

EVALUACIÓN DE GENOTIPOS DE CACAO COMO PORTAINJERTOS PARA REDUCIR LA ABSORCIÓN DE CADMIO DEL SUELO



**“CAJA DE HERRAMIENTAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA
CONTAMINACIÓN DE CADMIO EN LA CADENA DE CACAO-ECUADOR”**



sembramos
Futuro

Lenín



GUÍA 8

EVALUACIÓN DE GENOTIPOS DE CACAO COMO PORTAINJERTOS PARA REDUCIR LA ABSORCIÓN DE CADMIO DEL SUELO

Dirigida a: investigadores, técnicos de asociaciones de productores y agricultores.

AUTORES

Ramón E. Jaimez¹; Geover Peña²; Francisco Arteaga¹; George Cedeño¹

REVISIÓN PARES EXTERNOS

Javier Díaz³; Gideon Ramtahal⁴

¹Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería Agronómica. Portoviejo, Ecuador. ramon.jaimez@utm.edu.ec ; javier.artega@utm.edu.ec ; george.cedeño@utm.edu.ec

²Estación Experimental Portoviejo, INIAP. Manabí, Ecuador. geopenasud@gmail.com

³Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, FHIA. Director del programa de cacao y agroforestería. javier_diaz@fhia.hn.org

⁴Cocoa Research Centre, The University of the West Indies. St. Augustine, Trinidad and Tobago. gideonramtahal@gmail.com

Coordinación general

República del Ecuador
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Programa Nacional de Reactivación de Café y Cacao

Coordinación editorial

Magdalena López, Consultor Programas Cadena de Valor, GIZ
Pedro Ramírez, GIZ
José Luis Cueva Cango, MOCCA-Rikolto

Revisores internos

Andrés Proaño, MAG; Luis Herrera, MAG; Luis Orozco, MOCCA-LWR; Verónica Proaño, AVSF;
Ana Gabriela Velasteguí, CESA; Natalia Palomino, MOCCA-Rikolto; Luis Gualotuña, MAG

Fotografías

Pedro Ramírez, GIZ; Ramón Jaimez, UTM

Corrección de estilo y diagramación editorial

Carla Bohórquez; Ricardo Bravo; Martín Quirola

Cita del documento

Versión digital:

Jaimez, R., Peña, G., Arteaga, F. & Cedeño, G. (2021). Guía 8: Evaluación de genotipos de cacao como portainjertos para reducir la absorción de cadmio del suelo. *Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador* (1.ª ed., pp. 1-14). Quito, Ecuador. https://balcon.mag.gob.ec/mag01/magapaldia/Caja%20de%20Herramientas_Cadmio_Cacao/

“La presente publicación ha sido elaborada con el apoyo financiero de la Unión Europea y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente refleja los puntos de vista de los donantes”.

Copyright © 2021. Todos los derechos reservados. Este documento puede reproducirse para fines no comerciales citando la fuente.

ISBN: 978-9942-22-521-4





ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Criterios para la selección de genotipos con menor absorción de cadmio	4
3. Identificación de genotipos con baja concentración de cadmio en la almendra	7
4. Protocolo para evaluar la absorción de cadmio por patrones de cacao	8
5. Referencias	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Genotipos identificados en varios países de Sudamérica resistentes a Ceratocystis cacaofunesta.</i>	5
--	---

1. Introducción

El cadmio (Cd) es un elemento de alta movilidad en las plantas y su distribución y acumulación varía entre las especies, cultivares y condiciones de crecimiento (Grant et al., 2008). En plantas, la acumulación progresiva de cadmio afecta negativamente el crecimiento y los procesos fotosintéticos, que varía entre especies y cultivares en un determinado cultivo. Por ejemplo, en la lechuga se ha reportado que concentraciones de 1 μM de cadmio afectan el crecimiento, mientras que la eficiencia fotosintética del fotosistema II es afectada a concentraciones superiores a 10 μM (Días et al., 2013). Por otra parte en el trigo, Ci et al. (2010), reportaron disminuciones de la apertura estomática y consecuentemente reducciones en tasas de fotosíntesis y transpiración a concentraciones por arriba de 30 μM de cadmio. Pese a estos efectos negativos no se ha evidenciado ninguna función del cadmio en las plantas.

