



Área Agrícola

Fecha de recibido: 04/09/2022

Fecha de aceptado: 29/11/2022

DOI: 10.22490/26653176.6163



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE ARRACACHAS (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) RECOLECTADAS EN EL EJE CAFETERO COLOMBIANO.

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF ARRACACHAS (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) COLLECTED IN THE COLOMBIAN COFFEE REGION.

Diego Fernando Tabares Álvarez

Estudiante del programa de Agronomía de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia
UNAD
dftabaresa@unadvirtual.edu.co

Manuel Francisco Polanco Puerta

Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4810-0081>
manuel.polanco@unad.edu.co

Citación: Tabares-Alvarez, D. F. y Polanco-Puerta, M. F. (2023). Caracterización morfológica de la diversidad genética de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.) recolectadas en el eje cafetero colombiano. *Agricolae & Habitat*, 6 (1), 07 - 29. <https://doi.org/10.22490/26653176.6163>

RESUMEN

Contextualización: Colombia posee una gran parte de la diversidad genética primaria de distintas especies del género *Arracacia*, entre las que se destaca *Arracacia xanthorrhiza* [conocida como arracacha]. Esta especie es fuente de carbohidratos, vitaminas y minerales, presentando un gran potencial para la industria de harinas y almidones y el uso culinario.

Vacío de investigación: Sin embargo, esta planta es poco valorada y la información sobre su variabilidad genética y potencial de mejoramiento es escasa.

Propósito: Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar la variabilidad genética y, consecuentemente, identificar y seleccionar genotipos promisorios de la colección de germoplasma de Arracacha con la que cuenta la Universidad Nacional Abierta y a Distancia [UNAD] en la Sede de Dosquebradas Risaralda Colombia. La colección está compuesta por 39 accesiones colectadas en la región del eje cafetero [Norte del Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, y Tolima].

Metodología: Para la evaluación de los caracteres se empleó el listado de descriptores desarrollado por el Centro In-

ternacional de la Papa, modificado por el Programa Nacional de Recursos Fitogenéticos de Agrosavia. La caracterización se realizó en cinco plantas por parcela experimental; los descriptores de la parte aérea se evaluaron en plantas adultas y los de las raíces reservantes se examinaron al momento de la cosecha [aproximadamente 12 meses después de la siembra].

Resultados y conclusiones: Se dedujo que las 39 accesiones con que cuenta la colección de arracacha de la UNAD se pueden descomponer en 4 grupos; de los cuales, las accesiones D25, D8, V19, D13, D14, R23, y D16 fueron las más promisorias en cuanto a la producción de biomasa en los tubérculos. Con la variabilidad encontrada no se puede precisar el patrón de distribución de la especie en la región, pero el gran número de caracteres cualitativos y cuantitativos encontrados permite suponer que existen genotipos promisorios con los que se pueden establecer programas de mejoramiento agronómico de la especie.

Palabras claves: Accesiones, caracteres agronómicos, recursos fitogenéticos, tubérculos



ABSTRACT



Contextualization: Colombia has part of the primary genetic diversity of distinct species of the genus *Arracacia*, among which *Arracacia xanthorrhiza* [known as arracacha] stands out. This species is a source of carbohydrates, vitamins, and minerals, having a great potential in the flour and starch industry, as well as for culinary use.

Research gap: However, this plant is undervalued and the information about its genetic variability and potential for improvement is scarce.

Purpose: This research had the objective of characterizing the genetic variability and, consequently, identifying and selecting promising genotypes from the Arracacha germplasm collection of the National Open and Distance University [UNAD] at the Dosquebradas [Risaralda, Colombia] headquarters. The collection is composed by thirty-nine accessions collected in the region of the Colombian coffee growing axis (North of Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, and Tolima).

Methodology: for the evaluation of the characters, the list of descriptors developed by the International Center of the Potato, modified by the National Program of Phylogenetic Resources of Agrosavia. The characterization was effected in five plants per experimental plot; the descriptors of the aerial part were evaluated in adult plants and those of the storage roots were examined at harvest time [approximately 12 months after sowing].

Results and conclusions: We deduced that the thirty-nine accessions in the UNAD arracacha collection can be divided into four groups, of which accessions D25, D8, V19, D13, D14, R23, and D16 were the most promising in terms of biomass production in tubers. With the variability found cannot be specified the distribution pattern of the species in the region, but the considerable number of qualitative and quantitative characters found lead us to assume that exist promising genotypes which can be used to establish agronomic improvement programs for the species.

Keywords: Accessions, agronomic characters, plant genetic resources, tubers

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores

1. INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria y el crecimiento económico del mundo dependen actualmente de un número reducido de especies vegetales. Esa realidad pone en riesgo el suministro futuro de alimentos, así como el ingreso que percibe el sector rural a nivel mundial. En Colombia, como en muchos países en vía de desarrollo, predominan los sistemas productivos de subsistencia a través de pequeñas o medianas explotaciones agrícolas en las que prevalece la mano de obra familiar o campesina. Los agricultores, por lo general, utilizan una amplia gama de variedades criollas o razas nativas de diferentes especies que mantienen una alta diversidad y un flujo genético constante al interior de sus fincas o locales de producción. De esa gran diversidad de cultivos se destacan algunas hortalizas tuberosas que son parte esencial de la dieta alimenticia de la población andina, como, por ejemplo, la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), la cual es fuente importante de carbohidratos, vitaminas y minerales (Jiménez, 2005).

La arracacha es una planta nativa de América, cuyo centro de origen es la región andina de Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Bolivia. Colombia es parte de la diversidad primaria del género *Arracacia*, la cual ha sido conservada por etnias y culturas indígenas con fines comerciales o de autoconsumo. El sur de Colombia sobresale como un antiguo centro de dispersión de esta planta por-

que, además de su intenso cultivo en la cordillera central, la arracacha es cultivada por tribus indígenas como un cultivo secundario desde la frontera ecuatoriana hasta Venezuela y en la Costa Caribe cerca de Santa Marta (Velez, 1952 como se citó en Vásquez et al., 2004).

