

Estado del cultivo de cacao en La Cordillera nariñense con énfasis en la concentración de cadmio



Estado del cultivo de cacao en La Cordillera nariñense con énfasis en la concentración de cadmio



Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA

Centro de investigación Tibaitatá.

Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, código postal 250047, Colombia.

Centro de Investigación Obonuco.

Kilómetro 5, vía Pasto - Obonuco, Nariño. Código postal 510001, Colombia.

Esta publicación es resultado del proyecto "Desarrollo territorial y consolidación de la paz mediante el fortalecimiento de la cadena productiva de cacao en cinco municipios referentes de la actividad cacaotera del departamento de Nariño, afectados por el conflicto social y armado. Colombia", implementado gracias al convenio establecido entre la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y la Fundación Ayuda en Acción. La iniciativa fue respaldada por la fundación en el marco del proyecto "Desarrollo territorial y consolidación de la paz mediante el fortalecimiento de la cadena productiva de cacao en cinco municipios referentes de la actividad cacaotera del departamento de Nariño afectados por el conflicto social y armado en Colombia", implementado gracias al convenio establecido entre la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y la Fundación Ayuda en Acción.

Autores: Diego Hernán Meneses Buitrago, José Libardo Lerma Lasso, Gissela Fernanda Guerrero Díaz, Diego Leonardo Cortés Delgadillo, Eliana Martínez Pachón, Andrea Constanza Montenegro

Tipología: Manual

Fecha de recepción: 5 de mayo de 2022

Fecha de evaluación: 16 de mayo de 2022

Fecha de aceptación: 7 de julio de 2022

1.ª Edición: diciembre de 2022

editorial@agrosavia.co

Edición: Jorge Enrique Beltrán

Corrección de estilo: Amalia Tapiero

Diseño y diagramación: Sonia Rodríguez Rodríguez

Ilustraciones: Sara Bedoya

Ayuda en Acción:

Aval de contenidos: Mauricio López Mesías

Fotografías: Nataly Insuasty Sánchez

Citación sugerida: Meneses Buitrago, D. H., Lerma Lasso, J. L., Guerrero Díaz, G. F., Cortes Delgadillo, D. L., Martínez Pachón, E., & Montenegro, A. C. (2022). *Estado del cultivo de cacao en La Cordillera nariñense con énfasis en la concentración de cadmio*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406177>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y de la información recogida en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 01 8000 121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<https://www.agrosavia.co/>



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Estado del cultivo de cacao en La Cordillera nariñense con énfasis en la concentración de cadmio. / Diego Hernán Meneses Buitrago [y otros cinco] - Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

116 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y mapas.

ISBN e-Book: 978-958-740-617-7

1. *Theobroma cacao* 2. Semilla de cacao 3. Cadmio 4. Muestreo 5. Producción 6. Tratamiento de semillas.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc

Catalogación en la publicación - Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Contenido

Lista de figuras	4
Lista de tablas	6
Agradecimientos	7
Introducción	9
 Capítulo I. Cultivo del cacao, posicionamiento y estadísticas en Colombia y el mundo	 15
Comercio mundial	18
Exportaciones e importaciones de cacao colombiano	19
Precio del cacao	21
Producción nacional de cacao	22
 Capítulo II. Contexto de la producción de cacao	 25
Subregión de La Cordillera	26
Características de la región natural de La Cordillera	26
Capacidad de uso de la tierra en La Cordillera	29
Altitudes de la subregión de La Cordillera	30
Caracterización de las condiciones climáticas de la subregión de La Cordillera	31
Situación actual de los cultivos de cacao en La Cordillera	34
Características socioeconómicas	34
 Capítulo III. Características de los suelos cacaoteros en La Cordillera	 37
Introducción	38
Criterios óptimos de las propiedades químicas del suelo para el cultivo de cacao	40
Características químicas de los suelos de los predios cultivados con cacao en La Cordillera nariñense	42
Alternativas de uso y manejo para la conservación de los suelos	58
 Capítulo IV. Problemática del cadmio (Cd) en los cultivos de cacao	 59
Introducción	60
Delimitación de la problemática del cadmio en fincas de cacao	65
Materiales para el muestreo	70
Durante el muestreo	71
Análisis de las muestras en laboratorio	75
Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que condicionan la biodisponibilidad de Cd en el cultivo de cacao	84
Posibles estrategias de manejo de la contaminación por cadmio en cacao	86
 Conclusiones	 93
Recomendaciones	95
Referencias	97
Glosario	111
Los autores	116

Lista de figuras

Figura 1.1.	Producción y área cosechada de cacao en el mundo entre 2015 y 2020	16
Figura 1.2.	Principales países productores en 2020, según producción por toneladas	17
Figura 1.3.	Principales países exportadores e importadores de cacao en grano en 2020	19
Figura 1.4.	Exportación, importación y balanza comercial del cacao colombiano en grano para el periodo de 2015 a 2021	20
Figura 1.5.	Destino de las exportaciones realizadas desde Colombia en 2020	20
Figura 1.6.	Precio promedio por tonelada entre 2015 y 2020 en la bolsa Nueva York y en el mercado nacional	21
Figura 1.7.	Principales departamentos productores en 2020, según producción por toneladas	23
Figura 1.8.	Producción nacional desagregada por departamentos y área sembrada en el país entre 2015 y 2020	24
Figura 2.1.	Municipios cacaoteros de la subregión de La Cordillera	27
Figura 2.2.	Zonas de vida de los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera	28
Figura 2.3.	Capacidad de uso de las tierras presentes en los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera	29
Figura 2.4.	Altitudes de los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera	30
Figura 2.5.	Precipitaciones en los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera	31
Figura 2.6.	Temperaturas de los municipios cacaoteros que conforman La Cordillera	32
Figura 2.7.	Humedad de los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera	33
Figura 3.1.	Distribución geomorfológica y de suelos de La Cordillera	39
Figura 3.2.	Rangos óptimos de las propiedades químicas de los suelos para el establecimiento y la producción de cultivos de cacao en La Cordillera	41
Figura 3.3.	Distribución espacial del pH en el suelo de los predios cacaoteros de La Cordillera	45
Figura 3.4.	Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera	46
Figura 3.5.	Distribución espacial de la disponibilidad de fósforo en los suelos en predios cacaoteros en La Cordillera	47
Figura 3.6.	Distribución espacial del porcentaje de saturación de aluminio de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera	48
Figura 3.7.	Distribución espacial de la disponibilidad de calcio de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera	49
Figura 3.8.	Distribución espacial de la disponibilidad de magnesio de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera	50
Figura 3.9.	Distribución espacial de la disponibilidad de potasio de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera	51
Figura 3.10.	Distribución espacial de la disponibilidad de boro de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.	52
Figura 3.11.	Distribución espacial de la disponibilidad de hierro de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.	53
Figura 3.12.	Distribución espacial de la disponibilidad de cobre de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.	54

