



Ciencia y Agricultura

ISSN: 0122-8420

ISSN: 2539-0899

cienciayagricultura@uptc.edu.co

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Colombia

Garnica Montaña, Johanna Paola; Rodríguez Rodríguez, Oscar Jair;
Jaramillo-Barrios, Camilo Ignacio; Vallejo Cabrera, Franco Alirio

**Diversidad morfológica y caracteres de selección del germoplasma
de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) en Colombia**

Ciencia y Agricultura, vol. 17, núm. 3, 2020, Septiembre-
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Colombia

DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11150>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560064435007>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Diversidad morfológica y caracteres de selección del germoplasma de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) en Colombia

Fecha de recepción: 29 de mayo de 2020

Fecha de aceptación: 17 de junio de 2020

DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11150>

Resumen

La arracacha se ha convertido en parte importante de la alimentación en la zona andina de Suramérica con gran arraigo cultural. Sin embargo, la única variedad regional cultivada en más del 90 % del país se denomina amarilla común, un material sembrado durante más de 30 años que ha disminuido su potencial productivo dejando a los productores sin otras alternativas. El 94.6 % de las accesiones de arracacha conservadas por el Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) de Colombia corresponden a colectas nacionales. La identificación y la evaluación del recurso genético permiten identificar los rasgos de selección deseados para futuros proyectos de mejoramiento. 96 accesiones fueron caracterizadas durante el 2016, se observó amplia variabilidad en 11 caracteres cuantitativos y 30 cualitativos. Mediante análisis factorial para datos mixtos (AFDM) y análisis de clúster, se determinaron seis grupos completamente diferenciados según el porte de la planta, el cual estuvo influenciado por las variables altura y diámetro de la planta, longitud del pecíolo, longitud y ancho de la hoja. Las variables cualitativas más importantes correspondieron a color de pulpa de la raíz reservante, pigmentación secundaria de hojas, color secundario del pecíolo y capacidad de florecimiento, convirtiendo estos atributos en factores de selección. El color de la pulpa de la raíz reservante se convirtió en un carácter de selección debido a que en muchas comunidades de la zona andina los materiales son fácilmente distinguibles por el color de la pulpa del nabo.

Palabras clave: Apiaceae, recursos genéticos, raíz tuberosa, colino.

Morphological diversity and selection characters of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) germplasm in Colombia

Abstract

Arracacha has become an important part of social nutrition in the Andean region of South America with great cultural roots. However, the only regional variety cultivated in more than 90% of the country is called yellow common, a material planted for more than 30 years that has diminished its productive potential, leaving producers with no other alternatives. 94.6% of arracacha accessions preserved in the Colombian "Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA)" was mainly collected in Colombian territory. Identification, evaluation and characterization of the preserved genetic resources allow identifying the selection variables desired for future breeding programs. 96 accessions were morphologically characterized during 2016; an important genetic diversity was seen using 11 quantitative and 30 qualitative traits. Using factorial analysis for mixed data (FAMD) and cluster analysis, six completely different groups were determined according to the plant vigor, which was influenced by plant height, plant diameter, petiole length and leaf length and width. Most important qualitative traits corresponded to flesh root color, leaf secondary pigmentation, petiole secondary color and flowering ability, being the most important selection factors. Flesh root color became a selection character due to in different communities of the Colombian Andean region roots color is an important element to differentiate plant materials.

Keywords: Apiaceae, genetic resources, tuberous root, offshoots.

1 MSc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia. C.I. Nataima, Espinal, Colombia. jgarnicam@agrosavia.co  <https://orcid.org/0000-0003-3051-809X>

2 MSc. North Dakota State University (Dakota del Norte, EE.UU.). oscar.rodriguezr@ndsu.edu  <https://orcid.org/0000-0002-5430-5745>

3 MSc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia. C.I. Nataima, Espinal, Colombia. cijaramillo@agrosavia.co  <https://orcid.org/0000-0002-8302-2736>

4 PhD. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Colombia. favallejoc@unal.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-2739-0745>

I. Introducción

El género *Arracacia* pertenece a la familia Apiaceae con un número de cromosomas $2n = 4x = 44$, siendo una especie tetraploide (Blas et al., 1997). La familia comprende alrededor de 450 géneros (Pimenov & Leonov, 1993), de los cuales 80 son condimentos, 37 raíces tuberosas y los demás cultivares son especies de hoja y pecíolo. Dentro de la subfamilia Apioideae, se encuentra la tribu Selineae con el clado *Arracacia*, un conjunto de 12 géneros, entre ellos *Arracacia*, conocida como la única umbelífera domesticada nativa de las Américas, originaria de los Andes sudamericanos, propia de los valles interandinos y con posible centro de origen y domesticación en Colombia (Hermann & Heller, 1997).

Arracacia xanthorrhiza Bancr. se clasifica como una raíz tuberosa que genera raíces reservantes comestibles llamadas arracachas, nabos, apios o dientes, que contienen almidón con alto grado de digestibilidad y aporte nutricional de calorías, fibra y minerales, principalmente calcio, fósforo, magnesio y hierro, lo que la convierte en una alternativa gastronómica, además de la textura y sabor que ofrece en la elaboración de alimentos (Adarve-Cobo & Mejía-Giraldo, 2012; García et al., 2007).

De acuerdo con el Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CODESAN, 1998), en la región Andina las raíces y tubérculos más importantes son la papa, la oca, la mashua y la arracacha; esta última cultivada y comercializada con mayor área en Colombia, Brasil, Ecuador y Venezuela; y aunque la producción no está tecnificada, se obtienen nabos de calidad, siendo una opción eficiente para los pequeños y medianos productores. Estudios recientes señalan que existe un creciente interés y demanda comercial por el cultivo (Alvarado et al., 2016). Colombia se destaca entre los países andinos por tener las mayores siembras extensivas con 9653 ha cultivadas, de las cuales 5000 ha se concentran en el municipio de Cajamarca, departamento de Tolima (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MINTIC], 2018). El cultivo se convierte en un importante recurso genético con capacidad de adaptación a diferentes zonas agroecológicas, encontrándose en rangos de 1000-3000 msnm, esto hace que se considere como un cultivo con potencial valor económico y posibilidades de expansión.

