0.0132	0.0009
COL_FINM	0.0011	0.0055	0.0023
CUA_FRU	0.0157	0.0318	0.0004
CO_EMAD	0.0490	0.0000	0.0004
FORM_FRU	0.1717	0.3610	0.0103
FOR_UPE	0.0400	0.0035	0.1132
CUBA_FRU	0.0001	0.0356	0.0088
FOR_AFR	0.1221	0.0065	0.1674
AFRU_VES	0.0011	0.0016	0.0000

El grupo I, conformado por 17 genotipos de los tres países (Colombia, México y Brasil), representa el 47% de la colección, siendo determinado por características como forma y color del fruto en estado maduro. El grupo II, con seis genotipos de Colombia y Brasil, lo reúnen características de fruto como color en estado maduro e inmaduro. Mientras el grupo III, con 12 genotipos de Colombia, México y Brasil; también está representado

por características de fruto. El grupo IV, conformado por seis genotipos de Colombia y Brasil, lo determinan características dadas por fruto, hojas y flores. Finalmente, el grupo V, conformado por siete genotipos de Colombia y México, se destaca por características de fruto y hojas (tabla 10, figura 2).

Tabla 10 Identificación de introducciones que conforman los cinco grupos en que se dividió la colección, según las variables cualitativas

Grupos	No.	Introducciones
1	17	Cch-76-021, Cch-76-016, Cch-76-014, Cch-76-010, Cch-76-009, Cch-76-008, Cch-76-006, Cch-76-002, Cch-76-001, Cch-484-007, Cch-484-006, Cch-170-030, Cch-170-029, Cch-170-014, Cch-170-011, Cch-170-009, Cch-170-003.
2	6	Cch-76-018, Cch-76-015, Cch-76-013, Cch-76-011, Cch-170-028, Cch-170-013.
3	12	Cch-76-017, Cch-76-007, Cch-76-004, Cch-76-003, Cch-484-003, Cch-484-002, Cch-170-023, Cch-170-022, Cch-170-021, Cch-170-015, Cch-170-008, Cch-170-005.
4	6	Cch-76-022, Cch-76-019, Cch-76-012, Cch-170-031, Cch-170-026, Cch-170-018.
5	7	Cch-484-001, Cch-170-025, Cch-170-024, Cch-170-020, Cch-170-016, Cch-170-004, Cch-170-001.

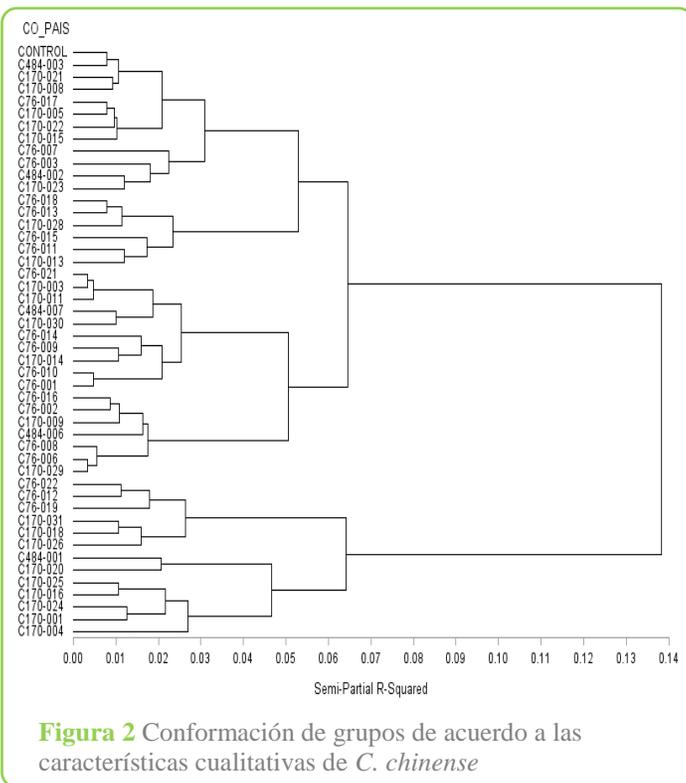


Figura 2 Conformación de grupos de acuerdo a las características cualitativas de *C. chinense*

