

Caracterización y evaluación morfológicas de la colección colombiana de achira, *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae)

Evaluation and morphological characterization of the Colombian collection of achira *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae)

Caracterização e avaliação morfológica da coleção colombiana de achira, *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae)

Mario Lobo-Arias,¹ Clara Inés Medina-Cano,² Juan David Grisales-Arias,³
Andrés Felipe Yepes-Agudelo,⁴ Jairo Alonso Álvarez-Guzmán⁵

¹ PhD, Universidad Internacional de la Florida. Investigador PhD, Corpoica, Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Colombia. mlobo@corpoica.org.co

² PhD, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Investigador PhD, Corpoica, Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Colombia. cmedina@corpoica.org.co

³ Agrónomo Zootecnista, Universidad Católica de Oriente. Agrónomo, Jardines Romeral. Rionegro, Colombia. romeralsa1@une.net.co

⁴ Estudiante de Agronomía y Zootecnia, Universidad Católica de Oriente. Rionegro, Colombia. andres.yepes5112@uco.net.co

⁵ Biólogo, Universidad de Antioquia. Docente Investigador, Universidad Católica de Oriente. Rionegro, Colombia. investigacion.aux2@uco.edu.co

Fecha de recepción: 11/03/2015

Fecha de aceptación: 28/06/2016

Para citar este artículo: Lobo-Arias M, Medina-Cano CI, Grisales-Arias JD, Yepes-Agudelo AF, Álvarez-Guzmán JA. 2017. Caracterización y evaluación morfológicas de la colección colombiana de achira *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae). Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 18(1):47-73

DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:558

Resumen

En el Centro de Investigación La Selva, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), se realizó la evaluación de la colección colombiana de achira, *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae). Este proceso de caracterización se desarrolló de acuerdo con variables cualitativas y cuantitativas, y mediante la inclusión de nuevas variables que comprendieron 40 atributos cualitativos (192 estados) y 31 cuantitativos (26 atributos continuos y 5 discontinuos). Se obtuvo variabilidad en 39 de las 40 variables cualitativas, lo que señala un 95,12% de polimorfismo en los atributos registrados, con similitudes máximas del 90% y mínimas

del 50%. Por su parte, todas las 31 características cuantitativas registradas exhibieron variabilidad entre las introducciones de la colección. En el periodo de registro de la información, 16 de las accesiones no exhibieron floración, lo cual indica que hay diferencias en el comportamiento dentro del mismo ambiente, atribuibles a la constitución genética. El conocimiento logrado permitirá utilizar la colección de este recurso biológico para apoyar el desarrollo del cultivo de la especie, a través de la oferta *per se* de materiales, de programas de selección, del desarrollo de cultivares y de la recolección de estados de descriptores no presentes en la colección.

Palabras clave: *Canna edulis*, variedades, colección de semillas, productos procesados, reservas genéticas

Abstract

An evaluation of the Colombian collection of achira *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae) was carried out at La Selva Research Station, of the Colombian Corporation for Agricultural Research (Corpoica). The characterization process consisted of measuring qualitative and quantitative variables. The measured variables included forty (40) qualitative attributes with 192 polymorphic stages and thirty-one (31) quantitative attributes with twenty-six (26) continuous and five (5) discontinuous attributes. Variability was observed in 39 of the 41 qualitative variables, which indicates a 95.12% polymorphism rate of the recorded attributes, with a maximum of 90% and minimum of 50% similarity among

accessions. On the other hand, all 31 recorded quantitative attributes exhibited variability among plant materials in the collection. In addition, 16 plant materials did not produce any inflorescences during the study, which indicates that there are behavioral differences under the same environment which are likely associated to their genetic makeup. The knowledge gained from this study will enable to use the collection of this biological resource to support the development of this species as a crop by supplying plant materials that could be used in selection programs, development of cultivars and the gathering of states of descriptors not present in the collection.

Keywords: *Canna edulis*, varieties, seed collection, processed products, gene pools

Resumo

No Centro de Pesquisa *La Selva*, da Corporação Colombiana de Pesquisa Agropecuária (Corpoica), realizou-se a avaliação da coleção colombiana de achira, *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae). Este processo de caracterização desenvolveu-se de acordo com variáveis qualitativas e quantitativas e mediante a inclusão de novas variáveis que compreendeu 40 atributos qualitativos (192 estados) e 31 quantitativos (26 atributos contínuos e 5 descontínuos). Obteve-se variabilidade em 39 das 40 variáveis qualitativas, o que assinala um 95,12 % de polimorfismo nos atributos registrados, com similitudes máximas do 90 % e mínimas do 50 %.

Pela sua parte, todas as 31 características quantitativas registradas exibiram variabilidade entre as introduções da coleção. No período de registro da informação, 16 das acessões não exibiram floração, o qual indica que há diferenças no comportamento dentro do mesmo ambiente, atribuíveis à constituição genética. O conhecimento conseguido permitirá utilizar a coleção deste recurso biológico para apoiar o desenvolvimento da cultura da espécie, através da oferta *per se* de materiais, de programas de seleção, do desenvolvimento de cultivares e da colheita de estados de descritores não presentes na coleção.

Palavras chave: *Canna edulis*, variedades, coleção de sementes, produtos processados, reservas genéticas

Introducción

La achira pertenece, como género único, a la familia Cannaceae (Tanaka 2004). Fue clasificada como *Canna indica* por Lineo en 1753 y como *Canna edulis* por Ker Gawler en 1824, denominaciones que se consideran sinónimas (Tropicos c2016). Es una especie originaria de la zona andina, cuyo vocablo es de origen quechua (Seminario 2004). Probablemente fue domesticada en la zona andina, desde Colombia hasta Ecuador, con una rápida dispersión desde México hasta el norte de Chile (Ugent et al. 1984; NCR 1989; Ariza-León et al. 2013). Es cultivada para la producción de almidón desde 1.200 años antes de Cristo aproximadamente (León 1964). Si bien los incas la utilizaban en su alimentación (Rodríguez et al. 2003), Colombia ha sido considerada como la principal zona de dispersión (Caicedo et al. 2003).

En Colombia, la especie se cultiva en zonas con altitudes inferiores a 2.700 msnm (Ariza-León et al. 2013), en los departamentos de Nariño (290 ha), Huila (87,5 ha) y Cauca (15,7 ha) (Agronet 2016), y se estima que la demanda de almidón de achira al año en el país es de 2.000 toneladas (Rodríguez et al. 2003). En Taiwán, Vietnam y el sur de China, la especie se siembra entre los 2.000 y los 3.000 msnm (Kasemwong et al. 2003; Roca y Manrique 2005). Las plantaciones en Colombia se establecen con materiales locales, seleccionados por los agricultores (Caicedo et al. 2003); el cultivo de la achira y la extracción de su almidón son actividades importantes para la economía (Torres 2004).

Actualmente se extrae almidón del rizoma mediante procesos de agroindustria rural. Este almidón es utilizado para la elaboración de bizcochos y otros productos artesanales como bizcochuelos, pan de sagú, colaciones y coladas. Estos productos son un símbolo regional, posicionado en el mercado local y nacional, que cuenta con inicios de exportación hacia Norteamérica, Centroamérica y otros países

andinos, con potencial crecimiento de la demanda (Rodríguez et al. 2003). En Vietnam y China, la achira se siembra para el procesamiento de fideos transparentes (Roca y Manrique 2005). En Colombia, este almidón es la base de una cadena agroindustrial, constituida por un conjunto de personas que participan directamente en la producción, transformación y traslado de los productos finales (almidón, cuajada y bizcocho) hasta el mercado (Caicedo et al. 2003).

