



Biología floral de accesiones de *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. del banco de germoplasma de Colombia¹

Floral biology of *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. accessions from Colombia's germplasm bank

Luz Fanny Orozco-Orozco², Jaime Horacio López-Hoyos², Laura Beatriz Espitia-Negrete², Carlos Enrique Velásquez-Arroyo², Oscar Jair Rodríguez-Rodríguez³, Johanna Paola Garnica-Montaña⁴

- ¹ Recepción: 17 de diciembre, 2021. Aceptación: 23 de marzo, 2022. Este trabajo formó parte del proyecto “Nuevos materiales de siembra, uso de diversidad genética y propagación de genotipos de arracacha” ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).
- ² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación La Selva. Rionegro - Antioquia, Colombia. Código postal: 054040. lforozcoo@gmail.com (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-8805-944X>), jahlopezho@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-0661-1622>), lauraespitia10@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0324-8752>), cevelasqa84@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-0032-602X>).
- ³ North Dakota State University, Dakota del Norte, EE. UU. oscar.rodriguez@ndsu.edu (<https://orcid.org/0000-0002-5430-5745>).
- ⁴ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Nataima. Espinal - Tolima, Colombia. Código postal: 733529. johannagarnica09@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-3051-809X>).

Resumen

Introducción. La arracacha es una raíz tuberosa originaria de los Andes con mayores producciones en Brasil y Colombia. Entre los limitantes del cultivo se destaca la poca información sobre su biología reproductiva (floración y producción de semilla sexual), que dificulta la obtención de nuevas variedades. El Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) de Colombia, en custodia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) conserva 71 accesiones de *Arracacia xanthorrhiza* Bancr., donde la floración es frecuente, hasta en el 10 % de estas. **Objetivo.** Caracterizar la estructura floral y describir el ciclo reproductivo de nueve accesiones de arracacha florecidas entre los años 2019 y 2020. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó en el Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia, donde se conserva el banco de germoplasma. Se realizó la caracterización morfológica de las accesiones mediante el registro de dieciséis variables a nivel de estructura floral, además, del seguimiento al ciclo reproductivo. **Resultados.** Se obtuvieron cuatro agrupamientos donde las variables color de polen, color de anteras, color de pétalos, altura de planta, número de flores estaminadas y número de semillas, tuvieron el mayor aporte a la variabilidad encontrada. El ciclo reproductivo floral duró 73 días en promedio, en el cual se encontraron cuatro fenofases: 1. aparición de la umbela, 2. separación del estilo, 3. liberación de polen y 4. llenado de frutos, con una duración promedio de 11, 3, 4 y 55 días, respectivamente. Entre los factores que indujeron la floración en arracacha se encontraron: edad, genética de la planta y clima. **Conclusión.** Se caracterizaron las estructuras florales y el ciclo reproductivo de las nueve accesiones de arracacha florecidas entre los años 2019 y 2020.

Palabras claves: arracacha, floración, caracterización, morfología, variabilidad fenotípica.



Abstract

Introduction. The arracacha is a native Andean tuberous root, with higher productions in Brazil and Colombia. Among the limitations of the crop is the lack of information about reproductive biology (flowering and sexual seed production) stands out, which hinders the breeding of new varieties. The National Germplasm Bank System for Food and Agriculture (SBNAA) of Colombia, under the custody of the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), conserves 71 accessions of *Arracacia xanthorrhiza* Bancr., where flowering is frequent in up to 10 % of them. **Objective.** To characterize the floral structure and describe the reproductive cycle of nine arracacha accessions that flowered between 2019 and 2020. **Materials and methods.** The study was conducted at La Selva Research Center, Rionegro, Antioquia, Colombia, where the germplasm bank is kept. The morphological characterization of the accessions was carried out by recording sixteen variables at the level of floral structure, in addition to monitoring the reproductive cycle. **Results.** Four groupings were obtained where the variables pollen color, anther color, petal color, plant height, number of staminate flowers, and number of seeds had the greatest contribution to the variability found. The floral reproductive cycle lasted 73 days on average, in which four phenophases were found: 1. umbel emergence, 2. style separation, 3. pollen shedding, and 4. fruit filling, with an average duration of 11, 3, 4, and 55 days, respectively. Among the factors that induced flowering in arracacha were: age, plant genetics, and climate. **Conclusion.** The floral structures and reproductive cycle of the nine accessions of arracacha that flowered between 2019 and 2020 were characterized.

Keywords: Arracacha, flowering, characterization, morphology, notypic variability.

Introducción

Colombia es considerado uno de los países más diversos del planeta, reconocido por la riqueza de especies y la gran variedad de ecosistemas (López-Arevalo et al., 2014). Para el proceso de conservar, caracterizar y promover los recursos genéticos en el país, existe el Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) a cargo de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde se conservan *ex situ* especies animales, vegetales y microorganismos, para la preservación de poblaciones viables y apoyo de los programas de conservación *in situ* que asegura a largo plazo la propagación de especies (Valencia et al., 2010).

El SBGNAA conserva diferentes especies de raíces y tubérculos, entre ellas, achira (*Canna indica* L.), batata (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa (*Solanum tuberosum* L.), yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob), ñame (*Dioscorea alata* L.) y arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). En la actualidad, el recurso genético de esta última especie se preserva en el Centro de Investigación La Selva (Rionegro, Antioquia) con 71 accesiones. Es originaria de los andes septentrionales, domesticada en el continente americano hace más de 3000 años, cultivada y consumida por los campesinos de la región andina y comunidad indígena desde la época pre-Inca (Alvarado Gaona & Ochoa Fonseca, 2010).

Arracacia xanthorrhiza se encuentra distribuida desde Venezuela hasta Bolivia, en un rango altitudinal de 1500 a 3000 m s.n.m. (Morillo et al., 2020); se reportan siembras también en las Antillas, América Central, África y Sri Lanka (Pickersgill, 2007). Se conocen treinta especies de *Arracacia*, de las cuales, diez están distribuidas en la región andina de América del Sur (Blas, Hermann & Baudoin, 2008), continente con mayores áreas de siembra comercial, donde Colombia ocupa el segundo lugar, después de Brasil y hay menores áreas en Venezuela, Perú, Bolivia, Ecuador, Costa Rica y Puerto Rico (Garnica Montaña et al., 2021). Para el año 2020, Colombia logró una producción de 162 883 t en un área cosechada de 14 113 ha, con un rendimiento de 9,84 t ha⁻¹, los departamentos de Tolima, Boyacá y Norte de Santander son los principales productores (Agronet, 2021). *Arracacia xanthorrhiza*

pertenece a la familia Apiaceae, es una planta herbácea, sus partes diferenciales son: raíces reservantes, nabos o apios utilizados para la alimentación humana, así como la corona, cepa o carrajola (tallo modificado), que además tiene uso en la alimentación animal; propágulo, rebrote o colino; pecíolo o palo; hojas, flores, fruto y semilla sexual (Garnica Montaña et al., 2021).