Se estima que Brasil es el mayor productor de arracacha [conocida localmente como “mandioquihna salsa”], con 23 000 hectáreas sembradas y una producción promedio de 250 000 toneladas anuales, según estadísticas de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria [EMBRAPA] para el año 2013. Le sigue Colombia, con un área cosechada en el mismo año de 7 314 hectáreas y una producción anual de 73 190 toneladas, destacándose el departamento del Tolima como el principal productor de esta hortaliza al concentrar el 40 % de la producción nacional, seguido de Norte de Santander [16 %], Boyacá [12 %], Valle del Cauca [8 %], Santander [7 %] y Huila [4 %]. Sobresalen también los departamentos de Cundinamarca, Antioquia y Nariño, cuya producción departamental supera en promedio las 2 000 toneladas (Agronet, 2015). Sin embargo, pese a su importancia para la seguridad alimentaria, es un cultivo poco desarrollado y casi que “olvidado” por la ciencia, por extensionistas, por instituciones de investigación públicas y privadas, y por la sociedad en general.

En países como Brasil la arracacha ha sido ampliamente estudiada, sobre todo

para comprender sus propiedades físico-químicas (Matsuguma et al., 2009; De Souza et al., 2008), su desempeño agronómico (Tolentino, et al., 2002) y las enfermedades que afectan a la planta (Henz, 2002). En Colombia, aunque en los últimos años las tendencias y actitudes hacia especies subutilizadas están cambiando, los estudios relacionados con el cultivo de arracacha son limitados (Vásquez et al., 2004) debido, entre otras cosas, a la falta de interés de la comunidad científica y educativa, a la falta de apoyo gubernamental y a la restricción financiera. Este descuido puede llevar a la erosión genética de la diversidad y de la utilidad de esta especie, lo que limitaría aún más las opciones de desarrollarla en beneficio de la comunidad rural e indígena.

De acuerdo con el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009), la conservación, recolección, prospección, caracterización, evaluación y documentación de los recursos fitogenéticos son esenciales para alcanzar los objetivos planteados en los tratados de seguridad alimentaria y para el desarrollo agrícola sostenible para las generaciones presentes y futuras. Por tal razón, es necesaria la realización de estudios que fomenten la conservación, valoración y uso sostenible de los recursos fitogenéticos disponibles en Colombia, de tal manera que se pueda generar conocimiento científico que contribuya a futuro con la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola del país, así como con el mejoramiento genético de los cultivos.

Aunque en Colombia no existe un programa formal de mejoramiento, la arracacha es una especie promisoriosa por su alto potencial agroindustrial en la extrac-

ción de harinas y almidones (Vásquez et al., 2004), además de ser un patrimonio genético que merece rescatarse para convertirlo en producto de valor agregado. Como la diversidad genética de *A. xanthorrhiza* ha sido escasamente estudiada, este proyecto se propone ampliar los estudios que ayuden a conocer el nivel de variación genética disponible, a fin de seleccionar genotipos promisorios que puedan utilizarse como materia prima en futuros trabajos de mejoramiento.

Según el anuario estadístico del sector agropecuario del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR (2021), El principal productor de arracacha en Colombia es el departamento del Tolima, que representa el 55 % de la producción nacional, seguido de Norte de Santander [13,5 %], Boyacá [7,07 %], Cundinamarca [5,38 %], Huila [4,40 %] y Antioquia [3,26 %]. La arracacha se cultiva por sus raíces de almacenamiento comestibles, las cuales constituyen el producto económico principal. Sin embargo, todas las partes cosechables de la planta pueden utilizarse para la alimentación humana o animal. Además de las raíces laterales, la planta de arracacha produce un rizoma central y varios tallos cortos o hijuelos que sirven como propágulos. Es una especie perenne, pero se cultiva como anual (Knudsen et al. 2006).

El uso de la arracacha, ya sea para consumo directo o industrial, depende principalmente del contenido de almidón y de la calidad, color y sabor de sus raíces DANE (2015). La investigación nutricional de la arracacha no ha tenido aún un amplio desarrollo que posibilite su total caracterización; sin embargo, de acuerdo con su composición química, esta planta debe ser considerada como un alimen-

to esencialmente energético, pues en su composición se destacan los carbohidratos en relación con los demás nutrientes [almidón + azúcares totales]. Sobresale también el contenido de minerales calcio, fósforo, hierro, además de constituir una buena fuente de vitamina A y niacina (Hermann, 1997). Según León (1964) el almidón de la arracacha se caracteriza por ser muy fino y uniforme, acompañado de un aroma propio de las umbelíferas, debido a la presencia de un aceite espeso y amarillento característico de la planta.

Un amplio conocimiento sobre la variabilidad genética de una especie es indispensable para direccionar correctamente futuros trabajos de conservación y mejoramiento genético. De forma general, la caracterización y evaluación de germoplasma puede ser morfológica, bioquímica, citogenética y molecular. La caracterización y evaluación morfológica consiste en la obtención de datos de una serie de caracteres [descriptorios] que ayudan al investigador en la diferenciación de las accesiones, así como en la identificación de aquellas con características deseables para su utilización en el mejoramiento de plantas (Morillo, 2006).

De acuerdo con Valls (2007), el proceso de caracterización y evaluación de cualquier material genético pasa por cinco etapas. La primera es la correcta identificación botánica de la especie; la segunda es la elaboración de los datos de pasaporte; la tercera etapa del proceso es la caracterización a través de descriptorios fenotípicos de alta heredabilidad y que se expresan en todos los ambientes; la cuarta etapa corresponde a la evaluación preliminar, la cual consiste en la búsqueda de diferencias entre los caracteres des-

criptivos que conduzcan a la discriminación entre las accesiones; la etapa final consiste en una evaluación profunda o complementaria, la cual puede ser agronómica, nutricional o de otro tipo.

En el escenario mundial y nacional, la variabilidad genética de *A. xanthorrhiza* ha sido escasamente caracterizada, encontrándose de modo general bajo nivel de variabilidad tanto a nivel morfológico (Hermann & Heller, 1997; Arbizu & Robles, 1986) como molecular (Mazón, 1993; Castillo, 1997). En contraste con estos estudios, Vásquez et al. (2004) reportaron que existe amplia variabilidad en una colección colombiana de arracacha conformada por 60 accesiones provenientes de los departamentos de Tolima, Huila, Boyacá y Cauca. Según los autores, el germoplasma evaluado representa un potencial enorme para programas de mejoramiento de la especie *A. xanthorrhiza*, la cual, según Dos Santos (1998), muestra un alto grado de heterocigosis y se segrega ampliamente al reproducirse vía sexual.