Para el caso del cacao, en países de Sudamérica, como Colombia (Rodríguez, 2017), Perú (Arévalo-Gardini et al., 2017; Huamaní-Yupanquí et al., 2012) y Ecuador (Mite et al., 2010; Chávez et al., 2015), se han registrado valores altos de cadmio en el suelo, los cuales conllevan también a un mayor contenido de cadmio en las almendras.

Se han propuesto alternativas para disminuir y reducir la movilidad del cadmio en el suelo, entre ellos: uso de algunas enmiendas alcalinas (limo y biochar) en especial en suelos ácidos (Ramtahal et al., 2019), también se ha propuesto el uso de materiales orgánicos para promover la inmovilización de los metales en el suelo (Cui et al., 2011).

Es prioritario profundizar más en el conocimiento de los mecanismos de transporte, absorción y acumulación de cadmio, desde el suelo a las partes aéreas de la planta de cacao, información que permitiría establecer estrategias biotecnológicas para regular su acumulación. En Ecuador es importante identificar genotipos con menor translocación y absorción de cadmio, que podrían ser utilizados para programas de mejoramiento.

Si se logra identificar cultivares con menor absorción, se podría usar estos como patrones para que sean injertados con clones de alta productividad (Meter et al., 2019). Esto es una tarea compleja, ya que lo ideal sería tener patrones y combinaciones con capacidad de menor absorción de cadmio y resistentes a enfermedades importantes del suelo (Maddela et al., 2020).

Esta guía introduce a investigadores, técnicos de asociaciones de productores y agricultores en los criterios de identificación, selección de genotipos con menor acumulación de cadmio y el desarrollo de ensayos para evaluar patrones con menor absorción de cadmio, que puedan ser utilizados para injertación de clones de alta producción.



2. Criterios para la selección de genotipos con menos absorción de cadmio

En el caso del cacao hay que considerar la posibilidad del uso de patrones con baja absorción de cadmio. En Ecuador estos patrones deben tener resistencia al mal de machete, enfermedad ocasionada por el hongo *Ceratocystis cacaofunesta*, que ocasiona pérdidas importantes de plantaciones de cacao. En varios estudios, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) logró identificar varios clones resistentes a *C. cacaofunesta* (Suárez, 1993), conocida comúnmente como “Mal de machete”, que serían los primeros patrones que debieran evaluarse con respecto a la absorción de cadmio. El número de clones identificados resistentes al mal de machete en cacao es bajo en Latinoamérica (Tabla 1) y por ello es prioritario identificar más patrones de cacao resistentes a esta enfermedad, para posteriormente evaluar e identificar patrones de menor absorción y transporte de cadmio.

En Ecuador, también se han utilizado como patrones genotipos, cuyos árboles no han presentado síntomas de infección por *C. cacaofunesta* en plantaciones antiguas. Estos también deberían estar entre los primeros patrones a evaluar, pero es importante primero establecer su identidad genética. La estrategia de evaluar patrones de menor absorción ya ha sido considerada por Engbersen et al. (2019); Lewis et al. (2018); Cryer y Hadley (2012). De igual manera es necesario evaluar los posibles cambios de movilización de cadmio en los diferentes clones que se usan para injertación, porque aún no está totalmente estudiado cómo sería la movilización de cadmio en el injerto a partir del patrón.

Cryer y Hadley (2012), reportaron que el hecho de tener patrones con poca absorción no necesariamente implica que se va a absorber menos cadmio por parte del injerto, ya que algunos injertos pueden inducir a una mayor absorción de cadmio. Ellos, en su estudio, encontraron que dos genotipos (ICS6 x ICS6 y PA56 x PA175) registraron menor absorción de cadmio, pero cuando les fue injertado el genotipo WAA5 hubo un aumento de la concentración de cadmio con el genotipo PA56 x PA175, no así sobre el genotipo ICS6 x ICS6. Por ello, además de evaluar la toma de cadmio por parte de los patrones, es necesario también estudiar la combinación patrón-injerto.

Tabla 1. Genotipos identificados en varios países de Sudamérica resistentes a *Ceratocystis cacaofunesta*.