Por la conformación de estos cinco grupos, según las variables cualitativas en *C. chinense*, en los cuales dos (I y III) incluyen el mayor número de genotipos de los tres países; otros dos (II y IV) incluyen genotipos de Colombia y Brasil, mientras uno (V) está representado por genotipos de Colombia y México, todos ellos basados en caracteres de fruto, flor y hoja, corrobora el ACP, por lo cual se evidencia una variabilidad genética restringida para la especie, a pesar de las distancias geográficas (tabla 10, figura 2). Por lo tanto, esto elucidada que introducciones de *C. chinense* de tres países compartan caracteres morfológicos, agregándose, aun, el rol de la actividad antropogénica. La tabla 11 y figura 3, muestran la distancia entre clústeres.

Discusión

Poder contar con patrones de identificación, caracterización y evaluación de plantas cultivadas, es importante para conocer la variabilidad de caracteres dentro y entre plantas, y además, permite la selección de los caracteres cualitativos o cuantitativos más útiles para la correcta descripción [12]. La caracterización morfológica, debe registrar caracteres altamente heredables, fácilmente evaluados a simple vista y que se expresan sin la influencia de los ambientes [13,14]. De acuerdo con Raven et al. [15], los órganos más importantes para la descripción morfológica son la flor y el fruto, así como las hojas, tallos, raíces y los tejidos celulares. En el presente estudio, se contó con introducciones de *C. chinense* provenientes de Brasil, Colombia y México; aunque se evaluaron todos los descriptores para el género *Capsicum*, se analizaron los más discriminantes, siendo 18 cuantitativos y 28 cualitativos. De acuerdo con Poehlman y Allen [16], seleccionar los caracteres por medio de componentes principales (CP), es importante para el mejoramiento de *Capsicum*, ya que se identifican individuos con caracteres deseables en el mayor grado posible, con el fin de alcanzar en programas de mediano y largo plazos y a través de selecciones repetidas, las expectativas de selección de genotipos élite.

A su vez, Narez Jiménez et al. [17], en diversas especies de *Capsicum* y Sunday et al. [18], en *C. annuum*, encontraron que con sólo los tres primeros componentes, se explicó el mayor porcentaje de la variabilidad. Los descriptores de fruto presentaron mayor importancia, debido en conjunto a las prácticas tradicionales de cultivo, a la recombinación genética y a la selección natural [19]. Por otro lado, López y Castro [20], en colecciones nativas de Oaxaca-México, mostraron la mayor contribución a la varianza global por parte de los caracteres de la hoja (longitud del limbo, ancho del limbo, longitud del pecíolo) y del fruto (longitud, ancho, diámetro de la semilla). En el análisis de clúster, se asigna un conjunto de técnicas multivariadas cuyo principal objetivo es agrupar objetos basándose en sus características. Los conglomerados resultantes, corresponderán en determinar un alto grado de homogeneidad interna dentro del conglomerado y un alto grado de heterogeneidad externa del mismo [20].

Igualmente, Palacios y García [10], encontraron en 93 introducciones de *Capsicum*, una variabilidad intragenérica, en especial los descriptores de arquitectura

Tabla 11 Análisis de correspondencia múltiple, distancias entre clústeres

Cluster	1	2	3	4	5
1	207.598	9.349.050	2.993.773	8.958.386	14.494.688
2	9.140.759	415.888	7.309.725	21.835.335	17.337.314
3	2.924.111	7.448.355	277.259	7.951.278	9.970.410
4	8.750.095	21.835.335	7.812.648	415.888	8.402.627
5	14.317.227	17.368.144	9.862.611	8.433.457	385.058



Figura 3 Distancia entre clústeres de introducciones de *C. chinense*. Los grupos más cercanos presentan mayor similitud, mientras los más lejanos no presentan similitud entre las introducciones. los clúster 1 y 3, presentan una similitud alta, al igual que 2 con 4; 3 con 4; 5 con 4 con 2; 2 con 1; 1 con 5