La caracterización de accesiones consiste en identificar los caracteres fácilmente distinguibles y expresables para optimizar la utilización de los recursos genéticos en programas de mejoramiento, identificar accesiones duplicadas y rasgos de interés (Rêgo et al., 2011). Los estudios sobre atributos fenotípicos permiten la evaluación de la diversidad genética, el valor reproductivo y potencial productivo de un cultivo (Parthasarathy & Aswath, 2002). En Colombia, los estudios de caracterización en *A. xanthorrhiza* son limitados; a la fecha se documentan investigaciones como la de Rosso et al., (2002), quienes caracterizaron 53 accesiones colectadas en el departamento de Nariño, discriminadas en 29 variables cualitativas y 14 cuantitativas. Vásquez et al. (2004) evaluaron 106 accesiones procedentes de Tolima, Huila, Cauca, Boyacá y Nariño, utilizando 13 descriptores cualitativos, y Muñoz et al., (2015) identificaron seis cultivares del departamento de Boyacá (yema de huevo, paliverde, palirrusia, palinegra, sata y sata morada).

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar y evaluar el Banco de Germoplasma de Arracacha en Colombia conservado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), con el fin de identificar las variables cualitativas y cuantitativas discriminantes en procesos de selección de materiales promisarios de arracacha.

II. Metodología

El estudio se desarrolló durante el 2016 en las instalaciones del Centro de Investigación La Selva de Agrosavia, ubicado en el km 7, vía a Las Palmas, vereda Llano Grande (Rionegro, Antioquia), coordenadas geográficas 6° 7' 46,409'' N; -75° 24' 51,771'' W, altitud 2120 msnm, temperatura promedio anual 17 °C, precipitación promedio 1800 mm y humedad relativa de 75 %.

Se caracterizaron y evaluaron 96 accesiones conservadas por el Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA), de las cuales, 84 accesiones provienen de colectas realizadas en seis municipios de Colombia (Antioquia, Boyacá, Cauca, Huila, Nariño y Tolima), cinco son provenientes de Perú (sin información concreta sobre el origen de estos materiales), dos son regionales en el municipio de Cajamarca (Tolima), una proveniente de semilla sexual y cuatro no reportan información (Tabla 1). La caracterización y la evaluación morfológica se hicieron en cinco plantas de cada accesión.

A. Variables morfológicas

La caracterización y la evaluación de los caracteres morfológicos se realizaron con base en el listado de descriptores desarrollado por CIP en el 2004 (no publicados) (Seminario, 2006) y algunas adiciones hechas por el programa nacional de recursos fitogenéticos de Corpoica durante el 2002. Un total de 41 caracteres fueron evaluados (11 cuantitativos y 30 cualitativos). Los descriptores cualitativos presentaron diferentes opciones de selección (Tabla 2). Las variables se agruparon de acuerdo con la estructura y/o formación de la planta (Planta-P, Folíolo-FOL, Pecíolo-PE, Colino-COL, Raíz Reservante-RR y Flor-FLOR) (Figura 1). La evaluación de pigmentación de las estructuras se hizo mediante la tabla de colores *Munsell Plant Tissue*. Todas las accesiones se evaluaron en condiciones de plena exposición solar.

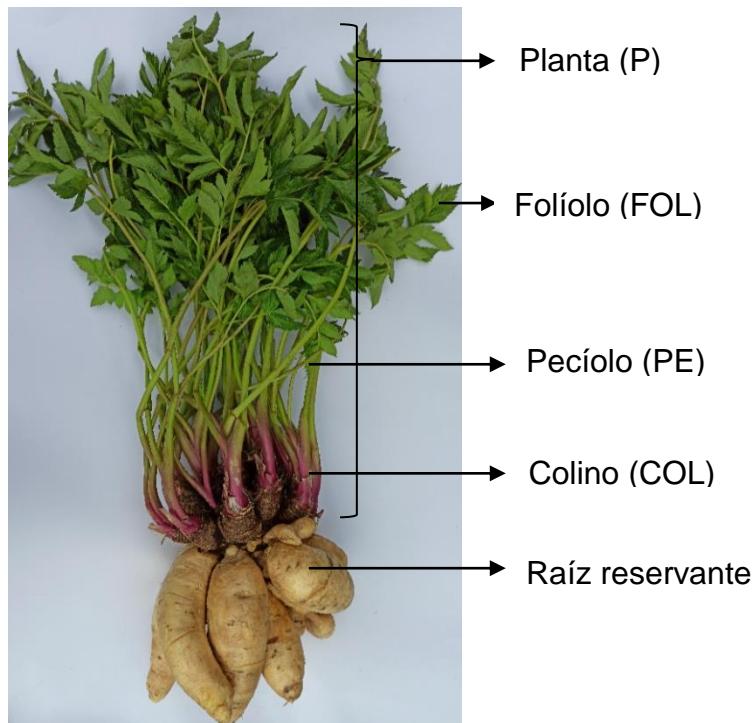


Figura 1. Variables evaluadas en arracacha de acuerdo con la estructura y agrupación de la planta.