Las flores se disponen en una inflorescencia donde el eje floral presenta alrededor de 15 a 20 umbelas, cada una con 8 a 14 umbélulas, y cada una de ellas tiene de 10 a 25 flores de coloración entre púrpura y verde, algunas flores masculinas ubicadas en la región central y otras hermafroditas dispuestas en la parte externa (Blas-Sevillano et al., 2006; Hermann, 1997; Quilapanta et al., 2018). Estas inician el proceso de fructificación cuando el polen fertiliza el óvulo, se genera engrosamiento del ovario ínfero y se produce un fruto bicarpelar que desarrolla máximo dos semillas (Hermann, 1997). Dentro de *A. xanthorrhiza* Blas, Hermann y Baudoin (2008) describieron dos subgrupos de plantas basados en su floración, monocárpicas y policárpicas; las primeras son plantas que florecen solo una vez con gran cantidad de semillas y allí termina su ciclo de vida, mientras que las segundas, son plantas consideradas perennes que pueden florecer y producir semilla varias veces en su ciclo de vida.

La forma de propagación comercial de la arracacha se realiza con semilla asexual, debido a su floración poco frecuente (Rodríguez-Rodríguez et al., 2019), la cual, es limitada en la región de los Andes, a diferencia de Brasil donde este fenómeno ocurre de forma natural, lo que favoreció la obtención de las primeras variedades en el mundo a partir de cruzamientos no controlados en colecciones de germoplasma (Madeira et al., 2002; Blas-Sevillano et al., 2006).

La biología y fenología floral en *Arracacia* ha sido poco estudiada y, por ende, la información es limitada. Algunos autores asocian este vacío en el conocimiento, a la floración tardía observada en la especie y al manejo agronómico direccionado a la cosecha comercial de raíces tuberosas antes de terminar el ciclo reproductivo sexual (Knudsen et al., 2006). La fenología floral está influenciada por factores ambientales (temperatura, humedad, precipitación y radiación solar) y características químicas y físicas del suelo (Aguilera & Ruiz Valenzuela, 2009; Villers et al., 2009).

El comportamiento reproductivo de las plantas de *Arracacia* varía a lo largo de los gradientes altitudinales y ecológicos, por lo cual, conocer la biología floral y el sistema reproductivo de las plantas con flores es fundamental para su manejo productivo, reproductivo y de conservación en bancos de germoplasma *in situ* y *ex situ* (Corredor & García, 2011).

Se reporta que la genética de la planta influye en la floración en arracacha, puesto que hay genotipos que florecen y otros no (Hermann, 1997). También, las bajas temperaturas y periodos prolongados de sequía son factores de estrés hídrico que han sido reportados como inductores de floración (Knudsen et al., 2006; Blas, Ghislain et al., 2008); por su parte, Knudsen et al. (2004) reportaron que el proceso de cosecha anticipada no permite evidenciar la floración en campo, la cual puede estar asociada con plantas adultas.

En Brasil, Ecuador y Perú, se han realizado estudios de floración en arracacha direccionados hacia la inducción floral y se reporta especificidad de genotipos a diversas condiciones bióticas y abióticas, de acuerdo con las variaciones edáficas, climáticas y altitudinales de cada país (Blas-Sevillano et al., 2006; Hermann, 1997; Knudsen et al., 2004).

En Colombia, el sistema productivo ha sido estudiado de forma limitada y las investigaciones se direccionan en trabajos de mejoramiento, manejo agronómico, fitopatología y socioeconomía, por cuanto, la presente investigación constituye el primer reporte del comportamiento fenológico y biología floral de arracacha en el país, gracias a los campos florecidos durante los años 2019 y 2020 en el banco de germoplasma. Este estudio es un acercamiento a la floración de arracacha a través de descripciones morfológicas y fenológicas de los genotipos florecidos en el Banco de Germoplasma, que sirven de base en procesos de evaluación de progenies y selección de genotipos como parentales o variedades en programas de fitomejoramiento (Poehlman, 2003).

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar el fenotipo, la estructura floral y describir el ciclo reproductivo de nueve accesiones de arracacha del Banco de Germoplasma de Colombia.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura (SBGNAA) de la nación colombiana de arracacha, se encuentra ubicado en el municipio de Rionegro, Antioquia (6°07'56,2"N - 75°24'53,1"W), a una altura de 2150 m s.n.m., con una temperatura promedio anual de 14 °C, humedad relativa de 78 % y 1917 mm de precipitación media anual, en una zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB) (Holdridge, 1967).

Material vegetal

El SBGNAA de arracacha se encuentra conformado por 71 accesiones establecidas en campo y cobertizo, de estas 26 presentaron floración durante los años 2019-2020 (Cuadro 1) y de las florecidas se caracterizaron nueve accesiones que completaron la biología floral hasta la obtención de semillas sexuales. La unidad experimental para cada accesión se conformó entre 10 y 30 plantas, las cantidades no son homogéneas debido a la baja disponibilidad de semilla de cada genotipo en los ciclos de multiplicación en el Banco de germoplasma.

Variables evaluadas

Las nueve accesiones florecidas durante los años 2019-2020 se caracterizaron a nivel de estructuras florales, con una descripción de tallos florales, umbelas, umbélulas, flores masculinas, flores hermafroditas y semillas. El registro de los estados y la codificación de los descriptores se realizó de acuerdo con las normas establecidas por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) – Bioversity. Las variables morfológicas de caracterización floral se seleccionaron con base en el listado propuesto por Blas, Hermann et al. (2008) y algunas adiciones del equipo de investigadores de AGROSAVIA durante el 2019 (Cuadro 2). La abreviación de las variables son el resultado de la experiencia y experticia del equipo de trabajo en el proceso de caracterización de flores.

La evaluación del ciclo fenológico se realizó mediante la observación diaria de todas las accesiones del SBGNAA. Para identificar las etapas fenológicas de cada planta, los tallos florales emergentes se rotularon con cintas de colores, con base en la metodología propuesta por Knudsen (2003) y ajustado por el equipo de trabajo, donde cada color de cinta identificó el inicio de la fenofase. El registro de información inició cuando al menos el 50 % de las flores alcanzaban cada fenofase, las cuales correspondieron desde la emisión del primer nudo del tallo floral hasta la madurez del fruto (Cuadro 3).

La Figura 1 muestra las fases de cada estado fenológico. La floración inicia con la aparición de la umbela (AU), que se contempla desde la emisión del primer nudo del tallo floral (Figura 1A) y pasa por la emisión de umbela primaria y secundaria (Figura 1B), hasta la aparición del estilo en las flores (Figura 1C). En la fenofase separación del estilo (SE), se registraron los días desde la separación del estilo (Figura 1D) hasta la apertura de anteras con polen (Figura 1E). La fenofase liberación de polen (LP), contempla los días desde la liberación del polen (Figura 1F) hasta la caída de los sépalos (Figura 1G) y el estado llenado que contempla la fenofase llenado de frutos (LLF), que inicia desde la caída de sépalos y la madurez fisiológica de la semilla (Figura 1H) hasta la madurez de la semilla (Figura 1I).

