

Caracterización morfoagronómica en condiciones de campo de plantas *in vitro* de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 obtenidas por embriogénesis somática

Nosleiby Ortiz^{1,2}, Alina Capote², Anabel Pérez², Laisyn Posada-Pérez², Raúl Barbón^{2*}

¹Estación Experimental Agro-forestal de Jibacoa. Rincón Naranjo, Jibacoa. Manicaragua. Villa Clara. Cuba. CP 54 590.

²Instituto de Biotecnología de las Plantas, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP 54 830.

RESUMEN

La caracterización del crecimiento y desarrollo de las plantas de café en condiciones de campo es un aspecto que valida el potencial agroproductivo de la plantación. El objetivo de esta investigación fue caracterizar en condiciones de campo aspectos morfo-agronómicos de plantas *in vitro* de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 obtenidas por embriogénesis somática. Las plantas fueron evaluadas durante 16 meses. Como referencia se emplearon plantas procedentes de semillas. Se determinó que las plantas de café regeneradas por embriogénesis somática y de semilla mostraron un crecimiento y desarrollo similar con respecto a las variables morfoagronómicas. Sin embargo, se observó mayor área foliar y número de ramas plagiotrópicas en las plantas obtenidas por embriogénesis somática. Además, se comprobó que las afectaciones causadas por plagas y enfermedades fueron similares en las plantas de los dos orígenes durante los diferentes periodos estacionales. Los resultados de las variables morfoagronómicas y el incremento en el número de ramas plagiotrópicas demuestran la potencialidad productiva de las plantas obtenidas por embriogénesis somática.

Editora:

Yelenys Alvarado Capó
Instituto de
Biotecnología de las
Plantas, Universidad
Central Marta Abreu de
Las Villas.

Palabras clave: adaptación *ex vitro*, antracnosis, embriogénesis cigótica, índices fisiológicos, minador de la hoja, roya de café

Morpho-agronomic characterization under field conditions of *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 *in vitro* plants obtained by somatic embryogenesis

*Correspondencia:

e-mail: raulb@ibp.co.cu

Recibido: 21-10-2021

Aceptado: 08-12-2021

Copyright:

Este es un artículo de
acceso abierto
distribuido bajo una
Licencia Creative
Commons Atribución-
NoComercial 4.0
Internacional (CC BY-NC
4.0)
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

ABSTRACT

The characterization of the growth and development of coffee plants under field conditions is an aspect that validates the agro-productive potential of the plantation. The aim of this research was to characterize under field conditions morpho-agronomic aspects of *in vitro* plants of *Coffea arabica* L. cv. Red caturra J-884 obtained by somatic embryogenesis. The plants were evaluated during 16 months. As a reference, plants from seeds were used. It was determined that the coffee plants regenerated by somatic and seeds showed a similar growth and development with respect to the morphoagronomic variables. However, a greater leaf area and number of plagiotropic branches were observed in the plants obtained by somatic embryogenesis. In addition, it was verified that the affectations caused by pests and diseases were similar in the plants of the two origins during the different seasonal periods. The results of the morphoagronomic

variables and the increase in the number of plagiotropic branches demonstrate the productive potential of the plants obtained by somatic embryogenesis.

Keywords: anthracnose, coffee rust, *ex vitro* adaptation, leaf miner, physiological indices, zygotic embryogenesis

INTRODUCCIÓN

Uno de los productos más importante en el comercio internacional es el café, que está entre los rubros principales de la economía en alrededor de 70 países (Ivamoto *et al.*, 2017). Las áreas cultivadas de cafeto (*Coffea* spp.) a nivel mundial son aproximadamente 10.2 millones de hectáreas distribuidas en más de 80 países, sobre todo en las regiones tropicales y subtropicales de África, Asia y América Latina. Más de 100 millones de personas obtienen sus ingresos directa o indirectamente de las áreas cultivadas de cafeto (ICO, 2018).