Según Caicedo et al. (2003), la especie ha sido considerada de importancia estratégica para las áreas de economía campesina, con base en ventajas comparativas como la generación de empleo rural, el mejoramiento de la dieta de la población, la oportunidad de generar valor agregado significativo, el desarrollo sostenible de la agroindustria panificadora y la posible generación de divisas por exportación futura de productos y subproductos. También se ha reportado que la fibra de la achira puede ser usada como suplemento dietético y aditivo en la industria alimentaria y que el almidón comestible de esta exhibe un mayor contenido de amilosa, con la ventaja adicional de que el residuo de la planta puede ser explotado como fuente de pectina (Zhang et al. 2010). Las características fisicoquímicas de la harina de achira podrían contribuir al futuro aumento de su utilización a gran escala en las industrias alimenticia, farmacéutica, de bebidas, de encolantes y otras (Caicedo et al. 2003). Dado que su almidón es fácilmente digerido, este puede ser empleado como alimento de infantes, ancianos y enfermos (Hermann 1994).

La diversidad biológica tiene un importante valor tanto para los usuarios como para los productores (Rojas y Ardila 2000). Estos valores se clasifican como valor de existencia, valor de opción y valor de exploración o de utilización. El valor de existencia se refiere a la conservación de la diversidad para evitar la pérdida de la especie. El valor de opción se refiere a conocer la variabilidad presente en las colecciones para determinar los atributos valiosos

presentes en estas. El valor de utilización o exploración es utilizar la diversidad en conservación —luego de los procesos de valor agregado que permitan conocer su potencial *per se* o como parentales— para programas de mejoramiento (FAO 1996).

El desarrollo de cualquier cultivo parte de una base genética amplia y disponible. Para ello se han conformado los llamados bancos de germoplasma, en los cuales se conservan los genes y genotipos de las especies para su estudio y empleo en procesos productivos *per se* o como parentales para hibridación y combinación de características.

Se ha afirmado que una de las causas de la baja utilización de los bancos de germoplasma es la falta de información sobre la variabilidad de las accesiones en mantenimiento, ya que la utilización depende de una adecuada clasificación de la variabilidad. La FAO (1996) en el “Plan mundial de acción para la conservación y utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura” incluyó, como una de sus prioridades, la realización de procesos de caracterización y evaluación fenotípicas.

Para conocer la variabilidad de una colección se aplican los descriptores, que son un listado de características cualitativas y cuantitativas cuya expresión es fácil de medir, registrar o evaluar, y que hacen referencia a la forma, estructura o comportamiento de una accesión en los diferentes órganos de la planta. Los estados, por su parte, es la variación que puede presentar cada uno de los caracteres evaluados (Hidalgo 2003; Ligarreto 2003).

En el Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación Colombiana para la Alimentación y la Agricultura, se dispone de un conjunto de 56 poblaciones de achira, obtenidas en diversas zonas del país. La colección se encuentra establecida a campo abierto, expuesta a la luz solar, lo que permite apoyar la utilización de la especie como alternativa productiva. Para ello se precisa conocer la variabilidad del conjunto de materiales y, así, poder transformar

su valor de existencia y conservación en valor de utilización. El punto de partida es, por lo tanto, la caracterización de los atributos cualitativos y la evaluación de los cuantitativos, cuyos resultados se presentan en este documento.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en campo y en las instalaciones del Centro de Investigación La Selva, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Ambos lugares de trabajo están ubicados en el municipio de Rionegro, Antioquia, a 2.120 msnm, con una temperatura promedio de 17°C, precipitación anual de 1.800 mm y humedad relativa media de 75%. El Centro de Investigación está ubicado en una formación ecológica de bosque húmedo montano bajo (bh-MB).

Para el desarrollo del listado de descriptores se contó con una lista preliminar desarrollada por la Universidad de Cajamarca, Perú, en el marco del Programa de Cultivo de Raíces y Tubérculos Andinos (Arbizu, et al. 1994). Adicionalmente se tuvieron en cuenta nuevas variables para el descriptor desarrollado por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, por su sigla en inglés) para el cultivo del banano (IPGRI, INIBAP/CIRAD 1996). Se utilizó la tabla de colores de este descriptor para describir las hojas de las accesiones. Cabe anotar que ya ambas familias, Musaceae y Cannaceae, pertenecen al orden de las Zingiberales.

La información se registró de forma individual, en cinco plantas por accesión en plena competencia, en 56 accesiones, las cuales se listan en la tabla 1. En total se tomaron 40 características cualitativas y 31 cuantitativas (tabla 2), las cuales se clasificaron en diferentes categorías: cualitativas binarias, cualitativas multiestado con orden lógico, cualitativas multiestado sin orden lógico, cuantitativas continuas y cuantitativas discontinuas o merísticas, de acuerdo con la categorización propuesta por Crisci y López (1983).

Tabla 1. Listado de las accesiones con su código de introducción, código de parcela y su nombre común

Genotipo	Código de parcela	Nombre común
ILS 2463	162007001	
ILS 2464	162007002	1
ILS 2465	162007003	3
ILS 2466	162007004	4
ILS 2467	162007005	5
ILS 2468	162007006	6
ILS 2469	162007007	7
ILS 2470	162007008	8
ILS 2471	162007009	10
ILS 2472	162007010	11
ILS 2473	162007011	12
ILS 2474	162007012	Variedad morada
ILS 2475	162007013	Morada de Alejandría
ILS 2476	162007014	Verde de Pasto
ILS 2477	162007015	N.º 1 de achira
ILS 2478	162007016	B de Suaza
ILS 2479	162007017	Extra de Cáqueza
ILS 2480	162007018	Morada de Acevedo
ILS 2481	162007019	Morada de Isnos
ILS 2482	162007020	Morada de Los Pinos
ILS 2483	162007021	Nativa de Altamira
ILS 2484	162007022	Raizuda
ILS 2485	162007023	Raizuda de Cáqueza
ILS 2486	162007024	Roja de Pasto
ILS 2487	162007025	Lisa de Cáqueza
ILS 2489	162007027	Morada de San Agustín
ILS 2490	162007028	Clon Verde 1
ILS 2384	162007029	ILS 2384

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Genotipo	Código de parcela	Nombre común
ILS 1455	162007030	CE 109
ILS 1456	162007031	CE 314
ILS 1457	162007032	CE 187
ILS 1458	162007033	DA 13
ILS 1459	162007034	CE 192
ILS 1460	162007035	DA 130
ILS 1461	162007036	RC 125
ILS 1462	162007037	CE 049
ILS 1463	162007038	CE 140
ILS 1464	162007039	MR 17
ILS 1465	162007040	MR 15
ILS 1466	162007041	MR 10
ILS 1467	162007042	MR 44
ILS 1468	162007043	MR 11
ILS 1470	162007044	MR 12
ILS 1471	162007045	CE 03
ILS 2458	162007046	SO-SAT-083
ILS 2459	162007047	483-SAT-001
ILS 2460	162007048	483-SER-26
ILS 2461	162007049	AB-CR-020
ILS 2462	162007050	FS 386
ILS 1068	162007051	FS 274
ILS 1136	162007052	FS 348
ILS 3846	162008501	
ILS 3847	162008502	
ILS 3848	162008503	
ILS 3849	162008504	
ILS 3850	162008505	
ILS 3851	162008506	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Atributos morfológicos cualitativos y cuantitativos registrados en las poblaciones de la colección de achira y su categorización

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Tallo					
Altura planta (cm) (Registrada desde la base del tallo hasta el ápice de cada planta)				X	
Distancia de entrenudo (cm) (Promedio de cinco entrenudos por planta)				X	
Diámetro basal (mm) del tallo (Registrado con el pie de rey en la base de cinco tallos por planta)				X	
Diámetro medio (mm) (Medido con el pie de rey en cinco tallos a una altura de 50 cm desde la base)				X	
Color del tallo 1. Verde 2. Verde con morado 3. Morado 37 4. Verde manchas claras 5. Verde manchas oscuras 6. Verde amarillento 7. Morado oscuro			X		
Pubescencia del tallo 0. Ausencia 1. Presencia	X				
Hojas					
Canal del peciolo 1. Abierto con márgenes alados 2. Abierto con márgenes erectos 3. Estrecho con márgenes erectos 4. Márgenes retorcidos hacia el interior 5. Márgenes superpuestos			X		
Manchas en la base del peciolo 0. Ausente 1. Pocas 2. Manchas pequeñas 3. Manchas grandes 4. Pigmentación extensa 5. Ninguna pigmentación	X				