Cuadro 1. Accesiones florecidas de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) en el Sistema de Bancos de Germoplasma de AGROSAVIA. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Table 1. Flowering arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accessions in the AGROSAVIA's germplasm bank. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Accesiones	Lugar de colecta (país /departamento /municipio)	Número de plantas sembradas	Ubicación
ILS2054	Col/Boyacá/Zetaquirá	4	Campo
ILS186	Col/Nariño/Tamninango	9	Campo
ILS201	Col/Nariño/San José de Albán	10	Campo
ILS2033	Col/Boyacá/Ramiriquí	2	Campo
ILS205	Col/Nariño/San Pablo	10	Campo
ILS208	Col/Nariño/Buesaco	6	Campo
ILS3891	Perú*	10	Campo
ILS3892	Perú	11	Cobertizo
ILS3897	Colombia	9	Campo
ILS3899	Col/Huila/Oporapa	10	Campo
ILS3900	Col/Tolima/Fresno*	14	Campo
ILS3901	Col /Tolima / Casabianca*	19	Campo
ILS3903	Col/Tolima/Cajamarca*	24	Campo/Cobertizo
ILS3904	Col/Tolima/Murillo*	30	Campo
ILS3909	Col/Boyacá/Saboyá	21	Campo
ILS3912	Col/Boyacá/Ramiriquí	24	Campo/Cobertizo
ILS3913	Col/Boyacá/Santa Rosa de Viterbo	10	Campo/Cobertizo
ILS3915	Col/Boyacá/Pesca*	32	Campo/Cobertizo
ILS3917	Col/Cauca/Puracé*	27	Campo/Cobertizo
ILS3919	Col/Cauca/Popayán	17	Campo/Cobertizo
ILS3920	Col/Antioquia/Salado blanco	10	Campo
ILS3933	Col/Huila/San Agustín*	20	Campo/Cobertizo
ILS5970	Col/Cauca/Piendamó	13	Campo/Cobertizo
ILS7222	Col/Tolima/Cajamarca*	30	Campo
ILS7239	Col/Cauca/Inzá	4	Campo
ILS7289	Col/Antioquia/La Ceja	4	Cobertizo

* Accesiones para estudio de caracterización y biología floral. Col: Colombia. / * Accessions for characterization and floral biology study. Col: Colombia.

Datos climáticos

Los datos climáticos para los años 2018, 2019 y 2020, se obtuvieron de la estación meteorológica serie WatchDog 2000ET. Se analizaron las variables de temperatura media (°C) y precipitación (mm), y se relacionaron con la floración observada entre enero 2019 a marzo 2020.

Análisis de datos

Con el fin de agrupar las accesiones con características morfológicas similares de estructura floral y de semilla, se construyó un dendrograma de disimilitud, con el algoritmo para distancia genética propuesto por Gower (1971).

Cuadro 2. Variables evaluadas para la caracterización de los órganos florales y semilla en accesiones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) florecidas. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Table 2. Evaluated variables used for flowers and seed characterization of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accessions. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Estructura floral	Descriptor	Abreviación	Categoría / unidad de medida
Tallos florales	Número de tallos florales	NTF	Cuantitativa (unidad)
	Longitud del tallo floral	LTF	Cuantitativa (cm)
	Número de nudos por tallo floral	NNTF	Cuantitativa (unidad)
Umbelas	Número de nudos con emisión de umbelas	NEU	Cuantitativa (unidad)
	Número total de umbelas por tallo floral	NTU	Cuantitativa (unidad)
	Diámetro de la umbela*	DUA	Cuantitativa (mm)
Umbélula	Número de umbélulas por umbela*	NUU	Cuantitativa (unidad)
Flor	Número de flores estaminadas por umbela*	NFEU	Cuantitativa (unidad)
	Número de flores hermafroditas por umbela*	NFHU	Cuantitativa (unidad)
	Color de pétalos**	CPE	Cualitativa (Mo; Vi)
	Color de anteras**	CA	Cualitativa (Mo; Vd; Vi)
	Color del polen**	CPO	Cualitativa (Bl; Vd; Fc)
Semilla	Longitud de semilla***	LS	Cuantitativa (mm)
	Diámetro de semilla***	DS	Cuantitativa (mm)
	Número de semilla por umbela	NSU	Cuantitativa (unidad)
	Peso semillas (100 semillas por umbela)	PS	Cuantitativa (g)

*Valor promedio de tres umbelas desarrolladas por tallo floral. **Valor promedio de diez semillas de una umbela por planta. *** Mo: morado; Vi: vinotinto, Vd: verde; Bl: blanco; Fc: fucsia. / *Average value of three umbels developed per flowering stem. ** Average value of three developed umbels per flowering stem. *** Average value of ten seeds from one umbel per plant. *** Mo: purple; Vi: burgundy, Vd: green; Bl: white; Fc: fuchsia.

Cuadro 3. Estados fenológicos de floración de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) identificados en accesiones del banco de germoplasma. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Table 3. Phenological flowering stages on arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) identified in germplasm bank accessions. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Estado	Estado fenológico	Descripción	Marcación
Floración	Aparición de la umbela (AU)	Días desde la aparición del primer nudo del tallo floral hasta la separación de estilo de las flores	Cinta azul
	Separación del estilo (SE)	Días desde la separación del estilo hasta la liberación del polen	Cinta naranja
	Liberación de polen (LP)	Días desde la liberación del polen hasta inicio del llenado del fruto	Cinta blanca
Llenado	Llenado de frutos (LLF)	Días desde inicio del llenado de frutos hasta la madurez de la semilla	Cinta rosada



Figura 1. Estados fenológicos de la floración en accesiones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

A. Emisión del primer nudo del tallo floral, **B.** Emisión de umbela primaria y secundaria, **C.** Aparición del estilo, **D.** Separación del estilo, **E.** Apertura de anteras con polen, **F.** Liberación del polen, **G.** Caída de los sépalos, **H.** Madurez fisiológica de la semilla, **I.** Madurez de la semilla.

Figure 1. Phenological stages of flowering on arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accessions. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

A. Emergence of the first generative shoot, **B.** Primary and secondary umbel emergence, **C.** Appearance of the style, **D.** Style separation, **E.** Anthers opening with pollen, **F.** Pollen shedding, **G.** Falling of the sepals, **H.** Physiological seed maturity, **I.** Maturity of the seed.

Los agrupamientos jerárquicos fueron obtenidos por el método de distancia mínima, luego se realizó un análisis descriptivo de las variables de floración que conformaron cada agrupamiento. Además, se hizo un análisis de componentes principales (ACP) para evaluar la heterogeneidad entre las accesiones, se construyó una matriz de correlación entre las variables.

Para las variables de ciclo reproductivo se realizó un análisis descriptivo y de varianza, se detectaron diferencias estadísticas entre las fases y se aplicó la prueba de separación de medias de Tukey ($p < 0,0001$). Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el entorno estadístico R Core Team (2020).