El empleo de semillas de cafeto de alta calidad fisiológica es considerada como uno de los principales factores que influye en la obtención de plántulas más vigorosas en condiciones de campo, lo cual conduce a una mayor productividad del cultivo (Avila-Victor *et al.*, 2018; Ardiyani *et al.*, 2020). Para la propagación de cafeto se pueden emplear semillas botánicas y plantas *in vitro* obtenidas generalmente por embriogénesis somática (Valdes *et al.*, 2021)

La embriogénesis somática como método de regeneración de plantas se obtiene en un gran número de familias y especies entre las que se incluye el cafeto. Se utiliza para estudios básicos de fisiología vegetal y en aplicaciones más prácticas, como la propagación *in vitro* y la transformación genética (Sánchez *et al.*, 2019). Respecto a la propagación convencional, tiene entre otras ventajas, la obtención de plantas completas a partir de la germinación del embrión somático por lo que no se requiere una fase de enraizamiento posterior, además de la facilidad para su escalamiento y una menor probabilidad de variación genética (Bobadilla *et al.*, 2013; Méndez-Hernández *et al.*, 2019).

Un aspecto importante para el escalado productivo por métodos biotecnológicos es conocer características de crecimiento y desarrollo de las plantas obtenidas. Sin embargo, la respuesta morfoagronómica de las plantas regeneradas por embriogénesis somáticas de cafeto del cultivar Caturra rojo J-884 en condiciones *ex vitro* no ha sido estudiada. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar en condiciones de campo aspectos morfoagronómicos de plantas de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 obtenidas por embriogénesis somática.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Finca cafetalera "El Guayabal", ubicada en la zona del macizo de Guamuhaya (Provincia Villa Clara, Cuba). La plantación de cafeto está situada a una altitud media de 350 m.s.n.m, con georreferenciación de ubicación en 21°59'05"N y 80°59'57" O.

Material vegetal

Plantas *in vitro* obtenidas por embriogénesis somática según el protocolo desarrollado por Barbón *et al.* (2003) y plantas obtenidas por semillas bótanicas de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 cultivadas en condiciones de vivero.

Las plantas obtenidas por semillas se obtuvieron en el banco de germoplasma de la Estación Experimental Agroforestal Jibacoa (Villa Clara, Cuba). Las plantas presentaron las siguientes características: seis o más pares de hojas, diámetro del tallo superior a 4.0 mm y altura entre 12-15 cm, medida desde la base del tallo hasta el ápice caulinar.

Condiciones de cultivo

Las condiciones edafoclimáticas en las cuales se desarrolló el experimento fueron de una temperatura promedio durante el día de 24.5 ± 3.0 °C, humedad relativa del 85%, la intensidad luminosa osciló entre $224-457 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ medida con un luxómetro EXTECH Light meter (China) y una precipitación anual entre 1347.6 mm y 3245 mm. La zona se caracteriza por presentar un suelo Ferralítico rojo (Categoría 2) (Hernández-Jiménez *et al.*, 2019) con un contenido de 3.8% de materia orgánica, 8.7% de P_2O_5 , 11.66% de K_2O y un pH de 5.53. La sombra predominante del área fue guamo (*Inga vera* Will) y plátano (*Musa* spp.).

Las labores agrotécnicas al cultivo (control de plantas arvenses y fertilización) se realizaron según las normas del instructivo para el cultivo (Díaz *et al.*, 2013). No se realizaron aplicaciones de productos químicos para la protección fitosanitaria durante la evaluación del experimento.

Diseño experimental y evaluaciones

Se empleó un diseño experimental de bloques al azar, compuesto por dos tratamientos (plantas obtenidas por embriogénesis somática y plantas obtenidas de semilla) y cuatro réplicas por cada tratamiento compuesto por 224 plantas. La parcela tenía un área de 52 m^2 , con 13.0 m de largo y 4.0 m de ancho, cuatro hileras espaciados a 2.0 m uno de otro y 13 plantas por metro lineal. Por hoyo de plantación se aplicaron 28 kg de abono orgánico (humus de lombriz).