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Color de las manchas 1. Ninguno 2. Morado 3. Verde claro 4. Morado verdoso 5. Morado con manchas claras			X		
Margen del peciolo 1. Alados y ondulados 2. Alados y no estrechos por el pseudotallo 3. Alados y estrechados por el pseudotallo 4. No alados y estrechados por el pseudotallo 5. No alados y no estrechados por el pseudotallo			X		
Color del margen del peciolo 1. Verde 2. Rosado malva a rojos 3. Morado			X		
Aspecto de las alas 1. Marchitas 2. No marchitas	X				
Color de la cara dorsal del cigarro 1. Verde 2. Rojo violáceo 3. Verde con pigmentación morada			X		
Forma de la lámina foliar 1. Lanceolada: cuando es de tres a seis veces más larga que ancha			X		
Corrugación de la lámina 1. Muy poco corrugada 2. Corrugada 3. Muy corrugada		X			
Forma de la base de la hoja 1. Decurrente 2. Cuneada 3. Envainadora 4. Inequilátera			X		

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Forma del ápice de la hoja 1. Acuminada estrecha 2. Aguda 3. Acuminada amplia			X		
Color de la nervadura en el haz 1. Verde claro 2. Verde medio 3. Moradas 4. Verde (b) 5. Verde (a) 6. Verde medio y en la base con pigmentación rojiza			X		
Color de la nervadura en el envés 1. Amarillo 2. Verde claro 3. Verde medio 4. Verde 5. Rosado malva 6. Rojo violáceo 7. Morado a azul 8. Verde claro con manchas moradas			X		
Presencia de antocianina 0. Ausente 1. Presente	X				
Color del haz de la hoja (medido en el centro de la hoja) 1. Verde (a) 2. Verde oscuro (a) 3. Verde medio (a) 4. Verde (b) 5. Verde variegado 6. Verde oscuro (b)			X		
Color del envés de la hoja (medido en el centro de la hoja) 1. Verde (a) 2. Verde (b) 3. Verde medio 4. Verde claro (b) 5. Verde oscuro (b)			X		

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Longitud de hoja (cm) (Promedio de cinco hojas, cuyo registro es realizado desde la base de la hoja hasta el ápice)				X	
Ancho de la hoja (cm) (Promedio de cinco hojas, tomado desde un costado de la hoja hasta el otro)				X	
Diámetro del peciolo (mm) (Promedio de cinco hojas, tomado con el pie de rey en la parte media del peciolo)				X	
Longitud de la nervadura (Promedio de cinco hojas, cuyo registro es realizado a lo largo de la lámina foliar)				X	
Diámetro de la nervadura (mm) (Promedio de cinco hojas, registrado con un pie de rey en la parte media de la nervadura)				X	
Flor					
Intensidad de la floración 0. Ninguna 1. Escasa (hasta 10) 2. Moderada (hasta 20) 3. Abundante (hasta 30 o más)		X			
Antocianina en el pedúnculo 1. Ausencia 2. Baja 3. Media 4. Alta		X			
Ubicación de antocianina en el pedúnculo 1. Basal 2. Media 3. Apical 4. Toda 5. 2 y 3			X		
Longitud del pedúnculo (cm) (Promedio de cinco pedúnculos)				X	
Diámetro del pedúnculo (mm) (Promedio de cinco pedúnculos, registrado con un pie de rey en la parte media)				X	

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Número de flores en el pedúnculo (Promedio de cinco pedúnculos. Conteo de cada una de las flores)					X
Color de sépalos (haz) 1. Verde amarillento 2. Verde naranja 3. Rojo vino tinto 4. Púrpura con verde 5. Rosado malva con verde 6. Verde con rosado 7. Rosado 8. Verde claro 9. Verde con borde blanco 10. Rosado con verde			X		
Color de sépalos (envés) 1. Verde con borde púrpura 2. Amarillo 3. Púrpura con verde 4. Verde amarillento 5. Verde con borde rosado malva 6. Verde claro 7. Verde con borde blanco 8. Rojo violáceo			X		
Longitud de sépalo (mm) (Promedio de sépalos de cinco flores por planta)				X	
Ancho del sépalo (mm) (Promedio de sépalos de cinco flores por planta. Registrado en la parte media)				X	
Presencia de cera 0. Ausencia 1. Presencia			X		
Ubicación de la cera 1. Sépalo 2. Pétalos 3. Pedúnculo 4. Estaminodio 5. Brácteas 6. 5 y 1 7. 5, 1 y 2			X		

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Color de pétalos (haz) 1. Amarillo 2. Naranja 3. Rojo púrpura 4. Rojo 5. Naranja con manchas amarillas 6. Amarillo con bordes naranja 7. Rosado 8. Amarillo claro 9. Rosado con manchas amarillas 10. Rojo púrpura con verde			X		
Color de pétalos (envés) 1. Amarillo 2. Naranja 3. Amarillo con borde rojo 4. Blanco amarillo con borde rojo 5. Amarillo con borde rosado 6. Amarillo claro 7. Rosado 8. Verde con borde rojo			X		
Longitud de pétalos (mm) (Promedio de pétalos de cinco flores por planta)				X	
Ancho de pétalos (mm) (Promedio de pétalos de cinco flores por planta. Registrado en la parte media)				X	
Color de estaminodios 1. Amarillo con puntos rojos 2. Naranjado con borde rojo 3. Naranjado 4. Rojo 5. Rojo con el central de base amarillo, con puntos rojos y ápice rojo 6. Rojos y el del centro rojo con manchas amarillas 7. Naranjado, borde rojo y centro amarillo 8. Amarillo con ápice naranja			X		
Longitud estaminodios (mm) (Promedio de los estaminodios de cinco flores por cinco plantas)				X	
Ancho de los estaminodios (mm) (Promedio de los estaminodios de cinco flores por plantas)				X	

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Número de estaminodios (Promedio del número estaminodios en cinco flores)					X
Color de los estambres 1. Amarillo con puntos rojos 2. Rojo naranja con franjas amarillas 3. Rojo con centro amarillo 4. Naranjado 5. Amarillo con borde rojo 6. Naranja con manchas amarillas 7. Rojo			X		
Longitud de los estambres (mm) (Promedio de la longitud del estambre de cinco flores de cinco plantas)				X	
Ancho de los estambres (mm) (Promedio del ancho del estambre de cinco flores de cinco plantas)				X	
Color del pistilo 1. Naranjado claro con borde amarillo y puntos rojos 2. Naranjado rojizo con borde amarillo 3. Naranjado con el ápice rojo 4. Naranjado 5. Amarillo naranja 6. Apical naranja, basal amarillo 7. Naranja con puntos rojos 8. Amarillo con puntos rojos 9. Amarillo 10. Naranja rojizo 11. Rojo 12. Amarillo con ápice rojo			X		
Longitud del pistilo (mm) (Promedio de la longitud del pistilo de cinco flores de cinco plantas)				X	
Ancho del pistilo (mm) (Promedio del ancho del pistilo de cinco flores de cinco plantas)				X	
Fruto					
Longitud del pedicelo (mm) (Promedio de la longitud del pedicelo de cinco frutos de cinco plantas)				X	
Díámetro del pedicelo (mm) (Promedio del ancho del pedicelo de cinco frutos de cinco plantas)				X	