Resultados

Caracterización de plantas en floración y semillas

Los valores promedio de las variables registradas en los tallos florales, umbelas, umbélulas, flores y semillas de las nueve accesiones de arracacha florecidas, se muestran en el Cuadro 4. Se observaron plantas con mayor longitud

Cuadro 4. Caracterización morfológica de nueve accesiones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Table 4. Morphological characterization of nine arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accessions. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Accesión	Tallos florales		Umbelas		Umbélulas	
	Longitud (cm)	Número de nudos	Número de nudos con umbelas	Número/ tallo floral	Diámetro (mm)*	Número/umbela*
ILS3891	160,5	9	5	6	8,5	13
ILS3900	151,7	5	4	6	8,2	12
ILS3901	137,6	7	5	8	6,6	13
ILS3903	136,2	6	6	7	7,3	15
ILS3904	145,4	7	5	9	7,2	13
ILS3915	121,2	7	5	13	8	11
ILS3917	129	6	4	12	8,5	11
ILS3933	127,3	7	4	11	7,3	12
ILS7222	197,5	8	5	6	9,6	16
	Flores estaminadas	Flores hermafroditas		Color de flor **		
	Número/umbela*	Número/umbela*		Pétalos	Anteras	Polen
ILS3891	7	10		Mo	Mo	Vd
ILS3900	9	9		Vi	Vd	Bl
ILS3901	14	7		Vi	Mo	Fc
ILS3903	5	13		Mo	Mo	Fc
ILS3904	6	14		Mo	Mo	Fc
ILS3915	9	11		Mo	Mo	Fc
ILS3917	8	9		Vi	Mo	Fc
ILS3933	11	7		Mo	Mo	Fc
ILS7222	8	13		Vi	Vd	Bl
	Semillas					
	Longitud (mm) ***	Diámetro (mm) ***		Número/umbela	Peso (g) ****	
ILS3891	8,4	2,1		22	0,09	
ILS3900	11	2,4		21	0,14	
ILS3901	11	2,4		19	0,14	
ILS3903	11	2,4		15	0,12	
ILS3904	11	2,5		31	0,11	
ILS3915	13	2,9		16	0,15	
ILS3917	13	2,7		26	0,16	
ILS3933	10	2,4		4	0,2	
ILS7222	11	2,4		31	0,15	

*Valor promedio de tres umbelas desarrolladas por tallo floral. **Colores: Vi: vinotinto, Mo: morado, Vr: verde, Fe: fucsia, Bl: blanco. ***Valor promedio de cien semillas por umbela. / * Average value of three developed umbels per flowering stem. ***Colors: Vi: burgundy, Mo: purple, Vr: green, Fc: fuchsia, Bl: white. ****Average value of ten seeds per umbel. **** Average value of one hundred seeds per umbel.

de tallo floral (197,5 cm) y otras de menor tamaño (121,2 cm), de igual forma se presentaron umbelas grandes y pequeñas, desde 6,6 hasta 9,6 mm de diámetro. Las accesiones mostraron entre 6 a 13 tallos florales por planta, el número total de umbelas por tallo floral osciló entre 11 y 16; además, se observó entre 7 a 14 flores hermafroditas por umbélula, la producción de semillas fluctuó entre 4 a 31 semillas por umbélula. Se encontraron pétalos con variaciones de color entre morado y vinotinto, anteras verdes o moradas y polen verde, morado o fucsia.

Los resultados del agrupamiento mostraron que al aplicar un corte al 0,15 de disimilitud de Gower, se encontraron cuatro grupos (A, B, C y D), lo que indica que al interior de los grupos las accesiones comparten el 85 % de sus características ponderadas (Figura 2).

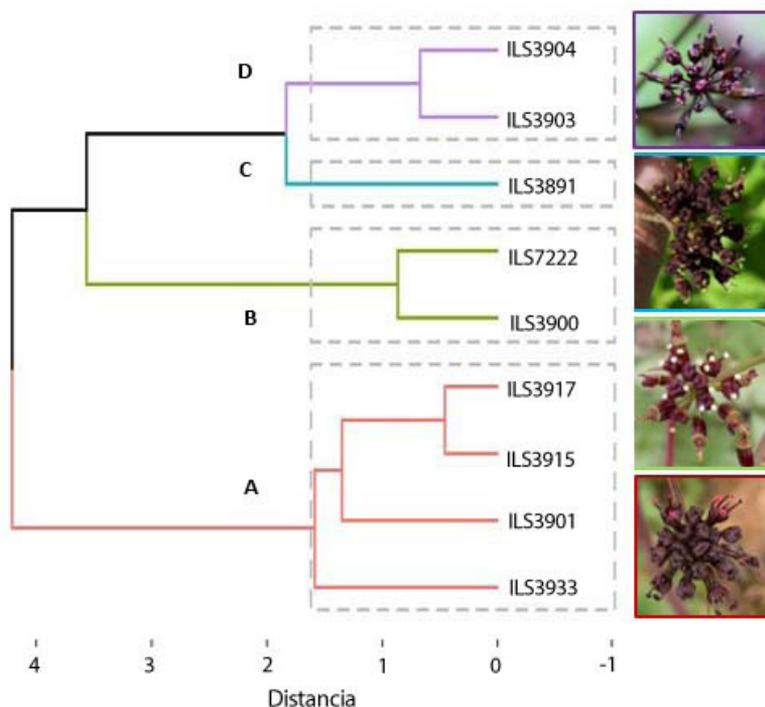


Figura 2. Agrupamiento de nueve accesiones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) florecidas. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019 - 2020.

Figure 2. Clustering for nine flowering arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accessions. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

El grupo A representa el 44,4 % de las accesiones evaluadas y se caracteriza por tener el CA moradas y el CPO fucsia, asimismo, el CPE presenta dos tonalidades que son morado y vinotinto. Las variables morfológicas distintivas son: menores valores promedio de LTF (128,7 cm), DUA (7,60 cm), NUU (12 umbélulas), NFHU (9 flores hermafroditas), NSU (16 semillas) y el PS (1,63 g). A su vez, presenta los mayores valores promedios de: NTU (11 umbelas), NFEU (11 flores estaminíferas), LS (6 mm) y DS (2,6 mm).

El grupo B se conforma por dos accesiones que representan el 22,2 % con características diferenciables de color vinotinto en el pétalo, color verde de la antera y el color blanco del polen. Se distingue por presentar mayores valores promedios de LTF con 174,6 cm, DUA con 8,9 cm y NSU con 26 semillas.

En el grupo C se encuentra la accesión ILS3891, que representa el 11,1 % y es la única accesión que presentó el polen de color verde, además, pétalos y anteras color morado. Presentó la segunda mayor longitud de tallos floral (LTF) con 160 cm y diámetro de umbela abierta (DUA) con 8,5 mm de longitud después del grupo B, además, el segundo mayor número de umbélulas por umbela (NUU) con 13, después del grupo B y D. Se diferenció por presentar el mayor número de nudos por tallo floral con nueve en promedio y las semillas más pequeñas con una longitud de 8,36 mm, diámetro de 2,05 mm y peso de 0,90 g. Comparte algunas variables con otros grupos, entre ellas, 6 umbelas por tallo floral (NTU) con el grupo B; 2 tallos florales por planta (NTF) con el grupo A y 22

semillas por umbela (NS) con el grupo D. Respecto a las flores, presentó 7 estaminíferas por umbela (NFEU) valor inferior a los grupos A y B, y 10 flores hermafroditas por umbela (NFHU) valor menor a los grupos D y B.