Para la caracterización de las plantas en condiciones de campo se realizaron evaluaciones de todas las plantas cada dos meses durante 16 meses de cultivo de la plantación. Se tuvieron en cuenta los descriptores para café propuesto por IPGRI (1996) y se evaluaron las variables siguientes:

- Altura de la planta (cm). Se midió con cinta métrica desde la base del tallo de la planta hasta el ápice.
- Diámetro del tallo (cm). Se midió con el empleo de un Pie de Rey a 1 cm de altura de la base del tallo.
- Número de pares de hojas (u)
- Área foliar (AF). Se determinó según procedimiento de Soto (1980) de acuerdo con la medición de las dimensiones lineales de las hojas. $\text{AF (cm}^2\text{)} = \text{largo} \times \text{ancho} \times 0.64$.
- Número de pares de ramas plagiotrópicas (u)
- Diámetro de la copa de la planta (cm). Se midió con el empleo de una cinta métrica la longitud de la rama bajera más larga de la planta.
- Presencia o no de flores
- Número plantas fuera de tipo (u)

Además, se determinó la incidencia de enfermedades en las plantas. La estimación de la incidencia a roya (*Hemileia vastatrix* Berk y Br.) se realizó entre los meses de febrero – agosto. Se seleccionaron nueve hojas de cada planta y se

realizó una evaluación por estrato (bajo, medio, alto). La evaluación de roya se realizó cada 30 días, esta metodología fue basada en el tiempo requerido para el desarrollo de síntomas de la enfermedad (20 días) según Alvarado (2004). Se cuantificó y registró el número de hojas y el número de hojas con lesiones con esporulación, cualquiera que fuera la cantidad de lesiones presentes en cada hoja.

La respuesta se expresó como el porcentaje de incidencia de roya (IR) por planta, que fue determinado por la relación entre el número de hojas afectadas (NHA) y el número de hojas presentes (NHP) según la fórmula $IR(\%) = (NHA/NHP) \times 100$, según la metodología de Alvarado y Moreno (2005).

Para la determinación de la incidencia del insecto plaga minador de la hoja (*Leucoptera coffeella* Gérin Méneville), en todas las plantas se evaluaron cuatro ramas en la parte media, dos en el sentido de las hileras y dos ramas hacia cada una de las calles. Se cuantificó el total de hojas (TH) por cada rama y de ellas las afectadas (THM) por el organismo patógeno. Se calculó el porcentaje de índice de afectación (IA) se empleó la fórmula: $IA(\%) = (THM/TH) \times 100$.

La incidencia de antracnosis (*Colletotrichum coffeanum* Nocack.) se evaluó en una rama por cada punto cardinal y diez hojas por rama a partir del extremo apical. La rama sujeta a evaluación se ubicaba en el cuadrante del centro y se determinó el grado de afectación de las hojas. Se utilizó una escala de grados (Tabla 1) y se calculó el porcentaje de incidencia por antracnosis (IF) por la fórmula siguiente: $\% IF = \sum(AB)/(NK) \times 100$, donde A es el Grado de la escala, B es la cantidad de hojas afectadas por la antracnosis en cada grado, N es el número de hojas evaluadas y K el grado de la escala.

La incidencia de *Cercospora coffeicola* Berk y Cooke se determinó según metodología propuesta por Dilas-Jiménez (2022). Se evaluaron a todas las plantas en estudio, cuatro ramas en la parte media, dos en la opuesta en el sentido de la hilera y dos ramas hacia el espacio entre hileras. Se cuantificó el total de hojas y de ellas las afectadas por la enfermedad. Se utilizó una escala grado de afectación de la enfermedad conocida como mancha de hierro en hojas y frutos del café.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos experimentales se utilizó el programa InfoStat versión 1.0 (2012). Se comprobó si los datos cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. El análisis estadístico se realizó mediante procedimientos ANOVA y la diferencia entre las medias se determinó por la prueba de Tukey. En todos los casos las diferencias significativas fueron establecidas para $p \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas procedentes de la embriogénesis somática tuvieron una respuesta de crecimiento y desarrollo similar a las plantas obtenidas por el método convencional.

Las plantas regeneradas por embriogénesis somática y caracterizadas según el catálogo de variedades o cultivares (IPGRI, 1996), mostraron las características

fenotípicas de crecimiento típicas del cultivar en estudio (Figura 1). La respuesta obtenida fue similar a lo descrito por Sánchez *et al.* (2012) para plantaciones de cafeto del cultivar Caturra rojo obtenidas por semilla botánica a los 16 meses de plantadas en campo.

