



Caracterización fenotípica de tres cultivares regionales de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) en Tolima, Colombia

Phenotypic Characterization of Three Regional Arracacha Cultivars (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) in Tolima State, Colombia

Johanna Paola Garnica Montaña¹
Jorge Enrique Villamil Carvajal²
Liliana Margarita Atencio Solano³
Camilo Ignacio Jaramillo Barrios⁴



DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n1.2021.12041>

RESUMEN: La especie *xanthorrhiza* del género *Arracacia* pertenece a la familia Apiaceae y es conocida por su capacidad de generar raíces tuberosas reservantes que se cosechan de forma anual y se comercializan en fresco en países de Sudamérica como Colombia, Brasil, Venezuela, Perú, Bolivia y Ecuador. En Colombia el cultivo de arracacha se realiza principalmente en 15 departamentos y los cultivares regionales se diferencian por el color de las hojas, pecíolo y raíz tuberosa, siendo los más conocidos amarilla común o paliverde, yema de huevo y cartagenera. Existen estudios que han caracterizado los materiales regionales aplicando un limitado número de descriptores, pero no permiten conocer la morfología y diferenciación fenética de cada uno, por lo tanto, su definición y caracterización constituyen un soporte en programas de mejoramiento que permiten el uso eficiente del potencial genético y ampliar el conocimiento sobre la diversidad de cultivares. Se realizó la caracterización y descripción fenotípica de tres cultivares durante dos ciclos de producción (2016 y 2018) en dos fases (vegetativa y productiva) aplicando 74 variables morfológicas (42 cualitativas y 32 cuantitativas) organizadas en siete grupos de variables: planta, hoja, folíolo, pecíolo, propágulo, cepa y raíz tuberosa. Se hizo un análisis factorial para datos mixtos (AFDM) que incorporó un análisis multivariado con la totalidad de variables e identificó 11 variables discriminantes, 8 cualitativas y 3 cuantitativas, las cuales pueden ser empleadas en procesos de caracterización de materiales de arracacha. Se realizó una descripción morfológica de cada cultivar, lo cual significa que este es el primer estudio de caracterización completa de materiales regionales de arracacha en Colombia.

PALABRAS CLAVE: raíz tuberosa, material genético, carácter, variable.

ABSTRACT: The *xanthorrhiza* species of the genus *Arracacia*, which belongs to the Apiaceae family, is known for its capacity to generate storage tuberous roots that are harvested annually and sold fresh in South American countries such as Colombia, Brazil, Venezuela, Peru, Bolivia, and Ecuador. In Colombia, the crop is planted mainly in 15 states, and regional cultivars are differentiated by the color of leaves, petiole, and tuberous root, the best known being *amarilla común* or *paliverde*, *yema de huevo*, and *cartagenera*. Some studies have characterized regional materials by applying a limited number of descriptors, but they do not allow to know the morphology and phenotypic differentiation of each one, therefore, their definition and characterization constitute a support in breeding programs that allow efficient use of the genetic potential and expand the knowledge on cultivar diversity. Characterization and phenotypic description of three cultivars was carried out during two production cycles (2016 and 2018) in two phases (vegetative and productive) applying 74 morphological variables (42 qualitative and 32 quantitative) organized into seven groups of variables: plant, leaf, leaflet, petiole, propagule, stump, and tuberous root. A factorial analysis for mixed data (FAMD) was applied, which incorporated a multivariate analysis with all the variables, identifying 11 discriminating variables, 8 qualitative, and 3 quantitative, which can be used in the characterization processes of arracacha materials. A morphological description of each cultivar was made, constituting the first complete characterization study of regional arracacha materials in Colombia.

KEYWORDS: tuberous root, genetic material, character, variable.

FECHA DE RECEPCIÓN: 06 de noviembre de 2020 **FECHA DE APROBACIÓN:** 04 de febrero de 2020

COMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Garnica, J. P., Villamil, J. E., Atencio, M.L. & Jaramillo, C. I. (2021). Caracterización fenotípica de tres cultivares regionales de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) en Tolima, Colombia. *Cien. Agri.* 18(1): 1-20. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n1.2021.12041>

- 1 M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Agrosavia. Centro de Investigación Nataima (Espinal, Colombia). jgarnicam@agrosavia.co
 <https://orcid.org/0000-0003-3051-809X>
- 2 I.A. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Agrosavia. Centro de Investigación Nataima (Espinal, Colombia). jvillamil@agrosavia.co
 <http://orcid.org/0000-0003-0173-0921>
- 3 M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Agrosavia. Centro de Investigación Turipana (Montería, Colombia). latencio@agrosavia.co
 <https://orcid.org/0000-0001-8425-1621>
- 4 M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Agrosavia. Centro de Investigación Nataima (Espinal, Colombia). cijaramillo@agrosavia.co
 <https://orcid.org/0000-0002-8302-2736>

I. Introducción

La región Andina preserva gran parte de los recursos genéticos de importancia alimenticia y económica para el mundo; entre ellos, los tubérculos y las raíces tuberosas, que son la principal fuente de nutrición de agricultores con limitados recursos porque aportan energía a su cuerpo y la producción no genera costos elevados (Scott *et al.*, 2000). La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) es una raíz tuberosa, originaria de los Andes y cuya domesticación ocurrió hace siglos, posiblemente antes de la papa (Morillo *et al.*, 2020). Es perenne, pero se cultiva como anual para aprovechar la cosecha de la raíz que es el órgano comercial y más variable morfológicamente (Atencio *et al.*, 2019; Quilapanta *et al.*, 2018).

La arracacha agrega textura y sabor a los platos, tiene potencialidad para la agroindustria y nutricionalmente aporta calorías, fibra y minerales como calcio, fósforo, magnesio y hierro (Marín *et al.*, 2011). Sin embargo, es una especie poco investigada. Tiene importancia en países como Brasil, donde es un ingrediente que está presente en la alta cocina; en Bolivia y Perú se mantiene como un alimento de comunidades aisladas con poca presencia en los mercados, y en Colombia su cultivo no es considerado prioritario en los planes de desarrollo agrícola nacionales o departamentales (Alvarado & Ochoa, 2010; Morillo *et al.*, 2020).

El cultivo se encuentra desde Venezuela hasta Bolivia, con mayor área de siembra en Brasil, Colombia, Ecuador y Perú; tiene una menor escala de producción en el noreste de Argentina, Costa Rica, Puerto Rico, República Dominicana y Haití (Morillo *et al.*, 2020). De acuerdo con Garnica *et al.* (2021), el principal productor de arracacha en el mundo es Brasil con 8168 ha sembradas y una producción de 109 217 t, seguido por Colombia con 8037 ha y 74 586 t. En el ámbito nacional, el municipio de Cajamarca en el departamento del Tolima concentra el 51,79 % de la producción nacional con 5000 ha y 60 000 t (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC], 2018).

En Colombia, específicamente en el valle de Sibundoy (Putumayo) existe gran variedad de genotipos únicos de *A. xanthorrhiza* y *Neonelsonia acuminata* Benth. conocida como “arracacha silvestre”, lo cual sustenta la hipótesis del sur del país como centro de dispersión y parte del centro de diversidad primaria del género. El cultivo ha sido conservado por diferentes etnias y comunidades indígenas a lo largo y ancho del territorio nacional para venta o autoconsumo. La siembra está principalmente ligada a la tradición adquirida de los ancestros, por cuanto se consideraba un cultivo micro y minifundista (Alvarado & Ochoa, 2010; Alvarado *et al.*, 2016). Sin embargo, se ha potenciado su siembra y ahora es un sistema productivo de pequeños, medianos y grandes productores que la cultivan para comercializar en fresco.