Figura 3.13.	Distribución espacial de la disponibilidad de manganeso de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.	55
Figura 3.14.	Distribución espacial de la disponibilidad de zinc de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.	56
Figura 4.1.	Posibles fuentes de cadmio	62
Figura 4.2.	Secuencia de pasos que se usaron para el diseño de la estrategia en el proyecto de La Cordillera	66
Figura 4.3.	Mapa del área de estudio	68
Figura 4.4.	Diagrama de la etapa preoperativa del análisis de muestras	75
Figura 4.5.	Diagrama de la etapa operativa del análisis de muestras	76
Figura 4.6.	Paso 1. Secado de muestras	77
Figura 4.7.	Paso 2. Molienda y tamizado	78
Figura 4.8.	Paso 3. Digestión ácida de las muestras en un equipo microondas	79
Figura 4.9.	Paso 4. Cuantificación de Cd en las muestras por ICP-MS	80
Figura 4.10.	Equipo de medición ICP-MS	81
Figura 4.11.	Formato de entrega de resultados de un laboratorio de química analítica	83
Figura 4.12.	Estrategias para el manejo de Cd en cultivos de cacao	89
Figura 4.13.	Niveles de Cd en granos de cacao para diferentes países del mundo	90
Figura 4.14.	Distribución de los datos de la concentración de Cd en almendra de muestras de cacao tomadas en La Cordillera	91



Lista de tablas

Tabla 2.1.	Tipología de producción de los productores de La Cordillera	35
Tabla 3.1.	Descripción de requerimientos químicos del suelo para el cultivo de cacao y su estado actual en la subregión de La Cordillera	57
Tabla 4.1.	Población estadística y número de muestras para la región de La Cordillera nariñense	70



Agradecimientos

Los autores agradecemos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y a la Fundación Ayuda en Acción por la ejecución del proyecto “Desarrollo de un modelo productivo de cacao bajo en cadmio para la subregión de La Cordillera nariñense”, del cual resultó esta publicación. Dicho proyecto se inscribió en una iniciativa más grande financiada por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), entidad a la que extendemos nuestro agradecimiento.

Agradecemos también a los técnicos de la Fundación Ayuda en Acción, quienes acompañaron y apoyaron la recolección de las muestras en los cinco municipios de la subregión de La Cordillera en Nariño. Extendemos nuestro agradecimiento a la asociación de productores de Policarpa, Asocacao, por su apoyo, disposición y acompañamiento durante la ejecución del proyecto.

La publicación del presente documento no habría sido posible sin la colaboración de los investigadores de AGROSAVIA Genaro Andrés Agudelo, Pablo Bacca y Jose Ives Pérez Zúñiga, quienes nos asesoraron en diferentes temáticas relacionadas con el cultivo de cacao. Agradecemos especialmente al profesional de investigación Nelson Díaz Ariza, quien nos brindó asesoría durante la fase inicial del proyecto. Finalmente, le damos las gracias al Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA: allí se procesaron y analizaron las muestras y se desarrollaron protocolos de investigación para estimar los niveles de cadmio en cacao.



Introducción

La evidencia arqueológica del uso precolombino de cacao (*Theobroma cacao* L.) se ha encontrado en América Central y Mesoamérica y se calcula que tiene 3.900 años de antigüedad. Por su parte, los restos encontrados en el oeste de Estados Unidos podrían tener 1.000 años. Si bien las épocas en que inició la domesticación y difusión del cacao no son claras, en un estudio genético realizado por University of British Columbia (Zarrillo et al., 2018) se determinó que el cacao fue domesticado para su consumo aproximadamente 1.500 años antes en América del Sur, donde los habitantes de las zonas superiores de la cuenca del Amazonas, las estribaciones de los Andes y el sureste de Ecuador, cosechaban y consumían este fruto. Este se popularizó y muy probablemente se propagó hacia el norte en las cosechas de los agricultores que cultivan cacao en lo que hoy es Colombia, Panamá y otras partes de América Central y el sur de México.

El cacao es un producto agrícola de gran importancia para países de América del sur como Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Argüello et al., 2019), los cuales exportan su fruto a Europa, uno de sus principales mercados de destino. En el mundo, África lidera la producción con 68 % (3.9 millones de toneladas) y, allí, Costa de Marfil es el primer productor, con 2.2 millones de toneladas (Food and Agriculture Organization [FAO], 2022).

En la región latinoamericana, Colombia ocupa el quinto lugar en la producción, con 63.000 toneladas (FAO, 2022). El cacao colombiano es reconocido en todo el mundo por su sabor fino y su aroma (International Cocoa Organization [ICCO], 2020). Por su parte, en 2020, Nariño ocupó el sexto puesto como mayor productor del país con 2.980 toneladas y un porcentaje de participación del 5 %. Al interior del departamento, el municipio de Tumaco es el principal productor: en 2020 aportó el 78 % de la producción departamental. A su vez, los municipios de La Cordillera contribuyeron con el 5 % de la producción (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2020). Según las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA), entre los

municipios de La Cordillera, Policarpa, Cumbitara y Los Andes son, en orden descendente, los mayores productores de la zona. Cabe destacar que, aunque El Rosario y Leiva también hacen parte de la zona de estudio, su contribución a la producción es menor (UPRA, 2020).

Los factores climáticos son los indicadores que más influyen en la producción de cacao, cultivo que está íntimamente ligado a las condiciones ambientales. En ese sentido, cabe destacar que la producción de cacao en La Cordillera nariñense puede tener lugar en diferentes zonas de vida: tanto en la montaña y la planicie como en los ambientes secos y húmedos, condiciones que dan lugar a una gama amplia de ambientes agroecológicos donde el cultivo de cacao se adapta de manera diferencial (Mata et al., 2019).