Por todo lo expuesto anteriormente, esta investigación tiene como objetivo general realizar la caracterización morfológica de la diversidad genética de arracachas [*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.] recolectadas en la región del eje cafetero colombiano, contribuyendo de esta manera con la investigación de este cultivo mediante el estudio de su diversidad genética. Los objetivos específicos de este estudio fueron determinar los caracteres morfológicos más importantes para la identificación de morfotipos de arracacha, e identificar y seleccionar genotipos promisorios de arracacha por su alto potencial agronómico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se llevó a cabo en el corregimiento la Bella en Pereira, a una altura de 1809 m s. n. m., con una temperatura media anual de 18.1° C que corresponde a un clima de medio a frío húmedo. La región cuenta con suelos profundos originados de cenizas volcánicas y se encuentra ubicada en una zona de vida de la franja media del bosque subandino o bosque húmedo montano bajo, según la clasificación de zonas de vida de Holdridge.

Material vegetal

Está conformado por la colección de germoplasma de arracacha de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia [UNAD], compuesta por 39 accesiones recolectadas en la región del eje cafetero [Departamentos de Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Tolima y Huila]. Las accesiones examinadas se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Accesiones de arracacha evaluadas

Accesión	Nombre tradicional	Procedencia	Color del follaje	Color del peciolo	No. tubérculos /planta	Forma del tubérculo
V-01	Arracacha blanca	Valle del Cauca	Verde claro	Café verde	8	Cónico
B-02	Yema de huevo	Boyacá	Verde claro	Café verde	4	Cónico
H-03	Arracacha amarilla	Huila	Verde	Verde	10	Cónico
C-04	Arracacha blanca	Cundinamarca	Verde claro	Café oscuro	8	Cónico
C-05	-	Cundinamarca	Verde Claro	Café oscuro	8	Cónico
H-06	-	Huila	Verde oscuro	Café oscuro	5	Cónico
H-07	Arracacha blanca	Huila	Verde oscuro	Verde	6	Cónico
CA-08	Criolla	Cauca	Verde claro	Verde	8	Cónico
H-09	Patosa rayada	Huila	Verde claro	Café verde	8	Cónico
R-11	-	Risaralda	Verde claro	Café verde	8	Ovoide

V-12	Arracacha amarilla	Valle del Cauca	-	-	-	-
V-13	Amarilla común	Valle del Cauca	Verde claro	Verde	12	Fusiforme
R-14	Arracacha blanca	Risaralda	-	-	-	-
Q-15	-	Quindío	Verde claro	Verde	4	Fusiforme
R-16	Arracacha blanca	Risaralda	Verde oscuro	Café verde	15	Cónico
V-17	Beteada	Valle del Cauca	-	-	-	-
V-18	Paliamarilla rayon	Valle del Cauca	-	-	-	-
V-19	Palimorada Blanca	Valle del Cauca	-	morado	-	-
V-20	Siete colinos	Valle del Cauca	-	-	-	-
V-21	Palimorada amarilla	Valle del Cauca	-	-	-	-
R-22	Arracacha amarilla	Risaralda	Verde	Verde	-	Cónico
R-23	-	Risaralda	Verde	morado	-	-
A-24	Arracacha blanca	Antioquia	Verde claro	Verde	-	-

Fuente: autores

Manipulación de las accesiones en campo

Adecuación del terreno: El sitio en donde se estableció la colección de germoplasma corresponde a un suelo proveniente de cenizas volcánicas, profundo, de color pardo oscuro, de textura franco-arenosa y bien drenado; además, cuenta con buena capacidad de intercambio catiónico, bajo en fósforo, baja densidad aparente menor a 1g/cc, alta porosidad y relativamente aislado de cultivos. La preparación de la parcela consistió fundamentalmente en la eliminación manual de arvenses y el picado profundo con azadón pica formando camellones; también se adicionó cal agrícola [100g/m²] tres semanas antes del trasplante. La parcela se diseñó en surcos de 15 m de largo [separados

por una distancia de 1,40 m] en los que se sembraron 3 rizomas de cada accesión.

Siembra: Se empleó el método de porciones de cepas o rizomas [propágulos vegetativos] vigorosos y sanos, con tres a cuatro yemas vegetativas. Previamente a la siembra, los rizomas fueron lavados y desinfectados sumergiéndolos por espacio de 1 minuto en una solución de hipoclorito de sodio al 1 %. Las yemas de los rizomas tardaron en rebrotar entre 15 a 20 días.

Definición de los descriptores morfológicos empleados

Se optó por dar mayor importancia a aquellas características fáciles de observar, medir y cuantificar durante el desarrollo fisiológico de la planta. Para ello

se ha tomado como referencia la lista de descriptores empleado por el IPGRI para la especie, consignados en la Tabla 1, y los descriptores botánico-taxonómicos y morfológicos establecidos por el CIAT (2004).

Ficha de caracterización

Se elaboro una ficha de caracterización, a partir de los descriptores utilizados, con el objetivo de facilitar y sistematizar la recogida y posterior cuantificación de datos de la descripción morfológica y agronómica

Análisis de los descriptores cuantitativos

Se realizó un análisis de varianza múltiple, mediante el uso del procedimiento ANOVA y pruebas de medias con LSD del programa estadístico SAS, con el fin de conocer si existieron diferencias significativas entre el conjunto de descriptores cuantitativos.

Análisis de los descriptores cualitativos

Se realizó el análisis de correspondencia múltiple, mediante el uso del comando

Proc Corresp del programa estadístico SAS. El conjunto de descriptores cualitativos quedó sintetizado en dos dimensiones o variables sintéticas.