Los cultivares de arracacha se diferencian por el color de las hojas, color del pecíolo, forma y color de la raíz tuberosa. Alvarado y Ochoa (2010) reportaron los cultivares paliverde, palirrusia, palinegra y yema de huevo como los más sembrados y consumidos en el municipio de Boyacá, y sata y sata morada en el municipio de Gachantivá (departamento de Boyacá). Posteriormente, Alvarado *et al.* (2016) identificaron en Boyacá nueve cultivares clasificados en dos grupos, *De cepa o tarro* donde se ubican yucatana, amarilla de tarro y blanca de tarro, sata y sata morada cultivadas en la región desde los años 50; *De Apio*, que incluye paliverde, palirrusia, palinegra y yema de huevo, introducidas a la región por trabajadores que migraron desde Cajamarca (Tolima). Atencio *et al.* (2019) reportaron los cultivares amarilla común, yema de huevo y cartagenera como los mayores sembrados en el municipio de Cajamarca (Tolima).

De acuerdo con los resultados de investigación participativa en la zona con mayor área de siembra de arracacha, el cultivar más propagado se conoce como *amarilla común o paliverde*, que ocupa alrededor del 95 % de la siembra nacional; seguido por *yema de huevo*, genotipo que fue altamente sembrado durante los años 2009 y 2010, pero su potencial productivo descendió rápidamente, lo cual condujo a una disminución significativa de las áreas de siembra; y en tercer lugar está *cartagenera*, que fue desplazada con el paso de los años por presentar susceptibilidad a plagas y enfermedades.

Identificar y conocer las características fenotípicas de los cultivares regionales de arracacha permite diferenciarlos entre sí, lo que es importante para evitar la mezcla de semilla vegetativa en campo, hecho que afecta directamente la cosecha dado que el precio es castigado por falta de uniformidad y calidad en las raíces comerciales. Además, un cultivo con diversidad de materiales genéticos dentro del mismo lote dificulta el manejo agronómico, puesto que los requerimientos nutricionales, el manejo fitosanitario, el control de arvenses y la poscosecha son específicos para cada genotipo. Por consiguiente, la definición de descriptores y la caracterización fenotípica constituyen un soporte en programas de mejoramiento que permiten el uso eficiente del potencial genético y ampliar el conocimiento sobre la diversidad de cultivares.

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar fenotípicamente tres cultivares regionales de arracacha en el departamento del Tolima, Colombia, conocidos como amarilla común, yema de huevo y cartagenera, mediante 74 caracteres morfológicos cualitativos y cuantitativos organizados en siete grupos de variables: *planta, hoja, folíolo, pecíolo, propágulo, cepa y raíz tuberosa*, así como determinar la relación fenética existente. Este estudio es la primera caracterización fenotípica completa que aplica la mayor cantidad de descriptores para *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. en Colombia.

II. Materiales y Métodos

A. Localización

El estudio se desarrolló en dos ciclos productivos del cultivo durante los años 2016 y 2018, en el municipio de Cajamarca (Tolima) en la vereda La Leona, ubicada a 2040 m s. n. m., con coordenadas geográficas 04°23'27,3" latitud norte y 075°30'75,3" longitud oeste. La zona de vida corresponde a bosque muy húmedo premontano (bh-P) y bosque húmedo montano bajo (bh-MB) con un relieve ondulado y quebrado con suelos derivados de ceniza volcánica, profundos, buena permeabilidad y textura franco-arenosa. La temperatura registrada fue máxima 28,7 °C, mínima 8,6 °C y media 18,7 °C, con humedad relativa promedio de 81,9% y precipitación anual de 777,8 mm/año, con distribución bimodal (Garnica *et al.*, 2021).

B. Material vegetal

Se evaluaron 20 plantas de *A. xanthorrhiza* por cada cultivar regional, *amarilla común*, *yema de huevo* y *cartagenera*. Durante los dos ciclos de producción se sembró la semilla asexual colectada de plantas madre de 12 meses de edad. La semilla se cortó con 5 cm de pecíolo y 2 anillos de cepa, previamente desinfectada con hipoclorito de sodio al 5 % durante 10 segundos (Atencio *et al.*, 2019).

C. Manejo agronómico

Se hizo de manera uniforme para todos los tratamientos. Incluyó preparación de suelos, control manual y químico de arvenses e implementación de un plan de fertilización con base en las recomendaciones de Souza y Madeira (2008), quienes reportan los siguientes requerimientos nutricionales: N 2,09; P 0,77; K 5,29; Ca 0,25; Mg 0,19 y S 0,29 kg ha⁻¹ para la producción de 1 t ha⁻¹ de raíces comerciales en fresco. En la extracción de nutrientes se observa el siguiente orden decreciente: K>N>P>S>Ca>Mg para macro y Fe>Mn>Zn>B>Cu>Mo para micronutrientes. El control de plagas y enfermedades se hizo de acuerdo con su incidencia y nivel de daño en las plantas.

D. Diseño experimental

Se estableció un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y tres tratamientos representados por los cultivares amarilla común, yema de huevo y cartagenera. La preparación de suelos se hizo formando montículos con una distancia de siembra entre plantas de 0,5 m y 1,2 m entre surcos con una densidad poblacional equivalente a 16 666 plantas ha⁻¹. Cada unidad experimental con un área de 25 m² constituida por 50 plantas. Se tomaron

cinco plantas ubicadas en el surco central de cada unidad experimental, evitando el efecto borde. El área total del experimento fue de 300 m² con un porcentaje de pendiente del 15 % y un relieve plano a ligeramente ondulado.

E. Variables morfológicas

En cada ciclo productivo los cultivares se evaluaron en dos fases: *fase I*, se realizó a los 8 meses de edad, consistió en la evaluación del vigor vegetativo de las plantas, y *fase II*, durante la cosecha a los 12 meses, se registraron los caracteres correspondientes a la producción de las raíces tuberosas.

En total se evaluaron 74 caracteres morfológicos, agronómicos y de rendimiento, incluidos caracteres provenientes de descriptores desarrollado por el CIP en el 2004 (no publicados), Rosso *et al.* (2002), Seminario (2006) y Garnica *et al.* (2020). Se incluyeron 42 variables cualitativas y 32 cuantitativas, organizadas siguiendo la estructura de Garnica *et al.* (2020) con algunas modificaciones. De acuerdo con la estructura y/o formación de la planta se definieron abreviaturas que agruparon las variables así: planta: P, hoja: HJ, folíolo: FOL, pecíolo: PE, cepa: CP, propágulo: PR y raíz tuberosa: RT.

En los cultivos comerciales la multiplicación es clonal, por cuanto la semilla vegetativa –conocida como propágulo, brote, semilla o colino– se subdivide en dos clases: los propágulos que alcanzan madurez fisiológica (aptos para siembra) y los hijuelos que tienen menor tamaño y base en forma de media luna (sin viabilidad). La raíz tuberosa se subdivide en: comercial con una longitud ≥ 8 cm y diámetro ≥ 3 cm y no comercial con tamaño inferior (Cooperativa Multiactiva Productores Agrícolas Cajamarca [CARC], 2014). Las variables cualitativas de pigmentación de las estructuras se identificaron mediante el libro de colores Munsell *Plant Tissue*.