El grupo D se compone por dos accesiones que representan el 22,2 %. Presenta pétalos y anteras moradas y polen color fucsia al igual que el grupo A. Desarrollaron en promedio 4 tallos florales por planta y 12 flores hermafroditas y se diferenció por presentar el menor número de flores estaminíferas (6 flores) por umbela. Comparte con el grupo B, 14 umbelas por umbélula (NUU), 7 nudos por tallo floral (NNTF) con los grupos A y B y 22 semillas por umbela (NSU) con el grupo C. Después del grupo A, presentó el segundo mayor número de umbelas (NTU) con siete en total, el diámetro de umbela abierta fue de 7,67 mm, por debajo de los grupos B y C, el tamaño de la semilla fue más grande que el grupo C con 9,83 mm de longitud, 2,31 mm de diámetro y 1,32 g de peso.

La cercanía entre las accesiones y las variables que mejor describen los grupos, se observaron también a través del análisis de componentes principales (Figura 3), lo que es congruente con el agrupamiento del dendograma (Figura 2). Las dos primeras dimensiones explican el 54,2 % de la variabilidad. El CP1 recoge los grupos B, C y D, mientras que en el CP2 se encuentra el grupo A que presenta mayor similitud entre las accesiones, porque se encuentran a una menor distancia.

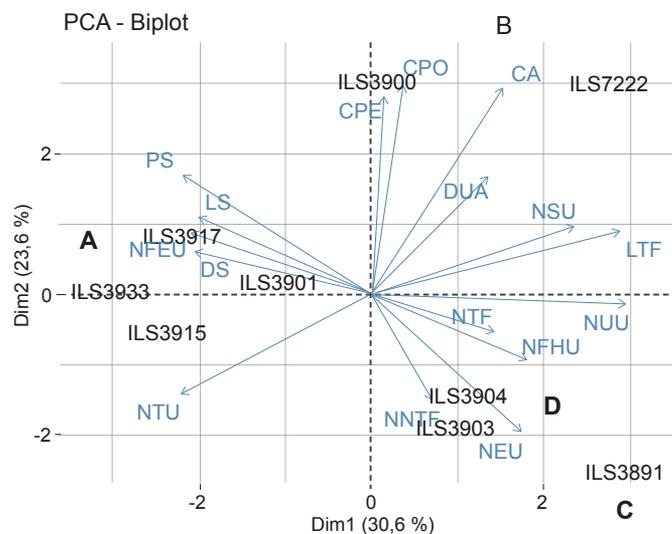


Figura 3. Representación bi-dimensional del análisis de componentes principales de nueve accesiones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) florecidas y variables evaluadas. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

* El nombre de las accesiones se muestran en color negro y la abreviación de las variables en color azul. NTF: número de tallos florales. LTF: longitud del tallo floral. NNTF: número de nudos por tallo floral. NEU: número de nudos con emisión de umbelas. NTU: número total de umbelas por tallo floral. DUA: diámetro de la umbela. NUU: número de umbélulas por umbela. NFEU: número de flores estaminadas por umbela. NFHU: número de flores hermafroditas por umbela. CPE: color de pétalos. CA: color de anteras. CPO: color del polen. LS: longitud de semilla. DS: diámetro de semilla. NSU: número de semilla por umbela. PS: peso semillas (100 semillas por umbela).

Figure 3. Bi-dimensional representation of the principal components analysis of nine flowering arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accessions and evaluated traits. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

* Accessions names are in black and trait abbreviation in blue. NTF: number of flowering stems. LTF: length of flowering stem. NNTF: number of nodes per flowering stem. NEU: number of nodes with umbel emission. NTU: total number of umbels per flowering stem. DUA: diameter of the umbel. NUU: number of umbels per umbel. NFEU: number of staminate flowers per umbel. NFHU: number of hermaphrodite flowers per umbel. CPE: color of petals. CA: color of anther. CPO: color of pollen. LS: seed length. DS: seed diameter. NSU: number of seeds per umbel. PS: seed weight (100 seeds per umbel).

El ACP permitió observar las variables que mejor describen los grupos, con el peso, longitud y diámetro de las semillas, además del número total de umbelas por tallo floral y número de flores estaminadas por umbela para

el grupo A, mientras que la variabilidad del grupo B se asoció con la longitud del tallo floral, número de semillas por umbela y diámetro de la umbela abierta. El grupo C presentó el mayor valor de nudos por tallo floral y el D número de tallos florales por planta y número de flores hermafroditas por umbela.

La proximidad entre las variables se interpreta como similitud en su comportamiento con respecto a las accesiones y los grupos que estas conforman. Los valores próximos significan una alta correlación entre ellos y que presenta baja correlación con respecto a las otras variables. La proyección de la correlación entre las variables originales y los dos primeros componentes principales se observan en la Figura 3. Las variables más relacionadas en la dimensión uno, en sentido positivo fueron: color del polen (CPO), color de pétalo (CPE) y color de antera (CA), y en sentido negativo, el número de nudos con emisión de umbelas (NEU) y número de nudos por tallo floral (NNTF). En la dimensión dos mostraron correlación positiva la longitud del tallo florar (LTF), en menor medida el número de semillas por umbela (NSU) y el número de umbélulas por umbela (NUU). Las relacionadas en sentido negativo en este componente fueron peso de semilla (PS), número de total de umbelas por tallo floral (NTU) y número de flores estaminadas por umbela (NFEU).

Las correlaciones entre las variables que describen los grupos se observan en la Figura 4. Las variables de color CPE, CPO, CA y DUA, se encuentran agrupadas en el primer cuadrante del gráfico de ACP con ángulo menor de

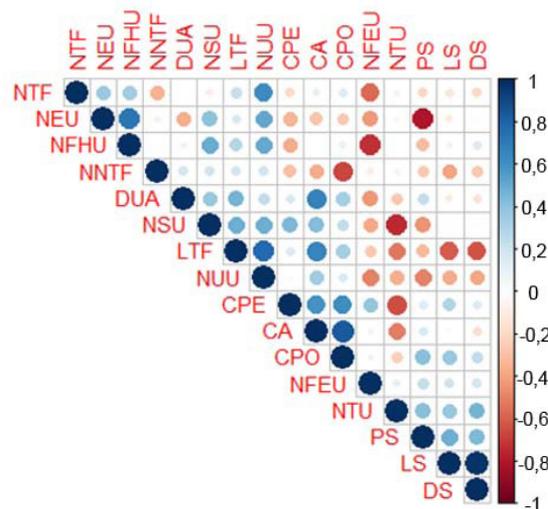


Figura 4. Correlaciones entre variables evaluadas de caracterización floral y semilla en accesiones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

* Valores en color azul indican una correlación positiva, valores en rojo indican correlación negativa. Círculos grandes indican correlaciones más de mayor relevancia. NTF: número de tallos florales. LTF: longitud del tallo floral. NNTF: número de nudos por tallo floral. NEU: número de nudos con emisión de umbelas. NTU: número total de umbelas por tallo floral. DUA: diámetro de la umbela. NUU: número de umbélulas por umbela. NFEU: número de flores estaminadas por umbela. NFHU: número de flores hermafroditas por umbela. CPE: color de pétalos. CA: color de anteras. CPO: color del polen. LS: longitud de semilla. DS: diámetro de semilla. NSU: número de semillas por umbela. PS: peso semillas (100 semillas por umbela).