Análisis de clasificación conjunto

Se realizó un análisis de componentes principales categóricos para los descriptores cualitativos y cuantitativos, por medio del procedimiento Prinqual del programa estadístico SAS, a partir 19 descriptores cuantitativos y cualitativos de la matriz original y se efectuó un análisis de clúster mediante el análisis de componentes principales. También se realizó un análisis factorial en el cual se enfatizaron los aportes porcentuales de cada una de las variables sobre los ejes factoriales y se depuraron las variables que no presentaron alteración. La selección de variables se llevó a cabo usando el criterio de afectación de Ward para la obtención del dendograma y se realizó análisis de regresión lineal para determinar las variables más influyentes en la producción de los tubérculos de arracacha.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracteres más importantes para la identificación de morfotipos.

Material vegetal:

Tallo: El tallo tiene un crecimiento vertical y rizomatoso. Su forma es un tronco corto, cilíndrico, el cual tiene un promedio de longitud de 10 cm y diámetro de 23 cm. el color varía entre blanco y amarillo crema. La forma de ramificación es la producción de colinos [entre 10 a 30]. Sin embargo, no tiene presencia de pubescencia. Ver Figura 1.



Figura 1. Imagen fotográfica del tallo de *Arracacha Xanthorrhiza*

Fuente: Diego Tabares

Hojas: Su color varía entre verde a rojo dependiendo de la variedad. La longitud promedio es de 11,75 cm, el ancho de 4,9 cm, el largo promedio del peciolo es de 29,12 cm y el número de hojas por tallos está en un promedio de 22 hojas por planta, comprendiéndose por cada rizoma de 3 a 4 hojas. La presencia de pubescencia

es baja y el color de la lígula es blanco, con una forma entre cónica a cilíndrica. El número de hojas por tallo está entre 10 a 30 y son compuestas, de forma trifoliada. Las mediciones se realizaron en el tercer par de hojas bien formadas de arriba hacia abajo. Ver Figura 2.



Figura 2. Imagen fotográfica de hojas de *Arracacha Xanthorrhiza*

Fuente: Diego Tabares

Tubérculos: Según la investigación se pudo observar que el número promedio de tubérculos por planta es de 5,72, con un peso promedio de 293,47 gr y un peso por tubérculo de 52,16 gr. La longitud promedio es de 8 cm y el diámetro es de 10 cm, con un color externo entre blanco y amarillo crema dependiendo del clon. El color de la pulpa está entre blanco y amarillo crema, con un color de anillo entre

blanco a morado. El color del propágulo es blanco y la cantidad varía, dependiendo del clon, entre 5 a 10. Ver Figura 3.

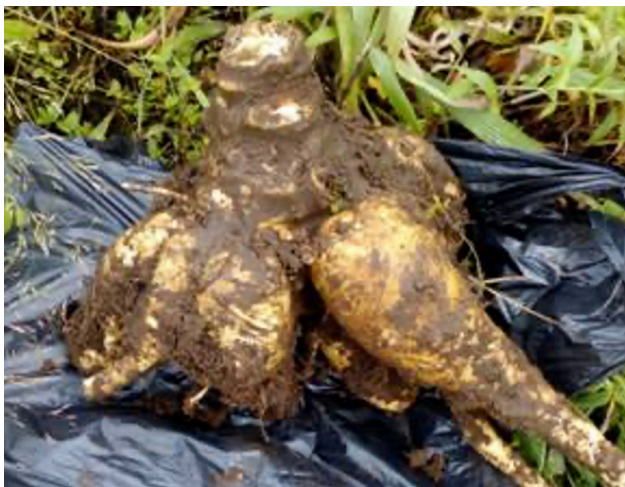


Figura 3. Imagen fotográfica del tubérculo de Arracacha Xanthorrhiza

Fuente: Diego Tabares

Caracterización morfológica

Para la evaluación de los caracteres se empleó el listado de descriptores desarrollado por el Centro Internacional de la Papa, modificado por el Programa Nacional de Recursos Fitogenéticos de Corpoica. La caracterización se registró de forma individual en cinco plantas por parcela experimental, de forma que los descriptores de la parte aérea se evaluaron en plantas adultas de 10 meses de edad y los de las raíces reservantes al momento de la cosecha [aproximadamente 12 meses después de la siembra del experimento].

Con los datos de los descriptores evaluados se realizaron análisis estadísticos univariados y multivariados. Estimativas como la media, amplitud y coeficiente de variación se calcularon para las variables cuantitativas y la distribución de frecuencias para las variables cualitativas. Los datos se sometieron a un análisis de variancia siguiendo el modelo estadístico

de BCA. Al encontrar diferencias significativas entre los genotipos se realizó una prueba de medias utilizando el IC [$P < 0.05$]. La diversidad genética entre los genotipos fue también estudiada a través de análisis estadísticos multivariados, para lo cual se realizó un Análisis de Clúster o de agrupamiento utilizando el método Ward. Para definir las variables de mayor peso o contribución en la discriminación de los materiales en estudio se realizó un Análisis de Correspondencia múltiple

Etapa vegetativa

A los 20 días, después del sembrado, se inició la respectiva medición del largo del peciolo y se contó el número de hojas. Del mismo modo, se observó el color del follaje de cada accesión llevándose un registro de cada uno. Este proceso se llevaba a cabo cada 15 días después de la primera medición hecha, por el transcurso de 12 meses

Etapa productiva

Como es una planta que se desarrolla por medio de tubérculos, de manera subterránea, se pudo observar escarbándose el suelo el desarrollo de cada uno de ellos. A los 12 meses estaban aptos para cosecharse y en ese momento se les realizaron las mediciones de peso, largo y ancho con la ayuda de un metro para costura y una gramera.

Caracteres Cuantitativos

La información corresponde al registro de la información de manera individual de tres plantas por accesión, mediante los descriptores morfológicos. En la Tabla 2 se incluye la información de promedios y valores máximos y mínimos obtenidos

[de acuerdo con las características cuantitativas registradas en el estudio de las accesiones evaluadas]. Todos los atributos exhibieron polimorfismo.