Tabla 1. Accesiones de arracacha evaluadas en campo en el CI La Selva 2016

N.º	Accesión	País	Dpto	N.º	Accesión	País	Dpto
1	ILS 3933	Colombia	Huila	49	ILS 209	Colombia	Nariño
2	ILS 3934	Colombia	Huila	50	ILS 216	Colombia	Nariño
3	ILS 3936	Colombia	Huila	51	ILS 222	Colombia	Nariño
4	ILS 3920	Colombia	Antioquia	52	ILS 225	Colombia	Nariño
5	ILS 3937	Colombia	Huila	53	ILS 1051	Colombia	Antioquia
6	ILS 3938	Colombia	Huila	54	ILS 3896	Perú	
7	ILS 3923	Colombia	Huila	55	ILS 2038	Colombia	Boyacá
8	ILS 3924	Colombia	Huila	56	ILS 2033	Colombia	Boyacá
9	ILS 3925	Colombia	Huila	57	ILS 2046	Colombia	Boyacá
10	ILS 3926	Colombia	Huila	58	ILS 2054	Colombia	Boyacá
11	ILS 3927	Colombia	Huila	50	ILS 2055	Colombia	Boyacá
12	ILS 3928	Colombia	Antioquia	60	ILS 2073	Colombia	Boyacá
13	ILS 3929	Colombia	Huila	61	ILS 3891	Perú	
14	ILS 3931	Colombia	Huila	62	ILS 3893	Perú	
15	ILS 3899	Colombia	Huila	63	ILS 3897	Colombia	
16	ILS 3900	Colombia	Tolima	64	ILS 3892	Perú	
17	ILS 3901	Colombia	Tolima	65	ILS 3895	Perú	
18	ILS 3902	Colombia	Tolima	66	ILS 3912	Colombia	Boyacá
19	ILS 3903	Colombia	Tolima	67	ILS 3932	Colombia	Antioquia
20	ILS 3904	Colombia	Tolima	68	ILS 3898		
21	ILS 3905	Colombia	Tolima	69	ILS 3411	Colombia	Nariño
22	ILS 3906			70	ILS 3413	Colombia	Nariño
23	ILS 3940			71	ILS 3412	Colombia	Nariño
24	ILS 3907	Colombia	Boyacá	72	ILS 3415	Colombia	Nariño
25	ILS 3908	Colombia	Boyacá	73	ILS 3410	Colombia	Nariño
26	ILS 3909	Colombia	Boyacá	74	ILS 3416	Colombia	Nariño
27	ILS 3910	Colombia	Boyacá	75	ILS 3417	Colombia	Nariño
28	ILS 3911	Colombia	Boyacá	76	ILS 3418	Colombia	Nariño
29	ILS 3913	Colombia	Boyacá	77	ILS 4037	Colombia	Boyacá
30	ILS 3914	Colombia	Boyacá	78	ILS 4036	Colombia	Boyacá
31	ILS 3915	Colombia	Boyacá	79	ILS 4035	Colombia	Boyacá
32	ILS 3916	Colombia	Tolima	80	ILS 4034	Colombia	Boyacá
33	ILS 3917	Colombia	Cauca	81	ILS 4033	Colombia	Boyacá
34	ILS 3918	Colombia	Cauca	82	ILS 4032	Colombia	Boyacá
35	ILS 3919	Colombia	Cauca	83	ILS 206	Colombia	Nariño
36	ILS 5970	Colombia	Cauca	84	ILS 202	Colombia	Nariño
37	ILS 7238	Colombia	Cauca	85	ILS 3425	Colombia	Nariño
38	ILS 5971	Colombia	Cauca	86	ILS 3424	Colombia	Nariño
39	ILS 7239	Colombia	Cauca	87	ILS 3423	Colombia	Nariño
40	ILS 177	Colombia	Nariño	88	ILS 3421	Colombia	Nariño
41	ILS 179	Colombia	Nariño	89	ILS 3419	Colombia	Nariño
42	ILS 182	Colombia	Nariño	90	ILS 2122	Colombia	Antioquia
43	ILS 184	Colombia	Nariño	91	ILS 6870	Colombia	Boyacá
44	ILS 186	Colombia	Nariño	92	ILS 3922		
45	ILS 201	Colombia	Nariño	93	ILS 7222	Colombia	Tolima
46	ILS 203	Colombia	Nariño	94	A. Común	Colombia	Tolima
47	ILS 205	Colombia	Nariño	95	Y. Huevo	Colombia	Tolima
48	ILS 208	Colombia	Nariño	96	Segregante	Colombia	Antioquia

*Dpto: departamento.

B. Análisis estadístico

Se efectuó un análisis descriptivo y exploratorio para las variables evaluadas. En los descriptores cuantitativos se calculó la media aritmética, mediana, máximo, mínimo, desviación estándar y coeficiente de variación. Mediante el análisis de correlación de Pearson se cuantificó el grado de asociación entre los descriptores cuantitativos.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) para sintetizar la información. En las variables cualitativas se definieron las frecuencias absolutas y relativas que establecieron el número y la proporción de los diferentes grupos de accesiones (Franco & Hidalgo, 2003) y se realizó un análisis de correspondencias múltiples (ACM).

Para unificar ambos tipos de variables, se realizó un análisis factorial de datos mixtos (AFDM), que incluye una base de datos compuesta por variables cualitativas y cuantitativas (Pagès, 2004). En el AFDM, las variables continuas se escalaron a la varianza unitaria y las variables categóricas se transformaron en una tabla de datos disyuntiva (codificación nítida) y luego se escalaron usando la escala específica de MCA, lo cual permitió equilibrar la influencia de variables tanto continuas como categóricas en el análisis (Husson et al., 2010). Posterior a este análisis, se llevó a cabo un análisis de conglomerados, utilizando la distancia euclídea y el método de Ward (Díaz et al., 1997). Los análisis estadísticos se hicieron con el software R versión 3.4.2 (R Core Team, 2017), utilizando los paquetes *FactoMineR* en el cálculo de los resultados y *factoextra* para la visualización de los gráficos.

Tabla 2. Escala de medición utilizada en la caracterización morfológica del germoplasma de arracacha

	N.º	Descriptores	Código	Escala de medición
PLANTA	1	Hábito de crecimiento	P_HC	Erecto (1), Intermedio (2), Postrado (3)
	2	Porte de la planta	P_PT	Bajo (1), Medio (2), Alto (3)
	3	Conformación de la planta	P_CON	Laxa (1), Intermedia (2), Compacta (3)
	4	Altura	P_ALTcm	Cuantitativa (cm)
	5	Diámetro de la planta	P_DIAcm	Cuantitativa (cm)
HOJA	6	Color predominante del follaje	HJ_CFOLL	Verde amarillo (1), verde (2), verde oscuro (3), verde púrpura (4), púrpura grisáceo con verde (5)
	7	Color predominante del envés	HJ_CENV	verde oliva amarillo (1), verde amarillo (2), verde oliva (3), verde oliva claro (4), verde oliva con nervaduras pigmentadas (5), verde oliva con nervaduras y bordes pigmentados (6)
	8	Color secundario del envés	HJ_CSENV	Ausente (0), rojo vino (1), rojo púrpura grisáceo (2)
	9	Distribución color secundario del envés	HJ_DSENV	Ausente (0), borde (1), nervaduras (2), borde y nervaduras (3), irregularmente distribuidos (4), borde nervaduras y lamina (5)
	10	Color predominante del haz	HJ_CHAZ	Verde oliva claro (1), verde oliva (2), verde oliva oscuro (3), rojo intenso (4), púrpura (5), verde oscuro con nervaduras rojas (6)
	11	Color secundario del haz	HJ_CSHAZ	Ausente (0), verde claro (1), verde oscuro (2), rojo intenso (3), púrpura (4), verde oscuro con nervaduras rojas (5)
	12	Distribución del color secundario del haz	HJ_DCSHAZ	Ausente (0), borde (1), nervaduras (2), borde y nervaduras (3), irregularmente distribuidos (4)
	13	Largo de la hoja	HJ_LONGcm	Cuantitativa (cm)
	14	Ancho de hoja	HJ_ANcm	Cuantitativa (cm)
FOLÍOLO	15	Color borde de los folíolos	FOL_CB	Ausente (0), naranja grisáceo (1), púrpura rojizo (2), púrpura grisáceo (3)
	16	Borde de los folíolos	FOL_B	Ligeramente incisos y biserrados (1), Medianamente incisos (2), profundamente incisos (3)
	17	Acumen terminal del folíolo	FOL_AC	ausente (0), ligeramente acuminado (1), acuminado (2), ampliamente acuminado (3)
	18	Disección terminal del folíolo	FOL_DIS	bajo (1), medio (2), alto (3)
	19	Forma terminal del folíolo	FOL_FT	ovalado (1), lanceolado (2), elíptico (3), ovalado – lanceolado (4)
	20	Número de pares de folíolos	FOL_NP	dos pares (1), tres pares (2), cuatro pares (3)