Aunado a esto, y a pesar de la buena reputación de los granos procedentes de varios países de América Latina, diferentes estudios han reportado concentraciones elevadas de metales traza tóxicos como el cadmio (Cd) en la materia prima y los productos alimenticios derivados de cacao (Argüello et al., 2019). El Cd hace parte del grupo de elementos que no son esenciales para las funciones metabólicas y biológicas y que son considerados elementos peligrosos y tóxicos (Rai et al., 2019). La ingestión de productos contaminados con este metal puede causar efectos adversos en la salud humana (Wang et al., 2019), pues el Cd se retiene eficientemente en el riñón (medio tiempo de 10 a 30 años), es nefrotóxico y causa inicialmente daño tubular renal. También puede causar daño óseo, ya sea a través de un efecto directo sobre el tejido óseo o indirectamente como resultado de la disfunción renal. Después de una exposición prolongada o alta, la lesión tubular puede progresar a daño glomerular con disminución de la tasa de filtración glomerular y, finalmente, a insuficiencia renal. Además, los datos recientes sugieren un mayor riesgo de cáncer y una mayor mortalidad en poblaciones expuestas a Cd presente en el medio ambiente (Järup & Åkesson, 2009).

Sin embargo, es importante mencionar que la acumulación de los metales, específicamente del Cd, es proporcional a la ingesta alimentaria, a saber, “cantidad de alimentos que un ser vivo normal habitualmente ingiere para su nutrición” (Comisión del Codex Alimentarius, 2019). Esto implica que un mayor consumo de alimentos con altas concentraciones de contaminantes provoca una mayor acumulación en los seres vivos.

Para el caso específico de Cd en cacao, se encontró que los colombianos consumen en promedio de 0,3 a 0,8 kg de chocolate por persona al año, ingesta representada principalmente por chocolate de taza, mientras que los europeos, por ejemplo los franceses, consumen en promedio 7 kg per cápita al año. En este caso, los niños consumen $11,9 \text{ g día}^{-1}$ y los adultos $5,7 \text{ g día}^{-1}$ (Jaramillo, 2013). De modo que, en los países con altas tasas de consumo se determinan niveles máximos permisibles con valores de Cd más bajos (Comisión Europea, 2006).

En países como Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Indonesia y Francia ya se presentaron los primeros casos públicos de grandes empresas chocolateras que se han visto obligadas a retirar del mercado lotes de sus barras de chocolate debido a los altos niveles de Cd encontrados en ellas. Estados como California iniciaron un debate sobre la posibilidad de solicitar avisos de advertencia del posible contenido de plomo (Pb) y Cd en algunos tipos de chocolate (Rankin, 2018). El Código de Normas Alimentarias de Australia y Nueva Zelanda estableció un nivel máximo de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd para los productos de chocolate y cacao (Departamento de Salud, 2016). Por otro lado, China ha introducido niveles máximos de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para Pb y arsénico (As) en productos de cacao, chocolate, productos de chocolate y dulces. En esta misma línea, Malasia ha establecido un Límite Máximo Permissible (MPL) para el cacao y los productos de cacao, tal como se describe en el anexo 14 de la Ley de Alimentos de Malasia (1983) y el Reglamento 1985 (Consejo Federal de Inversiones, 2020). Por su parte, a través de una norma aplicable desde el 1 de enero de 2019, la Unión Europea (UE) ha establecido los niveles máximos de Cd aceptado en los productos de cacao, los cuales oscilan entre 0,10 y $0,80 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd de materia seca según el porcentaje de cacao crudo presente en el producto final (Unión Europea, 2014).

La normatividad de Cd en cacao pone en riesgo parte de las exportaciones de esta materia prima y productos derivados de países de América Latina y el Caribe, que son los que presentan promedios más altos de Cd en cacao. Lo anterior genera un impacto negativo sobre la cadena de cacao en países como Colombia, Ecuador y Perú, además de preocupantes repercusiones económicas y sociales, sobre todo, teniendo en cuenta que la producción de cacao proviene, por lo

general, de pequeños productores con mínimos ingresos. Así pues, la búsqueda de soluciones para este problema es un nuevo reto y, sin duda, una prioridad en las brechas de conocimiento de la cadena productora de cacao (Rankin, 2018).

Diferentes estudios realizados en granjas de cacao en Perú, Ecuador, Honduras y Colombia, han reportado concentraciones significativas de Cd en regiones localizadas (Argüello et al., 2019; Barraza et al., 2017; Bravo et al., 2021; Chavez et al., 2015; Engbersen et al., 2019; Fernández-Paz et al., 2021; Gramlich et al., 2018). Sin embargo, las características químicas, biológicas y físicas del suelo, los diferentes factores agronómicos (Celis-Tarazona et. al., 2020; León-Moreno et. al., 2019), las condiciones edafoclimáticas y los cultivares influyen en la movilidad de Cd. Al haber tantos factores relacionados con la disponibilidad y absorción de Cd, la biodiversidad de Colombia en los suelos (Ministerio de Ambiente, 2012) y los materiales genéticos (Osorio-Guarín et al. 2017), se requiere realizar estudios de mapeo y zonificación en zonas específicas que permitan determinar la presencia de este contaminante. Ahora bien, es fundamental tener en cuenta que los estudios no deben hacerse solamente a nivel del suelo, sino directamente en los granos de cacao, ya que existen muchas variables que influyen en la biodisponibilidad de Cd. Tal y como se aprecia en los estudios de Argüello et al. (2019) y Gramlich et al. (2018), la baja concentración de Cd en el suelo no se traduce en ocasiones en una disminución en la concentración en los granos y, aunque el contaminante esté presente en bajas concentraciones en los suelos, puede presentar altas concentraciones en los granos o viceversa (Gramlich et al., 2017; Lewis et al., 2018).

Cabe destacar que Colombia envía cacao a más de 100 países en diferentes presentaciones, por ello, actualmente existen diversos proyectos de investigación básica y aplicada (Meter, 2019) basados en la investigación para obtener información relevante, gestionar el riesgo y orientar soluciones que partan de la evidencia, pues la presencia de Cd se convierte en un nuevo factor de negociación. Por todo lo mencionado, si se pretende exportar granos de cacao y productos derivados a mercados internacionales donde se fijan niveles máximos permisibles para cadmio, se deben realizar análisis químicos tanto a la almendra de cacao como a productos derivados. Si no se realizan estos análisis

y se envían estos productos con presencia del contaminante, muchos de los mercados y acuerdos comerciales existentes se pueden perder por sanciones. Además, esta problemática puede hacer que el precio del grano de cacao y de los productos derivados decaiga.