La variable número de tubérculos/planta fue de 3.7 y se observa un coeficiente de variación de 53.7 con un valor promedio de 5.72. En cuanto a la variable peso promedio del tubérculo, el menor y mayor peso fue de 160.25 y 13.60 gramos, respectivamente, con un valor promedios de 52.16 g y un coeficiente de variación de 68.9 %. En lo relacionado a la longitud del tubérculo, el valor promedio observado es de 8.20 cm, mientras que la des-

viación estándar arroja un valor de 6.77 cm. En cuanto al coeficiente de variación, el valor observado es de 82.5 %; el valor mínimo y máximo de esta variable son en su orden de 2.05 y 43.75 cm. Para el diámetro del tubérculo se observó un variabilidad del 25 %, la cual en comparación con los demás descriptores resulto ser la de menor valor. En lo concerniente al peso de los tubérculos por planta, se observa un valor promedio de 293.47 g/planta, con un coeficiente de variación del 95.3 %; este último valor resulta ser el más alto cuando se compara con los demás descriptores. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Promedios, valor mínimo y máximo, desviación estándar y coeficiente de variación para cada una de las variables cuantitativas de la colecciones de arracacha recolectadas en el eje cafetero

Descriptor	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación Estándar	CV (%)
No. Tubérculos/planta	1.00	5.72	17.00	3.07	53.7
Peso Promedio Tubérculo	13.60	52.16	160.25	35.94	68.9
Longitud Tubérculo (cm)	2.05	8.20	43.75	6.77	82.5
Diámetro Tubérculo (cm)	6.13	9.93	16.75	2.48	25.0
Peso Tubérculos (g/planta)	24.90	293.47	1442.30	279.65	95.3

Fuente: autores

Análisis de correlación entre variables Cuantitativa.

Al establecer una relación de tipo lineal entre el diámetro y el peso promedio del tubérculo [Figura 4] se observa un coeficiente de correlación de 0.828. Cada variación de un centímetro en el diámetro significa un incremento en el peso promedio del tubérculo de 11.888 gramos. El R^2 es de 89.49

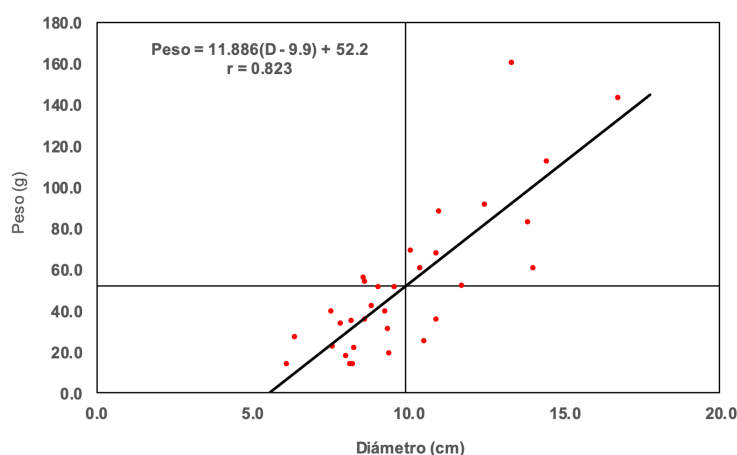


Figura 4. Relación entre el diámetro y el peso promedio de tubérculos de arracacha

Fuente: autores

Caracteres Cualitativos

Según los datos consignados en la Tabla 3 se encontró lo siguiente:

- Para la conformación de la planta, el 93.75 % (30) es semiabierta, mientras que el 6.25 % (2) es abierta.
- En lo relacionado al color del follaje, el 62.50 % (20) es verde, mientras que el 28.13 % (9) es verde oscuro, seguido por el 9.38 % (3) que corresponde a verde claro.
- En cuanto al color de la base del pecíolo, en el 50.00 % (16) de las accesiones se observa coloración vino tinto, en el 28.13 % (9) es rojo siena, mientras que en el 15.63 % (7) la tonalidad es verde.
- En lo concerniente al color del ápice en el pecíolo, en el 75.00 % (24) de las accesiones la gama observada es verde; mientras que en el 12.50 % (4), 9.38 % (3) y 3.13 % (1) las tonalidades que se observan son rojo siena, verde tino y verde claro, respectivamente.
- Para el color del haz de la lámina foliar, el 78.13 % (25) de los materiales corresponde a tintes verde oscuros, el 18.75 % (6) a gamas verdes y el 3.13 % (1) a coloraciones verde claro.
- En cuanto al color de la base de lámina foliar, en el 93.75 % (30) de las accesiones la coloración observada es verde; en dos de los materiales, lo que concierne al 3.13 % (2) en cada caso, los tintes observados corresponden a café y vino tinto.

■ **Tabla 3.** Análisis de frecuencias para descriptores cualitativos de arracacha.

Descriptor	Categoría	Frecuencia	
		Absoluta	Relativa
Conformación Planta	Abierta	2	6.25
	Semiabierta	30	93.75
Color Follaje	Verde Oscuro	9	28.13
	Verde Claro	3	9.38
	Verde	20	62.50
Color Base Pecíolo	Rojo Siena	9	28.13
	Verde	5	15.63
	Vino Tinto	16	50.00
	Rojo-Verde	1	3.13
	Blanco	1	3.13
Color Ápice Pecíolo	Verde	24	75.00
	Rojo Siena	4	12.50
	Verde Claro	1	3.13
	Verde Tino	3	9.38
Color Haz Lámina	Verde Oscuro	6	18.75
	Verde Claro	1	3.13
	Verde	25	78.13
Color Base Lámina	Café	1	3.13
	Verde	30	93.75
	Vino Tinto	1	3.13

Color Nervadura Envés	Vino Tinto	5	15.63
	Verde Claro	12	37.50
	Verde Oscuro	15	46.88
Color Nervadura Haz	Vino Tinto	5	15.63
	Verde Claro	15	46.88
	Verde Oscuro	12	37.50
Forma Tubérculo	Cónica	20	62.50
	Cilíndrico	12	37.50
Color Externo Tubérculo	Amarillo Crema	7	21.88
	Blanco	25	78.13
Color Interno Tubérculo	Amarillo Crema	4	12.50
	Blanco	28	87.50
Color Anillo Tubérculo	Amarillo Crema	8	25.00
	Blanco	22	68.75
	Morado	1	3.13
	Café	1	3.13