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Número de yemas de los propágulos (Promedio del número de las yemas de los rizomas)					X
Forma del fruto 1. Circular 2. Ovado			X		
Sección transversal del fruto 1. Tres compartimientos 2. Cuatro compartimientos 3. Dos compartimientos			X		
Vestigios de floración en el fruto 0. Ausencia 1. Presencia	X				
Número de frutos pedúnculo (Promedio de cinco pedúnculos)					X
Color de la cáscara inmadura 1. Amarillo 2. Verde 3. Amarillo con antocianina 4. Verde con antocianina			X		
Color de la cáscara madura 1. Café			X		
Dehiscencia del fruto 0. Ausencia 1. Presencia	X				
Diámetro del fruto (mm) (Promedio de los frutos de los cinco pedúnculos)				X	
Espesor de la cáscara (mm) (Promedio de la cáscara de cinco frutos de cinco plantas)				X	
Textura de la semilla 1. Lisa 2. Rugosa			X		
Color de la semilla 1. Blanca 2. Negra 3. Café oscuro 4. Café claro			X		

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Variable	Cualitativa			Cuantitativa	
	Binaria	Multiestado lógico	Multiestado no lógico	Continua	Discontinua
Número de semillas por fruto (Promedio de las semillas de cinco frutos de cinco plantas)					X
Diámetro de la semilla (mm) (Promedio del diámetro de cinco semillas de cinco frutos de cinco plantas)					X
Rizoma					
Forma del rizoma 1. Ovado 2. Oblongo 3. Oblongo alargado 4. Elíptico 5. Forma indefinida			X		
Color de la superficie del rizoma 1. Blanco 2. Blanco con púrpura 3. Caramelo con morado 4. Verde amarillento 5. Caramelo 6. Púrpura 7. Verde con blanco 8. Púrpura con verde 9. Verde			X		
Color de la yema de los propágulos 1. Verde 2. Verde púrpura 3. Rojo púrpura 4. Púrpura 5. Púrpura con blanco 6. Blanca 7. Verde amarillento 8. Caramelo			X		

Fuente: Elaboración propia

Para las variables cualitativas se llevó a cabo un análisis univariado que incluyó la moda y la desviación estándar; posteriormente, con las variables que presentaron variabilidad se realizó el análisis de conglomerados. Para ello, se hizo una matriz de similitud entre accesiones, mediante el empleo del coeficiente simple de similitud y, luego, con esta matriz, se construyeron dendrogramas, con el empleo del algoritmo de las medias no ponderadas (UPGMA, por su sigla en inglés) en el programa NTSYS (Numerical Taxonomy System).

Para el caso de las características cuantitativas, se obtuvieron promedios, valores máximos y mínimos, y desviaciones estándar por variable. Luego, se llevó a cabo un análisis de componentes principales, para evaluar el aporte de cada uno de los atributos registrados a la variabilidad total y graficar, en un plano cartesiano, la relación entre las variables y los genotipos evaluados.

Con los datos, en el programa MVSP (Multivariate Statistical Package) y mediante el empleo del coeficiente de Gower (1971) —que permite unir descriptores binarios, multiestado (ordinales y cualitativos) y cuantitativos, sin hacer transformaciones—, se hicieron fenogramas de índole cualitativa-cuantitativa, para conocer la distribución de la variabilidad encontrada en los genotipos evaluados. Se empleó el algoritmo de las medias no ponderadas UPGMA.

Resultados y discusión

Variables cualitativas

En la tabla 3 se incluye la moda de cada uno de los atributos cualitativos, el número de estados descritos por variable y los estados encontrados en la colección. Se presentó alta variabilidad, ya que en 38 de las 41 características estudiadas hubo polimorfismo, lo cual señala un 92,68 % de los atributos con variabilidad.

Tabla 3. Valores modales obtenidos con las variables morfológicas cualitativas

Variable	Moda	Desviación estándar	Estados por variable	Estados encontrados	Porcentaje de variabilidad (%)
Canal del peciolo	Márgenes superpuestos	0,6	5	3	60
Manchas en la base del peciolo	Pigmentación extensa	1,2	5	5	100
Color de las manchas	Verde claro	1,0	6	4	66,6
Márgenes del peciolo	Alados y estrechados por el pseudotallo	0,2	5	3	60
Color de márgenes del peciolo	Morado	1,1	4	4	80
Aspectos de las alas	No marchitas	0,4	2	2	100
Forma de la lámina	Lanceolada	0,0	1	1	100
Color de la cara dorsal del cigarro	Verde	0,8	3	3	100
Corrugación de la lámina	Muy poco corrugada	0,5	3	3	100
Forma de la base de la hoja	Decurrente	1,1	4	3	75

(Continúa)

(Continuación tabla 3)

Variable	Moda	Desviación estándar	Estados por variable	Estados encontrados	Porcentaje de variabilidad (%)
Forma del ápice de la hoja	Acuminada estrecha	0,7	3	3	100
Color de nervaduras en el haz	Verde medio	1,3	6	6	100
Color de nervaduras en el envés	Verde claro	1,0	8	5	62,5
Presencia de antocianina	Ausente	0,5	2	2	100
Color del haz	Verde oscuro (a)	1,1	6	7	85,7
Color del envés	Verde (b)	0,7	5	5	100
Intensidad de floración	Moderada (a 20)	0,8	3	3	100
Antocianina en el pedúnculo	Media	0,7	4	4	100
Ubicación antocianina	Media y apical	0,9	5	3	60
Color de sépalos en el haz	Púrpura con verde	0,5	10	3	30
Color de sépalos en el envés	Verde con borde rosado malva	1,6	8	4	50
Presencia de cera	Presencia	0,0	2	1	50
Ubicación de la cera	Brácteas, sépalos y pétalos	0,6	7	2	28,6
Color de pétalos en el haz	Naranja	2,0	10	4	40
Color de pétalos en el envés	Naranja	1,8	9	4	44,4
Color de estaminodios	Naranjado	1,8	8	5	62,5
Color de los estambres	Naranjado	1,6	7	5	71,4
Color del pistilo	Apical naranja, basal amarillo	3,0	13	7	53,8
Color de la superficie del rizoma	Verde	2,4	10	7	70
Forma del rizoma	Ovado	0,5	5	2	40
Color de la yema de los propágulos	Verde	2,2	9	5	55,5
Color	Verde	1,4	8	6	75
Pubescencia del tallo	Presencia	0,2	2	1	50

(Continúa)

(Continuación tabla 3)

Variable	Moda	Desviación estándar	Estados por variable	Estados encontrados	Porcentaje de variabilidad (%)
Forma del fruto	Ovado	0,5	2	2	100
Sección transversal del fruto	Tres compartimientos	0,4	3	1	33,3
Vestigios de floración del fruto	Presencia	0,4	2	2	100
Color de la cáscara inmadura	Verde con antocianina	1,3	5	3	60
Color de la cáscara madura	Café	0,0	2	1	50
Dehiscencia del fruto a la madurez	Presencia	0,4	2	1	50
Textura de la semilla	Lisa	0,3	3	1	33,3
Color de la semilla	Negra	0,5	5	2	40

Fuente: Yepes y Grisales (2013)

Las variables que no presentaron polimorfismo en el proceso de caracterización fueron las siguientes: forma de la lámina foliar, presencia de cera y color de la cáscara del fruto maduro. La ausencia de variabilidad en atributos cualitativos está relacionada con diversas causas, entre ellas, la selección llevada a cabo por parte de las comunidades que realizaron los procesos de domesticación, la ventaja selectiva de las características en relación con el valor reproductivo y las consecuencias del efecto fundador durante la domesticación (Medina y Lobo 2001; Rosso et al. 2002).

De las 225 variantes totales posibles que hay en los descriptores (tabla 3), se detectaron 139 en las poblaciones estudiadas, lo cual indica una ocurrencia del 61,77% de los polimorfismos cualitativos descritos hasta el presente. La variabilidad morfológica cualitativa de las accesiones evaluadas era de esperarse, ya que la gran mayoría de estas proviene de poblaciones locales dispersas y han sido sembradas por pequeños productores en zonas incluidas en áreas de domesticación de la achira con posibles especies relacionadas.