Genotipos	País	Referencia
Pound 12, IMC 67, SPA9	Costa Rica	Delgado y Echandi, 1965
OC 61, OC63	Venezuela	Domínguez y Velásquez, 1972
IMC 47	Ecuador	Delgado y Suárez, 2003
AMA 10, EBC 122, EBC 138, EBC 142, EBC 148 y LCT-EEN 73	Ecuador	Delgado R., 2003
EET 400, EET 399 Pound 12	Ecuador	Suárez, 1993
CEPEC 2008, TSH-1188	Brasil	Sanches et al., 2008
VB 1159	Brasil	Silva et.al., 2007

Se conoce que la toma de metales pesados por parte de algunas especies y cultivares comienza cuando las concentraciones de estos son altas en el suelo, y que la absorción de metales aumenta paulatinamente a medida que incrementa la concentración del metal en el suelo, mientras que en otras especies la concentración de metales es alta, aún con bajas

concentraciones en el suelo (Orcutt y Nilsen, 2000). Esto nos plantea la posibilidad de que la toma de cadmio varía entre cultivares y que puede haber diferentes interacciones fisiológicas entre patrones y clones.

Para el cultivo de cacao se conoce que las concentraciones de cadmio aumentan en las almendras a medida que la concentración de cadmio total en el suelo sea mayor (Argüello et al., 2018). No obstante, Engbersen et al. (2019) llegaron a la conclusión de que la concentración de cadmio disponible en el suelo está más asociada con la concentración de cadmio en el patrón e injertos, que con la concentración en las almendras. En este último estudio, no se disponía de la identificación de los patrones; sin embargo, ellos identificaron diferencias genéticas entre los patrones.

En algunas plantaciones existen genotipos con menos concentración de cadmio, pero no se conoce el patrón donde fueron injertados. Por lo tanto, queda por dilucidar y estudiar las diferencias en la toma de cadmio entre patrones y sus variaciones en el transporte del metal a otras partes de la planta, cuando se utilizan diferentes clones para su injertación.





3. Identificación de genotipos con baja concentración de cadmio en la almendra

En el cacao, en general el orden de concentración de cadmio encontrado es: ramas > hojas > raíces = almendra, tallo y esto varía entre cultivares (Engbersen et al., 2019). Datos que muestran resultados con tendencias similares son dados por Lewis et al. (2018), quienes en un estudio realizado en Trinidad y Tobago en 100 genotipos pertenecientes a nueve grupos genéticos, hallaron que la concentración de cadmio en la hoja es el doble que en las almendras. Además, reportan que el grupo genético Curaray y los híbridos pertenecientes a los grupos clasificados como “Refractario” y “Trinitarios” son los que tienen en promedio el menor contenido de cadmio en las almendras. Ellos encuentran que la accesión Red Amel 1/30, JA 5/39 y CL 27/50 son las que tienen menor contenido de este metal en la almendra.

Estudios en Perú, muestran diferencias en la concentración de cadmio entre genotipos y la tendencia es que los genotipos llamados nativos de Satipo y nativos de Marañón son los que acumulan menor cantidad de cadmio (Arévalo-Gardini et al., 2017). Esto muestra que es posible establecer algunas investigaciones en la búsqueda de genotipos con menor absorción de cadmio en la almendra con la posibilidad de usarlos como patrones y sobre ellos injertar clones de alta producción.



4. Protocolo para evaluar la absorción de cadmio por patrones de cacao

El protocolo que se propone para evaluar la toma de cadmio en plántulas de diferentes patrones es sembrarlos en suelos con diferentes concentraciones de cadmio según el siguiente procedimiento:

- 1.- Se seleccionan suelos con concentraciones que pueden variar desde 0,2 a 2 mg kg^{-1} . Los contenidos de cadmio total de cada suelo para este ensayo estuvieron en los siguientes rangos: (0,2–0,4 mg kg^{-1}), (0,6–0,8 mg kg^{-1}), (1,0–1,3 mg kg^{-1}), (1,5–1,7 mg kg^{-1}), (1,8–2 mg kg^{-1}) y un suelo control sin cadmio (testigo). El número de suelos y rangos pueden cambiar, lo importante es tratar de cubrir el rango de los contenidos de cadmio de una región o zona de interés.