	21	Color predominante del pecíolo	PE_C	Verde oliva (1), verde amarillo (2), verde amarillo oscuro (3), verde oliva fuerte (4), verde con tercio inferior púrpura rojizo (5), verde con mayor parte púrpura grisáceo (6), verde con tercio superior púrpura grisáceo (7), rojo púrpura (8), marrón purpúreo (9)
	22	Color secundario del pecíolo	PE_SC	Ausente (0), verde amarillo pálido (1), verde amarillo (2), púrpura rojizo (3), púrpura grisáceo (4), púrpura en la mitad (5)
	23	Distribución color secundario del pecíolo	PE_DCSC	Ausente (0), parte superior del pecíolo (1), parte media (2), parte basal (3), regularmente distribuido (4), rayado tenue (5)
PECÍOLO	24	Estrías del pecíolo	PE_STR	Ausente (0), presente (1)
	25	Pigmentación de las estrías del pecíolo	PE_PIGSTR	Ausente (0), presente (1)
	26	Serosidad del pecíolo	PE_CER	Ausente (0), presente (1)
	27	Pigmentación en la incisión de las pinnas	PIGIPIN	Ausente (0), presente (1)
	28	Longitud pecíolo	PE_LONGcm	Cuantitativa (cm)
	29	Ancho pecíolo	PE_ANmm	Cuantitativa (mm)
	30	Número de pecíolos	PE_N	Cuantitativa
	31	Color del pecíolo envolvente	PENV_C	Verde blanco (1), verde amarillo (2), verde amarillo oscuro (3), rojo púrpura (4), púrpura oscuro (5), púrpura grisáceo (6), púrpura (7), rojo púrpura y verde blanco (8)
	32	Color de la base del pecíolo envolvente	PENV_CB	Blanco (1), púrpura rojizo claro (2), púrpura rojizo oscuro (3), gris purpúreo (4), rosa claro (5)
COLINO	33	Color predominante de la pulpa de los colinos	COL_CP	Blanco (1), amarillo (2), amarillo oscuro (3), amarillo pálido o crema (4), naranja (5), púrpura claro (6)
	34	Color secundario de la pulpa de los colinos	COL_CSP	Ausente (0), naranja amarillento (1), púrpura grisáceo (2), púrpura (3)
	35	Distribución color secundario de la pulpa de los colinos	COL_DCSP	Ausente (0), anillo cortical (1), anillo cortical y varios anillos en la base del colino (2)
	36	Número de colinos	COL_N	Cuantitativa
	37	Longitud del colino	COL_LONGcm	Cuantitativa (cm)
	38	Ancho del colino	COL_ANmm	Cuantitativa (mm)
NABO	39	Color predominante de la pulpa de la raíz reservante	RR_COLP	Blanco (1), amarillo claro (2), amarillo (3), amarillo oscuro (4), naranja amarillento (5), violeta (6)
	40	Color secundario pulpa de la raíz reservante	RR_SCOLP	Ausente (0), amarillo oscuro (1), púrpura rojizo (2), púrpura grisáceo (3)
FL	41	Tallo floral	TFLORE	Ausente (0), presente (1)

III. Resultados y Discusión

A. Evaluación de caracteres cuantitativos

Los resultados estadísticos mostraron alto grado de variabilidad de las accesiones con un coeficiente de variación (CV) por encima del 73 % para las variables número de colinos y número de pecíolos por planta (Tabla 3). Las variables altura de planta, diámetro, longitud y ancho de la hoja, longitud y ancho del pecíolo tienen un CV promedio de 31.34 %, lo que indica que estos atributos pueden ser utilizados en la identificación y selección de plantas con caracteres superiores. Esto concuerda con lo reportado por Vásquez *et al.* (2004), quienes indicaron alta variabilidad

del cultivo de arracacha en las características cuantitativas; así mismo, Santos y Carmo (1998) señalaron que en *Arracacia* existe un alto grado de heterocigosis y segregación cuando es reproducida vía sexual.

El análisis de correlación de Pearson mostró correlaciones directas positivas en un rango entre 0,29 y 0,94, lo que indica la relación de los caracteres de planta, hoja, pecíolo y colino con el vigor y tamaño de las plantas. Las más representativas fueron número de pecíolos contra número de colinos, con una correlación de 0,94, con un intervalo de confianza entre el 0,91 y 0,96; altura con largo de la hoja y con longitud del pecíolo, ambas con 0,91 y un intervalo entre 0,87 y 0,94. Por medio del ACP se determinaron dos componentes con un 79 % de variabilidad acumulada. Estudios realizados en Colombia han reportado porcentajes de variabilidad entre el 74 % y 88 %, esto señala la amplia variabilidad de los materiales evaluados y el alto potencial para programas de mejoramiento (Rosso et al., 2002; Vásquez et al., 2004).

El círculo de correlaciones y mapa de factores (Figura 2A y 2B) muestran las dos primeras dimensiones. La dimensión uno estuvo representada por las variables longitud y ancho del pecíolo, altura, diámetro de la planta, longitud y ancho de la hoja; y la dimensión dos, por las variables número de pecíolos y de colinos. Al respecto, Sivori et al. (1986) indican que las condiciones favorables del medioambiente favorecen la formación de hojas en mayor o menor cantidad expresando todo su potencial genético. Por otro lado, Placencio Mamani (2012) señala que el número de colinos por planta está directamente relacionado con el porcentaje de cobertura foliar. Bristol (1988) menciona que en arracacha el número de brotes o colinos por planta es influenciado por las características genéticas entre las variedades y no por la aplicación de fertilizantes.