Tabla 1. Escala de grado para determinar la incidencia de antracnosis (*Colletotrichum coffeanum* Nocack.) en plantas de *Coffea* spp. durante 16 meses de cultivo.

| Grado | Descripción |
|-------|---|
| 0 | Hojas sanas |
| 1 | Hojas con 1-2 puntuaciones de color parda, 1-5% de la superficie foliar manchada |
| 2 | De 1-2 puntuaciones de 5-14 mm ² de diámetro, aproximadamente 6-10% de la superficie foliar manchada. |
| 3 | Hasta tres manchas de 5-14 mm ² de diámetro, aproximadamente 11-25%. |
| 4 | De 26-35% de la superficie foliar manchada y 25-50% de defoliación en la planta |
| 5 | De 36-50% de la superficie foliar manchada y más de 50% de la superficie foliar manchada y más del 50% de la planta defoliada |

El porcentaje de incidencia de la enfermedad se determinó por la fórmula: $I.I = \frac{\sum AxB}{SN} * 100$, donde, $\sum AxB$ es la sumatoria de las plantas atacadas en cada valor de la escala por el valor de la escala, N es el Total de plantas evaluadas y S el último grado de la escala.



Figura 1. Plantas *in vitro* de *Coffea arabica* cv. Caturra rojo J-884 obtenidas por embriogénesis somática a los 16 meses de cultivo en condiciones de campo.

A los 16 meses de plantadas en condiciones de campo, las plantas de cafeto obtenidas por embriogénesis somática mostraron un crecimiento y desarrollo para las variables altura, diámetro del tallo, pares de ramas plagiotrópicas, pares de hojas, diámetro del tallo y diámetro de la copa similar a los de las semillas. Sin embargo, el número pares de ramas plagiotrópicas y área foliar fue superior con diferencias significativas (Tabla 2).

Al tener las plantas obtenidas por embriogénesis somática una respuesta morfoagronómica similar a las plantas propagadas por el método convencional, así como un mayor número de ramas plagiotrópicas, estas tienen un alto potencial productivo y podrían ser empleadas para la renovación de las plantaciones comerciales. Según Etienne *et al.* (2018) en estudios durante la adaptación *ex vitro* de plantas de cafeto obtenidas *in vitro*, informaron la confiabilidad y utilización de la embriogénesis somática en *Coffea arabica* L. en la regeneración de plantas, la producción a gran escala, tanto por suspensiones celulares como por embriogénesis somática secundaria y su respuesta *ex vitro*.

Se constató que en las plantas procedentes de semilla, el 10.0% de estas no tenían las características propias del cultivar en estudio (Figura 2), a diferencia de las obtenidas por embriogénesis somática donde no se apreciaron cambios. Se observaron, plantas con los brotes jóvenes de color bronceado (#996B26) y otras con los entrenudos largos y ramas plagiotrópicas separadas. Al respecto, Etienne *et al.* (2016) señalaron que en más del 99.0% de las plantas de cafeto regeneradas por embriogénesis somática, sus características morfológicas se ajustaban a la planta madre que les dio origen y demostraron que solo las plantas obtenidas de cultivos embriogénicos mantenidos durante largo tiempo de cultivo *in vitro* fueron los más susceptible a la variación somaclonal.

Tabla 2. Características morfoagronómicas de las plantas de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 procedente de embriogénesis y somática a los 16 meses de cultivo campo.

| Tratamiento | Altura (cm) | Diámetro de tallo (cm) | Pares de hojas (u) | Pares de ramas plagiotrópicas (u) | Diámetro de la copa (m) | Área foliar (m ²) |
|--|-------------|------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Plantas obtenidas por embriogénesis somática | 98.0 a | 2.29 a | 213.5 a | 15.2 a | 1.08 a | 2.7 a |
| Plantas obtenidas por semillas (control) | 93.0 a | 2.28 a | 202.5 a | 13.33 b | 1.11 a | 1.9 b |
| Desviación estándar | ±4.14 | ±0.06 | ±21.27 | ±0.76 | ±4.44 | ±1.8 |

Medias con letras diferentes en una misma columna difieren significativamente según prueba de Tukey para $p \leq 0.05$ (n=224)

En observaciones realizadas, se apreció un 10.0% de la plantación con floración temprana a los ocho meses de cultivo. La respuesta fue similar tanto para las plantas obtenidas por embriogénesis somática como las de semilla, sin diferencias significativas. Posteriormente se observó la formación de frutos con una respuesta similar entre ambas poblaciones (Figura 3).