Fuente: autores

- En lo relacionado al color de la nervadura en el envés de la lámina foliar, en el 46.88 % (15) y 37.50 % (12) de los materiales el color observado corresponde a verde oscuro y verde claro respectivamente; en el 15.63 % (5) de los casos la gama corresponde a vino tinto.
- Para el color de la nervadura en el haz de la lámina foliar, en el 46.88 % (15) y 37.50 % (12) de los materiales el color observado corresponde a verde claro y verde oscuro respectivamente; en el 15.63 %, (5) de los casos, la tonalidad gama atañe al vino tinto.
- En lo correspondiente a la forma del tubérculo, el 62.50 % (20) de las accesiones tiene forma cónica, mientras que en el 37.50 % restante (12) es cilíndrica.
- En cuanto al color externo del tubérculo, en el 78.13 % del material (25) el matiz observado es blanco y el 21.88 % (7) es de tonalidad amarillo crema.
- En lo concerniente al color interno del tubérculo, el 87.50 % (28) y el 12.50 % (4) corresponden, en ese orden, a coloraciones blanco y amarillo crema.
- Para el color del anillo del tubérculo, la coloración blanca se observa en el 68.75 % (22) de las accesiones, mientras que en el 25.00 % (8) el matiz corresponde al amarillo crema. Finalmente, en dos de los materiales [lo que concierne al 3.13 % (2)], los matices observados son el morado y el café.

Análisis de Correspondencia Múltiple para descriptores cualitativos de la arracacha

De acuerdo con los resultados del análisis de correspondencia múltiple [Tabla 4 y Figura 5], la primera dimensión que explica el 47.89 % de la variabilidad está relacionada con el color [tanto del follaje como del haz] de la lámina foliar y de la nervadura [tanto del haz como del envés].

Tabla 4. Resultados del análisis de correspondencia múltiple con relación a los descriptores cualitativos de la colección de arracacha de la UNAD Dosquebradas

Variables	Componente principal	
	1 (56.5%)	2 (13.7%)
No. Tubérculos/planta	0.235	0.058
Peso tubérculos (g)	0.397	0.099
Longitud tubérculo (cm)	0.387	0.161
Color follaje	0.292	0.113
Color base peciolo	0.153	0.281
Color ápice peciolo	0.351	-0.024
Color haz lámina	0.343	-0.300
Color nervadura envés	0.363	-0.267
Color nervadura haz	0.351	-0.344
Forma tubérculo	0.132	0.470
Color anillo tubérculo	0.125	0.606

Fuente: autores

Por otra parte, la segunda dimensión que explica el 15.01 % de la variación está en correspondencia con la conformación de la planta, el color de la base de la lámina foliar, la forma del tubérculo y el color [tanto externo como interno] del tubérculo. Esta información indica que en el germoplasma existen caracteres importantes que pueden servir para la selección de posibles plantas parentales con caracteres cualitativos deseables para agricultores y consumidores de arracacha.

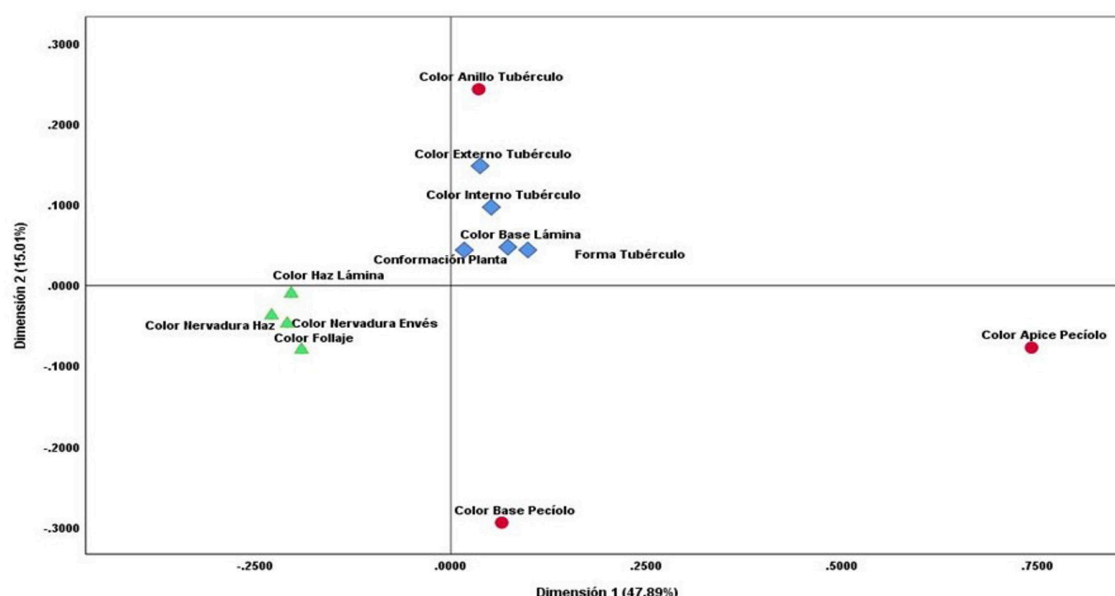


Figura 5. Análisis de correspondencia múltiple con relación a los perfiles de los descriptores en arracacha.

Fuente: autores

Los resultados del análisis de componentes principales para datos cuantitativos y cualitativos [Tabla 5] permiten explicar que el 70.2 % de la variabilidad existente en la colección de arracacha evaluada se da por dos de estos. El primer componente [56.5 %] lo explican las variables peso y longitud del tubérculo, así como

el color [tanto del follaje como del ápice del peciolo] del haz de la lámina foliar y de la nervadura [del haz y del envés]. El color, tanto de la base del peciolo como del anillo del tubérculo, así como la forma del tubérculo parecen explicar el segundo componente, el cual es responsable del 13.7 % de la variabilidad.

Tabla 5. Resultados del análisis de componentes principales para descriptores cuantitativos y cualitativos de la colección de arracacha de la UNAD Dosquebradas.

Variables	Componente principal	
	1 (56.5%)	2 (13.7%)
No. Tubérculos/planta	0.235	0.058
Peso tubérculos (g)	0.397	0.099
Longitud tubérculo (cm)	0.387	0.161
Color follaje	0.292	0.113
Color base peciolo	0.153	0.281
Color ápice peciolo	0.351	-0.024
Color haz lámina	0.343	-0.300
Color nervadura envés	0.363	-0.267
Color nervadura haz	0.351	-0.344
Forma tubérculo	0.132	0.470
Color anillo tubérculo	0.125	0.606

Fuente: autores

Análisis de Clúster

Finalmente, los resultados del análisis clúster [mediante análisis de componentes principales para datos cualitativos] arrojaron que al hacer un corte transversal en el dendograma [derivado del coeficiente de distancia], a la altura de un R^2 parcial de 0.16 [Figura 6], se puede observar la estructuración de cuatro grupos de las accesiones.