Por tal motivo, el presente manual pretende ahondar en los conocimientos relativos al cultivo de cacao en la subregión de La Cordillera en el departamento de Nariño haciendo énfasis en la problemática del Cd. Para ello, se partirá de la caracterización del mercado mundial, nacional y regional del cultivo de cacao con base en información secundaria. Posteriormente, partiendo de los resultados obtenidos en la investigación complementados con la información bibliográfica disponible, se describirán y analizarán las características medioambientales y edafoclimáticas de La Cordillera. Finalmente, se abordará el tema de la presencia de cadmio y se definirán los métodos de muestreo, las etapas de análisis en el laboratorio y las estrategias específicas dirigidas a esta región para hacer frente a los niveles de Cd encontrados.





Capítulo I

Cultivo del cacao, posicionamiento y estadísticas en Colombia y el mundo



El cacao (*T. cacao*) es un cultivo tradicional de importancia mundial que produce la materia prima para elaborar chocolates y grasas para diversas industrias como la alimentaria, la cosmética y la farmacéutica (Sánchez et al., 2019). En el mercado de cacao pueden distinguirse dos segmentos: el mercado de cacao convencional y el mercado de cacao fino y de aroma (Sosa, 2018). Sobre este último, se estima que la producción mundial oscila entre el 5 y el 8 % del volumen total y se concentra en Centro y Suramérica (Swisscontac, 2016).

De acuerdo con las estadísticas de la FAO (2022), en el periodo comprendido entre 2015 y 2020 el área cosechada de cacao presentó un crecimiento del 12,38 % y el volumen de producción un incremento del 19,50 % (figura 1.1). En el año 2020, la producción mundial de cacao fue de 5,7 millones de toneladas cultivadas en un área de 12,3 millones de hectáreas.

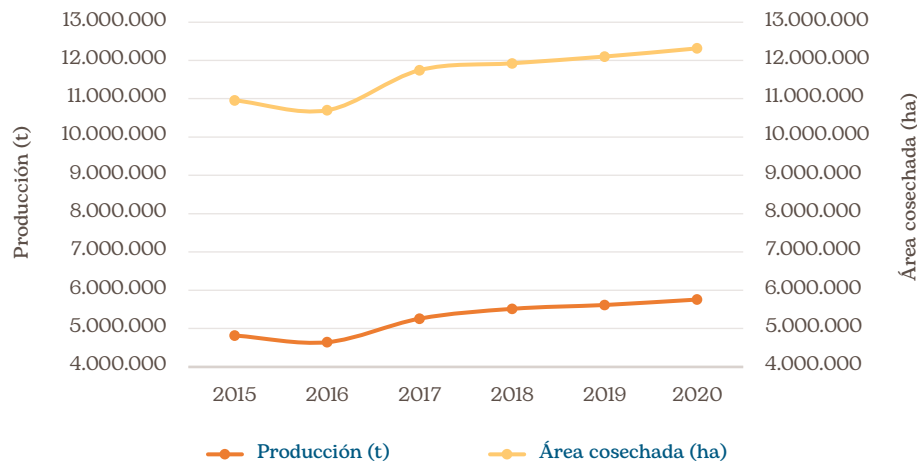


Figura 1.1. Producción y área cosechada de cacao en el mundo entre 2015 y 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2022)

En el mundo, los principales países productores de cacao son Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria y Ecuador, los cuales concentraron más del 76 % de la producción de cacao durante 2020 (figura 1.2).