En cuanto al número de morfoalelos encontrados en la población estudiada, se ha indicado que el objetivo de un grupo de materiales conservado *ex situ* es adquirir y mantener tantos alelos como sea factible, de manera que resulte posible una utilización eficiente en conjuntos de accesiones del menor tamaño posible (Votava et al. 2002). Por su parte, Hayward y Sackville-Hamilton (1997) señalaron que históricamente el germoplasma ha sido colectado sin una evaluación previa de la variabilidad genética, lo cual ha conducido a la conformación de colecciones grandes con muchas accesiones duplicadas (Tapias y Fries 2004).

En el dendrograma cualitativo (figura 1), obtenido mediante el coeficiente de similitud y graficado con el método UPGMA (algoritmo de la media aritmética no ponderada), se evidencia que se encontró una similitud máxima entre los materiales: cerca del 90%, mientras que la mínima fue del 50%. En el árbol de diversidad, se observa que las accesiones formaron dos grandes grupos, en los cuales no hay un patrón de agrupamiento por localidad de colecta.

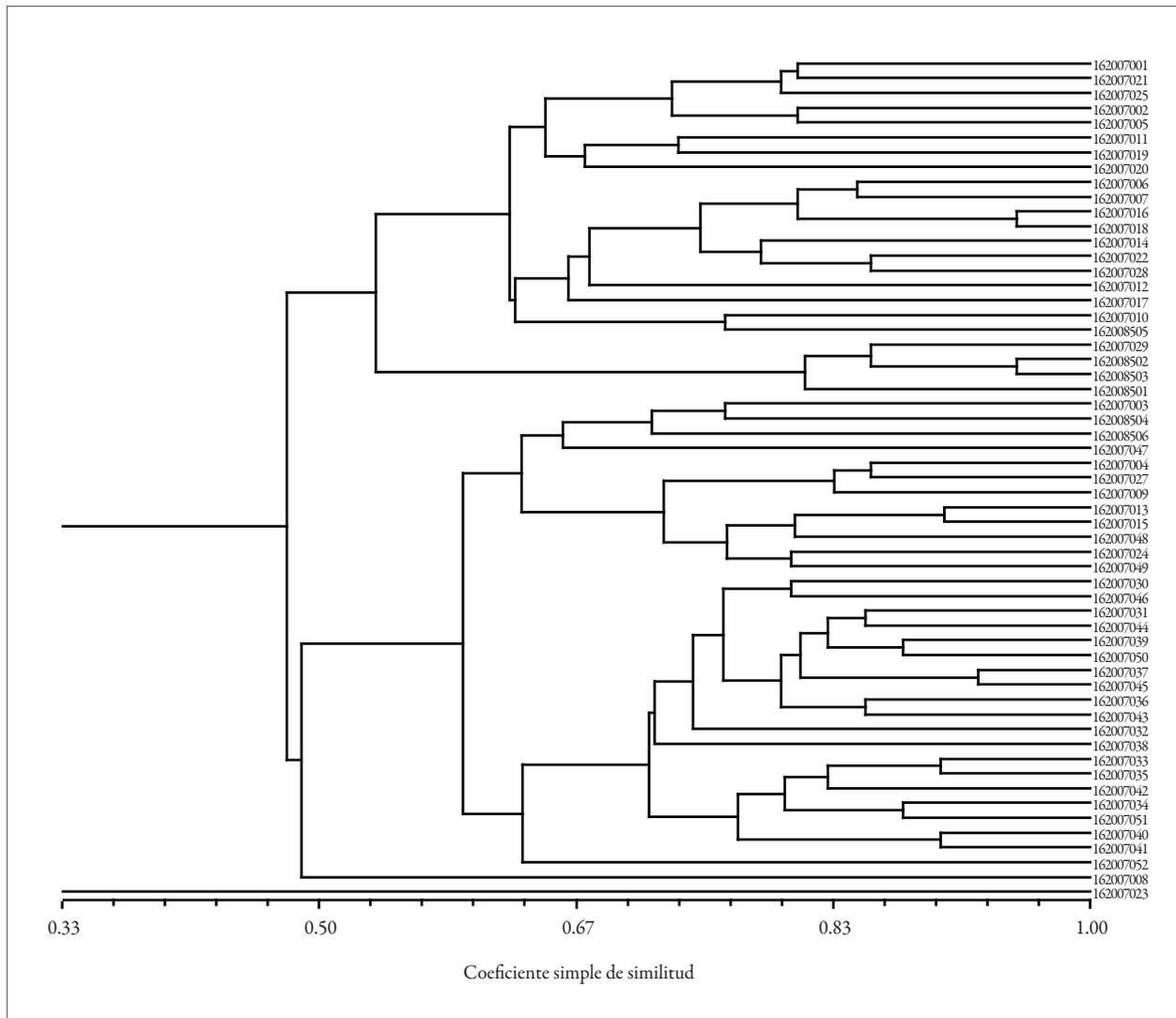


Figura 1. Dendrograma cualitativo de la colección colombiana de achira.

Fuente: Yepes y Grisales (2013)

En trabajos reportados para la achira en Perú, se ha encontrado que los caracteres cualitativos más discriminantes fueron los siguientes: color secundario del haz y del envés; distribución del color secundario del haz y del envés; color de los sépalos y de los pétalos; color secundario de los pétalos; disposición, forma y color del fruto; y susceptibilidad a plagas y enfermedades (Tapias y Fries 2004). El Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (Bolivia) et al. (2010) han señalado que las características discriminantes de los clones de achira son los colores de la piel de los cormos y del follaje, y el hábito de crecimiento. En Tailandia, los estudios describen dos variantes: una con color púrpura en la punta de

los rizomas y otra con color púrpura en el borde de las hojas; la primera se llama *thai-verde* y la segunda, *thai-púrpura* (Kasemwong et al. 2003).

Variables cuantitativas

En la tabla 4 se incluye el promedio para cada una de las variables cuantitativas evaluadas en la colección de achira, al igual que los valores máximos y mínimos encontrados y la desviación estándar de la colección en estudio. Las características cuantitativas corresponden a poligenes, atributos con efectos acumulativos muy afectados por el ambiente (Medina 2010).

Tabla 4. Promedio, valores máximos y mínimos, y desviación estándar obtenidos con las variables cuantitativas

Variable	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar
Longitud de hoja (cm)	51,5	70,8	29,8	7,0
Ancho de hoja (cm)	19,0	26,4	11,4	3,2
Diámetro del peciolo (mm)	9,7	16,4	5,7	2,0
Longitud de nervadura (cm)	41,1	61,9	17,7	7,0
Diámetro de nervadura (mm)	6,1	9,2	3,8	1,0
Longitud del pedúnculo (cm)	5,6	8,4	3,0	1,0
Ancho del pedúnculo (mm)	21,9	39,7	6,3	8,7
Número de flores en el pedúnculo	43,6	82,8	2,8	9,5
Longitud de pétalos (mm)	9,5	24,0	5,0	2,9
Ancho de pétalos (mm)	60,9	125,0	4,0	13,7
Longitud de estaminodios (mm)	10,0	50,9	3,7	8,6
Ancho de estaminodios (mm)	4,0	7,0	1,0	1,6
Longitud de estambres (mm)	56,8	100,6	38,0	10,4
Ancho de estambres (mm)	7,7	55,7	3,8	6,3
Longitud del pistilo (mm)	54,7	90,8	5,8	7,8
Ancho del pistilo (mm)	3,8	10,2	2,1	1,4
Longitud del pedicelo (mm)	6,1	15,2	1,6	2,3
Diámetro del pedicelo (mm)	2,4	6,3	1,1	0,9
Longitud del sépalo (mm)	15,3	35,0	3,5	4,0
Ancho del sépalo (mm)	6,0	11,7	3,9	1,4

(Continúa)

(Continuación tabla 4)