La distribución de los atributos morfológicos se organizó con base en la cantidad de variables según el siguiente esquema (cualitativas, cuantitativas) para cada órgano así: planta-P (3;4), hoja-HJ (11;3), folíolo-FOL (5;0), pecíolo-PE (5;3), propágulo-PR (8;7), CP-cepa (0;3), y raíz tuberosa-RT (10;12). Las variables se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Variables evaluadas para caracterizar tres cultivares de arracacha en Cajamarca, Tolima, Colombia (2016 y 2018)

Estructura y/o formación	Código	Variabes	Categorías o unidad de medida
planta: P	1_P_ALTcm	Altura	Cuantitativa (cm)
	2_P_CANcm	Diámetro de la planta	Cuantitativa (cm)
	3_P_PESkg	Peso total de planta completa	Cuantitativa (kg)
	4_P_AERkg	Peso total de parte aérea (folíolo + pecíolo)	Cuantitativa (kg)
	33_P_HC	Hábito de crecimiento	1. Erecto. 2. Intermedio. 3. Postrado
	34_P_PT	Porte de la planta	1. Bajo. 2. Medio. 3. Alto
	35_P_CON	Conformación de la planta	1. Laxa. 2. Intermedia. 3. Compacta
hoja: HJ	5_HJ_PESkg	Peso total de hoja	Cuantitativa (kg)
	6_HJ_LGcm	Longitud de la hoja bandera	Cuantitativa (cm)
	7_HJ_ANcm	Ancho de la hoja	Cuantitativa (cm)
	36_HJ_CFOLL	Color predominante del follaje	1. Verde amarillo. 2. Verde. 3. Verde oscuro. 4. Verde púrpura. 5. Púrpura grisáceo con verde
	37_HJ_CENV	Color predominante del envés	1. Verde oliva amarillo. 2. Verde amarillo. 3. Verde oliva. 4. Verde oliva claro. 5. Verde oliva con nervaduras pigmentadas. 6. Verde oliva con nervaduras y bordes pigmentados
	38_HJ_CENV*	Color predominante del envés	Libro Munsell Plant Tissue
	39_HJ_CSENV	Color secundario del envés	0. Ausente. 1. Rojo vino. 2. Rojo púrpura grisáceo
	40_HJ_CSENV*	Color secundario del envés	Libro Munsell Plant Tissue
	41_HJ_DSENV	Distribución color secundario del envés	0. Ausente. 1. Borde. 2. Nervaduras. 3. Borde y nervaduras. 4. Irregularmente distribuidos. 5. Borde nervaduras y lámina.
	42_HJ_CHAZ	Color predominante del haz	1. Verde oliva claro. 2. Verde oliva. 3. Verde oliva oscuro. 4. Rojo intenso. 5. Púrpura. 6. Verde oscuro con nervaduras rojas
	43_HJ_CHAZ*	Color predominante del haz	Libro Munsell Plant Tissue
	44_HJ_CSHAZ	Color secundario del haz	0. Ausente. 1. Verde claro. 2. Verde oscuro. 3. Rojo intenso. 4. Púrpura. 5. Verde oscuro con nervaduras rojas
	45_HJ_CSHAZ*	Color secundario del haz	Libro Munsell Plant Tissue
	46_HJ_DCSHAZ	Distribución del color secundario del haz	0. Ausente. 1. Borde. 2. Nervaduras. 3. Borde y nervaduras. 4. Irregularmente distribuidos
folíolo: FOL	47_FOL_CB	Color borde de los folíolos	0. Ausente. 1. Naranja grisáceo. 2. Púrpura rojizo. 3. Púrpura grisáceo
	48_FOL_CB*	Color borde de los folíolos	Libro Munsell Plant Tissue
	49_FOL_B	Borde de los folíolos	1. Ligeramente incisos y biserrados. 2. Medianamente incisos. 3. Profundamente incisos
	50_FOL_AC	Acumen del folíolo terminal	0. Ausente. 1. Ligeramente acuminado. 2. Acuminado. 3. Ampliamente acuminado
	51_FOL_DIS	Diseción del folíolo terminal	1. Bajo. 2. Medio. 3. Alto

Continúa

CONTINUACIÓN TABLA 1

Estructura y/o formación	Código	Variables	Categorías o unidad de medida
pecíolo: PE	8_PE_PESkg	Peso total de pecíolo	Cuantitativa (kg)
	9_PE_N	Número de pecíolos	Cuantitativa (unidad)
	10_PE_LGcm	Longitud de pecíolo	Cuantitativa (cm)
	52_PE_C	Color predominante del pecíolo	1. Verde oliva. 2. Verde amarillo. 3. Verde amarillo oscuro. 4. Verde oliva fuerte. 5. Verde con tercio inferior púrpura rojizo. 6. Verde con mayor parte púrpura grisáceo. 7. Verde con tercio superior púrpura grisáceo. 8. Rojo púrpura. 9. Marrón purpúreo
	53_PE_C*	Color predominante del pecíolo	Libro Munsell Plant Tissue
	54_PE_SC	Color secundario del pecíolo	0. Ausente. 1. Verde amarillo pálido. 2. Verde amarillo. 3. Púrpura rojizo. 4. Púrpura grisáceo. 5. Púrpura en la mitad
	55_PE_STR	Estrías del pecíolo	0. Ausente. 1. Presente
	56_PE_CER	Serosidad del pecíolo	0. Ausente. 1. Presente
propágulo: PR	11_PR_N	Número de propágulos	Cuantitativa (unidad)
	12_PR_PESkg	Peso total de propágulos	Cuantitativa (kg)
	13_PR_PPESg	Peso promedio de propágulos	Cuantitativa (g)
	14_PR_ANcm	Ancho de propágulos	Cuantitativa (cm)
	15_PR_LGcm	Longitud de propágulos	Cuantitativa (cm)
	16_PR_NHI	Número de hijuelos	Cuantitativa (unidad)
	17_PR_PESHlg	Peso total de hijuelos	Cuantitativa (g)
	57_PR_C	Color externo del propágulo	1. Verde blanco. 2. Verde amarillo. 3. Verde amarillo oscuro. 4. Rojo púrpura. 5. Púrpura oscuro. 6. Púrpura grisáceo. 7. Púrpura. 8. Rojo púrpura y verde blanco
	58_PR_C*	Color externo del propágulo	Libro Munsell Plant Tissue
	59_PR_CB	Color de la base del propágulo	1. Blanco. 2. Púrpura rojizo claro. 3. Púrpura rojizo oscuro. 4. Gris purpúreo. 5. Rosa claro
	60_PR_CB*	Color de la base del propágulo	Libro Munsell Plant Tissue
	61_PR_CP	Color predominante de la pulpa del propágulo	1. Blanco. 2. Amarillo. 3. Amarillo oscuro. 4. Amarillo pálido o crema. 5. Naranja. 6. Púrpura claro
	62_PR_CP*	Color predominante de la pulpa del propágulo	Libro Munsell Plant Tissue
63_PR_CSP	Color secundario de la pulpa del propágulo	0. Ausente. 1. Naranja amarillento. 2. Púrpura grisáceo. 3. Púrpura	
64_PR_DCSP	Distribución color secundario del propágulo	0. Ausente. 1. Anillo cortical. 2. Anillo cortical y varios anillos en la base del colino	
cepa: CP	18_CP_PESkg	Peso total de la cepa	Cuantitativa (kg)
	19_CP_LHcm	Longitud horizontal de la cepa	Cuantitativa (cm)
	20_CP_LVcm	Longitud vertical de la cepa	Cuantitativa (cm)