Tabla 3. Análisis descriptivo de 11 variables cuantitativas en plantas de arracacha

Variable	Código	Parámetro					
		Media	Mediana	Min	Máx	D.E.	CV (%)
Altura	P_ALTcm	49,97	49,75	15,5	88,5	16,92	33,87
Diámetro de la planta	P_DIAcm	81,81	81,50	23,0	138,5	26,93	32,92
Largo de la hoja	HJ_LONGcm	59,41	59,25	20,0	106,0	17,94	30,20
Ancho de hoja	HJ_ANcm	22,58	22,65	7,5	35,7	6,34	28,06
Número de pares de	FOL_NP	3,18	3,00	3,0	6,0	0,46	14,44
Língitud pecíolo	PE_LONGcm	28,17	27,85	70	51,8	10,41	36,96
Ancho pecíolo	PE_ANmm	7,94	7,96	3,8	12,4	2,04	25,73
Número de pecíolos	PE_N	56,16	45,50	5,0	176,0	41,48	73,87
Número de colinos	COL_N	17,36	13,00	1,0	50,0	12,76	73,48
Longitud del colino	COL_LONGc	7,41	7,50	2,1	11,6	1,46	19,73
Ancho del colino	COL_ANmm	25,90	25,54	16,4	37,95	4,69	18,11

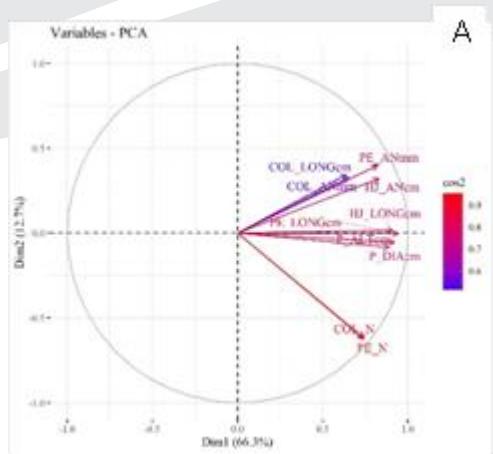


Figura 2. A. Círculo de correlaciones y biplot para las variables cuantitativas

B. Análisis caracteres cualitativos

De los 30 caracteres morfológicos cualitativos, se eliminó el carácter estrías del pecíolo, porque presentó un nivel de monomorfología del 98.9 %. Medina y Lobo (2001) señalaron que las características cualitativas corresponden en alto grado a la expresión de alelos de genes específicos, es decir, que pueden ser empleadas como marcadores.

Los caracteres tallo floral, color del borde de los folíolos, color secundario de haz, distribución del color secundario del haz, pigmentación en la incisión de las pinnas, color secundario del envés, distribución del color secundario del envés, color secundario de la pulpa del colino y su distribución expresaron mayor frecuencia en la categoría “ausente”. Dichas variables son congruentes con las encontradas por Quilapanta *et al.* (2018), que sirvieron para determinar la similaridad de las plantas provenientes de Baños y de Quillán de la provincia Tungurahua en Ecuador.

La Tabla 4 muestra alto grado de variabilidad, permitiendo deducir un amplio nivel de polimorfismo morfológico, a excepción de acumen del folíolo, hábito de crecimiento y disección del folíolo. Los valores modales y la frecuencia relativa posibilitan apreciar la variabilidad en el 90 % de los caracteres, valor similar al encontrado por Rosso *et al.* (2002) de 89,7%, que indica polimorfismo morfológico en variables que son poco afectadas por el ambiente, lo cual revela la existencia de más de un alelo por característica (Vásquez *et al.*, 2004). Medina y Lobo (2001) afirman que las características cualitativas corresponden en alto grado a la expresión de alelos de genes específicos y estos alelos marcan igualmente genes ligados a ellos. Lo anterior contradice la afirmación de Hermann y Heller (1997), según la cual aparentemente existe poca variación morfológica en arracacha.

Para el ACM se determinaron siete dimensiones, que aportaron el 71,3% de la variabilidad acumulada; sin embargo, para la interpretación de los datos se utilizaron las cuatro primeras dimensiones que reúnen el 56,9%. La dimensión 1 fue representada por color secundario de la hoja y su distribución; dimensión 2: color secundario del colino púrpura, hojas acuminadas y ampliamente acuminadas, color de la raíz secundaria púrpura rojizo o ausente; dimensión 3: color de la base del pecíolo envolvente púrpura rojizo oscuro o blanco, la serosidad y pigmentación de estrías en el pecíolo; y en la dimensión 4 se agrupan materiales con características propias de ausencia en el color secundario del pecíolo y su distribución.

Tabla 4. Análisis univariado de 29 variables cualitativas evaluadas en plantas de arracacha

Variable	Moda	FR	Variable	Moda	FR
P_HC	INTER	80,21%	P_PT	MED	48,96%
P_CON	INTER	45,83%	HJ_CFOLL	VER	82,29%
HJ_CENV	VEROLIVCL	44,79%	HJ_CSENV	AUS	84,38%
HJ_DSENV	AUS	84,38%	HJ_CHAZ	VEROLIV	77,08%
HJ_CSHAZ	AUS	86,46%	HJ_DCSHAZ	AUS	86,46%
FOL_CB	AUS	89,58%	FOL_B	MEDINC	70,83%
FOL_AC	ACU	72,92%	FOL_DIS	ALT	60,42%
FOL_FT	LANC	62,50%	PIGIPIN	AUS	85,42%
PE_C	VERAMAROS	27,08%	PE_SC	AUS	44,79%
PE_DCSC	AUS	44,79%	PE_PIGSTR	AUS	77,08%
PE_CER	AUS	69,79%	PENV_C	ROJPUR	40,63%
PENV_CB	BLAN	37,50%	COL_CP	CREM	51,04%
COL_CSP	AUS	77,08%	COL_DCSP	AUS	77,08%
RR_COLP	AMAR	55,21%	RR_SCOLP	AUS	62,50%
FLOR	AUS	95,83%			

*FR= Frecuencia relativa

C. Análisis caracteres conjuntos: cualitativos y cuantitativos

Los resultados del AFDM muestran el 55 % de variabilidad acumulada en los diez primeros componentes; esta variabilidad incrementa la opción de encontrar características individuales o combinadas deseadas por diferentes comunidades o productores, lo cual es beneficioso atendiendo a la forma de propagación vegetativa de la planta que permite la clonación de esta.