- 2.- Las muestras de suelo deben ser tomadas de los primeros 25 cm de profundidad.
- 3.- Luego se llenan bolsas de 25 x 15 x 10 cm con el suelo de cada rango de concentración de cadmio y el suelo testigo.
- 4.- Previamente se deben tener plántulas de los genotipos o patrones a evaluar, que deberían provenir de preferencias de esquejes (baretas o ramillas) enraizados para evitar la variabilidad de los resultados de este tipo de estudios. Igualmente, se puede usar semillas de frutos de polinización abierta. Las varetas o semillas deben haberse sembrado en un suelo sin ningún contenido de cadmio, lo que implica una evaluación previa del suelo. El número de plántulas a utilizar dependerá del número de genotipos a evaluar, número de repeticiones que se recomienda que sean al menos seis para cada tratamiento (concentraciones de cadmio en el suelo) y testigo (sin

cadmio). Las plántulas deberían tener al inicio del trasplante, al menos cuatro hojas verdaderas. Adicionalmente, los genotipos a evaluar deberán ser resistentes a *Ceratocystis cacaofunesta*.

- 5.- Antes de la siembra, en cada suelo de las respectivas plántulas, se toman seis plantas para determinar el contenido inicial de cadmio en raíces, tallos y hojas. Previamente, también se determina el valor de peso seco de cada parte de la planta para cada una de las plántulas.
- 6.- Posteriormente, las plántulas de patrones a evaluar se trasplantan a las bolsas que contienen los tratamientos (diferentes rangos de cadmio), cuando al menos tengan cuatro meses. Estas plántulas deben ser regadas cada tres días o de acuerdo al criterio técnico. En lo posible, realizar este trabajo en condiciones de invernadero o en lugares donde la radiación entrante sea menor al 20% de la radiación total.
- 7.- Las plántulas deben permanecer en los diferentes suelos durante tres meses.



- 8.- Al término de este tiempo, cinco plantas de cada tratamiento serán muestreadas al azar, se separan en hojas, tallos y raíces. Estas últimas serán lavadas con agua destilada para eliminar restos de suelo, para luego determinar el peso seco y la concentración de cadmio.
- 9.- De cada suelo se toman muestras para la determinación de pH, materia orgánica, concentraciones de macro y micro nutrientes.
- 10.- Las determinaciones de cadmio se realizarán en el laboratorio de acuerdo a criterios de selección y análisis que se indican en las guías 5 y 6.
- 11.- A las concentraciones de cadmio que se obtengan de cada parte de la planta en la última medición, le serán restadas las concentraciones de cadmio iniciales.
- 12.- Posteriormente usando los respectivos análisis estadísticos en función del diseño que se utilice se determina el patrón con menor absorción de cadmio.

5. Referencias

- Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C.O., Baligar, V.C., He, Z.L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of the Total Environment*. 605–606, 792–800.
- Argüello D., Chávez E., Lauryssen F., Vanderschueren R., Smolders, E., Montalvo D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment* 649: 120–127.
- Ci D., Jiang D., Wollenweber B. Dai T., Jing Q., Cao W. (2010). Cadmium stress in wheat seedlings: growth, cadmium accumulation and photosynthesis. – *Acta Physiologiae. Plantarum*. 32: 365–373.
- Chávez, E., He, Z.L., Stoffella, P.J., Mylavarapu, R.S., Li, Y.C., Moyano, B. and Baligar, V.C. (2015). Concentration of Cadmium in Cacao Beans and Its Relationship with Soil Cadmium in Southern Ecuador. *Science of the Total Environment*, 533, 205–214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>
- Cui L., Li L., Zhang A., Pan G., Bao D., Chang A. (2011). Biochar amendment greatly reduces rice Cd uptake in a contaminated paddy soil: a two year field experiment. *Bio Resource* 6 (3): 2605–2618.
- Cryer, N. and Hadley, P. (2012). Cadmium Uptake and Partitioning within the Cocoa Plant. *International Workshop on Cadmium in Cocoa and Chocolate Products*, London, 3–4 May 2012.
- Delgado, J.C., Echandi E. (1965). Evaluación de la resistencia de especies y clones de cacao al mal del machete provocado por *Ceratocystis fimbriata*. *Turrialba (IICA)*. v. 15(4) p. 286–289.
- Delgado R. y Suárez C. (2003). Diferencias en agresividad entre aislamientos

de ceratocystis fimbriata de Ecuador y Brasil en cacao. XII Seminario Nacional de Sanidad Vegetal Noviembre 19–21, Latacunga, Ecuador.

