

IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS DE CAMPO
PARA LA MITIGACIÓN DE CADMIO EN EL CACAO



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



sembramos
Futuro

Lenín



GUÍA 9

IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS DE CAMPO PARA LA MITIGACIÓN DE CADMIO EN EL CACAO

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

AUTORES

David Argüello¹; Eduardo Chávez¹; Eduardo Gutiérrez¹

REVISIÓN PARES EXTERNOS

Laurence Maurice²; Arlene López-Sampson³

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL. Facultad de Ciencias de la Vida. Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador. darguell@espol.edu.ec; fchavez@espol.edu.ec; egutierrez@espol.edu.ec

²Laboratoire Geosciences Environnement Toulouse (GET); Observatoire Midi-Pyrénées (OMP). 14 avenue Edouard Belin - 31400, Toulouse, France. laurence.maurice@ird.fr; <https://orcid.org/0000-0003-3482-3892>

³Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE; CR-Researcher-FTA/IKI-TonF. www.catie.ac.cr/que-es-catie.html; lopeza@catie.ec.cr

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

Corrección de estilo y diagramación editorial

Carla Bohórquez; Ricardo Bravo; Martín Quirola

Cita del documento

Versión digital:

Argüello, D., Chávez, E. & Gutiérrez, E. (2021). Guía 9: Implementación de ensayos de campo para la mitigación de cadmio en el cacao. *Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador* (1.ª ed., pp. 1-12). 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: 978-9942-22-522-1





ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Materiales	3
4. Definiciones importantes	4
5. Establecimiento de la parcela experimental	5
5.1 Levantamiento de información básica	6
5.2 Pasos para el establecimiento en campo	7
6. Referencias	12

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** *Esquema de un ensayo en campo con 3 tratamientos, 3 réplicas, 2 bordes y 6 plantas centrales. X= planta borde, X= árbol central parte de la unidad muestral.* 8
- Figura 2.** *Esquema del recorrido durante el marcado de los árboles dentro de una unidad experimental.* 9
- Figura 3.** *Ejemplos de etiquetas utilizadas en ensayos de campo.* 10
- Figura 4.** *Ejemplos del orden de numeración de los árboles centrales o unidad muestral.* 11

1. Introducción

Los nuevos límites máximos permitidos para la cantidad de cadmio (Cd) presentes en el chocolate y productos relacionados (EU, 2014) pueden ocasionar impactos económicos en la cadena productiva del cacao en grano. Esto ha generado que se desarrollen numerosos estudios para identificar una estrategia de mitigación efectiva, que evite o disminuya la absorción y acumulación de cadmio en la almendra de cacao. Sin embargo, gran parte de la investigación reportada se ha enfocado en pruebas de laboratorio o invernadero. Debido a las características del cultivo de cacao (por ejemplo: tiempo de cosecha, sistema radicular, afinidad del árbol al cadmio), es esencial realizar pruebas en campo. Esta guía proporciona a los investigadores, asociaciones de productores, técnicos y agricultores una propuesta referencial para estandarizar el establecimiento de ensayos experimentales para mitigar los contenidos de cadmio dentro de las plantaciones de cacao de productores, de tal forma que luego se pueda compartir información, complementar estudios y desarrollar técnicas validadas de mitigación.



2. Objetivos

Estandarizar la metodología para el establecimiento de ensayos experimentales de mitigación de cadmio a nivel de campo.

3. Materiales

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Mapa del cultivo.
- Pintura en aerosol (preferiblemente color rojo o similares).
- Etiquetas plásticas.
- Amarras plásticas.
- Marcadores permanentes resistentes al agua.



4. Definiciones importantes

Tratamiento: conjunto de condiciones (materiales, procedimientos y niveles), cuyos efectos serán medidos y comparados.

Unidad experimental: es el área física que recibe el mismo tratamiento y contiene las unidades muestrales.

Unidad muestral: es la menor unidad de medición de un experimento y es definida por el investigador (una planta, un grupo de plantas, un suelo, etc.).

Bloque o réplicas: es el conjunto de unidades experimentales que se agrupan con una característica en común (fertilidad de suelo, variedad de cultivo, etc.). Las réplicas del experimento básico permiten obtener un error experimental y tener estimaciones más precisas del efecto del/los tratamiento(s) de mitigación programado(s).

Efecto de borde: en cultivos agrícolas, las plantas ubicadas en el perímetro presentarán diferencias en el crecimiento y producción, debido a: 1) menor competencia por luz y nutrientes y 2) competencia entre tratamientos vecinos.