La Figura 3 presenta el agrupamiento de las accesiones de arracacha a partir del AFDM (variables cualitativas y cuantitativas), la bifurcación inicia en dos grupos; sin embargo, el punto de corte aplicado permite identificar seis grupos diferenciados, de los cuales el primero se subdivide en tres, determinados principalmente por la pigmentación secundaria de las hojas y coloración de la raíz reservante, y el segundo grupo de subdivide en tres grupos representados por la pigmentación de los nabos. Mazón *et al.* (1996) evaluaron 72 accesiones de Ecuador determinando como características de variabilidad el color del pecíolo y el color de la base del pecíolo, obteniendo 21 grupos diferentes, de los cuales 11 corresponden a arracachas blancas, 5 a amarillas y 5 a moradas.

El color de la pulpa de la raíz reservante es un carácter de selección y agrupación en muchas comunidades de la zona Andina donde los materiales son fácilmente distinguibles por esta característica. De acuerdo con Rivera *et al.* (2015), las formas hortícolas en Colombia se conocen por el color de la raíz reservante como amarilla, blanca y morada, por el color del follaje verde y verde con morado; y proponen una diferenciación de materiales según el color del pecíolo, pecíolo verde (PV), pecíolo rojo (PR) y pecíolo violeta (PM). Muñoz *et al.* (2015) identificaron siete materiales en Boyacá, diferenciados por el color de hojas, tallos, forma y color de la raíz reservante. En Perú, Seminario y Valderrama (2004) reportaron morfotipos blancos pigmentados, distribuidos entre los 1000 y 3600 msnm.

Las variables cuantitativas que más aportaron a la conformación de los grupos son longitud del pecíolo, longitud de la hoja, altura de la planta, diámetro de la planta, ancho de la hoja y ancho del pecíolo. De acuerdo con la caracterización morfométrica realizada en Ecuador por Quilapanta *et al.* (2018), estos caracteres tienen poder discriminatorio, a excepción del diámetro de la planta y ancho de la hoja; sin embargo, la influencia de los factores ambientales interfiere en los parámetros productivos y de crecimiento (Granate *et al.*, 2009).

Santos y Câmara, (1995) reportan que la altura está relacionada con el valor genético de cada variedad; en arracachas blancas los valores son superiores al compararlas con arracacha amarilla o morada. Adicionalmente, Ceballos y Cruz (2002) señalan que las características cuantitativas tienen mayor acción en la manifestación del carácter, porque están determinadas por muchos genes y tienen mayor interacción con el ambiente.

El grupo 1 concentró siete accesiones que corresponden al 7.29 % del total de los materiales, ILS 206, ILS 2122, ILS 3912, ILS 3922, ILS 4037, ILS 6870 y ILS 7222, caracterizados por tener nervadura color púrpura en haz y envés de la hoja; tienen una altura promedio de 41,17 cm, diámetro de copa 77,67cm, el colino tiene una longitud 6,5 cm y ancho del colino 25,59 mm.

El grupo 2 lo conformaron cuatro accesiones que corresponden al 4.16 %, ILS 1051, ILS 225, ILS 5971 y ILS 7239, tienen pigmentación secundaria en borde y nervadura, se encuentran por encima de la media, con un ancho promedio del colino de 34,10 mm y ancho promedio del pecíolo de 10,04 mm.

El grupo 3 lo componen 29 accesiones que corresponden al 30.2 %, ILS 179, ILS 182, ILS 184, ILS 2038, ILS 205, ILS 2073, ILS 216, ILS 222, ILS 3412, ILS 3423, ILS 3895, ILS 3905, ILS 3911, ILS 3914, ILS 3918, ILS 3919, ILS 3920, ILS 3925, ILS 3926, ILS 3927, ILS 3933, ILS 3938, ILS 4032, ILS 4033, ILS 4034, ILS 4035, ILS 4036, ILS 7238 y YEM HUE; se caracterizan por tener hojas sin pigmentación secundaria y nabos amarillos. Las variables cuantitativas se encuentran por debajo de la media general con valores promedio de: longitud del colino 6,47 cm, ancho del pecíolo 6,37 mm, 23 pecíolos, ancho del colino 21,91 mm y 6 colinos/planta.

El grupo 4 reunió 39 accesiones que son 40.62 % del total de los materiales que corresponden a: AMAR COM, ILS 177, ILS 201, ILS 2033, ILS 2054, ILS 2055, ILS 3410, ILS 3413, ILS 3415, ILS 3419, ILS 3891, ILS 3892, ILS 3893, ILS 3896, ILS 3897, ILS 3899, ILS 3900, ILS 3901, ILS 3902, ILS 3903, ILS 3904, ILS 3906, ILS 3907, ILS 3908, ILS 3909, ILS 3910, ILS 3913, ILS 3916, ILS 3923, ILS 3924, ILS 3928, ILS 3929, ILS 3931, ILS 3932, ILS 3936, ILS 3937, ILS 3940, ILS 5970 y SEGRE; caracterizados por no presentar pigmentación secundaria en el haz de las hojas y pulpa de los colinos; los valores promedio son: longitud del pecíolo 35,37 cm, altura 61,25 cm, diámetro de la planta 98,88 cm, longitud de la hoja 70,2 cm y ancho del pecíolo 9,05 mm.

El grupo 5 agrupó 15 accesiones que corresponden al 15.62 % del total de los materiales, ILS 186, ILS 202, ILS 203, ILS 2046, ILS 208, ILS 209, ILS 3411, ILS 3416, ILS 3417, ILS 3418, ILS 3421, ILS 3424, ILS 3425, ILS 3898 y ILS 3934, se distinguen por tener nabos color blanco y colinos crema con pigmentación diferenciada y dos colinos en promedio por planta.

Finalmente, el grupo 6 lo conforman dos accesiones (ILS 3915 y ILS 3917) que corresponden al 2.08 % del total de las accesiones; se caracterizan por tener pecíolo púrpura rojizo, nabos color amarillo claro y porque se florecen. Tienen una altura promedio de 81 cm, diámetro de planta 116 cm, ancho de la hoja 28,2 cm, longitud del pecíolo 44,7 cm, ancho del pecíolo 11,28 mm, longitud del colino 9,2 cm y ancho del colino 31,61 mm.