Figure 4. Correlations among flowering and seed traits in arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accessions. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

* Blue values indicate positive correlation, while red values show a negative correlation. Bigger circles indicate stronger correlations. NTF: number of flowering stems. LTF: length of flowering stem. NNTF: number of nodes per flowering stem. NEU: number of nodes with umbel emission. NTU: total number of umbels per flowering stem. DUA: diameter of the umbel. NUU: number of umbels per umbel. NFEU: number of staminate flowers per umbel. NFHU: number of hermaphrodite flowers per umbel. CPE: color of petals. CA: color of anther. CPO: color of pollen. LS: seed length. DS: seed diameter. NSU: number of seeds per umbel. PS: seed weight (100 seeds per umbel).

90°. Los vectores que las representan mostraron alta asociación, donde la correlación más baja fue 0,6 entre las variables de color. Dentro de este mismo cuadrante, LTF tuvo correlaciones positivas mayores a 0,47 con DUA, NUU, CA y NSU. Las variables de semillas: LS, DS y PS, tuvieron una correlación superior a 0,45, el mayor valor fue entre LS y DS. Una correlación negativa se presentó entre NTU con NSU, CPE y CA, con valor menor a -0,5.

Desarrollo fenológico floral

En total florecieron veintiséis accesiones, de las cuales, nueve completaron el ciclo fenológico floral (Figura 5). Las cuatro fenofases identificadas (AU, SE, LP y LLF) tienen un ciclo promedio de 73 días, con un mínimo de 61 y máximo 86. La fenología inicia a partir de la aparición de la umbela (AU), con un promedio 11 días, mínimo 6 y máximo 14. Luego, se observa la separación del estilo (SE) con una media de 3, mínimo 2 y máximo 5 días. Luego, se liberó el polen (LP) a los 4 días, con un mínimo de 3 y máximo de 5, y, por último, el llenado de fruto (LLF) con una media de 55, mínimo 47 y máximo 68 días.



Figura 5. Ciclo fenológico floral de *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

*Los valores se muestran en días promedio.

Figure 5. *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. phenological flowering cycle. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

*Values on average days.

Las nueve accesiones de arracacha evaluadas tuvieron ciclos fenológicos entre 61 a 86 días (Figura 6). Se encontraron diferencias significativas entre las medias de cada accesión, donde las accesiones ILS3891 y ILS3933, presentaron los ciclos más cortos (61 y 63 días, respectivamente), y las accesiones ILS3915 y ILS3917 los ciclos más largos (84 y 86 días, respectivamente).

El análisis de varianza realizado a las etapas de la fenología floral de las accesiones florecidas de arracacha, presentó diferencia significativa con un valor $p < 0,05$ para las variables apertura de la umbela, separación del estilo y llenado de fruto. La fenofase de liberación del polen no presentó diferencia significativa. Respecto a los residuales, la variable separación del estilo presentó el menor valor (1,277).

Entre los factores que inducen la floración natural en arracacha se encuentran la edad avanzada de las plantas, su genética y el clima. La floración inició en plantas con edades de 117 días después de la siembra (dds) hasta 586 dds (Cuadro 5).

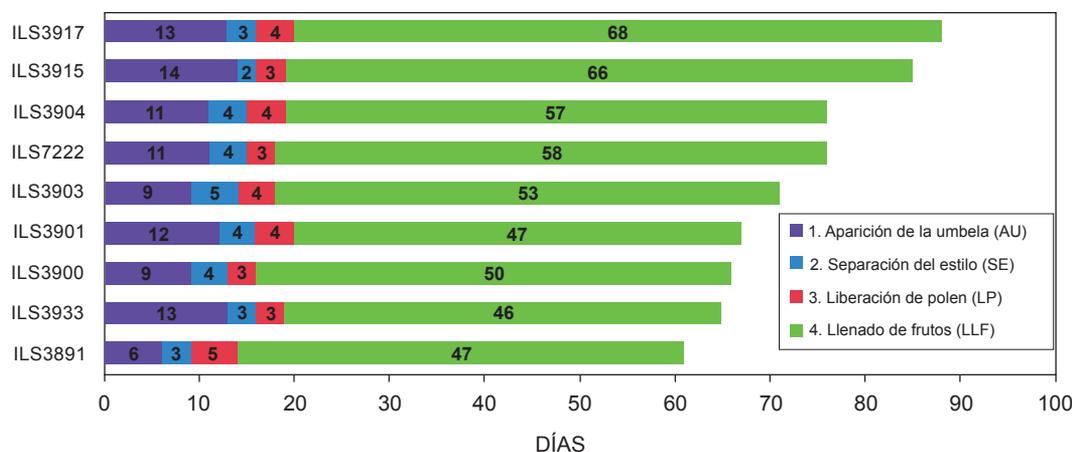


Figura 6. Ciclo fenológico floral de nueve accesiones *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Figure 6. *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. phenological flowering cycle of nine accessions. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Cuadro 5. Número de plantas florecidas y número de días a floración por cada accesión de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Table 5. Number of flowering plants and days to flowering for each arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accession. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2019-2020.

Accesión	Número de plantas		Floración (%)	(F) *	Días a floración		
	Siembra	Florecida			Media	Mínimo	Máximo
ILS3891	10	2	20	PF	443	434	448
ILS3900	14	4	28,6	F	468	373	567
ILS3901	19	5	26,3	F	328	155	420
ILS3903	24	11	45,8	MF	447	385	555
ILS3904	30	15	50	F	391	177	395
ILS3915	32	9	28,1	MF	411	146	586
ILS3917	27	8	29,6	MF	299	118	531
ILS3933	20	4	20	F	177	155	390
ILS7222	30	11	36,7	F	317	117	393

*(F): frecuencia; PF: poco frecuente; F: frecuente; MF: muy frecuente. *(F): frequency; FP: infrequent; F: frequent; MF: very frequent.

La predisposición genética, se observó en las accesiones ILS3903, ILS3915 e ILS3917, que presentan floración muy frecuente con porcentajes altos entre el 28 y 50 % (Cuadro 5), independiente de la edad, el sitio de conservación (campo o cobertizo) y manejo agronómico aplicado, florecen, aunque las plantas dispongan de agua de riego y no estén expuestas a largos periodos de sequía.

La temperatura media mensual varió entre 16,3 y 17,8 °C (Figura 7) y la precipitación varió entre 0,4 a 328,8 mm. Los resultados indican que entre los meses de diciembre del 2018 a febrero del 2019 y entre junio del 2019 a enero del 2020, fueron periodos con bajas precipitaciones, luego se dio un aumento de las lluvias, que coincidió con los dos picos de mayor floración de las plantas (febrero a mayo del 2019 y febrero a marzo del 2020). En el último pico no pudo ser cuantificada la floración, debido a las restricciones en movilidad del personal técnico, asociado a la pandemia de la COVID-19, sin embargo, en las parcelas del banco de germoplasma se observó abundante floración.