Continúa

CONTINUACIÓN TABLA 1

Estructura y/o formación	Código	Variabes	Categorías o unidad de medida
raíz tuberosa: RT	21_RR_N	Número de raíces reservantes	Cuantitativa (unidad)
	22_RR_PESkg	Peso total de raíces reservantes	Cuantitativa (kg)
	23_RR_NC	Número de raíces reservantes comerciales	Cuantitativa (unidad)
	24_RR_PESCkg	Peso total de raíces reservantes comerciales	Cuantitativa (kg)
	25_RR_PPESCg	Peso promedio de raíces reservantes comerciales	Cuantitativa (g)
	26_RR_ANCcm	Ancho promedio de raíces reservantes comerciales	Cuantitativa (cm)
	27_RR_LGCcm	Longitud promedio de raíces reservantes comerciales	Cuantitativa (cm)
	28_RR_NNC	Número de raíces reservantes no comerciales	Cuantitativa (unidad)
	29_RR_PESNCkg	Peso total de raíces reservantes no comerciales	Cuantitativa (kg)
	30_RR_PPESNCg	Peso promedio de raíces no reservantes comerciales	Cuantitativa (g)
	31_RR_ANNCCm	Ancho promedio de raíces no reservantes comerciales	Cuantitativa (cm)
	32_RR_LGNCcm	Longitud promedio de raíces no reservantes comerciales	Cuantitativa (cm)
	65_RR_COL	Color predominante de la superficie de la raíz reservante	1. Blanco. 2. Amarillo claro. 3. Amarillo. 4. Amarillo oscuro. 5. Naranja. 6. Púrpura rojizo claro. 7. Púrpura
	66_RR_COL*	Color predominante de la superficie de la raíz reservante	Libro Munsell Plant Tissue
	67_RR_COLS	Color secundario de la superficie de la raíz reservante	0. Ausente. 1. Púrpura rojizo. 2. Púrpura grisáceo
	68_RR_DCOLS	Distribución color secundario de la raíz reservante	0. Ausente. 1. Solo en anillo vascular. 2. Anillo vascular y zona cortical. 3. Regularmente distribuido. 4. Igualmente distribuido
	69_RR_F	Forma de la raíz reservante	1. Ovoides. 2. Cónica. 3. Fusiforme. 4. Regular. 5. Irregular
	70_RR_COLP	Color predominante de la pulpa de la raíz reservante	Blanco (1), Amarillo claro (2), Amarillo (3), Amarillo oscuro (4), Naranja amarillento (5), Violeta (6)
	71_RR_COLP*	Color predominante de la pulpa de la raíz reservante	Libro Munsell Plant Tissue
	72_RR_COLSP	Color secundario pulpa de la raíz reservante	0. Ausente. 1. Amarillo oscuro. 2. Púrpura rojizo. 3. Púrpura grisáceo
73_RR_COLSP*	Color secundario pulpa de la raíz reservante	Libro Munsell Plant Tissue	
74_RR_DCOLSP	Distribución del color pulpa de la raíz reservante	1. Anillo cortical (vascular). 2. Irregularmente distribuido. 3. Anillo vascular y medula. 4. Todo excepto la médula.	

* Se registra el código correspondiente a la tabla de colores Munsell Plant Tissue

F. Análisis estadístico

A los datos se les hizo un análisis exploratorio y descriptivo inicial para determinar y descartar datos atípicos. En las variables cuantitativas se revisaron los gráficos de cajas y bigotes en donde se determinaron los puntos atípicos que estuvieran por encima de tres desviaciones estándar. Se realizaron dos tipos de análisis, uno univariado y el otro multivariado. El análisis univariado difirió entre las variables cualitativas y cuantitativas. En las variables cualitativas se consideraron los datos para las 20 plantas evaluadas de cada cultivar y se realizó una distribución de frecuencias relativas, con la obtención de porcentajes de cada categoría dentro del cultivar. Para las variables cuantitativas se hicieron análisis de varianza a fin de comparar entre los cultivares. En aquellas variables donde hubo diferencias estadísticas ($p < 0,05$), se efectuó una prueba de medias de Tukey entre cultivares al 5 % de significancia. Estos análisis se llevaron a cabo mediante el paquete *multcomp* el programa R versión 3.6.3 (Hothorn *et al.*, 2008; R. Core Team, 2020).

Para el análisis multivariado, cada planta evaluada representó una unidad taxonómica operacional (OTU). Se realizó un análisis factorial para datos mixtos (AFDM) con las 74 variables. Este permite analizar la similitud entre individuos, además conjuga las técnicas de análisis de componentes principales (ACP) y análisis de correspondencias múltiples (ACM), ampliamente usadas en estudios de variabilidad genética (Hidalgo, 2003; Pagès, 2004). Luego, se proyectó mediante un mapa de factores de OTU la variabilidad acumulada en las dos primeras dimensiones y se identificó la relación de las OTU para los tres cultivares. Posteriormente, se seleccionaron las variables de mayor coseno cuadrado a la dimensión uno y dos, determinando estas como discriminantes en diferenciación de los cultivares evaluados. Los análisis se realizaron con el *software* R versión 3.6.3 (R Core Team, 2020), utilizando los paquetes *FactoMineR* y *factoextra* en el cálculo de los resultados del AFDM (Husson *et al.*, 2020; Kassambara & Mundt, 2020).

III. Resultados y Discusión

A. Análisis caracteres conjuntos: cualitativos y cuantitativos

De los 74 caracteres morfológicos evaluados en los tres cultivares de arracacha, en 13 variables cualitativas no existió variabilidad (Tabla 2) y en cinco de los caracteres cuantitativos no hubo diferencias significativas (Tabla 3), correspondientes al 17,56 % y 6,7 % respectivamente. Por cuanto 29 caracteres cualitativos resultaron con variación entre las plantas evaluadas (Tabla 4) y 27 variables cuantitativas con diferencias estadísticas significativas (Tukey $p \leq 0,05$) entre cultivares (Tabla 5). Blas *et al.* (2008) utilizaron 20 plantas para la caracterización de 3 especies de arracacha en Perú, empleando 100 caracteres morfológicos (56 cualitativos y 44 cuantitativos). Los análisis

multivariados permitieron diferenciar las especies de *Arracacia* utilizando 28 caracteres morfológicos identificados como discriminantes (17 cualitativas y 11 cuantitativas). Pinto-Acero *et al.* (2019) caracterizaron los materiales de arracacha yema huevo, paliverde y yucatana en el departamento de Boyacá, usando 3 variables morfoagronómicas cuantitativas y 7 variables de color utilizando el sistema de coordenadas CIELab.

TABLA 2. Variables morfológicas cualitativas invariables en tres cultivares de arracacha en Cajamarca, Tolima, Colombia

Código	Variable	Resultado
33_P_HC	Hábito de crecimiento	1. Erecto
50_FOL_AC	Acumen del folíolo terminal	2. Acuminado
51_FOL_DIS	Disección del folíolo terminal	2. Medio
54_PE_SC	Color secundario del pecíolo	0. Ausente
55_PE_STR	Estrías del pecíolo	1. Presente
56_PE_CER	Serosidad del pecíolo	0. Ausente
62_PR_CP*	Color predominante de la pulpa del propágulo	5Y 8/6
63_PR_CSP	Color secundario de la pulpa del propágulo	0. Ausente
64_PR_DCSP	Distribución color secundario del propágulo	0. Ausente
65_RT_COL	Color predominante de la superficie de la raíz tuberosa	3. Amarillo
67_RT_COLS	Color secundario de la superficie de la raíz tuberosa	0. Ausente
68_RT_DCOLS	Distribución color secundario de la raíz tuberosa	0. Ausente
69_RT_F	Forma de la raíz tuberosa	2. Cónica

TABLA 3. Variables morfológicas cuantitativas sin diferencias significativas en tres cultivares de arracacha en Cajamarca, Tolima, Colombia

Código	Variable	Amarilla común	Cartagenera	Yema de huevo
6_HJ_LGcm	Longitud de la hoja bandera (cm)	22,70±1,04 a	24,40±0,95 a	22,30±0,64 a
11_PR_N	Número de propágulos (unidad)	17,00±0,89 a	13,40±1,31 a	16,70±1,19 a
20_CP_LVcm	Longitud vertical de la cepa (cm)	13,80±0,69 a	12,70±0,53 a	14,00±0,57 a
21_RR_N	Número de raíces tuberosas (unidad)	10,70±0,76 a	8,45±0,65 a	9,40±0,99 a
32_RR_LGNCcm	Longitud promedio de raíces no tuberosas comerciales (cm)	7,64±0,40 a	6,83±0,32 a	7,52±0,61 a

Los datos presentados corresponden al promedio de cuatro repeticiones. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) según la prueba Tukey. Cifras después del símbolo \pm indican el error estándar.

Fuente: elaboración propia.