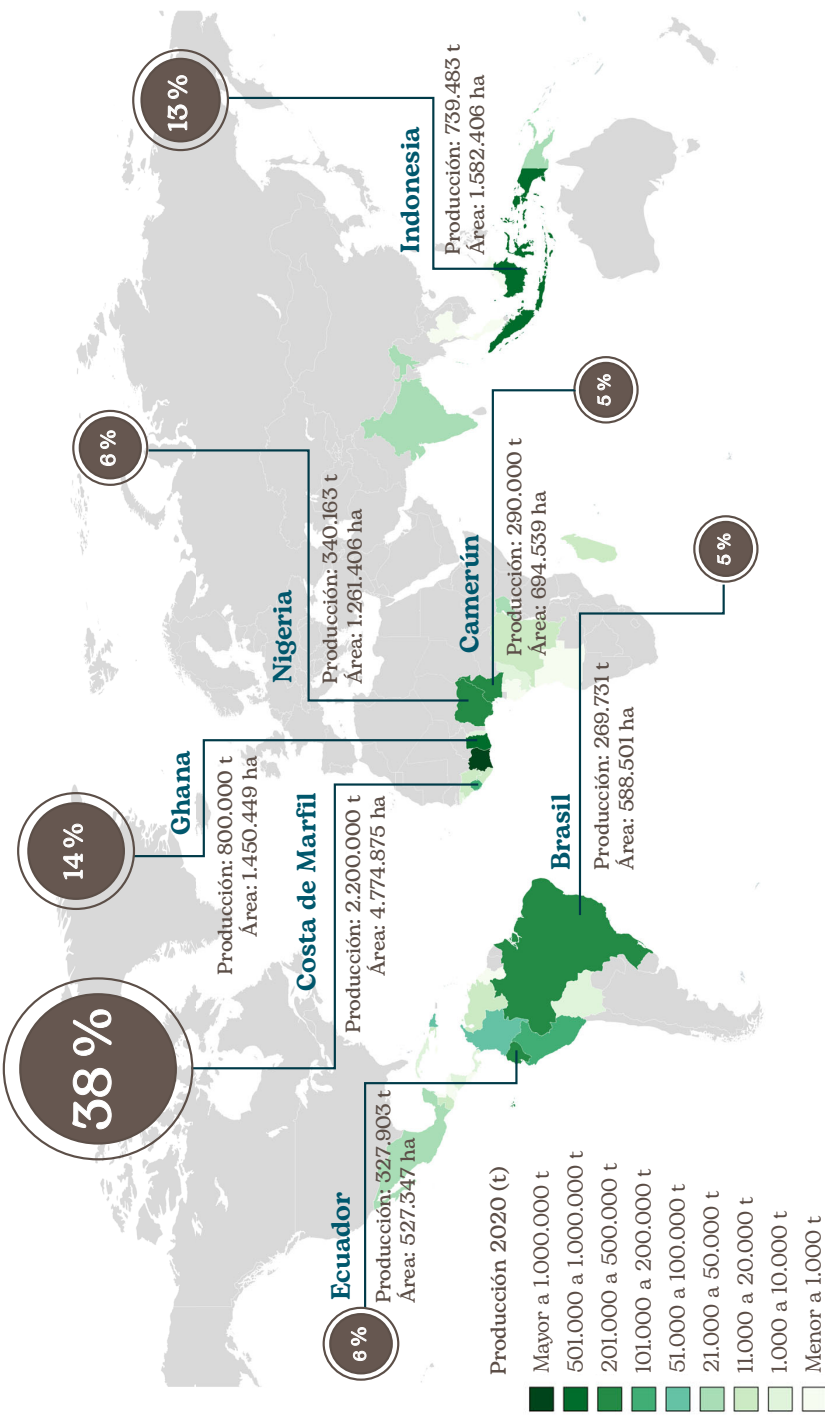


Figura 1.2. Principales países productores en 2020, según producción por toneladas.

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2022)

Dentro de estos, Costa de Marfil destaca como el principal referente, pues ha aumentado su participación en más de ocho puntos porcentuales durante los últimos 10 años (FAO, 2022). Colombia ocupó el undécimo lugar en la lista de países más representativos en la producción mundial de cacao en grano (figura 1.2). A propósito de esto, cabe destacar que recibió el reconocimiento de productor de cacao fino y de aroma otorgada por la Organización Internacional de Cacao (ICCO) (2020).

Comercio mundial

En 2020, el producto derivado del cacao que más se exportó fue el catalogado por la partida arancelaria 1806 como “chocolate y demás preparaciones alimenticias que contengan cacao”, el cual representó el 58,4 % del valor total exportado. A este le siguió el cacao en grano (entero o partido, crudo o tostado) con una participación del 18,1 %. Por su parte, la manteca, la grasa y el aceite de cacao contribuyeron con el 11,4 % de la comercialización. Los tres productos restantes, es decir, la pasta de cacao, el cacao en polvo y la cáscara o desechos de cacao representaron el 12,1 % del valor total exportado (International Trade Center [ITC], 2022). Para el caso de análisis, interesa conocer la información relacionada con el segundo grupo, es decir, el cacao en grano, pues es la principal presentación de venta de los productores de cacao. Con base en esto, en adelante, los datos de exportaciones e importaciones solo harán referencia a este grupo de productos.

En 2020, las exportaciones de cacao en grano ascendieron a los 3,7 millones de toneladas, lo cual representa un valor superior a los 9.000 millones de dólares americanos. El 79 % de estas exportaciones fueron realizadas por países como Costa de Marfil, Ghana, Ecuador, Camerún y Bélgica (ITC, 2022). Costa de Marfil tuvo un crecimiento considerable en las cantidades exportadas y alcanzó una mayor participación en el mercado: su contribución en las ventas mundiales ascendió de 27,6 % en 2010 a 39,5 % en 2020 (figura 1.3).

Los principales países importadores son los europeos. Dentro de estos, Países Bajos es el mayor comprador de grano, seguido por Alemania y Bélgica. En Asia, el mayor comprador es Malasia y, en América, Estados Unidos. Estos países compraron el 60 % del cacao comercializado en 2020.

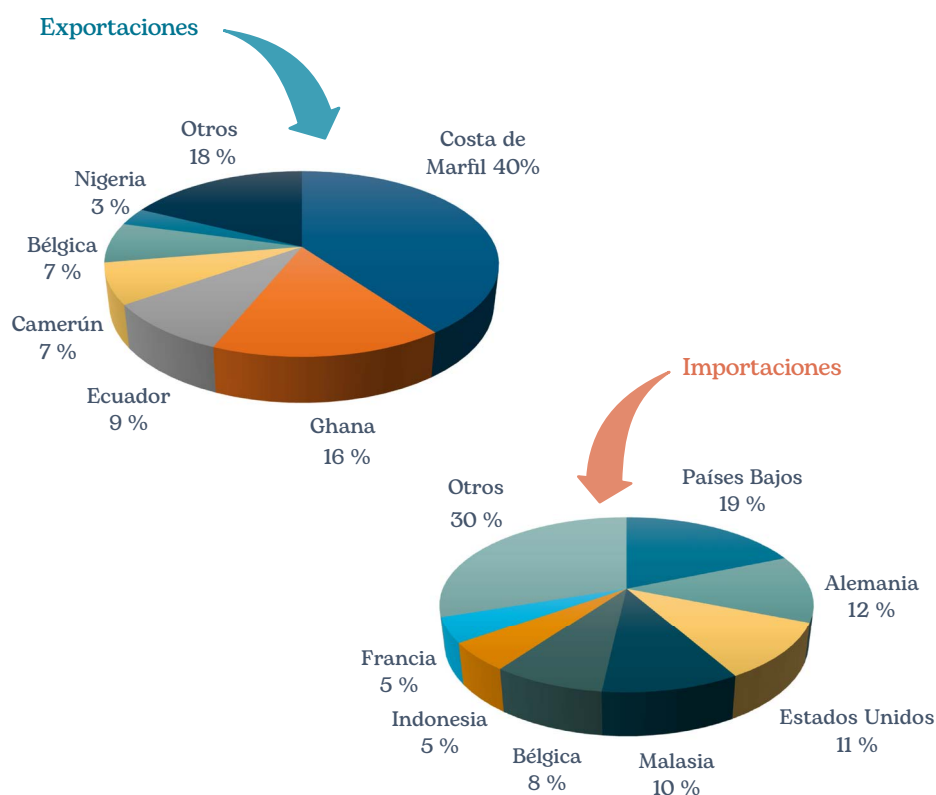


Figura 1.3. Principales países exportadores e importadores de cacao en grano en 2020.

Fuente: Elaboración propia a con base en ITC (2022)

Exportaciones e importaciones de cacao colombiano

Colombia presenta una balanza comercial en superávit en la cual las cantidades exportadas de cacao son superiores a las importadas. Según las estadísticas de Fedecacao (2022), el país envió 11.148 toneladas y registró un ingreso *free on board* (FOB) de USD 28,4 millones en 2020. Asimismo, el cacao en grano se exportó a 22 países y los principales destinos fueron: México, Italia, Bélgica, Países Bajos, Argentina y Estados Unidos, a los cuales se envió el 94,5 % de las cantidades exportadas en el año 2020 (figuras 1.4 y 1.5).