Los resultados permiten observar una relación 2.3/1 en variables cuantitativas/ cualitativas. Al respecto, Ríos (2006) y Medina y Lobo (2001) reportan que en los patrones evolutivos cualitativos hay una fuerte acción antrópica relacionada con materiales que reúnen atributos morfológicos específicos, mientras que las variables cuantitativas dependen en alto grado de la adaptación a determinados ambientes y del rendimiento de estos materiales. El análisis AFDM permitió diferenciar caracteres morfológicos cuantitativos como longitud de hoja y pecíolo, altura y diámetro de la planta, y cualitativos como color secundario de la hoja y color del nabo, que explicaron la mayor parte de la variabilidad genética. Los resultados de variabilidad indican diferentes arreglos en las accesiones, por tanto, la existencia de más de un alelo por característica, siendo posible obtener combinaciones de caracteres deseados en un mismo material (Vásquez et al., 2004).

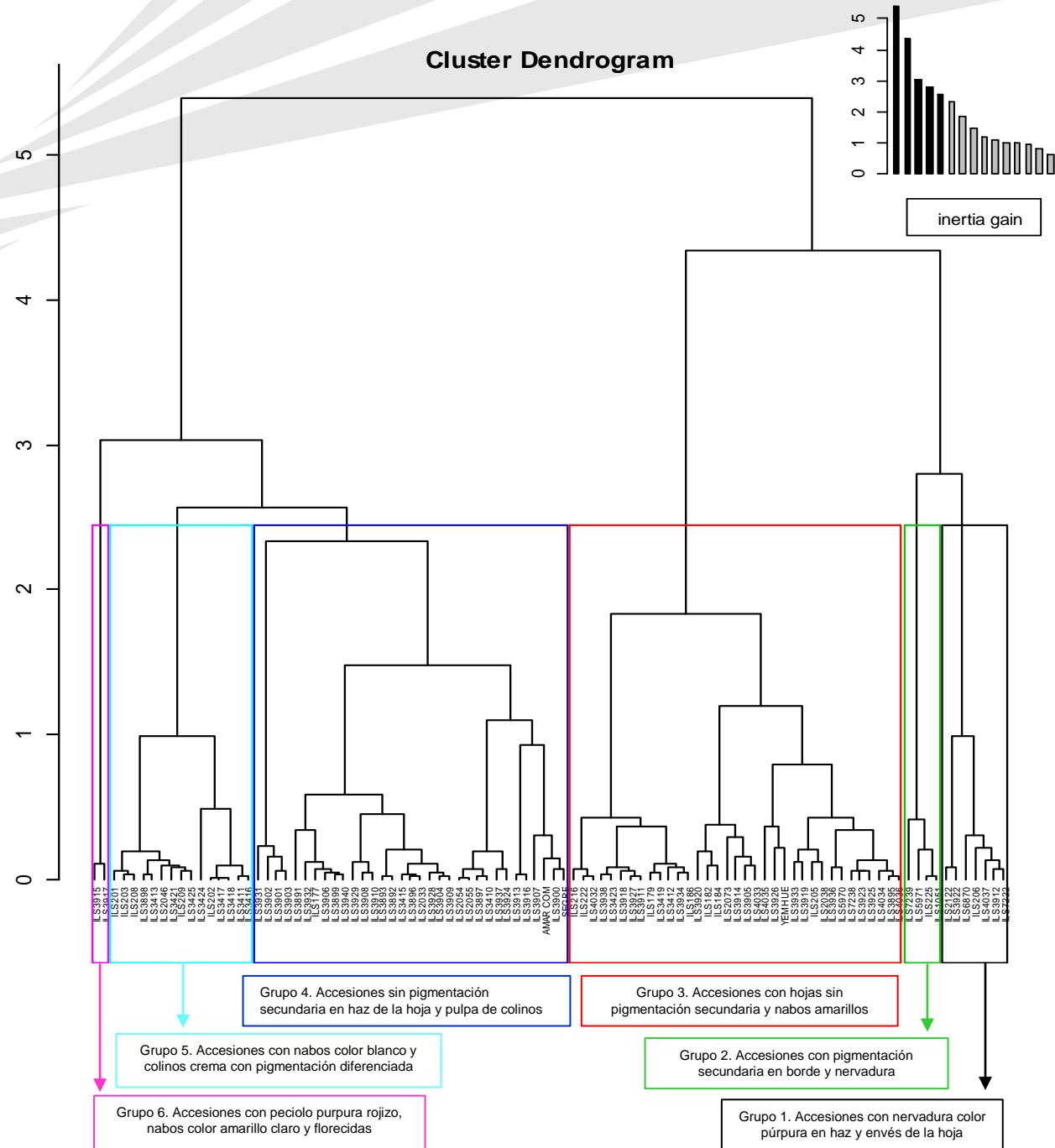


Figura 3. Dendrograma obtenido a partir de características conjuntas en accesiones del banco de germoplasma de *Arracacia xanthorrhiza* Bancr.

IV. Conclusiones

La caracterización y la evaluación morfológica de accesiones de arracacha permiten conocer la variabilidad existente en el banco de germoplasma con la agrupación de individuos según su porte o tamaño y color de pulpa de la raíz reservante, pigmentación secundaria de hojas, color secundario del pecíolo y floración.

La variabilidad en atributos cualitativos y cuantitativos indica que es altamente posible obtener combinaciones de caracteres deseables en un mismo material; la propagación vegetativa de la especie permite que estas combinaciones deseables se puedan clonar.

En el análisis estadístico AFDM se determinó la variabilidad genética y agronómica en clases sintéticas que representaron los caracteres cuantitativos (11) y cualitativos (30) de las 96 accesiones de arracacha. Las variables que influyen en la conformación de grupos corresponden a pigmentación secundaria de las hojas y raíz reservante, y pigmentación de los nabos. Las variables cuantitativas que más aportaron son longitud del pecíolo, longitud de la hoja, altura de la planta, diámetro de la planta, ancho de la hoja y ancho del pecíolo.