5. Establecimiento de la parcela experimental

Antes de instalar un ensayo experimental en fincas privadas es necesario tomar en cuenta:

- a) **Viabilidad de instalación de ensayos (Nivel de compromiso):** las investigaciones de campo en cultivos perennes como el cacao pueden requerir varios años de monitoreo, por lo que se necesita un alto nivel de compromiso del dueño de la plantación. Para evitar inconvenientes o retrasos, se necesita que el propietario entienda el objetivo de la investigación y el tiempo necesario para obtener resultados confiables. Igualmente, los dueños de la finca deben comprometerse a realizar las actividades necesarias para el buen desarrollo del cultivo, por ejemplo: podas, control de malezas, control de plagas, control de enfermedades (principalmente moniliasis y escoba de bruja) y fertilización (dependerá del tipo de ensayo), lo que asegurará que los resultados no sean afectados por factores externos al experimento.
- b) **Facilidades de acceso:** un factor indispensable es que la finca seleccionada cuente con fácil acceso para los investigadores. En ensayos de mitigación se debe movilizar gran cantidad de insumos (fertilizantes, compost, encalantes, etc.), por lo que las dificultades para ingresar los insumos pueden generar retrasos en el cronograma, así como incrementos en los costos de establecimiento del ensayo.

5.1 Levantamiento de información básica

Antes de instalar un ensayo experimental es necesario conocer ciertas características del lugar donde se trabajará:

- **Condiciones topográficas:** la pendiente presente en una finca puede ser un factor limitante en función del estudio a realizarse. Se debe favorecer el uso de bloques en lugares con pendientes, para minimizar el impacto de dicha variable en los resultados. Se debe evitar instalar un ensayo en lugares con pendientes extremas, ya que existe alto riesgo de escorrentía lo que puede causar una mezcla de tratamientos edáficos y una alteración de la información.
- **Características climáticas:** el conocimiento del régimen de lluvias nos ayudará a programar la aplicación y dosis de los productos de mitigación (tratamientos), recolección de información, etc. Como ejemplo podemos citar algunas enmiendas orgánicas (compost, biochar, vinaza, etc.) e inorgánicas (carbonatos, sulfatos, zeolitas, fertilizantes, entre otros).
- **Características del suelo:** características químicas como pH, contenido de cadmio en el suelo, contenido de materia orgánica, entre otras, son indispensables para probar encalantes o compost en la reducción de la absorción de cadmio; por lo tanto, es necesario un muestreo y análisis previo de suelos y almendras (guías 4 y 5). Antes de implementar labores de mitigación asegúrese de que su finca presente problemas con cadmio (nivel de cadmio en granos de cacao superior a $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ o normativa vigente, Guía 6 – Interpretación de resultados). No tiene sentido realizar una labor de mitigación si la finca no presenta problemas con cadmio. Toda labor de mitigación viene con un costo asociado.
- **Características del cultivo y su manejo:** existe información crítica para el establecimiento de un ensayo en campo, tal como: nivel de cadmio en los granos, variedad sembrada, edad del cultivo, distanciamiento de siembra, área efectiva de cultivo, uso de riego, uso

de fertilizantes, presencia de árboles maderables y frutales asociados en el sistema de cultivo, etc. Cada una de estas características nos brindarán la información para determinar la factibilidad del establecimiento del ensayo en la finca en cuestión.

- **Característica de la enmienda:** la función de una enmienda es mejorar la calidad del suelo y en este caso específico, disminuir la disponibilidad y movilidad del cadmio en el suelo. Para ello se debe escoger materiales o productos ya probados en ensayos de laboratorio, invernadero y campo, y que estén libres de cadmio en su composición. Algunos lineamientos generales de las características que deben tener algunos productos o materiales para inmovilizar o transformar el cadmio en el suelo se dan en las guías 10, 11 y 12.
- **Fenología del cultivo:** el conocimiento oportuno de los distintos eventos fisiológicos que suceden en la planta de cacao, efecto de las condiciones climáticas propias de las zonas de vida, donde se ubicarán los ensayos nos dará las pautas para la correcta aplicación de labores culturales y muestreos en cuanto a las épocas y factores que inducen la floración, el brote de ramas y el llenado de frutos.

5.2 Pasos para el establecimiento en campo

Los siguientes pasos se seguirán una vez que se haya definido: número de tratamientos, número de réplicas, tamaño de la unidad experimental, tamaño de la unidad muestral, número de bordes a utilizarse y distribución de los tratamientos dentro del bloque.

- 1.- Determinar si el número de árboles necesarios para el establecimiento del ensayo (bloque o réplica) están presentes en un solo cuerpo del cultivo.
- 2.- Identificar la dirección de las líneas de cultivo para facilitar el recorrido de los técnicos al momento de la instalación.
- 3.- Establecer el ensayo. En esta guía se da un ejemplo para el establecimiento de ensayos, que corresponde a la instalación

- 4.- Marcar los árboles utilizando la pintura en aerosol. Los técnicos procederán a marcar los árboles según el número del tratamiento asignado durante la aleatorización de los mismos. La forma más eficiente para marcar los árboles y evitar la confusión en campo, es realizar un marcado simultáneo de los bordes y árboles centrales como se ilustra en la Figura 2. Cabe indicar, que se deberá tomar en cuenta los árboles faltantes o muertos dentro de la plantación.
- 5.- Colocar las etiquetas en los árboles centrales que conformarán la unidad de muestreo, una vez que todos los árboles han sido marcados con pintura en aerosol.