En la figura 1.5 se aprecia que México ha sido el principal destino del cacao colombiano durante los últimos años. A este respecto, cabe destacar que la relación comercial se ha fortalecido y ha pasado de 1.731 toneladas en 2013 (22,4 %) a 8.902 toneladas (79,8 %) en 2020 (Fedecacao, 2022).

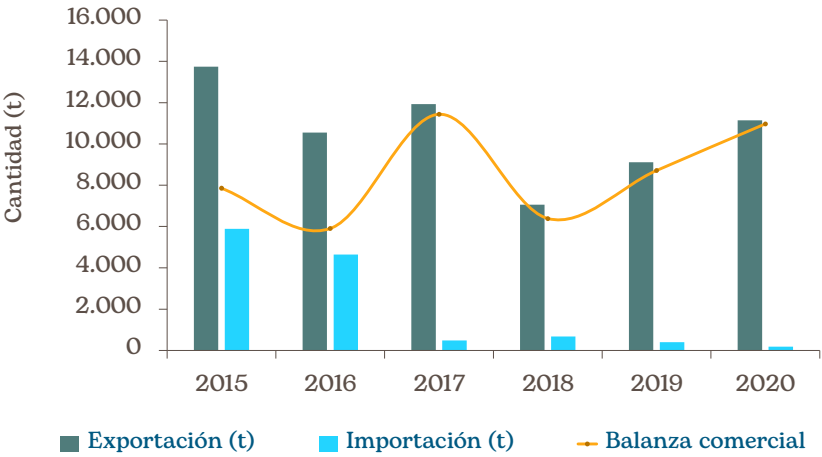


Figura 1.4. Exportación, importación y balanza comercial del cacao colombiano en grano para el periodo de 2015 a 2021.

Fuente: Elaboración propia con base en Fedecacao (2022)

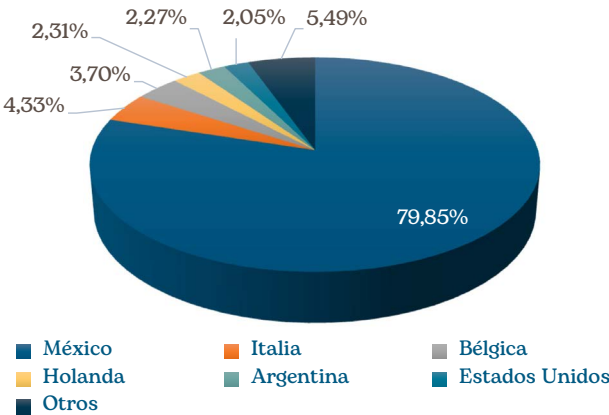


Figura 1.5. Destino de las exportaciones realizadas desde Colombia en 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en Fedecacao (2022)

Precio del cacao

El precio internacional del cacao depende de la cotización en la bolsa, principalmente en la de Nueva York. De todos modos, el precio promedio por tonelada tuvo una tendencia negativa durante el periodo comprendido entre 2015 y 2020, con una leve recuperación a partir de 2017 (figura 1.6). Colombia toma estos precios como referencia y su comportamiento se alinea con la dinámica internacional. En el año 2020, el cacao registró un precio nacional promedio de USD 2.285 por tonelada, USD 186 menos que el precio en la bolsa de Nueva York.

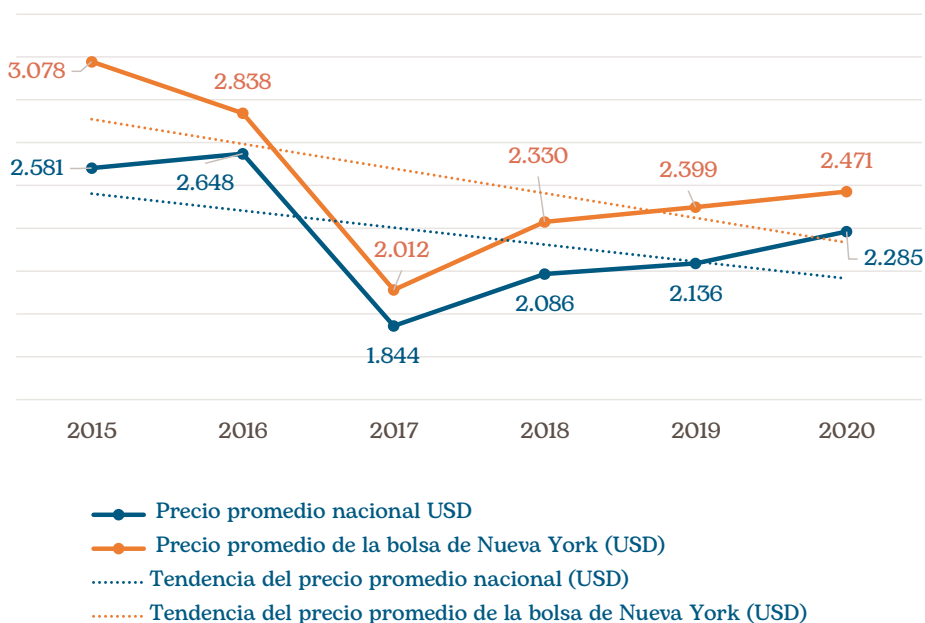


Figura 1.6. Precio promedio por tonelada entre 2015 y 2020 en la bolsa Nueva York y en el mercado nacional (valores expresados en USD).

Fuente: Fedecacao (2022)

Producción nacional de cacao

En los últimos años, la producción nacional de cacao ha crecido a una tasa promedio anual de 3 %, pasando de 54.798 toneladas en 2015 a 63.416 toneladas en 2020. En la figura 1.7 se observa cómo se distribuye la producción nacional de cacao en 422 municipios de 27 departamentos. El 77 % de la producción de cacao se concentra en Santander, Antioquia, Arauca, Huila, Tolima y Nariño (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2021).