Variable	Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar
Número de estaminodios	3,8	4,0	3,0	0,4
Número de yemas de los propágulos	1,2	3,0	1,0	0,4
Diámetro basal (mm)	31,4	46,5	15,0	6,3
Diámetro medio (a 50 cm) (mm)	25,5	41,2	0,0	6,6
Altura de la planta (cm)	152,9	223,0	30,7	37,7
Distancia del entrenudo (cm)	10,1	20,0	3,5	2,7
Número de frutos del pedúnculo	11,0	20,0	4,7	3,3
Diámetro del fruto (mm)	20,1	27,6	15,3	2,5
Longitud del pedicelo (mm)	8,2	15,5	3,6	2,9
Ancho del pedicelo (mm)	2,4	3,8	1,9	0,3
Espesor de la cáscara (mm)	2,5	4,0	1,0	0,7
Número de semillas por fruto	10,6	22,3	5,0	3,5
Diámetro de la semilla (mm)	6,3	8,4	4,3	0,9

Fuente: Yepes y Grisales (2013)

La totalidad de las 33 variables cuantitativas registradas en la colección presentó variabilidad, lo que permite inferir que esta colección es fuente de germoplasma variable con potencial para programas de mejoramiento. Se aclara que, durante el periodo de estudio, en 16 de los 56 materiales no hubo floración. Los valores máximos y mínimos que marcan el intervalo de variabilidad indican que hay diferentes grados de adaptación (Vásquez et al. 2004).

Las variables con una mayor desviación estándar estuvieron relacionadas con el tamaño de las partes

florales (ancho de pétalos, longitud de estambres y número de flores por pedúnculo) y con la altura de la planta. Dichas variables podrían ser un indicativo del uso que se les puede dar a las accesiones. Así, Seminario et al. (1999) refieren que las flores son un indicativo del uso de la planta: comestibles (flores pequeñas), ornamentales (flores grandes y vistosas).

La dispersión registrada en la longitud y ancho de las hojas puede servir de base para la selección de materiales destinados a la alimentación de diversos animales. Vaughan y Fernández (2013) reportan que la achira es una fuente de forraje para épocas

secas, puesto que aporta materia y humedad. Trabajos realizados en Ecuador (Tapias y Fries 2004) también muestran una amplia dispersión de los datos en cuanto a la altura de la planta: desde 1,5 hasta 3,0 metros.

En la figura 2 se incluyen los agrupamientos de las accesiones, con base en los dos primeros componentes, en los cuales se pueden apreciar tres agrupamientos, así como un conjunto de accesiones dispersas. Esto indica una variabilidad genética amplia entre materiales, de acuerdo con los atributos cuantitativos, a pesar de que estos están sembrados en un mismo ambiente.

Variables cualitativas y cuantitativas

El análisis de componentes principales es una metodología que permite la estructuración de un conjunto de datos multivariados obtenidos de una población, con reducción de la dimensionalidad del problema en estudio, mediante la creación de variables exploratorias, conocidas como componentes

principales (Broschat 1979). Por medio de este análisis, se identificaron las características con mayor contribución a la expresión de la variabilidad, lo que permitió realizar una reducción en la información registrada en campo.

Los cinco primeros componentes aportaron el 89,29% de la variabilidad total (tabla 5) y presentaron valores característicos superiores a 1. El primer componente principal, que aportó el 52,76%, está relacionado con las variables reproductivas, las flores y los frutos. El segundo componente, con un acumulado de 72,92%, tiene que ver con las variables de hojas, flores, plantas, frutos y semillas. El tercer componente, con una acumulación del 81,66%, estuvo constituido por variables de hojas. Los atributos contribuyentes del cuarto componente correspondieron a rizomas, con un total de 86,12% de variabilidad. Finalmente, el quinto componente, con un acumulado de 89,28%, estuvo relacionado con las variables de hojas y rizomas.

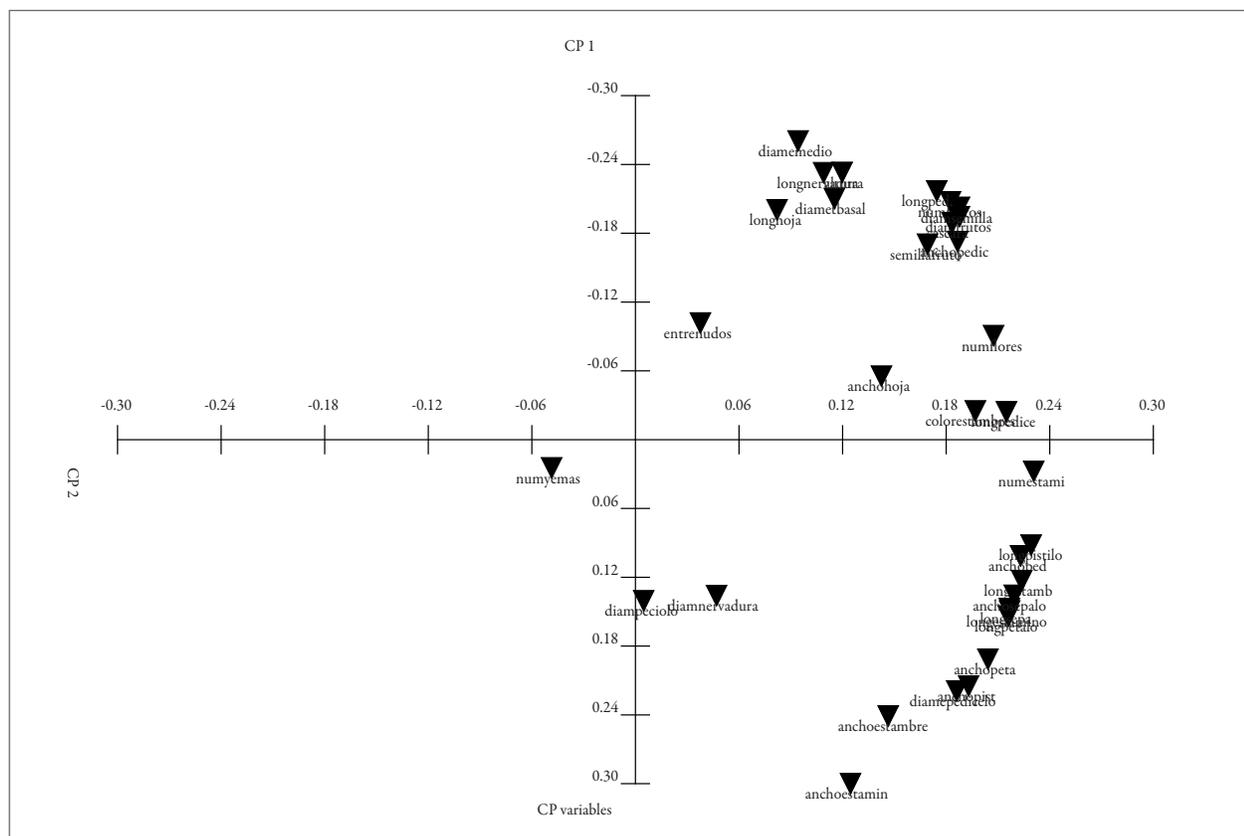


Figura 2. Aporte de las variables registradas a los componentes 1 y 2 de las variables cuantitativas. Fuente: Yepes y Grisales (2013)

Tabla 5. Componentes principales que más aportaron a la variabilidad cuantitativa

Componente principal	Valor característico	Proporción	Acumulado
PRIN 1	17,41	52,76	52,76
PRIN 2	6,654	20,16	72,92
PRIN 3	2,883	8,74	81,66
PRIN 4	1,472	4,46	86,12
PRIN 5	1,043	3,16	89,28

Fuente: Yepes y Grisales (2013)

En cuanto a las semillas, se han encontrado cultivares fértiles, capaces de producir buena cantidad de semilla sexual. En otros materiales se han encontrado bajas cantidades de semilla por cápsula, a pesar de que cada flor tiene 20 óvulos en promedio (CIP 1996). Se ha reportado que otro factor que presenta variabilidad es el de precocidad para florecer, por ejemplo, el material conocido como *gruesa* nunca floreció (Vaughan y Fernández 2013), lo cual puede indicar que se trata de un cultivar triploide (Hermann et al. 1999, citado por Vaughan y Fernández 2013).