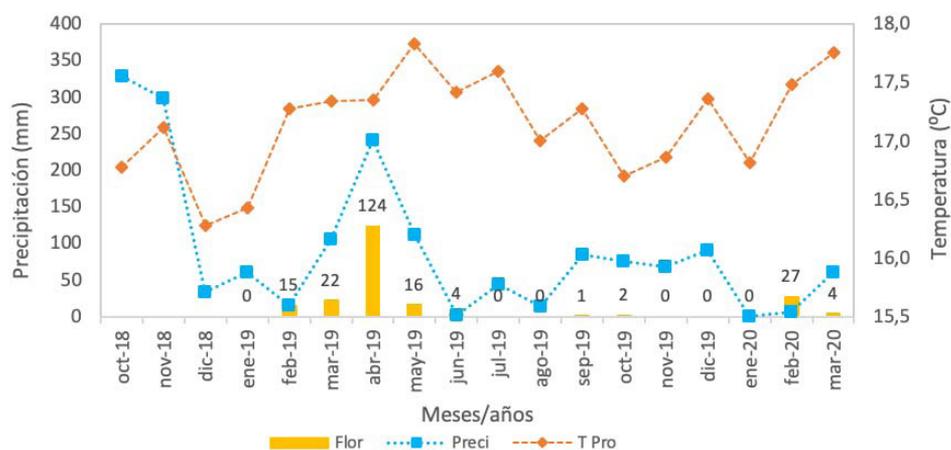


Figura 7. Caracterización climática para el periodo de floración de las accesiones de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.). Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2018-2019-2020.

Figure 7. Climatic characterization for the flowering period in arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) accessions. Research Center La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. 2018-2019-2020.

Discusión

La caracterización floral permitió generar cuatro grupos a partir del análisis de disimilitud de Gower, lo que indica una amplia variabilidad y se constituye en el primer reporte del ciclo fenológico completo y características diferenciales de biología floral en accesiones de *A. xanthorrhiza* en Colombia. Las variables con mayor aporte para explicar la variabilidad encontrada son: color de polen, color de anteras, color de pétalos, altura de planta, número de flores estaminadas por umbela y número de semillas producidas en cada umbela. La variabilidad en atributos cualitativos y cuantitativos indica una alta posibilidad de obtener combinaciones de caracteres deseables en un mismo material; la propagación vegetativa de la especie permite que estas combinaciones deseables se puedan clonar en cualquier etapa de los programas de fitomejoramiento (Garnica Montaña et al., 2020).

El grupo A denominado “*flores con pétalos y anteras moradas y vinotinto, y polen fucsia*” presentó la altura más baja de tallos. El grupo B llamado “*flores con pétalos vinotinto, anteras verdes y polen blanco*” presentó de tres a cuatro tallos florales con longitudes promedio de 174,58 cm, fueron los más altos. El grupo C se nombró “*flores con pétalos y anteras moradas, y polen verde*”, tuvo un total de nueve tallos florales con altura promedio de 160,5 cm. El grupo D denominado “*flores con pétalos y anteras moradas, y polen fucsia*” presenta el menor número de flores masculinas (6) y mayor número de flores hermafroditas (12). Se señala que *A. xanthorrhiza* tiene condición dicógama, donde existen flores estaminadas y flores hermafroditas protógamas. La sincronía de las umbelas separa las fases sexuales y previene la autogamia, sin embargo, algunas umbelas se superponen y en ocasiones existe geitonogamia (Knudsen et al., 2006).

El número de umbelas obtenido en esta investigación concuerdan con Bajana Fabara (1994), quien reportó entre 7 y 11, luego, Hermann (1997) registró entre 8 y 14 umbelas por tallo floral y Knudsen et al. (2004), quien evidenció en campo entre 7 y 12 umbelas. La agrupación de las accesiones estuvo influenciada por el color de las flores. Se ha realizado una diferenciación botánica entre las flores masculinas y femeninas, con pétalos con coloración rosada, blanca, gris o marrón (Amaya Robles & Julca Hashimoto, 2006).

La variable número de semillas se registró una vez que las semillas alcanzaron la madurez fisiológica, a diferencia de Blas-Sevillano et al. (2006), quienes no observaron ninguna formación de semilla en las plantas en floración en el Perú.

La fenología transcurrió entre cuatro fenofases con una duración máxima de 86 días (2,8 meses). Este valor es diferente al reportado por Blas-Sevillano et al. (2006), quienes encontraron una duración de periodo de floración de cinco meses en condiciones del Perú. En observaciones de campo, estos autores también encontraron flores en diferentes estados de desarrollo, lo cual se evidenció con la aplicación de la metodología de marcación con cintas de colores.

La fase inicial aparición de la umbela (AU), tuvo una duración total de 11 ± 3 días. La separación estilo (SE) 3 ± 2 días, luego, la liberación del polen (LP) con 4 ± 1 días, por último, el llenado de fruto (LLF) con 68 ± 11 días. Estos resultados son similares a los encontrados por Knudsen et al. (2001), en un estudio donde las flores hermafroditas expusieron el estilo de 3 a 6 días, la liberación del polen entre los 3 y 5 días.

De las 71 accesiones conservadas en el SBGNAA durante los años 2019 y 2020, florecieron el 37 % (26 accesiones), las cuales no tuvieron ningún tipo de intervención antrópica que indujera este proceso, lo que indica que la floración en ocasiones es dependiente del genotipo. Esta afirmación esta soportada en la floración continua durante los últimos nueve años de las accesiones ILS3903, ILS3915 e ILS3917, esta información es corroborada por Garnica Montaña et al. (2020), quienes agruparon el SBGNAA en seis grupos, donde la variable presencia de floración discriminó las accesiones. Asimismo, diversos autores afirman que el fenómeno de floración constante de algunas accesiones, está asociado con su componente genético (Blas Sevillano, 1998; Hermann, 1997; Knudsen, 1999; Knudsen et al., 2001).

El estrés generado por los periodos marcados de sequía es posible que estimulara la floración de las accesiones de arracacha del SBGNAA en Colombia. Al respecto, Knudsen et al. (2006) afirmaron que las bajas temperaturas y periodos prolongados de sequía generan estrés hídrico en las plantas y esto favorece la floración, lo cual es ratificado por Zanin & Casali (1984), quienes en Brasil observaron que los días cortos y temperaturas bajas, dos a tres meses antes, inducen el inicio de la floración en arracacha. También encontraron genotipos de *A. xanthorrhiza* que florecieron en condiciones de estrés hídrico (Blas, Hermann & Baudoin, 2008).

Las nueve accesiones que florecieron lograron formar de 16 a 26 semillas por umbela. Estos datos difieren de los resultados encontrados por Blas-Sevillano et al. (2006), quienes reportaron 95 % de viabilidad del polen, pero sin formación de semilla, por lo cual, se concluye que las condiciones ambientales presentes en el Centro de Investigación La Selva favorecieron la reproducción sexual de las plantas de arracacha.