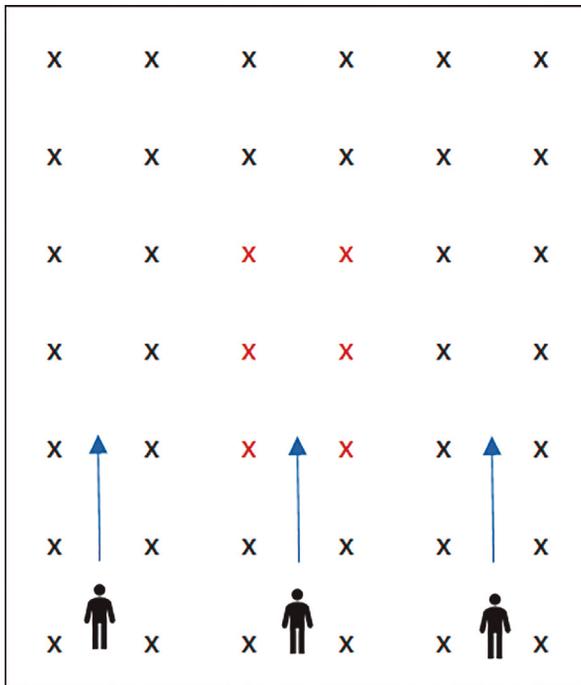


Figura 2. Esquema del recorrido durante el marcado de los árboles dentro de una unidad experimental.

- 6.- Colocar el código del tratamiento, número de la réplica y el número del árbol central dentro de la etiqueta plástica. En nuestro ejemplo un código sería el siguiente: T2R1.1, lo que significa tratamiento 2, réplica 1, árbol central o de evaluación 1 (Figura 3).



Figura 3. Ejemplos de etiquetas utilizadas en ensayos de campo.

- 7.- Se recomienda mantener el mismo orden en la numeración de los árboles centrales para facilitar las posteriores actividades de monitoreo y evaluación (Figura 4).
- 8.- Aplicar la medida de mitigación a implementar. Una vez marcados e identificados los árboles centrales, así como los árboles de bordes de cada tratamiento, se puede empezar con la aplicación previamente establecida que se fundamentará en los resultados de los análisis de suelos, almendras y/u hojas, las condiciones climáticas y fenológicas del cultivo, especificaciones técnicas que deberán ser dadas por un experto (cantidad, dosis, frecuencias y formas de aplicación).

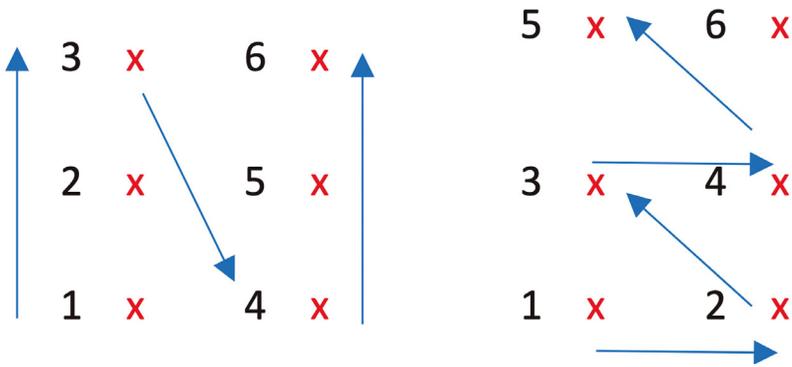


Figura 4. Ejemplos del orden de numeración de los árboles centrales o unidad muestral.

- 9.- Evaluar los contenidos de cadmio en las hojas y almendras en los tiempos especificados, acorde a la enmienda o medida de mitigación a aplicar, al igual que la evaluación del cadmio disponible en el suelo y condiciones de pH, materia orgánica, entre otros.
- 10.-Se recomienda tomar las coordenadas de las cuatro esquinas de la parcela experimental mediante el equipo de posicionamiento global (GPS), para facilitar su localización en las futuras evaluaciones.

6. Referencias

- Argüello, D., Chávez, E., Laurysen, 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>
- Cho YA, Kim J, Woo HD, Kang M. (2013) Dietary cadmium intake and the risk of cancer: a meta-analysis. *PLoS One* 8:1–8. doi:10.1371/journal.pone.0075087
- EU. (2014). Commission Regulation (EU) No 488/2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*.
- Smolders, E., & Mertens, J. (2013). Cadmium. In B. J. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (pp. 283–311): Springer Netherlands+Business Media Dordrecht.
- Viala, Y., Laurette, J., Denaix, L., Gourdain E., Méléard B., Nguyen C., Schneider A. and Sappin-Didier V. (2017). Predictive statistical modelling of cadmium content in durum wheat grain based on soil parameters. *Environ Sci Pollut Res* 24, 20641–20654. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9712-z>



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:



Proyecto
Cadenas de valor
inclusivas y sostenibles



Plataforma Multiagencia
Cacao 2030-2050



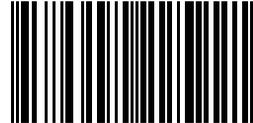
@AgriculturaEc

AgriculturaEcuador

agricultura.ec

/AgriculturaEcuador

ISBN: 978-9942-22-522-1



9789942225221

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

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