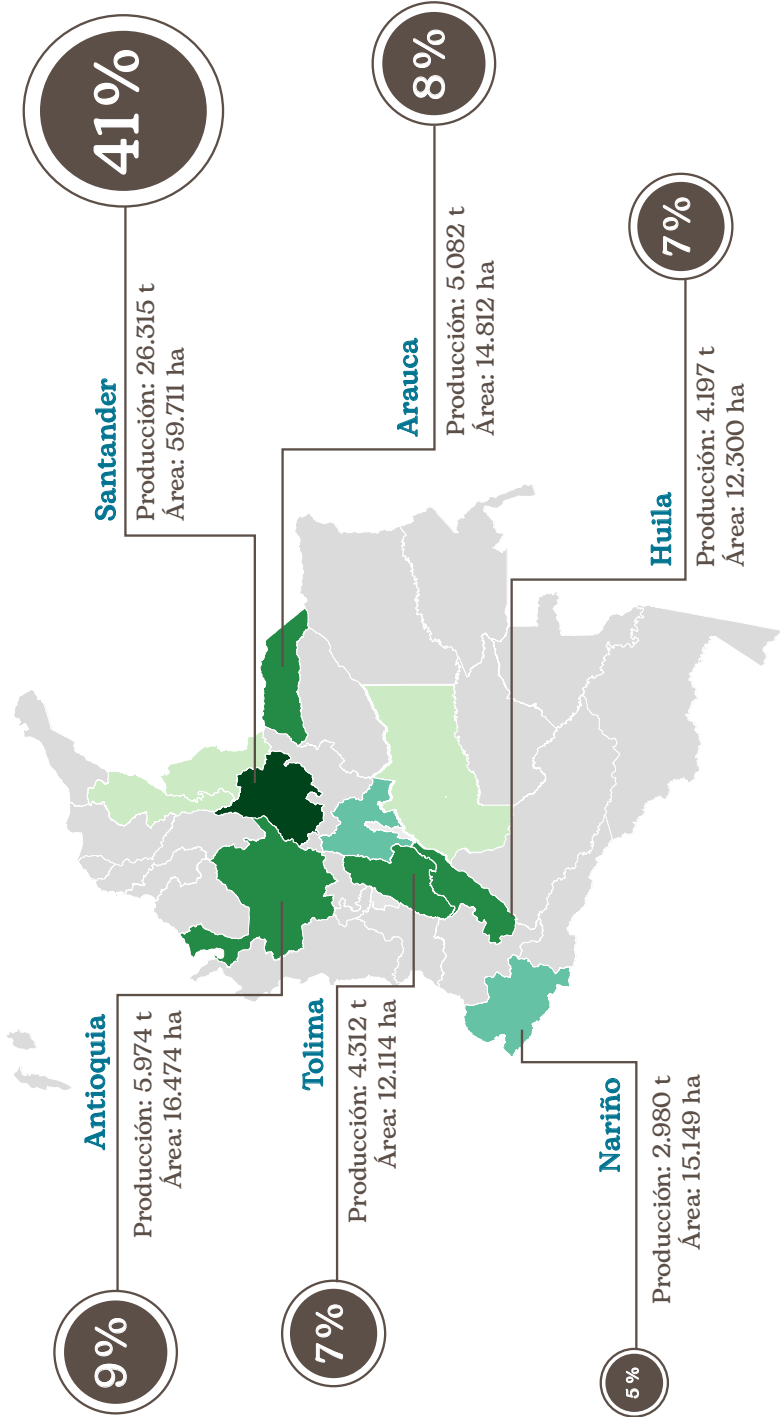


Figura 1.7. Principales departamentos productores en 2020, según producción por toneladas.

Fuente: Elaboración propia con datos de MADR (2021) y Fedecacao (2022)

El volumen de producción creció un 15,7 % entre los años 2015 y 2020 (figura 1.8). El crecimiento de la producción está estrechamente relacionado, en primer lugar, con las áreas destinadas al cultivo y, en segundo lugar, con su rendimiento. Con respecto al primer aspecto, el área sembrada promedio en los últimos 5 años fue 176.944 ha, con una tendencia positiva y una tasa de crecimiento promedio de 2,8 %. Cabe destacar que en 2020 el área sembrada fue 189.185 ha. Según el MADR y Fedecacao (2021), los incrementos en las áreas cultivadas se deben a las favorables condiciones climáticas que se presentaron en la época y a la tendencia al alza de los precios del cacao. En cuanto al rendimiento nacional, este fue de 0,45 t ha⁻¹ para 2020: 0,10 t ha⁻¹ más que los reportes de 2010 (Fedecacao, 2021).

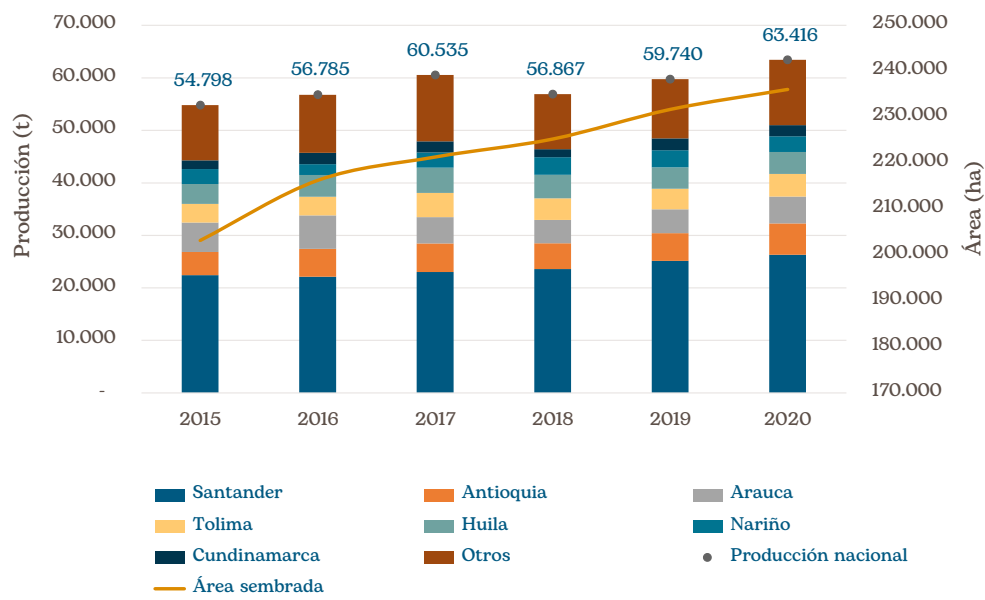


Figura 1.8. Producción nacional desagregada por departamentos (toneladas) y área sembrada en el país (hectáreas) entre 2015 y 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en MADR (2021)

Capítulo II

Contexto de la producción de cacao



En el presente capítulo se caracteriza la producción de cacao haciendo énfasis en la región de estudio.