La variabilidad morfológica cualitativa y cuantitativa encontrada en las poblaciones de la colección de campo permite discriminar dos grandes grupos, cada uno con variabilidad interna, lo cual señala el potencial del material para el desarrollo de la achira como alternativa productiva (figura 3). Al respecto, artículos de revisión sobre el tema han demostrado que la diversidad en plantas clonales, como es el caso de la achira, puede ser tan elevada como aquella de las poblaciones de los taxa de reproducción sexual (Widén et al. 1994). Estos autores añaden que la reproducción sexual y la estrategia de crecimiento vegetativo afectan la cantidad y la distribución de la variabilidad de este tipo de plantas.

Hermann et al. (1999) reportan que en la zona andina se encuentra una mayor variabilidad que en los cultivares asiáticos, que es necesario seleccionar variedades que sean sexualmente fértiles y conservar el germoplasma sin valor aparente.

Con la colección conformada, conservada y descrita, se tiene ya una base genética para iniciar el desarrollo de la especie y proveer a los mejoradores con las variantes genéticas, genes o genotipos que les permitan responder a los nuevos desafíos planteados por los sistemas productivos (Abadie y Berretta 2001). Entre las oportunidades para el desarrollo del cultivo y su articulación con la cadena de industrialización, se encuentra la disponibilidad de materiales genéticos colectados en las distintas regiones. A partir de estos, es posible la obtención de clones o variedades, con base en su caracterización agronómica, en el estudio de su adaptación, en el potencial de producción de rizomas y en la conversión a almidón.

Conclusiones

En el estudio se encontró una amplia variabilidad cualitativa en 39 de las 41 variables estudiadas, o sea en el 95,12 % de estas, lo cual evidencia un amplio polimorfismo. Esto indica la posibilidad de seleccionar parentales para obtener individuos con determinadas características a partir de las combinaciones requeridas.

Lo anterior se corrobora con el hecho de que se encontró un valor máximo de divergencia (del 90 %) entre pares de poblaciones evaluadas, sin que se detectaran demes o poblaciones similares. Esto potencia el uso de la colección para la búsqueda de los atributos requeridos por los usuarios de la cadena: producción, consumo, industria y consumidor.

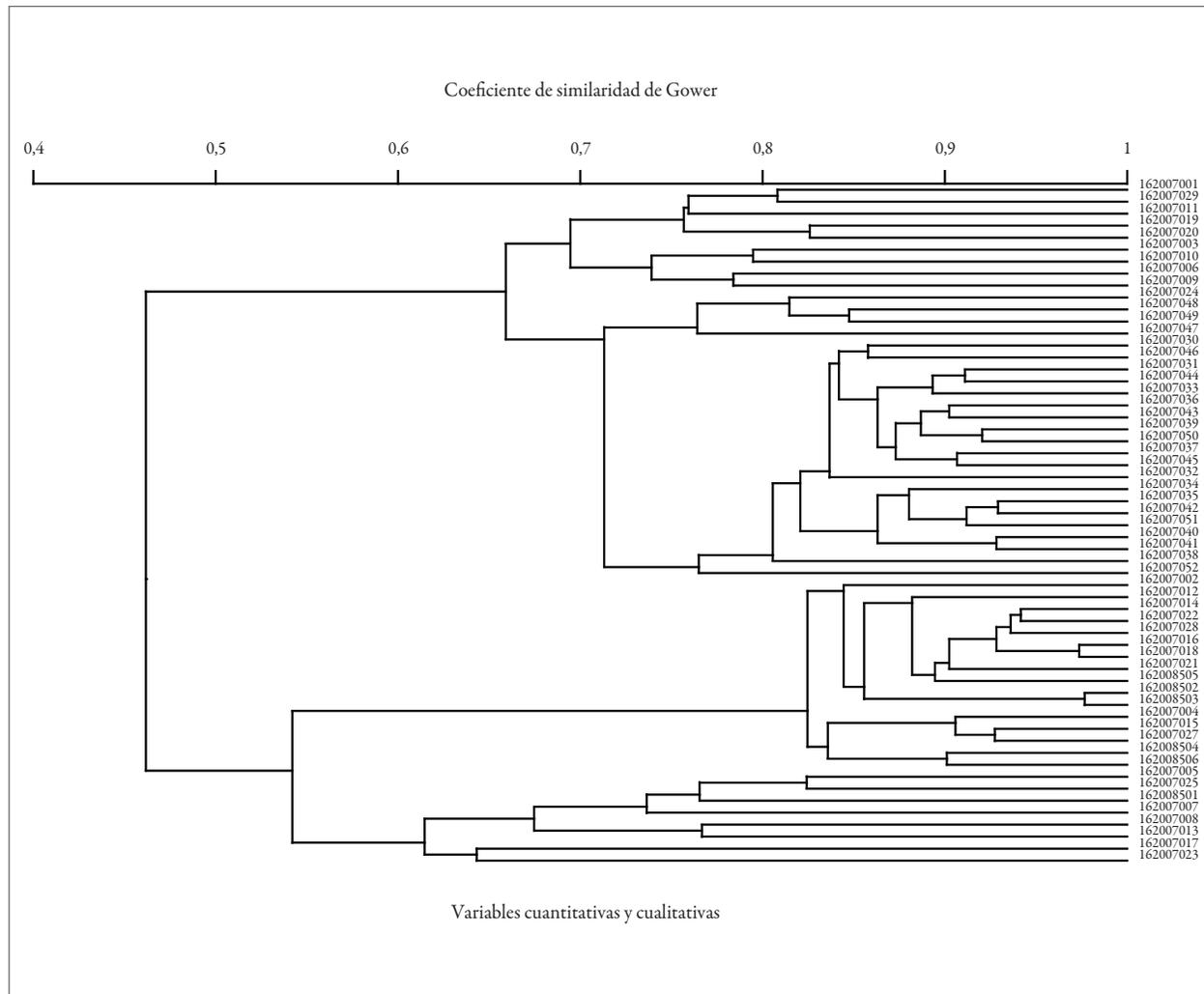


Figura 3. Dendrograma cualitativo-cuantitativo de la colección de achira de Colombia.
Fuente: Yepes y Grisales (2013)

Lo precedente también es un indicativo de posible variabilidad de conjuntos de genes cuantitativos por estrecho ligamiento con los alelos cualitativos, lo que indica un potencial de recombinación de los llamados QTL (genes cuantitativos) para atributos afectados por el ambiente, los cuales están relacionados con la productividad.

Igualmente, se detectó variabilidad cuantitativa importante en el estudio, a lo cual contribuyeron en forma destacada las variables de hojas y rizomas. A través del empleo de las distancias cuantitativas, se podrían seleccionar parentales para la obtención de segregantes con acumulación de genes cuantitativos y aditivos para rendimiento.

Lo anterior se puede complementar con la información de atributos cualitativos, para unir las características deseadas en los genotipos con los atributos cuantitativos que están relacionados con aspectos productivos.

La incorporación y organización en una base de datos de la información de las modas de las variables cualitativas y los promedios de las variables cuantitativas (por accesión) facilitaría el empleo de los materiales de la colección de achira, puesto que se pasaría del valor de existencia al valor de opción y de utilización.

Los resultados obtenidos son una primera aproximación a la variabilidad existente en la colección, la cual se ha obtenido con base en los dendrogramas

logrados con las variables cualitativas, las variables cualitativas y cuantitativas y el análisis de componentes principales con los atributos cuantitativos.

Los datos de colecta son una herramienta importante para la búsqueda de materiales con los atributos deseados y para su siembra *per se*, en principio, en zonas similares a las de la colecta, a fin de evaluar su adaptación y comportamiento.