Figura 2. Plantas de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 obtenidas por semillas a los 16 meses de plantadas en condiciones de campo. A) Plantas con los brotes bronceados. B) Planta con entrenudos y ramas plagiotrópicas separadas.



Figura 3. Plantas de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 con primera floración a partir los ocho meses de cultivo, (A) procedente de semilla (B) embriogénesis somática y fructificación entre 11-13 meses cultivo (C) procedencia semilla y (D) embriogénesis somática.

Las afectaciones causadas por plagas y enfermedades a las plantas procedentes de embriogénesis somática y semilla fueron similares en ambos tratamientos sin diferencias significativas (Tabla 3).

La incidencia de la roya del cafeto en las diferentes evaluaciones realizadas fue baja sin superar el valor crítico, a pesar de que el cultivar en estudio es susceptible a los ataques del organismo patógeno. Al respecto, Hernández (2016) señaló que este cultivar es de alta calidad del grano y productividad, pero muestra susceptibilidad a la roya.

Las afectaciones causadas por el minador de la hoja en los dos tratamientos evaluados se mantuvieron por debajo del valor crítico en las dos primeras evaluaciones en periodo de seca y lluvia. En la evaluación efectuada a los 14 meses de cultivo en época de lluvia los índices de infestación aumentaron en los dos tratamientos con resultados superiores o igual al valor crítico, pero sin diferencias significativas entre ellos. Olórtegui (2012) informó que esta plaga

Tabla 3. Incidencia por plagas en plantas de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 procedentes de semilla y embriogénesis somática cultivadas en campo durante 16 meses de cultivo.

| Plaga o enfermedad | Tiempo de cultivo (meses) | Valor crítico (%) | Periodo | Índice de incidencia | | Desviación estándar |
|--------------------|---------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| | | | | Plantas de semillas | Plantas de E. Somática | |
| Roya del cafeto | 8 | 10 | Seca (Febrero) | 0.5 a | 1.5 a | ±0.0029 |
| | 11 | | Lluvia (Mayo) | 0 a | 0 a | 0 |
| | 14 | | Lluvia (Agosto) | 0 a | 0.95 a | ±0.0015 |
| Minador de la hoja | 8 | 15 | Seca (Febrero) | 3.5 a | 1 a | ±6.36 |
| | 11 | | Lluvia (Mayo) | 9 a | 3.2 a | ±14.2 |
| | 14 | | Lluvia (Agosto) | 22 a | 15 a | ±16.77 |
| Cercosporiosis | 8 | 8 | Seca (Febrero) | 4 a | 4.70 a | ±4.13 |
| | 11 | | Lluvia (Mayo) | 8.80 a | 7.89 a | ±4.29 |
| | 14 | | Lluvia (Agosto) | 2.90 a | 2.63 a | ±3.47 |
| Antracnosis | 8 | 4 | Seca (Febrero) | 4 a | 4.5 a | ±0.01 |
| | 11 | | Lluvia (Mayo) | 6 a | 10.2 a | ±0.01 |
| | 14 | | Lluvia (Agosto) | 0 a | 0.95 a | ±0.002 |

Medias con letras diferentes en una misma fila difieren significativamente según prueba de Tukey para $p \leq 0.05$

ataca al café durante todo el año, pero es particularmente agresiva durante los meses de temperaturas elevadas. Según plantearon Arañó *et al.* (2016) existe una correlación significativa y positiva entre el desarrollo de la plaga y las temperaturas prevalecientes en la zona cafetalera y la época del año.

La presencia de la antracnosis en ambos tratamientos se apreció a los 8 y 11 meses de cultivo de las plantas. La incidencia de la enfermedad fue igual o superior al valor crítico sin diferencias significativas entre los tratamientos. En ambos disminuyó a los 14 meses de plantadas en campo. En relación con lo anterior, Monzón (2003) refirió que esta respuesta puede estar dada por la infección oportunista de *C. coffeanum*. La presencia de antracnosis en los dos tratamientos podría ser resultado de la utilización de algunos productos aplicados como fungicidas o herbicidas de contacto, los cuales pueden producir microlesiones en las hojas inferiores del café y podrían ser puntos de entrada para el organismo patógeno.