TABLA 4. Variables cualitativas para caracterizar tres cultivares de arracacha en Cajamarca, Tolima, Colombia (2016 y 2018)

Código de variable	Categoría	Amarilla común (%)	Cartagenera (%)	Yema de huevo (%)	Chi-cuadrado χ^2 *	Código de variable	Categoría	Amarilla común (%)	Cartagenera (%)	Yema de huevo (%)	Chi-cuadrado χ^2 *	
34_P_PT	1. Bajo	0	100	100	60	53_PE_C*	5GY 6/8	5	0	20	68,57	
	2. Medio	100	0	0			5GY 7/6	10	0	0		
35_P_CON	1. Laxa	0	35	0	42,81		5GY 7/8	30	0	45		114,9
	2. Inter	15	65	75			5R 3/2	0	30	0		
	3. Comp	85	0	25			5R 3/4	0	70	0		
36_HJ_CFOLL	1. VdeAma	0	0	100	96		57_PR_C	2. VdeAma	25	0		0
	2. Vde	75	0	0		4. RojP	75	0	100			
	3. VdeOsc	25	100	0		5. PurpO	0	100	0			
37_HJ_CENV	1. VdeOlv	75	0	85	60,93	58_PR_C*	2.5GY 6/6	25	0	0	114,9	
	4. VdeOlvc	25	0	15			2.5R 4/4	0	5	0		
	5. VdeOlvNP	0	100	0			2.5R 4/6	0	5	0		
38_HJ_CENV*	5GY 4/4	20	60	10	31,94		5R 3/4	45	0	0		114,9
	5GY 4/6	0	15	0			5RP 3/6	0	50	0		
	5GY 4/8	5	0	0			5RP 3/8	0	40	0		
	5GY 5/4	25	25	15		5RP 4/10	30	0	5			
	5GY 5/6	50	0	75		5RP 4/8	0	0	95			
39_HJ_CSENV	0. Aus	100	0	100	60	59_PR_CB	2. PurpRC	0	0	100	120	
	1. Rjov	0	100	0		3. PurpRO	100	0	0			
40_HJ_CSENV*	0. Aus	100	0	100	60	60_PR_CB*	4. PurpG	0	100	0	120	
	5RP 3/4	0	100	0			2.5R 4/6	0	90	0		
41_HJ_DSENV	0. Aus	100	0	100	60		5RP 3/10	35	0	0		120
	2. Nerv	0	100	0			5RP 3/2	0	10	0		
42_HJ_CHAZ	1. VdeCl	100	0	0	120		5RP 3/6	5	0	0		
	3. VdeOsc	0	0	100		5RP 3/8	60	0	0			
	6. VdeOscNR	0	100	0		5RP 4/8	0	0	100			
43_HJ_CHAZ*	5GY 3/4	95	100	0	57,54	61_PR_CP	2. Amall	100	0	0	120	
	5GY 4/4	5	0	10		3. Amallo	0	0	100			
	5GY 4/6	0	0	90		4. AmallC	95	100	100			
44_HJ_CSHAZ	0. Aus	100	0	100	60	66_RT_COL*	5. Crem	0	100	0	52,87	
	2. VdeOscNR	0	100	0			5RP 4/6	5	0	0		
45_HJ_CSHAZ*	0. Aus	100	0	100	60		5Y 6/6	5	0	0		52,87
	10R 3/4	0	70	0			5Y 8/2	0	80	0		
	10R 4/4	0	20	0		5Y 8/4	30	20	15			
	2.5R 4/6	0	10	0		5Y 8/6	60	0	85			
46_HJ_DCSHAZ	0. Aus	100	0	100	60	70_RT_COLP	2. AmallC	100	100	0	60	
	3. BdNerv	0	100	0		3. Amall	0	0	100			

Continúa

CONTINUACIÓN TABLA 4

Código de variable	Categoría	Amarilla común (%)	Cartagenera (%)	Yema de huevo (%)	Chi-cuadrado χ^2 *	Código de variable	Categoría	Amarilla común (%)	Cartagenera (%)	Yema de huevo (%)	Chi-cuadrado χ^2 *		
47_FOL_CB	0. Aus	100	0	100	60	71_RT_COLP*	5Y 6/6	20	0	0	67,55		
	3. PurpG	0	100	0			5Y 8/2	0	70	0			
48_FOL_CB*	0. Aus	100	0	100	60		5Y 8/4	10	30	0		64,86	
	2.5R 3/4	0	45	0			5Y 8/6	70	0	75			
	2.5R 4/6	0	25	0			5Y 8/8	0	0	25			
	2.5YR 3/4	0	30	0			0. Aus	85	100	0			
49_FOL_B	1. LiginB	100	0	0	92,3	72_RT_COLSP	3. PurpR	15	0	0	64,86		
	2. Medin	0	100	30		4. NaAmall	0	0	100				
	3. Profin	0	0	70		0. Aus	85	100	0				
52_PE_C	2. VdeAma	100	0	100	60	73_RT_COLSP*	2.5Y 8/6	0	0	65	64,86		
	8. RojP	0	100	0			2.5Y 8/8	0	0	35			
53_PE_C*	2.5GY 6/8	15	0	5	73,85		74_RT_DCOLSP	5RP 3/4	15	0		0	64,86
	2.5GY 7/8	10	0	5				0. Aus	85	100		0	
	5GR 7/8	5	0	0		1. AnillVM		0	0	100			
	5GY 5/6	10	0	0		2. IrregD		15	0	0			
	5GY 6/6	15	0	25									

* Todas las variables presentaron un p-valor <0.01

TABLA 5. Variables cuantitativas para caracterizar tres cultivares de arracacha en Cajamarca, Tolima, Colombia (2016 y 2018)

Código de variable	Amarilla común	Cartagenera	Yema de huevo
1_P_ALTcm	65,80±2,37 b	51,30±1,85 a	55,90±1,94 a
2_P_ANCcm	112,42±1,92 b	89,71±4,23 a	97,15±2,79 a
3_P_PESkg	4,95±0,28 c	2,20±0,16 a	3,83±0,38 b
4_P_AERkg	0,96±0,10 b	0,30±0,03 a	0,44±0,04 a
5_HJ_PESkg	0,46±0,04 b	0,15±0,01 a	0,24±0,02 a
7_HJ_ANcm	26,10±1,47 b	22,40±0,97 a	22,70±0,90 a
8_PE_PESkg	0,49±0,06 b	0,13±0,01 a	0,19±0,02 a
9_PE_N	83,00±4,87 c	35,00±2,78 a	50,40±2,03 b
10_PE_LGcm	32,60±1,35 b	25,60±1,39 a	25,50±1,39 a
12_PR_PESkg	0,38±0,03 b	0,17±0,01 a	0,21±0,01 a
13_PR_PPESg	22,20±1,63 b	13,00±0,69 a	13,10±0,69 a
14_PR_ANcm	3,06±0,07 b	2,54±0,03 a	2,57±0,03 a
15_PR_LGcm	7,49±0,19 b	6,78±0,14 a	6,43±0,12 a
16_PR_NHI	14,75±1,57 b	8,35±1,02 a	7,60±1,17 a
17_PR_PESHlg	155,90±23,99 b	52,20±7,72 a	51,60±10,39 a
18_CP_PESkg	1,27±0,08 b	0,76±0,06 a	1,14±0,11 b
19_CP_LHcm	21,10±0,90 ab	18,60±0,64 a	21,50±0,86 b

Continúa

CONTINUACIÓN TABLA 5

Código de variable	Amarilla común	Cartagenera	Yema de huevo
22_RR_PESkg	1,90±0,15 b	0,66±0,07 a	1,81±0,26 b
23_RR_NC	6,40±0,39 b	4,25±0,36 a	7,30±0,92 b
24_RR_PESckg	1,71±0,17 b	0,55±0,06 a	1,77±0,26 b
25_RR_PPESCg	269,00±19,76 b	128,00±10,14 a	235,00±23,93 b
26_RR_ANCcm	5,57±0,14 c	4,33±0,15 a	4,90±0,15 b
27_RR_LGCcm	15,20±0,52 b	12,20±0,36 a	16,00±0,62 b
28_RR_NNC	4,30±0,67 b	4,20±0,60 b	2,10±0,40 a
29_RR_PESNCkg	0,18±0,03 b	0,10±0,01 a	0,05±0,09 a
30_RR_PPESNCg	36,60±3,04 b	22,90±1,90 a	18,20±2,38 a
31_RR_ANNCcm	2,95±0,13 b	2,42±0,10 b	2,14±0,08 a

Los datos presentados corresponden al promedio de cuatro repeticiones. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) según la prueba Tukey. Cifras después del símbolo \pm indican el error estándar.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del AFDM evidenciaron que 10 dimensiones agruparon el 71,6 % de la variabilidad. Valor superior al encontrado por Garnica *et al.* (2020), quienes realizaron la caracterización de 96 accesiones del banco de germoplasma de Colombia y encontraron un porcentaje de variabilidad de 55 % en los 10 primeros componentes y reportan que los altos valores en la variabilidad permiten definir los caracteres cuantitativos y cualitativos para la caracterización morfológica de cultivares.