De acuerdo con la exigencia de atributos en las zonas actuales de siembra y otras zonas potenciales, se podría comenzar un programa de hibridación para obtener las características deseadas por los productores y consumidores de la especie, mediante la entrega de variedades mejoradas. Igualmente, con base en los atributos deseados (no presentes en la colección) se podrían hacer nuevas colectas para llegar a obtenerlos. También es importante hacer caracterizaciones

de otra índole, con el fin de ubicar características importantes en el proceso productivo de la achira, que respondan a la demanda y a las posibilidades de desarrollar cultivares con potencial industrial.

Agradecimientos

Esta investigación fue desarrollada en el marco del convenio CN-004 de 2013, suscrito entre el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) para la conservación y caracterización de los Bancos de Germoplasma de la Nación Colombiana.

Descargos de responsabilidad

Las afirmaciones, juicios y opiniones expresados en este artículo corresponden a los autores y manifiestan que no existen conflictos de interés.

Referencias

- Abadie T, Berretta A. 2001. Caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos. En: Berretta A, Rivas M, coordinadores. Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. Montevideo, Uruguay: Procisur, IICA.
- Agronet. 2016. Estadísticas agrícolas: Área, producción y rendimiento nacional por cultivo. [consultado 2016 abr 25]. <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Arbizu C, Seminario J, Valderrama M, Santos FF, Ugarte ML, Lizárraga L, Aguirre M. 1994. Lista preliminar de descriptores de achira. Programa colaborativo, conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Lima, Perú: Universidad de Cajamarca.
- Ariza-León E, Castro-Cely AL, Gómez-Cañón JD. 2013. Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua. *Rev Ion*. 26(1):63-71.
- Broschat TK. 1979. Principal component analysis in horticultural research. *Hortic Sci*. 14:114-117.
- Caicedo GE, Rozo LS, Rengifo G. 2003. La achira, alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina. Bogotá, Colombia: Corpoica.
- Cárdenas M. 1989. Manual de plantas económicas de Bolivia. La Paz, Bolivia: Los Amigos del Libro.

- [CIP] Centro Internacional de la Papa. 1996. Memorias: Programa colaborativo de biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. La Molina, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Crisci JV, López MF. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Washington, D.C., EE. UU.: Secretaría General de la OEA, Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 1996. Plan de acción mundial para la conservación y la utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Ponencia presenta en: Conferencia Técnica Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos. Leipzig, Alemania.
- Gower JC. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*. 27(4):857-871.
- Hayward MD, Sackville-Hamilton NR. 1997. Genetic diversity-population: structure and conservation. En: Callow JA, Ford-Lloyd BV, Newbury HJ, editores. *Biotechnology and plant genetic resources*. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Hermann H. 1994. La achira y la arracacha: procesamiento y desarrollo de nuevos productos. CIP. Circular 9:10-12
- Hermann M, Quynh N, Peters D. 1999. Reappraisal of edible canna as a high-value starch crop in Vietnam. En: *Impact on a changing world*. CIP program report 1997. vol. 98.

- Hidalgo R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos, Boletín Técnico IPGRI. 8:2-26.
- [IPGRI, INIBAP/CIRAD] Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, International Network for the Improvement of Banana and Plantain/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. 1996. Descriptores para el banano (*Musa* spp.). Roma, Italia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Kasemwong K, Uttapap D, Piyachomkwan K, Takeda Y. 2003. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties. Carbohydr Polym. 53(3):317-324.
- León J. 1964. Plantas alimenticias andinas. Boletín técnico 6. Lima, Perú: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas Zona Andina.
- Ligarreto G. 2003. Caracterización morfológica de germoplasma. Caso 2, análisis de la variabilidad genética en frijol, Boletín Técnico IPGRI. 8:40-49.
- Medina C. 2010. Variabilidad poblacional y ecofisiológica del mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw.), especie con potencial productivo y agroexportador en el trópico alto andino para su uso en una agricultura sostenible [tesis doctoral]. [Medellín]: Universidad Nacional de Colombia.
- Medina CI, Lobo M. 2001. Variabilidad morfológica en el tomate pajarito (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme), precursor del tomate cultivado. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 3(2):39-50.
- Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (Bolivia), Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos. 2010. Catálogo de cultivares de tradicionales de raíces andinas bolivianas: arracacha, yacón y achira. Cochabamba, Bolivia: Proinpa.
- [NCR] National Research Council. 1989. Lost crop of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. Washington, D.C., EE. UU.: National Academy Press.
- Roca W, Manrique I. 2005. Valorización de los recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos para la nutrición y la salud. Agrociencia. 9(1-2):195-201.
- Rodríguez GA, García HR, Camacho JH, Arias FL. 2003. El almidón de achira o sagú (*Canna edulis* Ker), manual técnico para su elaboración. Tibaitatá, Colombia: Corpoica-Pronatta.
- Rojas M, Ardila J. 2000. Valorización económica de los recursos fitogenéticos en Mesoamérica. San José, Costa Rica: IICA.
- Rosso CA, Medina CI, Lobo M. 2002. Morphologic characterization and agronomic evaluation of a Colombian collection of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). Plant Gen Res Newsl. 132:22-29.
- Seminario J. 2004. Origen de las raíces andinas (1). En: Seminario J, editor. Raíces andinas: contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una década de investigación para el desarrollo (1993-2003) No. 6. Lima, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Seminario J, Granados C, Ruiz J. 1999. Raíces y tubérculos andinos. Avances de investigación. En: Fairlie T, Morales M, Holle M, editores. Recursos genéticos de raíces andinas: exploración para chago, yacón, achira y arracacha en el norte del Perú. 1.a ed. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Tanaka, N. 2004. The utilization of edible Canna plants in southeastern Asia and southern China. Econ Bot. 58(1):112-114.
- Tapias M, Fries AM. 2004. Guía de campo para el cultivo de los cultivos andinos. Lima, Perú: FAO-ANPE, Editorial Millennium Digital. Capítulo IV, Achira: p. 61-62.
- Torres LJ. 2004. Tecnología para el cultivo del sagú o achira (*Canna edulis* Ker). Bogotá: Corpoica, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Tropicos. c2016. Missouri: Missouri Botanical Garden; [consultado 2012 oct 7]. <http://www.tropicos.org>.
- Ugent D, Pozorski S, Pozorski T. 1984. New evidence for ancient cultivation of *Canna edulis* in Peru. Econ Bot. 38(4):417-432.
- Vásquez NC, Medina CI, Lobo M. 2004. Caracterización morfológica de la colección colombiana (Tolima, Huila, Boyacá, Cauca) de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). En: Seminario J, editor. Raíces andinas: contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Vaughan G, Fernández C. 2013. El potencial forrajero de la achira o sagú (*Canna indica* L.) en Guayatá, Colombia. Livestock Res Rural Dev. [consultado 2016 feb 1]; 25(10). <http://www.lrrd.org/lrrd25/10/vaug25178.html>.
- Votava EJ, Nabhan GP, Bosland PW. 2002. Genetic diversity and similarity revealed via molecular analysis among and within an in situ population and *ex situ* accessions of chiltepín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*). Conserv Genet. 3(2):123-129.
- Widén B, Cronberg N, Widén M. 1994. Genotypic diversity, molecular markers and spatial distribution of genets in clonal plants, a literature survey. Folia Geobot. 29(2):245-263.
- Yepes AF, Grisales JD. 2013. Caracterización y evaluación morfológica de la colección colombiana de achira (*Canna edulis* Ker Gawl.) como instrumento para conocer los atributos presentes en esta y promover su utilización [trabajo de grado]. [Rionegro, Colombia]: Universidad Católica de Oriente.
- Zhang J, Wang ZW, Yu WJ, Wu JH. 2010. Pectins from *Canna edulis* Ker residue and their physicochemical characterization. Carbohydr Polym. 83(1):210-216.