Conclusiones

La caracterización floral de las accesiones de *A. xanthorrhiza*, permitió generar cuatro agrupamientos, lo que indica una amplia variabilidad, donde las variables que más aportaron a esta característica fueron: color de polen, color de anteras, color de pétalos, altura de planta, número de flores estaminadas y número de semillas.

El ciclo reproductivo floral de arracacha duró 73 días en promedio, el cual se encuentra distribuido en cuatro fenofases: 1. Aparición de la umbela, 2. Separación del estilo, 3. Liberación de polen y 4. Llenado de frutos.

Entre los factores que indujeron la floración en arracacha sin intervención antrópica, se encuentran la edad de la planta, su genética y periodos climáticos marcados de sequía y lluvia.

Este estudio constituye el primer reporte del ciclo fenológico completo y características diferenciales de biología floral en accesiones de *A. xanthorrhiza* en Colombia, información que puede ser utilizada en la estructuración de programas de fitomejoramiento para la obtención de nuevas variedades.

Agradecimientos

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos a los investigadores Clara Inés Medina Cano por su aporte técnico en el desarrollo de la investigación. A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación del proyecto.

Referencias

- Aguilera, F., & Ruiz Valenzuela, L. (2009). Study of the floral phenology of *Olea europaea* L. in Jaén province (SE Spain) and its relation with pollen emission. *Aerobiología*, 25, 217–225. <https://doi.org/10.1007/s10453-009-9127-5>
- Agronet. (2021). *Base agrícola EVA – 2020*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Alvarado Gaona, A. E., & Ochoa Fonseca, L. E. (2010). *Cultivo de arracacha (A. xanthorrhiza bancroft) en los municipios de Turmequé y Boyacá (Boyacá, Colombia)* (1^{ra} ed.). Colección Investigación Uptc. <https://bit.ly/3cvXNvd>
- Amaya Robles, J. E., & Julca Hashimoto, J. L. (2006). *Arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Conservación del Medio Ambiente. <https://bit.ly/2q3nCHP>
- Bajana Fabara, D. F. (1994). *Efectos de factores ambientales sobre la floración de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)* [Tesis de Maestría, no publicada]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Blas Sevillano, R. H. (1998). *Caracterización y evaluación de arracachas cultivadas (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) del Perú* [Tesis de Maestría, no publicada]. Universidad Agraria la Molina.
- Blas, R., Ghislain, M., Herrera, M. R., & Baudoin, J. -P. (2008). Genetic diversity analysis of wild *Arracacia* species according to morphological and molecular markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55, 625–642. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9269-7>
- Blas, R., Hermann, M., & Baudoin, J. -P. (2008). Analysis of the geographic distribution and relationships among Peruvian wild species of *Arracacia*. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55, 643–655. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9267-9>
- Blas-Sevillano, R., Julca-Otiniano, A., & Baudon, J. P. (2006). Inducción floral de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *IDESIA*, 24(1), 31–36. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100006>
- Corredor, J. P., & García, J. (2011). Fenología reproductiva, biología floral y visitantes florales en los cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) Hilacha y Tommy Atkins en el valle del alto Magdalena (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 21–32. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:212
- Garnica Montaña, J. P., Rodríguez Rodríguez, O. J., Jaramillo Barrios, C. I., & Vallejo Cabrera, 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 Montaña, J. P., Villamil Carvajal, J. E., Vargas Berdugo, Á. M., Rodríguez-Rodríguez, O. J., & Atencio Solano, L. M. (2021). *Modelo productivo de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancr.)*. Agrosavia la 22 para la región Andina de Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404500>
- Gower, J. C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 27(4), 857–871. <https://doi.org/10.2307/2528823>
- Hermann, M. (1997). Arracacha. *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft. In M. Hermann, & J. Heller (Eds.), *Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacon* (pp. 75–172). Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, & International Plant Genetic Resources Institute.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center.
- Knudsen, S. (1999). *Flower induction in the Andean root crop arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft). A description and evaluation of the morphological changes following dehydration* [Master Dissertation, unpublished]. Universidad de Copenhagen.
- Knudsen, S. (2003). *Reproduction biology of the Andean root crop arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft var. xanthorrhiza) and the taxonomic status of the South American Arracacia Bancroft species with special emphasis on the position of the cultivated arracacha and rela* [Doctoral Dissertation, unpublished]. Universidad de Copenhagen.
- Knudsen, S. R., Hermann, M., Dos Santos, F., & Sorensen, M. (2004). Inducción de floración en el cultivo de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). En J. Seminario (Ed.), *Raíces Andinas, Contribuciones al conocimiento y a la capacitación. Serie: conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos Andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)* (pp. 197–213). Universidad Nacional de Cajamarca, Centro Internacional de la Papa, & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Knudsen, S. R., Hermann, M., & Sørensen, M. (2001). Flowering in six clones of the Andean root crop arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(4), 454–458. <https://doi.org/10.1080/014620316.2001.11511393>
- Knudsen, S. R., Ørting, B., & Sørensen, M. (2006). Multiplicación y conservación de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr.) y ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi). En M. Moraes, B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius, & H. Balslev (Eds.), *Botánica Económica de los Andes Centrales* (pp. 483–508). Universidad Mayor de San Andrés.
- López-Arévalo, H. F., Montenegro, O. L., & Liévano-Latorre, L. F. (2014). *ABC de la biodiversidad*. Jardín Botánico José Celestino Mutis, & Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/3p8NqAl>
- Madeira, N. R., dos Santos, F. F., & de Souza, R. J. (2002). Desempenho de clones de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) na região de Lavras-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 26(4), 711–718.
- Morillo, E., Madeira, N., & Jaimez, R. (2020). Arracacha. In E. Geoffriau, & P. W. Simon (Eds.), *Carrots and related Apiaceae crops* (pp. 245–253). Centre for Agricultural Bioscience International. <https://www.cabi.org/cabebooks/FullTextPDF/2020/20203331554.pdf>
- Pickersgill, B. (2007). Domestication of plants in the Americas: insights from mendelian and molecular genetics. *Annals of Botany*, 100(5), 925–940. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm193>
- Poehlman, J. M. (2003). *Mejoramiento genético de las cosechas* (2ª Ed.). Editorial Limusa.

- 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://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.13>
- R Core Team. (2020). *A language and environment for statistical computing*. The R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rodríguez Rodríguez, O. J., Garnica Montaña, J. P., Villamil Carvajal, J. E., Atencio Solano, L. M., & Martínez Reina, A. (2019). *AGROSAVIA La 22. Primera variedad de arracacha en Colombia. Amarilla, de alta producción y adaptada a condiciones agroecológicas de la zona Andina*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/80/67/690-1>
- Valencia, R. A., Lobo, M., & Ligarreto, G. A. (2010). Estado del arte de los recursos genéticos vegetales en Colombia: Sistema de Bancos de Germoplasma. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 85–94. https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num1_art:198
- Villers, L., Arizpe, N., Orellana, R., Conde, C., Hernández, J. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 34(5), 322–329.
- Zanin, A. C. W., & Casali, V. W. D. (1984). Efeitos climáticos sobre a mandioquinha-salsa. *Informe Agropecuário*, 10(120), 57–59.