El criterio de agrupamiento mostró que en el clúster I se tiene 17 introducciones, de las cuales una se agrupó en el clúster III (con 12 introducciones). Esto pudo ser debido a estar en el límite de estos dos clústeres (III y I). En los clústeres II (seis introducciones), IV (seis) y V (siete) no ocurrió tal traslape (figura 3).

de planta, las estructuras reproductivas y de producción. Las distancias genéticas posibilitaron la formación de grupos basada en el origen de las introducciones y caracteres de flor y fruto; sin embargo, no se presentó discriminación interespecífica, una vez que las cortas distancias genéticas resultantes del análisis discriminante entre *C. annuum*, *C. frutescens* y *C. chinense* indicaron que conforman un solo grupo morfológico.

Con base en descriptores cualitativos y agronómicos, Martínez Ispizua et al. [21], caracterizaron 26 genotipos de *Capsicum*, los cuales presentaron potencial para su uso en distintos sectores de producción; igualmente determinaron, para esos genotipos, cinco grupos según los criterios pseudo-F y pseudo-t². En el presente estudio, las características cualitativas en el análisis de contribuciones permiten contemplar, para los tres países (Brasil, Colombia y México), un marcado agrupamiento con descriptores predominantes tales como, frutos en estado maduro e inmaduro, así como también flores y hojas. Frutos con ápice redondo, agudo o hendido incluso en una misma planta, así como frutos con pedúnculos con inclinación desde 0 hasta 90°, los cuales fueron observados en *C. chinense*, descripción que coincide con López y Castro [20], (1999) y con Martínez Sánchez et al. [18] en *C. annuum*. Los descriptores evaluados en las introducciones de *C. chinense* provenientes de Brasil, Colombia y México, pueden ser considerados de herencia simple, como sugiere Mathiazhagan et al. [22] y por lo tanto, empleados como marcadores morfológicos para introducciones de esta especie de *Capsicum*. Por medio de la información de los caracteres o descriptores morfológicos y agronómicos sobresalientes, es posible acelerar los procesos de selección y mejoramiento; orientando los resultados hacia la obtención de plantas deseables por determinadas características [23].

Conclusión

En el estudio de caracterización morfológica llevado a cabo en *C. chinense*, se pudo determinar que existe variabilidad genética entre las introducciones evaluadas. Esta variabilidad es determinada principalmente por los descriptores relacionados con la morfología de la planta, en especial con caracteres de la flor y del fruto, y también hoja. A tal variabilidad se puede dar utilidad, para iniciar un programa de mejoramiento genético en *C. chinense*. El uso de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura, permite su conservación además de ser un insumo para futuras investigaciones con índole agropecuario.

Consentimiento de publicación

Los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no el de las instituciones a las que pertenecen.

Perfil de autoría

Daira Alicia del Pilar Cuarán Cuarán

Graduada como Ingeniera Agrónoma de la universidad nacional de Colombia- sede Palmira (2013); Especialista en Gestión de Asistencia Técnica Agropecuaria, Centro Latinoamericano de Especies Menores, SENA CLEM-Tuluá, Valle del Cauca, Colombia (2017). Magister en Ciencias Biológicas, Línea Recursos Fitogenéticos Neotropicales, de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (2022); labora como técnico agropecuario en el secretariado diocesano de pastoral social, proyecto de agricultura sostenible y desarrollo humano integral, Nariño-Colombia.



José René Jiménez Cardona

Graduado en Ingeniería Agronómica (2013), Maestría en Ciencias Biológicas, línea de investigación en recursos fitogenéticos neotropicales (2015); practica profesionalizante en citogenética y epigenética con validación de la diversidad genética de razas criollas e indígenas de maíz de Colombia (Brasil, 2014). Cuenta con experiencia en citogenética clásica y molecular, colecta y caracterización de material vegetal, multiplicación y reproducción de semillas, establecimiento de bancos de germoplasma y conservación de colecciones biológicas ex situ. Ha estado vinculado con la Universidad Nacional de Colombia, La Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” de Sao Paulo, La Universidad Pontificia Bolivariana, el Centro de formación Agroindustrial “la Angostura”, y el Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible SurColombiano, SENA, Pitalito-Huila, Colombia.