La Figura 1 muestra la formación de 3 grupos para las 60 plantas evaluadas, la dimensión 1 explicó el 26,5 %, y la dimensión 2, el 15,8 %. En el centroide rojo se agruparon los individuos correspondientes al cultivar *amarilla común*, en el centroide azul los individuos correspondientes al cultivar *yema de huevo* y en el centroide verde el cultivar *cartagenera*. El AFDM evidenció 20 variables (15 cualitativas y 5 cuantitativas) como caracteres discriminantes para los 3 cultivares (diferenciación intercultural) representados en la Tabla 6, que obedecen a los caracteres con poder discriminante para la diversidad genética.

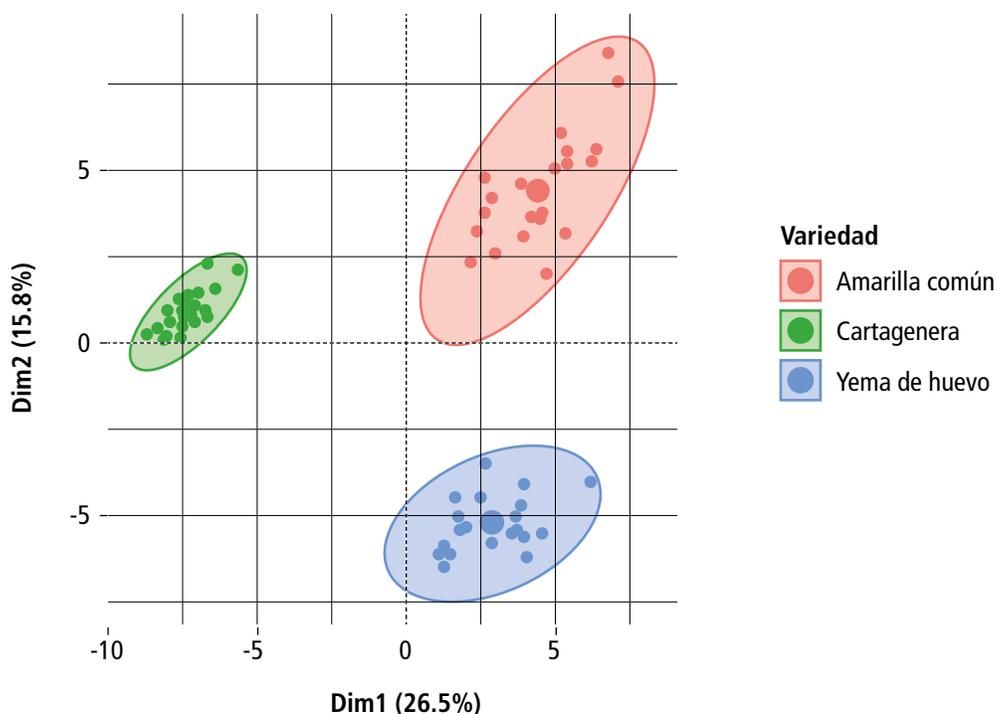


FIGURA 1. Ordenamiento de 60 plantas en un espacio bidimensional de tres cultivares de arracacha basado en el análisis AFDM de 55 caracteres morfoagronómicos en Cajamarca, Tolima, Colombia (2016 y 2018). Dim 1: dimensión 1; Dim 2: dimensión 2.

TABLA 6. Coseno cuadrado de las variables más representativas en la dimensión 1 y 2 para los cultivares de arracacha amarilla común, cartagenera y yema de huevo

Código	Variables	DIM 1	DIM 2
36_HJ_CFOLL	Color predominante del follaje	0,6918*	0,8983
37_HJ_CENV	Color predominante del envés	0,9369	0,0451
39_HJ_CSENV	Color secundario del envés	0,9364	0,0226
41_HJ_DSENV	Distribución color secundario del envés	0,9364	0,0226
42_HJ_CHAZ	Color predominante del haz	0,9497	<u>0,9291</u>
45_HJ_CSHAZ	Color secundario del haz	0,9364	0,0233
46_HJ_DCSHAZ	Distribución del color secundario del haz	0,9364	0,0226
48_FOL_CB	Color borde de los folíolos	0,9380	0,0234
53_PE_C	Color predominante del pecíolo	0,9505	0,2769
58_PENV_C	Color externo del propágulo	0,9530	0,8491
60_PENV_CB	Color de la base del propágulo	0,9507	<u>0,9331</u>
61_PR_CP	Color predominante de la pulpa del propágulo	0,9497	<u>0,9291</u>
66_RR_COL	Color predominante de la superficie de la raíz tuberosa	0,7729	0,1192
70_RR_COLP	Color predominante de la pulpa de la raíz tuberosa	0,1475	0,8095
73_RR_COLSP	Color secundario pulpa de la raíz tuberosa	0,2217	0,8129
4_P_AERkg	Peso total de parte aérea hoja + pecíolo (kg)	0,3915	0,3333
5_HJ_PESkg	Peso total de hoja (kg)	0,4375	0,2969
9_PE_N	Número de pecíolos (unidad)	0,5255	0,2704
18_CP_PESkg	Peso total de la cepa (kg)	0,3854	0,0079
22_RR_PESkg	Peso total de raíces tuberosas (kg)	0,4950	0,0011

*Los valores de coseno cuadrado en negrilla indican diferencias significativas al 0.01 % y los subrayados se identificaron como variables discriminantes para los tres cultivares.

En la Tabla 6 se subrayan 11 variables cuyos cosenos cuadrados son los más correlacionados a la dimensión 1 y 2, los cuales corresponden a 8 características cualitativas: color del follaje, color del haz de la hoja, color del pecíolo, color externo del propágulo, color de la base del propágulo, color predominante de la pulpa del propágulo, color predominante de la pulpa de la raíz tuberosa, color secundario de la pulpa de la raíz tuberosa, y 3 cuantitativas que incluyen el número de pecíolos, peso de la hoja (kg) y peso de raíces tuberosas (kg). Estos caracteres identificados podrían ser utilizados en futuros procesos de caracterización morfoagronómica de genotipos de arracacha.

Al respecto, Quilapanta *et al.* (2018) encontraron 11 caracteres morfológicos discriminantes, entre ellos, acumen del folíolo terminal, disección del folíolo terminal, cerosidad del pecíolo, estrías del pecíolo, color secundario pulpa de los colinos, distribución color de pulpa de los colinos, distribución color secundario de pulpa de colinos, forma de raíz reservante, color secundario pulpa de raíz reservante, distribución color de pulpa de los colinos y número de folíolos/hoja que les permitió diferenciar con claridad las características fenotípicas de tres materiales de *A. xanthorrhiza*. Estos mismos autores señalan que los caracteres cualitativos referidos al color de los diferentes órganos de la planta tienen un peso alto en la diferenciación de genotipos de arracacha, excepto en el color de la raíz reservante donde no se refleja un cambio notorio. Los mecanismos asociados a la coloración, se dan por acumulación de antocianinas en las células epidérmicas donde se expresan los genes responsables de los transcriptos del color (Kumar & Pandey, 2013).