Agradecimientos

Agradecimiento al Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA), como fuente del material biológico utilizado. La investigación se desarrolló en el macroproyecto “Generación y vinculación de tecnologías para mejorar la productividad de los sistemas de producción de arracacha en Colombia”, proyecto “Una variedad de arracacha amarilla seleccionada por adaptación y productividad”, convenio TV15, financiada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

Referencias

- Adarve-Cobo, M.A. & Mejía-Giraldo, L.M. (2012). Obtención y caracterización fisicoquímica de almidón fermentado de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Vitae*, 19(Supl. 1), S255–S257.
- Alvarado, A.E., Muñoz, A.L. & Dame, O.F. (2016). Una aproximación al desarrollo rural, caso el cultivo de arracacha, en el departamento de Boyacá. *Revista Ingeniería y Región*, 16(2), 57–63. <http://dx.doi.org/10.25054/22161325.1299>
- Blas, R., Arbizu, C. & Rodriguez, G. (1997). Número de cromosomas de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Anales Científicos*, 32, 44–54.
- Bristol, M. (1988). Arracachas comestibles del Sibundoy. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 16(63), 107-110.
- Ceballos, H. & Cruz de la, G. A. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. En *La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 17-33). Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.
- Centro Internacional de la Papa -CIP- & Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina – CODESAN-. (1998). *Raíces y tubérculos andinos: informe sobre la colaboración en investigaciones de biodiversidad. 1993-1997*. CIP, CODESAN.
- Díaz, B., Cruces, E. M. & Morillas, A. (1997). Las regiones europeas: una tipología basada en la aplicación de técnicas multivariantes. *Revista Asturiana de Economía*, 10, 249–265.

Franco, T.L. & Hidalgo, R. (2003). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. En *Boletín técnico n.º 8*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

García, A., Pacheco, E., Tovar, J. & Pérez, E. (2007). Caracterización fisicoquímica y funcional de las harinas de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) para sopas instantáneas. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(5), 384–393. <https://doi.org/10.1080/11358120709487717>

Granate, M.J., Silva, D.J., Sinval, W.N., Pinto, F. de S., Sedyama N, M.A. & Puiatti, M. (2009). Competição de clones de mandioquinha-salsa em quatro épocas de colheita. *Horticultura Brasileira*, 27, 414–419. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362009000400003>

Hermann, M. & Heller, J. (1997). Andean Roots and Tubers: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon. In I. of P. G. and C. P. R. Gatersleben & I.P.G.R.I. IPGRI (eds.). *Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops*. 21. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Andean_roots_and_tubers_472.pdf

Husson, F., Lê, S. & Pagès, J. (2010). Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R. In *Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10345>

Mazón, N., Castillo, R., Hermann, M. & Espinosa, P. (1996). *La arracacha zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) en Ecuador*. Estación Experimental Santa Catalina (INIAP), Centro Internacional de la Papa (CIP).

Medina, C.I. & Lobo, M. (2001). Variabilidad morfológica en el tomate pajarito (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme) precursor del tomate cultivado. *Revista Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 3(2), 39–50. https://doi.org/10.21930/rcta.vol3_num2_art:186

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones –MINTIC-. (2018). *Evaluaciones agropecuarias municipales EVA*. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/data>

Muñoz, A. L., Alvarado, A. & Almanza, P. J. (2015). Caracterización preliminar del cultivo de arracacha *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft en el departamento de Boyacá. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(1), 3–11. <https://revistas.udnar.edu.co/index.php/rfacia/issue/view/303>

Parthasarathy, V.A. & Aswath, C. (2002). Genetic Diversity among Tomato Genotypes. *Indian Journal of Horticulture*, 59(2), 162–166.

Pagès, J. (2004). Analyse factorielle de données mixtes: principe et exemple d'application. *Revue de Statistique Appliquée*, 52(4), 93–111. http://www.numdam.org/article/RSA_2004__52_4_93_0.pdf

Pimenov, M. G. & Leonov, M. V. (1993). The Genera of the Umbelliferae: A Nomenclator. In *London Royal Botanic Gardens, Kew and Botanical Garden of Moscow University*. <https://doi.org/10.1017/S0960428600001955>

Placencio Mamani, S. (2012). *Evaluación agronómica de cuatro morfotipos de arracacha (Arracacia xanthorrhiza)*, en la comunidad de Torire de la provincia Inquisivi, del departamento de La Paz. Universidad Mayor de San Andrés.

Quilapanta, R., Dávila, M., Vásquez, C. & Frutos, V. (2018). Morfotipos de *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. (Zanahoria blanca) de Ecuador, como fuente de variabilidad del germoplasma. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 281–286. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.13>

R Core Team. (2017). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>

Rêgo E.R. do, Rêgo, M.M. do, Matos, W.F. de & Barbosa, L.A. (2011). Morphological and Chemical Characterization of Fruits of *Capsicum* spp. Accessions. *Horticultura Brasileira*, 29(2), 299–306. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362011000300018>

Ríos, L. (2006). Descriptores para la caracterización del cultivo de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En R. Estrada, T. Medina & A. Roldan (eds.), *Manual para la caracterización in situ de cultivos nativos conceptos y procedimientos* (pp. 106-118). Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria INIEA.

Rivera, J.J., Garnica, J.P., Rubio, S.L., Lozano, M.D., Rosero, J.A., Trujillo, L.J. & Herrera, Y.A. (2015). *Recomendaciones tecnológicas para la producción de semilla de calidad de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)*. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1955>

Rosso, C.A., Medina, C.I. & Lobo, M. (2002). Morphologic Characterization and Agronomic Evaluation of a Colombian Collection of Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Plant Genetic Resources Newsletter*, 132, 22–29.

Santos dos, F.F. & Câmara, F.L. (1995). *Instrução técnica para o cultivo da mandioquinha-salsa*. CERAT–UNESP. Séries Raízes, 1.

Santos dos, F. F. & Carmo dos, C. A. (1998). *Mandioquinha: manejo cultural*. Embrapa-SPI/Embrapa CNPH.

Seminario, J. (2006). Descriptores para la caracterización de germoplasma de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). En R. Estrada, R., T. Medina & A. Roldan (Eds.), *Manual para la caracterización de cultivos nativos conceptos y procedimientos* (pp. 61–68). Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria.

Seminario, J. & Valderrama, M. (2004). Variabilidad morfológica y distribución geográfica de la colección de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. *Arnaldoa*, 11(2), 79-104.

Sivori, M., Montaldi, E. & Caso, O. (1986). *Fisiología vegetal III*. Hemisferio Sur.

Vásquez, N., Medina, C. & Lobo, M. (2004). Caracterización morfológica de la colección colombiana (Tolima, Huila, Boyacá, Cauca) de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). En J. Seminario (ed.), *Raíces andinas: contribuciones al conocimiento y a la capacitación* (pp. 165-178). Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa.

Cómo citar este artículo: Garnica, J., Rodríguez, O., Jaramillo, C. & Vallejo, F. (2020). Diversidad morfológica y caracteres de selección del germoplasma de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) en Colombia. *Cien. Agri.* 17(3), 60-77. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11150>