Rubén Darío Rojas Pantoja

Graduado en Ingeniería Agronómica (2012), con Maestría en Ciencias Biológicas, con énfasis en Biotecnología Vegetal (2015) de la Universidad Nacional de Colombia, con experiencia en el uso de herramientas de Biología Molecular para el diagnóstico de Fitopatógenos y estudios de diversidad Genética, Universidad de Buenos Aires UBA, Argentina (2014).



Actualmente, es Director de cultivo de cannabis medicinal y flores de corte; liderando procesos agroindustriales en aspectos técnicos y administrativos de mejoramiento, propagación, producción, fertilización y sanidad vegetal.

Jorge Alberto Vélez Lozano

Graduado como Ingeniero Agroforestal de la Universidad de Nariño (2002); Magíster en Ciencias Agrarias Énfasis suelos de la Universidad Nacional- Universidad de Nariño (2006); Doctor en Agroecología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira (2018).



Director Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales de la Universidad de Nariño; Director del Grupo de Investigación Agroforestería y Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales-ARENA; Miembro de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología – SOCLA.

Franco Alirio Vallejo Cabrera

Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, Magister en ciencias de la Universidad Nacional de Colombia; Instituto Colombiano Agropecuario, Doctor en Genética y Mejoramiento de Plantas de la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Profesor Titular, Maestro Universitario,



Profesor Emérito de la Universidad Nacional de Colombia; Premio Nacional de Ciencias de la Fundación Alejandro Ángel Escobar (1994); Investigador Emérito de MinCiencias; Miembro de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales.

Creuci Maria Caetano

Graduada en Ciencias Biológicas (1981), con Maestría en Biología Celular (1995) y PhD en Ciencias Biológicas (2001) de la Universidade Estadual de Maringá (UEM), Paraná. Pedagoga (UEM; 1994), con un perfeccionamiento en Ciencia y Ciudadanía- Ethos Ciencia de la Faculdade Estadual de Campo Mourao, Paraná (1996).



Especialización en Control y Gestión Ambiental (UEM, 1999) y Curso Internacional de Posgrado en Patrimonio Cultural, Turismo Sustentable y Paisaje Cultural (Fondo Verde; 2017). Sus áreas de actuación son la Citogenética Vegetal, la Etnobotánica aplicada, la Conservación y Utilización de Recursos Fitogenéticos (RFG). Ha estado vinculada con el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) (actual Bioversity International), la Universidad Nacional de Colombia y la Fundacao Universidade Federal de Rondônia, na Amazônia Ocidental Brasileira, campus Presidente Médici, Departamento de Engenharia de Pesca.

Referencias

- [1] Ballina-Gómez H, Latournerie-Moreno L, Ruiz-Sánchez E, Pérez-Gutiérrez A, Rosado-Lugo G. Morphological characterization of *Capsicum annuum* L. accessions from southern Mexico and their response to the *Bemisia tabaci*-Begomovirus complex. *Chil J Agric Res* 2013;73:329–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000400001>
- [2] Sun Y-L, Choi I-L, Lee Y-B, Choi KY, Hong S-K, Kang H-M. Molecular diversity and phylogenetic analysis of *Capsicum annuum* varieties using the nrDNA ITS region. *Scientia Horticulturae* 2014;165:336–43. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.009>
- [3] Kehie M, Kumaria S, Tandon P. In vitro plantlet regeneration from

cotyledon segments of *Capsicum chinense* Jacq. cv. Naga King Chili, and determination of capsaicin content in fruits of in vitro propagated plants by high performance liquid chromatography. *Scientia Horticulturae* 2013;164:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.018>