De acuerdo con Tabares (2019), al caracterizar morfoagronómicamente 39 accesiones de arracacha colectadas en la ecorregión del Eje Cafetero para identificación y selección de genotipos promisorios, consideró 5 variables cualitativas como color primario y secundario del folíolo, color del pecíolo, color del propágulo y color de la raíz tuberosa, y 9 variables cuantitativas: longitud y ancho de hoja, número de pecíolos, número y peso de propáguos, peso de hojas, tamaño de cepa y peso total e individual de raíces comerciales.

B. Descripción fenotípica de cultivares

Amarilla común

Las plantas alcanzaron hasta 82 cm de altura, pero en cultivos comerciales se han encontrado plantas de mayor tamaño. Poseen hábito de crecimiento erecto y porte medio, el follaje es compacto e intermedio con apariencia vigorosa y frondosa de color verde y verde oscuro, presentan un diámetro de copa de 126 cm. En promedio tienen 83 hojas compuestas con 26,1 cm de ancho y 22,7 cm de longitud con tres o cuatro pares de folíolos ampliamente

acuminados y alargados, con textura cartácea, borde medianamente inciso y sin coloración diferenciada. El haz de las hojas es color verde claro (5GY3/4) con nervaduras amarillo verdoso claro, el envés es verde oliva y verde oliva claro (5GY4/4, 5GY4/8, 5GY5/4, 5GY5/6) sin coloraciones secundarias. Los pecíolos tienen una longitud de 36,2 cm y peso fresco total de 0,5 kg con coloración verde amarilloso. Los propágulos presentan coloración externa rojo púrpura profundo (5RP3/6, 5RP3/8, 5RP3/10), la pulpa es amarilla (5Y8/4, 5Y8/6) y en ocasiones el anillo cortical es púrpura. La planta tiene 17 propágulos viables para siembra con un peso total de 300 g, longitud de 7,49 cm y ancho 3,06 cm; así mismo, produce 15 hijuelos no viables para siembra. La cepa tiene un peso de 1,27 kg, longitud horizontal de 21,13 cm y vertical de 13,84 cm. Las raíces tuberosas presentan forma cónica, la parte externa tiene coloración amarillo claro (5Y6/6, 5Y8/4, 5Y8/6) y rojo púrpura grisáceo (5RP4/6); el color de la pulpa es amarillo claro (5Y6/6, 5Y8/6, 5Y8/8), rojo púrpura oscuro grisáceo (5RP3/4, 5RP4/6). Una planta produce en promedio 10,7 raíces tuberosas, de las cuales 6,4 son comerciales y 4,3 no comerciales. Las raíces comerciales tienen un peso total de 1,72 kg por planta, peso individual de 268 g, 15,2 cm de longitud y 6 cm de ancho (Figura 2A).

Yema de huevo

Las plantas alcanzaron hasta 56 cm de altura, poseen hábito de crecimiento erecto y porte medio, el follaje es medio y no muy abundante, compacto e intermedio de color verde claro; presentan un diámetro de copa de 97 cm. En promedio tienen 50 hojas compuestas con 22,7 cm de ancho y 22,3 cm de longitud con 2 a 3 pares de folíolos. El haz de las hojas es verde oscuro amarilloso (5GY4/6, 5GY4/4) con nervaduras color verde claro, el envés es opaco verde oliva (5GY5/4, 5GY5/6) sin coloraciones secundarias. En cada terminal del borde de los folíolos se presentan pigmentaciones blancas en forma de puntos, en ocasiones no hay evidencia de pigmentación. Los pecíolos tienen una longitud de 32,6 cm y peso fresco total de 0,5 kg, presentan una coloración verde amarilloso fuerte (5GY6/6, 5GY6/8, 5GY7/8, 2.5GY6/8, 2.5GY5/8) y en la parte basal exhiben una coloración rosa intensa a rosado claro. Los propágulos presentan una coloración externa rojo púrpura moderado (5RP4/8, 5RP4/10) y la pulpa es amarilla oscura (5Y8/6, 5Y8/8). La planta tiene 16 propágulos viables para siembra con un peso total de 200 g, 6,43 cm de longitud y 2,57 cm de ancho; así mismo, produce 8 hijuelos no viables para siembra. La cepa tiene un peso de 1,14 kg, longitud horizontal de 21,45 cm y vertical de 13,96 cm. Las raíces tuberosas presentan forma cónica, la parte externa tiene coloración amarillo claro (5Y8/4, 5Y8/6), el color de la pulpa es amarillo intenso (5Y8/6 - 5Y8/8), que diferencia un anillo cortical que simula una yema de huevo con color amarillo claro (2.5Y8/6, 2.5Y8/8). Una planta produce en promedio 9,4 raíces tuberosas, de las cuales 7,3 son comerciales y 2,1 no comerciales. Las raíces comerciales presentan

en promedio un peso total de 1,77 kg por planta, una longitud de 16 cm, diámetro de 4,9 cm y peso individual de 235 g (Figura 2B).

Cartagenera

Las plantas alcanzaron una altura promedio de 53 cm con porte medio, el follaje es intermedio y laxo con color verde oscuro y la copa presenta un diámetro de 89,7 cm. En promedio tienen 35 hojas compuestas con 22,4 cm de ancho y 24,4 cm de longitud con 4 a 5 pares de folíolos laterales opuestos y uno terminal. El haz de las hojas es verde oliva oscuro (5GY3/4) con nervaduras color rojo violáceo (10R3/4, 10R4/4), el envés es color verde oliva (5GY4/4, 5GY4/6, 5GY5/4) con nervaduras y bordes rojo violáceo (5R3/4). En estadio juvenil las hojas son púrpura verdoso y en estadios muy avanzados son verde oscuro. Los pecíolos tienen una longitud de 25,6 cm y color rojo violáceo (5R3/4) en toda la estructura. Los propágulos en la parte externa tienen coloración roja oscura (5R3/6, 5R3/8) y crema (5Y8/4, 5Y8/6, 5Y8/8) en la pulpa, 13 son viables para siembra con un peso total de 100 g, longitud de 6,78 cm y ancho 2,54 cm y 8 hijuelos no son viables. La cepa tiene un peso de 0,7 kg, longitud horizontal de 18,57 cm y vertical de 12,74 cm. Las raíces tuberosas presentan forma cónica, la parte externa y la pulpa son de color amarillo claro (5Y8/2, 5Y8/4) sin pigmentaciones secundarias. Una planta produce en promedio 8,5 raíces tuberosas de las cuales 4,3 son comerciales y 4,2 no comerciales. Las raíces comerciales tienen un peso total de 0,56 kg, peso individual de 128 g, 12,2 cm de longitud y 4,3 cm de ancho (Figura 2C).