Con respecto a la incidencia de cercosporiosis el valor crítico fue superado a los 11 meses de cultivo (época de lluvia) en las plantas obtenidas por embriogénesis somática; mientras que, las plantas procedentes de semilla estaban en el límite de valor crítico (7.89%), aunque no se encontraron diferencias significativas en las incidencias en dicho periodo en las plantas de ambas procedencias. La incidencia de esta enfermedad se correlaciona positivamente con la temperatura y la humedad relativa (Olórtegui, 2012), el hongo requiere de temperaturas cálidas y humedad para la germinación de las esporas y su crecimiento. Una deficiencia en la cantidad de agua disponible una vez que el hongo ha penetrado en la hoja, favorece su desarrollo y provoca una rápida aparición de manchas.

CONCLUSIONES

Las plantas de café (*Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884) obtenidas por embriogénesis somática tienen una respuesta morfoagronómica similar a las plantas procedentes de semilla en condiciones de campo después de 16 meses de cultivo.

REFERENCIAS

- Alvarado AG (2004) Comportamiento de progenies de variedad Colombia en presencia de razas compatibles de roya del café. *Cenicafé* 55(1): 69-92
- Alvarado AG, Moreno RLG (2005) Cambio de la virulencia de *Hemileia vastatrix* en progenies de Caturra x Híbrido de Timor. *Cenicafé* 56(2): 110-126
- Arañó L, Bustamante CA, Rodríguez M, Castro Y (2016) Incidencia del minador de la hoja del café (*Leucoptera coffeella* GM) y *Coccus viridis* Gr. en plantaciones de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner bajo sistema de fertilización. *Café Cacao* 15(1): 32-39
- Ardiyani F, Utami ESW, Purnobasuki H, Paramita SA (2020) Development and regeneration of somatic embryos from leaves-derived calli of *Coffea liberica*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 21(12): 5829-5834; doi: 10.13057/biodiv/d211246
- Avila-Victor CM, Martínez-Infante A, Ordaz-Chaparro VM, Arjona-Suárez EJ, Iracheta-Donjuan L, Gómez-Merino FC, Robledo-Paz A (2018) Embriogénesis somática directa e indirecta en *Coffea arabica* var. Colombia. *Agroproductividad* 11(4): 30-35

Bobadilla LR, Cenci A, Georget F, Bertrand B, Camayo G, Dechamp E, Juan Carlos Herrera JC, Sylvain S, Lasherme P, Simpson J, Etienne H (2013) High genetic and epigenetic stability in *Coffea arabica* plants derived from embryogenic suspensions and secondary embryogenesis as revealed by AFLP, MSAP and the phenotypic variation rate. PLoS ONE 8: e56372; doi: 10.1371/journal.pone.0056372

Barbón R, Jiménez E, Capote A (2003) Influencia del genotipo y la densidad de inoculación sobre la diferenciación de embriones somáticos de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo y *Coffea canephora* cv. Robusta. Biotecnología Vegetal 3(3): 131-135

Brannen JO, Jewett RE (1969) Effects of selected phenothiazines on REM sleep in schizophrenics. Archives of General Psychiatry 21(3): 284-290; doi: 10.1001/archpsyc.1969.01740210028004

Carracedo C, Arañó L (1995) Influencia de las labores de agrotécnicas en el comportamiento de plagas y enfermedades que afectan al cultivo del café en la especie *Coffea arabica*. Lucha integral contra las principales plagas, enfermedades y malas hierbas. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, La Habana

Díaz W, Caro P, Bustamante C, Sánchez C, Rodríguez M, Vázquez E, Grave de Peralta G, Ramajo J, Ramos R, Navarro D, Fernández I, Martínez F, Rodríguez Y, Arañó L, Yero A, Morán N (2013) Instructivo Técnico Café Arábico. Instituto de Investigaciones Agroforestales, La Habana

Etienne H, Bertrand B, Dechamp E, Maurel P, Georget F, Guyot R, Breitler JC (2016) Are genetics and epigenetic instabilities of plant embryogenic cells a fatality? The experience of coffee somatic embryogenesis. Human Genetics and Embryology 6(136): 1-5