En el primer clúster, en el que se concentran las accesiones D11, D13, D16, D22, D23, D25, D26, D27, H03, H06, La Plata

Huila (3A) y R22, los promedios de peso y longitud de los tubérculos fueron de 43.44 gramos y 6.87 centímetros, respectivamente; el color del follaje, del ápice del peciolo y del haz de la lámina foliar es en esencia verde; el color de la base del peciolo en términos generales es vino tinto, mientras que el color de la nervadura tanto por el haz como por el envés es verde claro u oscuro. Para el mismo clúster, en esencia, la forma del tubérculo es cilíndrica; mientras que el color del anillo del tubérculo puede ser blanco o amarillo crema.

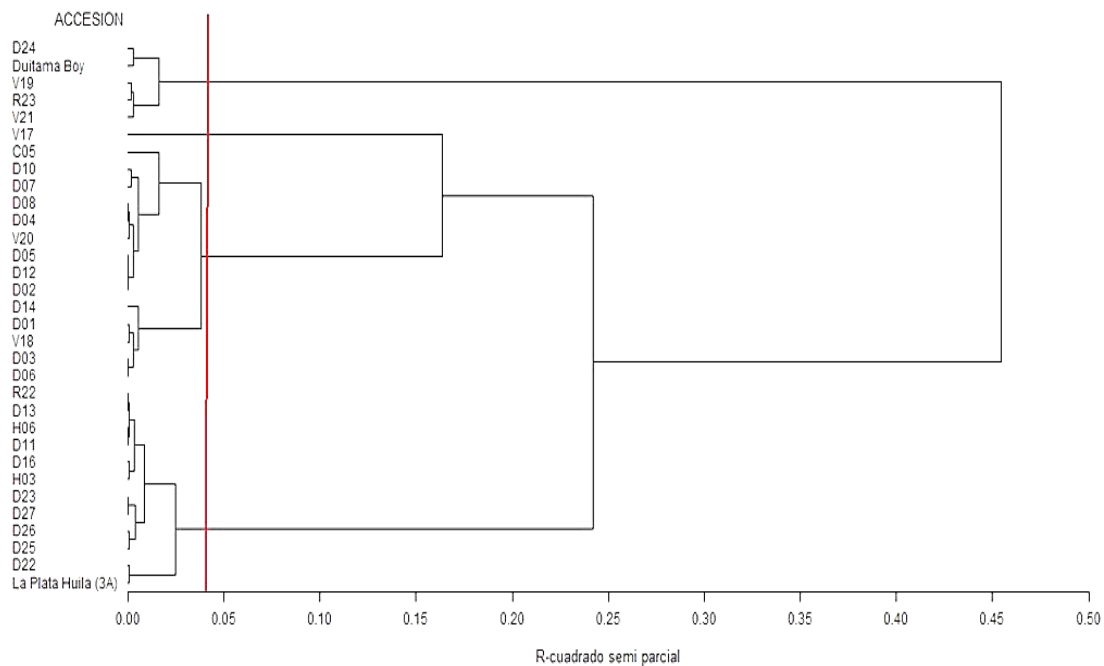


Figura 6. Fenograma del agrupamiento cualitativo de accesiones de la colección de arracacha de la UNAD colectadas en ecorregión eje cafetero.

Fuente: autores

En cuanto al clúster dos, en el que se agrupan los materiales C05, D01, D02, D03, D04, D05, D06, D07, D08, D10, D12, D14, V18 y V20, Los promedios de peso y longitud de los tubérculos fueron de 54.15 gramos y 7.40 centímetros respectivamente; en el color del follaje se observan todos los matices de verde que se utilizan en este descriptor. El color tanto del ápice del peciolo y del haz de la lámina foliar es en términos generales verde; el color de la base del peciolo es vino tinto o rojo siena, mientras que el color de la nervadura por el haz es verde oscuro y por el envés es verde claro u oscuro. Dentro del mismo clúster, la forma del tubérculo es cónica, mientras que el color del anillo del tubérculo es blanco.

El clúster tres agrupa los materiales D24, Duitama Boy, V19, V21 y R23, y la accesión V17 corresponde al agrupamiento cuatro. Los promedios de peso y longitud

de los tubérculos fueron de 50,74 gramos y 6.35 centímetros respectivamente; el color del follaje y del haz de la lámina foliar es en esencia verde; el color del ápice del peciolo y de la base del peciolo en términos generales es vino tinto, mientras que el color de la nervadura tanto por el haz como por el envés es verde oscuro. Para el mismo clúster, en esencia la forma del tubérculo es cilíndrica o cónica, mientras que el color del anillo del tubérculo puede ser blanco, morado o amarillo crema.

Respecto a la distribución de las especies, es necesario decir que con la variabilidad encontrada no se puede precisar el patrón de distribución de la especie en la región. Además, son los agricultores los que han distribuido aleatoriamente las variedades de arracacha al compartir los intercambios de germoplasma en la zona.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de clúster, las 39 accesiones evaluadas se dividieron en 4 grupos. En el primer grupo [D11, D13, D16, D22, D23, D25, D26, D27, H03, H06, La Plata Huila [3A] y R22] el color del follaje es verde, con un color vino tinto en la base del peciolo y un color en el haz entre verde claro u oscuro; la forma del tubérculo es cilíndrica, con una coloración entre banco y amarillo crema. En el segundo grupo [C05, D01, D02, D03, D04, D05, D06, D07, D08, D10, D12, D14, V18 y V20] el color de la planta es verde y el color de la base del peciolo es vino tinto; la forma del tubérculo cónica y el color del anillo interno de este es blanco. El tercer grupo [D24, Duitama, V19, V21 y R23] presenta una coloración verde oscuro en el follaje y la base del peciolo es de color vino tinto; la forma del tubérculo es cónica, de color externo amarillo crema, lo mismo que el color del anillo de este. El último grupo lo conforma la accesión V17, el color del follaje y del haz de la lámina foliar es verde y el color peciolo en el ápice y en la base es vino tinto, mientras que el color de la nervadura, tanto por el haz como por el envés, es verde claro; la forma del tubérculo es cilíndrica, mientras que el color de su anillo es blanco.