Delgado R. (2003). Fuentes de resistencia al mal de machete en accesiones de cacaos silvestres colectadas en la Amazonia Ecuatoriana. XII Seminario Nacional de Sanidad Vegetal Noviembre 19–21, Latacunga, Ecuador.

Días MC., Monteiro C., Moutinho–Pereira J., Correia C., Goncalves B. Santos C. (2013). Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. *Acta Physiologiae Plantarum* 35:1281–1289.

Domínguez R. y Velázquez F. (1972). Selección de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) por resistencia al hongo *Ceratocystis fimbriata*. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. (Venezuela).* v. 6(4) p. 57–73.

Engbersen N., Gramlich A., Lopez Marlon, Schwarz G., Hattendorf B., Gutierrez O., Schulin R. (2019). Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of the Total Environment* 678: 660–670.

Grant C.A., J.M. Clarke, S. Duguid, R.L. Chaney (2008). Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. *Science of the Total Environment* 390: 301–310.

Huamaní–Yupanqui H., Huauya M. Mansilla–Minayan L., Florida N., Neria–Trujillo G. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) orgánico. *Acta Agronómica* 61:339–344.

Lewis, C., Lennon, A.M., Eudoxie, G., Umaharan, P. (2018). Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Science of. Total Environment* 640–641, 696–703.

Maddela, N. R., Kakarla, D., García, L. C., Chakraborty, S., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2020). Cocoa–laden cadmium threatens human health

and cacao economy: A critical view. *Science of the Total Environment*, 720, 137645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>

Meter A., Atkinson R.J. and Laliberte B. (2019). Cadmium in Cacao from Latin America and the Caribbean – A Review of Research and Potential Mitigation Solutions. Bioversity International, Rome.

Mite F., Carrillo, M., Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, Ecuador.

Orcutt D., Nilsen E. (2000). *The Physiology of plants under stress: Soil and biotic factors*. Jon Wiley and Sons, INC 683 p.

Ramtahal, G., Umaharan, P., Hanuman, A., Davis, C., Ali, L. (2019). The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L. *Sci. Total Environ.* 693, 133563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.369>

Rodríguez H. (2017). Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí, Cundinamarca. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá, Colombia. 105 p.

Sanches, C. L. G., L. R. M. Pinto, A. W. V. Pomella, S. D. V. M. Silva, and L. L. Loguercio (2008). Assessment of resistance to *Ceratostyxis cacaofunesta* in cacao genotypes. *European. Journal Plant Pathology*. 122:517–528.

Silva SDVM, Mandarino EP, Damaceno VO, Santos Filho LP. (2007). Reação de genótipos de cacaueiros a isolados de *Ceratocystis cacaofunesta*. *Fitopatologia Brasileira* 32: 504–506.

Suárez, C. (1993). *Manual del cultivo del cacao*. 2nd Ed. INIAP. 135 p.



La “colección de guías sobre recomendaciones y buenas prácticas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio” es el resultado del esfuerzo de diferentes actores que, bajo la coordinación del Ministerio de Agricultura y Ganadería, han rescatado y sistematizado conocimientos y buenas prácticas, generadas por investigadores y técnicos nacionales e internacionales, útiles para prevenir y mitigar la contaminación por cadmio en la cadena del cacao. Las publicaciones que componen esta colección han sido elaboradas, publicadas y difundidas gracias al apoyo de las siguientes instituciones y organizaciones:

www.agricultura.gob.ec



Proyecto
Cadenas de valor
inclusivas y sostenibles



Plataforma Multiagencia
Cacao 2030-2050



Maximizando Oportunidades
en Café y Cacao en las Américas



@AgriculturaEc

AgriculturaEcuador

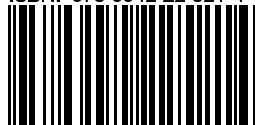
agricultura.ec

/AgriculturaEcuador

Dirección: Av. Eloy Alfaro N30-350 y Av. Amazonas

Código postal: 170516 / Quito-Ecuador. Teléfono: 593-2 396-0100

ISBN: 978-9942-22-521-4



9789942225214