Etienne H, Breton D, Breitler JC, Bertrand B, Dechamp E, Awada R, Ducos JP (2018) Coffee somatic embryogenesis: how did research, experience gained and innovations promote the commercial propagation of elite clones from the two cultivated species? Frontiers in Plant Science 9: 1630; doi: 10.3389/fpls.2018.01630

Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Speck NC (2019) La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. Cultivos Tropicales 40(1): 15-22

Hernández G (2016) Análisis integral sobre la roya del café y su control. RINDERESU 1(1): 92-99

International Coffee Organization (ICO) (2018) World Coffee Price. Disponible en: <http://www.ico.org/> Consultado 23/3/2019

IPGRI (1996) Descriptores del café (*Coffea* spp. y *Psilanthus* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Roma

Ivamoto ST, Sakuray LM, Ferreira LP, Kitzberger CS, Scholz MB, Pot D, Pereira LF (2017) Diterpenes biochemical profile and transcriptional analysis of cytochrome P450s genes in leaves, roots, flowers, and during *Coffea arabica* L. fruit development. Plant Physiology and Biochemistry 111: 340-347; doi: 10.1016/j.plaphy.2016.12.004

Méndez-Hernández HA, Ledezma-Rodríguez M, Avilez-Montalvo RN, Juárez-Gómez YL, Skeete A, Avilez-Montalvo J, De-la-Peña C, Loyola-Vargas VM (2019) Signaling overview of plant somatic embryogenesis. Frontiers in plant science 10; doi: 10.3389/fpls.2019.00077

MINAG (1989) Metodología de Señalización y Pronósticos. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, La Habana

Monzón VR (2003) Evaluación de opciones de manejo de la antracnosis (*Colletotrichum* spp. Noack) en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en la zona de Boaco, Nicaragua 2001 – 2002. NI. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

Sánchez C, Rivera RA, González C, Vicet E, Ferrer M (2012) Producción de posturas y establecimiento de nuevas plantaciones de cafeto en el macizo Guamuhaya basada en el uso de especies de abonos verdes. *Café Cacao* 11(2): 46-51

Sánchez JK, Cabrera P, Jiménez D (2019) Induction of somatic embryogenesis from foliar explants in three varieties of coffee. *Scientia Agropecuaria* 10(2): 259-264; doi: 10.17268/sci.agropecu.2019.02.11

Olórtegui R (2012) Manejo Integrado de Plagas del Café, Guía técnica, Agrobanco. Lima

Valdés YC, Shukla MR, González ME, Saxena PK (2021) Improved conservation of coffee (*Coffea arabica* L.) germplasm via micropropagation and cryopreservation. *Agronomy* 11(9): 1861; doi: 10.3390/agronomy11091861

Financiamiento

Este trabajo fue en parte financiado a través del proyecto: Escalado productivo en biofábrica de la metodología de embriogénesis somática en cafeto para la obtención de plantas *in vitro* con un óptimo crecimiento y desarrollo en condiciones de vivero y campo (Código PS 131AR001-034) financiado por el Programa Sectorial del Ministerio de la Agricultura (Cuba). Los financistas no tuvieron participación en el diseño del estudio, la colecta y análisis de los datos. La decisión de publicar o la preparación del manuscrito fueron de las instituciones participantes y el colectivo de autores del proyecto.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen intereses personales o financieros que atenten contra los resultados de este trabajo.

Contribución de los autores

Conceptualización RB, NO, Investigación NO, RB, AC, AP, Metodología RB, NO, LP, Recursos NO, AC, AP, Supervisión RB, Escritura: primera redacción RB, NO, Escritura: revisión y edición RB.

Disponibilidad de datos: Los datos del estudio se presentan en el artículo. Para otras consultas dirigirse al autor para correspondencia.

Cómo citar:

Ortiz N, Capote A, Pérez A, Posada-Pérez L, Barbón R (2022) Caracterización morfoagronómica en condiciones de campo de plantas *in vitro* de *Coffea arabica* L. cv. Caturra rojo J-884 obtenidas por embriogénesis somática. *Biotecnología Vegetal* 22: 220111