- [4] Rodríguez Araujo E, Bolaños Benavides M, Menjívar Flores J. Efecto de la fertilización sobre la nutrición y rendimiento del pimiento rojo (*Capsicum* spp.) en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* 2010;59:55–64.
- [5] FAO, WHO. Food standards programme codex committee on spices and culinary herbs. Proposal for new work on codex standard for dried or dehydrated chilli (*Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens* L.) and paprika (*Capsicum annuum* L.). Goa, India: 2015.
- [6] Santos PL, Santos LNS, Ventura SPM, de Souza RL, Coutinho JAP, Soares CMF, et al. Recovery of capsaicin from *Capsicum frutescens* by applying aqueous two-phase systems based on acetonitrile and cholinium-based ionic liquids. *Chemical Engineering Research and Design* 2016;112:103–12. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.02.031>
- [7] Chinn MS, Sharma-Shivappa RR, Cotter JL. Solvent extraction and quantification of capsaicinoids from *Capsicum chinense*. *Food and Bioprocess Processing* 2011;89:340–5. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.08.003>
- [8] Bozokalfa MK, Eşiyok D. Evaluation of morphological and agronomical characterization of Turkish pepper accessions. *International Journal of Vegetable Science* 2011;17:115–35. <https://doi.org/10.1080/19315260.2010.516329>
- [9] Shiragaki K, Yokoi S, Tezuka T. Phylogenetic analysis and molecular diversity of *Capsicum* based on rDNA-ITS region. *Horticulturae* 2020;6:87. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040087>
- [10] Palacios C, García D. Caracterización morfológica de 93 accesiones de *Capsicum* spp. del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. *Acta Agronómica* 2008;57:247–52
- [11] IBPGR. Genetics Resources of *Capsicum* – A global Plan Action. International Board for Plant Genetic Resources AGPG . Rome, Italy: 1983.
- [12] IPGRI. Descriptors for *Capsicum* spp. International Plant Genetic Resources Institute . Rome, Italy: 1995.
- [13] Merino-Valdés M, Andrés-Meza P, Leyva-Ovalle OR, López-Sánchez H, Murguía-González J, Núñez-Pastrana R, et al. Influencia de tratamientos pregerminativos en semillas de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). *Acta Agronómica* 2018;67:531–7. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n4.73426>
- [14] González A. Caracterización morfológica. En: Conservación y caracterización de recursos fitogenéticos. 1st ed. Valladolid, España: I. N. E. A. ; 2001
- [15] Raven P, Vuelque R, Eichhorn S. Biología de plantas. In: Freeman W, editor. Biología de plantas, vol. 1. 1st ed., New York, NY: Book News, Inc., Portland, OR; 2005, p. 359–464.
- [16] Poelhman J, Allen D. Mejoramiento genético de las cosechas. 2nd ed. México, D.F.: Limusa; 2003.
- [17] Narez-Jiménez CA, de la Cruz-Lázaro E, Gómez-Vázquez A, Márquez-Quiroz C, García-Alamilla P. Collection and *in situ* morphological characterization of peppers (*Capsicum* spp.) cultivated in Tabasco, Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2014;XX:269–82. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.03.014>
- [18] Sunday OA, Omobolaji OD, Chiamaka AC, Oluwatobiloba OA. Morphological Characterization on accessions of Pepper (*Capsicum annuum*

L. and *Capsicum frutescens* L.) cultivated in Nigeria. *Feddes Repertorium* 2021;132:346–63. <https://doi.org/10.1002/fedr.202000020>

[19] López L, Castro G. Al rescate de la diversidad del chile (*Capsicum* spp.) en Oaxaca. Publicación especial. Oaxaca, México: 1999.

[20] Hao DC, Gu X-J, Xiao PG. Chemotaxonomy. *Medicinal Plants* 2015:1–48. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100085-4.00001-3>

[21] Martínez-Ispizua E, Calatayud Á, Marsal JI, Mateos-Fernández R, Díez MJ, Soler S, et al. Phenotypic divergence among sweet pepper landraces assessed by agro-morphological characterization as a biodiversity source. *Agronomy* 2022;12:632. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030632>

[22] Mathiazhagan M, Chidambara B, Hunashikatti LR, Ravishankar K v. Genomic approaches for improvement of tropical fruits: fruit quality, shelf life and nutrient content. *Genes (Basel)* 2021;12:1881. <https://doi.org/10.3390/genes12121881>

[23] Howell S. Molecular genetics of plant development. 1st ed. New York, NY: Cambridge Univ. Press; 1998.