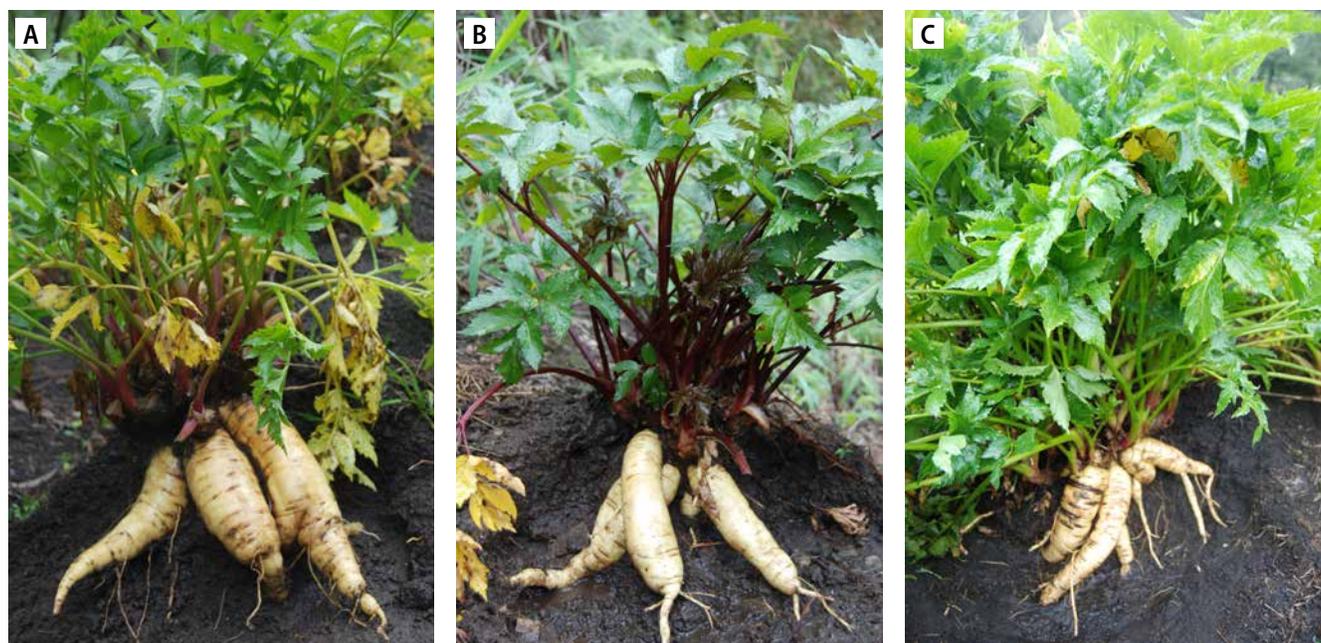


FIGURA 2. Cultivares de arracacha evaluados en Cajamarca, Tolima, Colombia. A. Amarilla común. B. Yema de huevo. C. Cartagenera. Fuente: autores.

IV. Conclusiones

Se presenta una caracterización morfológica completa de los cultivares regionales amarilla común, yema de huevo y cartagenera, y se describe de forma cualitativa y cuantitativa cada estructura o formación de la planta. Este estudio se constituye en la primera caracterización de cultivares regionales en Colombia.

De acuerdo con el análisis factorial de datos mixtos (AFDM), se identificaron 8 variables cuantitativas: color del follaje, color del haz de la hoja, color del pecíolo, color externo del propágulo, color de la base del propágulo, color predominante de la pulpa del propágulo, color predominante de la pulpa de la raíz tuberosa, color secundario de la pulpa de la raíz tuberosa; y 3 cuantitativas que incluyen el número de pecíolos, peso de la hoja y peso de raíces tuberosas, que fueron seleccionadas como discriminantes para la diferenciación fenotípica entre los cultivares amarilla común, yema de huevo y cartagenera. Estas variables pueden ser empleadas en procesos de caracterización morfoagronómica de materiales de arracacha.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa Nacional de Semillas, un acuerdo interinstitucional entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), por su apoyo para el desarrollo y cumplimiento del proyecto “Consolidación del núcleo de producción de semilla seleccionada de arracacha de variedades mejoradas y regionales en el cañón del Anaime (Tolima) y otras regiones productoras”. A la Asociación de Productores de Semillas Andinas (ASABIO) y a la Asociación de Arracacheros de Cajamarca y Anaime (ASOARRACACHOS). A Juan José Rivera Varón, por su iniciativa y contribución a la investigación en el sistema productivo.

Referencias

- Alvarado, A. & Ochoa, L. (2010). Tecnologías locales de producción de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en el municipio de Boyacá, departamento de Boyacá. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 13(1), 125–133. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152157>
- Alvarado, A. E., Muñoz, A. L. & Adame, O. F. (2016). Una aproximación al desarrollo rural, caso el cultivo de arracacha, en el departamento de Boyacá. *Ingeniería y Región*, 16(2), 57. <https://doi.org/10.25054/22161325.1299>
- Atencio, L. M., Garnica, J. P., Vargas, A. M., Villamil, J. E. & Cañar, D. Y. (2019). Manual técnico para la producción de colinos de arracacha bajo condiciones agroecológicas del municipio de Cajamarca, Tolima. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-19>

- Blas, R., Ghislain, M., Herrera, M. & Baudoin, J. P. (2008). Genetic Diversity Analysis of Wild Arracacia Species According to Morphological and Molecular Markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(5), 625–642. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9269-7>
- Cooperativa Multiactiva Productores Agrícolas Cajamarca -CARC-. (2014). *Ficha técnica de selección de Arracacha*. CARC.
- Garnica, J. P., Rodríguez, O. J., Jaramillo, C. I. & Vallejo, F. A. (2020). Diversidad morfológica y caracteres de selección del germoplasma de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) en Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 17(3), 49–62. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11150>
- Garnica, J. P., Villamil, J. E., Vargas, A. M., Rodríguez, O. J. y Atencio, L. M. (2021). Modelo productivo de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.): Agrosavia la 22 para la región andina de Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404500>
- Hidalgo, R. (2003). Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. In T. L. Franco & R. Hidalgo (eds.), *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos* (pp. 77–84). Boletín Técnico n.º 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos IPGRI.
- Hothorn, T., Bretz, F. & Westfall, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50(3), 346–363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- Husson, F., Josse, J. & Mazet, S. T. (2020). *FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data*. R Package versión 2.30.
- Kassambara, A. & Mundt, F. (2020). Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. Package Versión 1.0.7. In *R package version*. <https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/factoextra.pdf>
- Kumar, S. & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>
- Marín, D. A., Alcocer, M. R., Salazar, N. A. & Bernal, J. F. (2011). Calidad de la harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) a partir del método de secado por conducción. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2(1), 23–28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3901948>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -Min-TIC-. (2018). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA. Datos Abiertos*. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/data>
- Morillo, E., Madeira, N. & Jaimez, R. (2020). Arracacha. In E. Geoffriau & P. W. Simon (eds.), *Carrots and related Apiaceae crops* (2nd ed.) (pp. 245–253). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781789240955.0000>
- Pagès, J. (2004). Analyse factorielle de donnees 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
- Pinto-Acero, Y. L., Alvarado-Gaona, A. E., Burgos-Ávila, Y. E., Balaguera-López, H. E. & Ramírez-González, S. I. (2019). Caracterización de tres genotipos de *Arracacia*

- xanthorrhiza* Bancroft mediante parámetros morfológicos y de color. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(3), 426–434. <https://doi.org/https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.8948>
- 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. <https://revistas.uni-tru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
- R. Core Team. (2020). A Language and Environment for Statistical Computing. In *R Foundation for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Rosso, C. A., Medina, C. I. & Lobo, M. (2002). Morphologic Characterization and Agromomic Evaluation of a Colombian Collection of Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Plant Genetic Resources Newsletter*, 132, 22–29. http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/PGR/article-issue_132-art_84-lang_es.html
- Scott, G. J., Rosegrant, M. & Ringler, C. (2000). *Raíces y tubérculos para el siglo 21 tendencias, proyecciones y opciones de política*. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias IFPRI. <https://core.ac.uk/download/pdf/6388627.pdf>
- Seminario, J. (2006). Descriptores para la caracterización de germoplasma de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). In R. Estrada, T. Medina & A. Roldan (eds.), *Manual para la caracterización in situ de cultivos nativos conceptos y procedimientos* (pp. 61–68). Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria INIEA. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/103>
- Souza de, R. B. & Madeira, N. R. (2008). *Adubação e nutrição - Mandioquinha-salsa (Arracacia xanthorrhiza)*. *Sistemas de Produção*, 4. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA. https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioquinha/MandioquinhaSalsa/correcao_solo.html
- Tabares, D. F. (2019). *Caracterización morfoagronómica de la diversidad genética de arracacha (Arracacia xanthorrhiza bancroft.) colectadas en la eco-región del Eje Cafetero colombiano*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30150/1088313475.pdf?sequence=1&isAllowed=y>