Las accesiones C04, D17, D15, D3, D9 y DUITAMA BOY no tuvieron un buen desarrollo y no se formaron tubérculos bajo las condiciones agroecológicas con las que se estableció esta investigación. Las accesiones D25 [160,25 gr], D8 [143,55 gr], V19 [112,57 gr], D13 [91,35 gr], D14 [88,42 gr], R23 [82,60 gr] y D16 [69,29 gr] fueron las que lograron mayores niveles de producción de biomasa en sus tubérculos, lo que convierte a los genotipos de esas accesiones en los más promisorios para futuros trabajos de mejoramiento genético, así como en los de mayor valor nutricional.

Con la variabilidad encontrada no se puede precisar el patrón de distribución de la especie en la región. Además, son los agricultores los que han distribuido aleatoriamente la especie al intercambiar germoplasma en los eventos de comercialización campesina que suceden en las regiones. Pero con la diversidad de caracteres encontrados en cada uno de los materiales de arracacha en dicha investigación se pudo concluir que hay materiales promisorios para ser mejorados y obtener buenos niveles de productividad.



CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: Trabajo de campo, recolección y análisis de datos, conceptualización, escritura y borrador original. **Segundo autor:** Diseño de metodología, investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan los más sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia [UNAD] por aportar recursos humanos, financieros y equipos tecnológicos para la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Agronet. (2015). *Estadísticas agrícolas nacionales*. www.agronet.gov.co.
- Arbizu, C. and E. Robles. (1986). Catálogo de recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Investigación de Cultivos Andinos, Ayacucho, Perú, 82 p
- Castillo, R. (1997). Caracterización molecular de 29 morfotipos de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) de la colección ecuatoriana. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 22-25 April 1997, Libro de Resúmenes p.42.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]. (2004). *Curso Multi-institucional a Distancia sobre conservación ex situ de Recursos Fitogenéticos. Módulo 4*. Cali.: CIAT-IPGRI- Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, REDCAPA.
- Dos Santos, F. F. (1998). *Mandioquinha — Salsa: Manejo Cultural*. Embrapa.
- FAO (2009). Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. 68 pp. Roma, Italia https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/tratado_recursos_fitogeneticos_sp.pdf
- Henz, G. P. (2002). Present situation of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) diseases in Brazil. *Horticultura Brasileira*, 20(2), 135–144.
- Hermann, M. (1997). *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft. En: Herman, M.; Hiller, J. (eds.). Andean Roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. International Potato Center, CIP. Lima, Perú, pp. 75-172.
- Hermann, M. & Heller, J. (eds.). (1997). Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research; International Plant Genetic Resources Institute
- Gobernación del Tolima y Universidad de Ibagué. (2017). *Protocolo de buenas prácticas para la poscosecha de arracacha (Arracacia xanthorrhiza)*.
- Jiménez, F. (2005). *Alimentación, características nutricionales de la arracacha y sus perspectivas en la alimentación*. Red peruana de alimentación y nutrición.
- León, J. 1964. Plantas alimenticias andinas. Instituto interamericano de ciencias agrícolas zona andina. Lima. Perú.
- Matsuguma, L. S., Lacerda, L. G., Schnitzler, E, Silva, M. A, Landi, C. M. y Demiate, I. M. (2009). Characterization of native and oxidized starches of two varieties of

- Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*, B.) from two production areas of Paraná state, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(3), 701–713. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000300022> De Souza, T., Demiate, I. M. y Landi, C. M. (2008). Structural and physicochemical characteristics of Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) starch. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 620–628.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2021). Anuario estadístico agropecuario. Sistema de Estadísticas Agropecuarias (SEA). <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>
- Morillo, E. (2006). Origine de la diversité de plantes domestiquées par la reproduction végétative en Amérique du Sud: reproduction sexuée résiduelle et introgression d'espèces sauvages éloignées: exemples de l'arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Banc., Apiaceae) et du manioc (*Manihot esculenta* Crantz, Euphorbiaceae). École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010038684>
- Tolentino, C. F., Zárate, N. A. H. y Vieira, M. D. C. (2002). Produção da mandioquinha-salsa consorciada com alface e beterraba. *Acta Scientiarum*, 24(5), 1447-1454.
- Valls, J.F.M. (2007). Caracterização de recursos genéticos vegetais Brasília. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Recursos genéticos vegetais. Brasília: In Nass (ed), 290-296.
- Vásquez, N., Medina, C. y Lobo, M. (2004). Caracterización morfológica de la colección colombiana (Toloma, huila, Boyacá, Cauca) de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). En J. Seminario. (Ed.). *Raíces Andinas. Contribuciones al conocimiento y a la capacitación*. 1-14. Centro Internacional de la Papa. **Anexos**

ANEXOS

Análisis de regresión y correlación de caracteres morfológicos del tubérculo de *A. Xanthorrhiza*

Variable	Peso (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
Peso (g)	1	0.278	0.823
		0.123	<.0001
Longitud (cm)	1	1	0.142
			0.439
Diámetro (cm)	1	1	1

Descomposición de inercia y chi-cuadrado

Inertia and Chi-Square Decomposition				
Singular Value	Principal Inertia	Chi-Cuadrado	Percent	Cumulative Percent
0.22600	0.05108	42.85	47.89	47.89
0.12654	0.01601	13.43	15.01	62.90
0.11220	0.01259	10.56	11.80	74.70
0.09746	0.00950	7.97	8.91	83.60
0.08962	0.00803	6.74	7.53	91.13
0.05869	0.00344	2.89	3.23	94.36
0.05286	0.00279	2.34	2.62	96.98
0.03827	0.00146	1.23	1.37	98.36
0.03236	0.00105	0.88	0.98	99.34
0.02024	0.00041	0.34	0.38	99.72
0.01723	0.00030	0.25	0.28	100.00
Total	0.10666	89.49	100.00	



Licencia de Creative Commons

Revista Agricolae & Habitat is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