Subregión de La Cordillera

Para analizar los mapas de esta sección debe tenerse en cuenta que los puntos rojos corresponden a las locaciones en las que se tomaron muestras en el marco del proyecto “Desarrollo de un modelo productivo de cacao bajo en cadmio para la subregión de La Cordillera nariñense”.

En Colombia, el departamento de Nariño contribuye con el 5 % de la producción nacional de cacao, cifra que equivale a 2.980 t año⁻¹ (Fedecacao, 2021). Ahora bien, según datos de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2020), para 2020 Tumaco fue el principal productor de cacao del departamento con un aporte del 78 % de la producción.

Según UPRA (2020), en la zona de La Cordillera el área cultivada se redujo a un 68 % en comparación con al año anterior, pasando de 1.126 ha en 2019 a 765 ha en 2020. Asimismo, Policarpa ocupó el primer lugar en producción y área sembrada, seguido de Cumbitara, Los Andes, El Rosario y Leiva (UPRA, 2020). En relación con el rendimiento del cultivo, se destacaron los municipios El Rosario y Policarpa, los cuales arrojaron indicadores superiores al promedio nacional: 0,75 t ha⁻¹ y 0,60 t ha⁻¹, respectivamente. Por su parte, Los Andes (0,42 t ha⁻¹), Cumbitara (0,35 t ha⁻¹) y Leiva (0,27 t ha⁻¹) presentaron rendimientos inferiores al promedio del país (UPRA, 2020).

Estos municipios se encuentran ubicados en la parte noroccidental de Nariño y hacen parte de los territorios focalizados en los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET). Tienen una extensión aproximada de 1.959 km², área equivalente al 5,63 % del área total del departamento (figura 2.1).

Características de la región natural de La Cordillera

En la subregión de La Cordillera, el área dedicada a la producción de cacao comprende diferentes zonas de vida (figura 2.2). Dentro de estas destacan el bosque muy húmedo tropical –con 59.549 ha, que

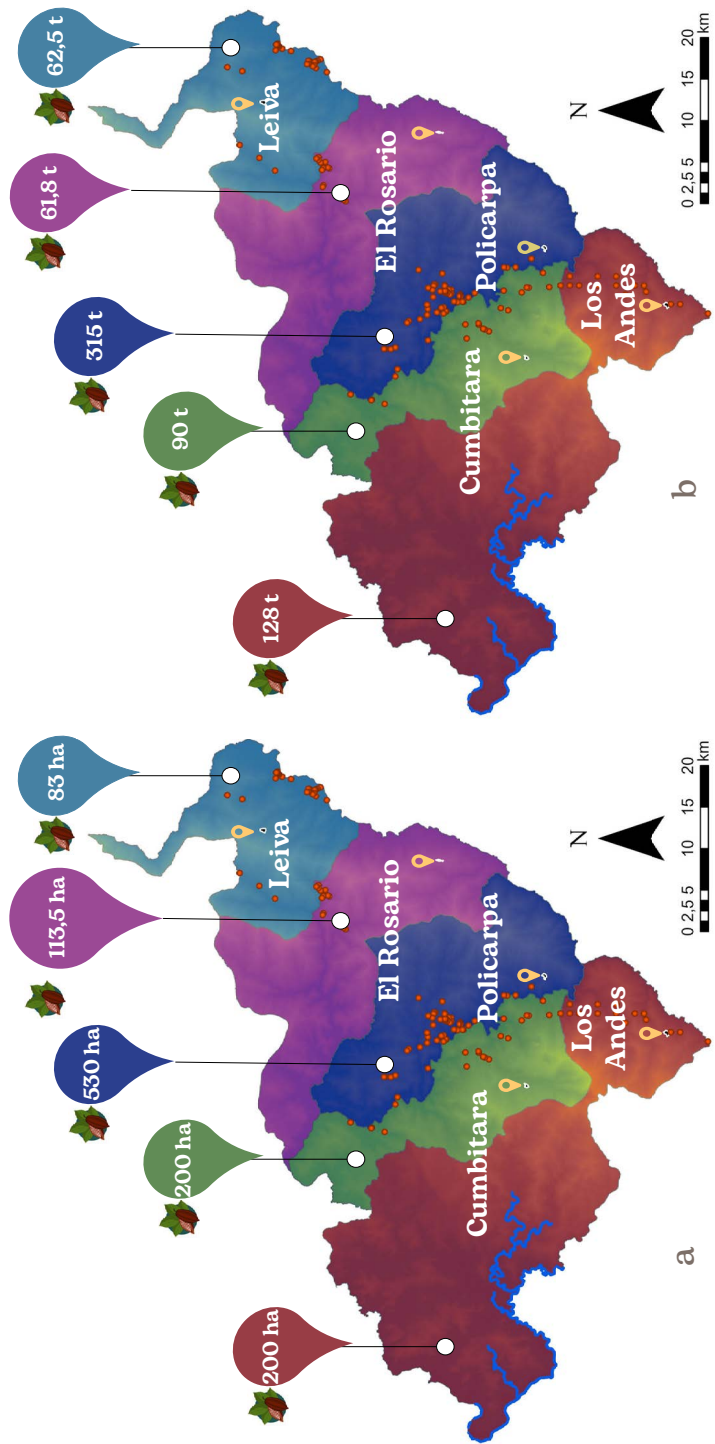


Figura 2.1. Municipios cacaoteros de la subregión de La Cordillera. **a.** Área cultivada en hectáreas; **b.** Producción en toneladas.

Fuente: Elaboración propia con base en MADR (2020)

representan el 23,08 % del área total de territorio—, el bosque muy húmedo montano bajo —con 40.524 ha, que representan el 15,71 % del territorio— y el bosque pluvial premontano —con 36.866 ha, que representan el 14,29 % del territorio—. Esta heterogeneidad paisajística, caracterizada por una geografía diversa que va desde montañas hasta planicies y alberga ambientes secos y húmedos, propicia la amplia gama de ambientes agroecológicos a los que el cultivo de cacao se adapta de manera diferencial (Mata-Anchundia et al., 2019).

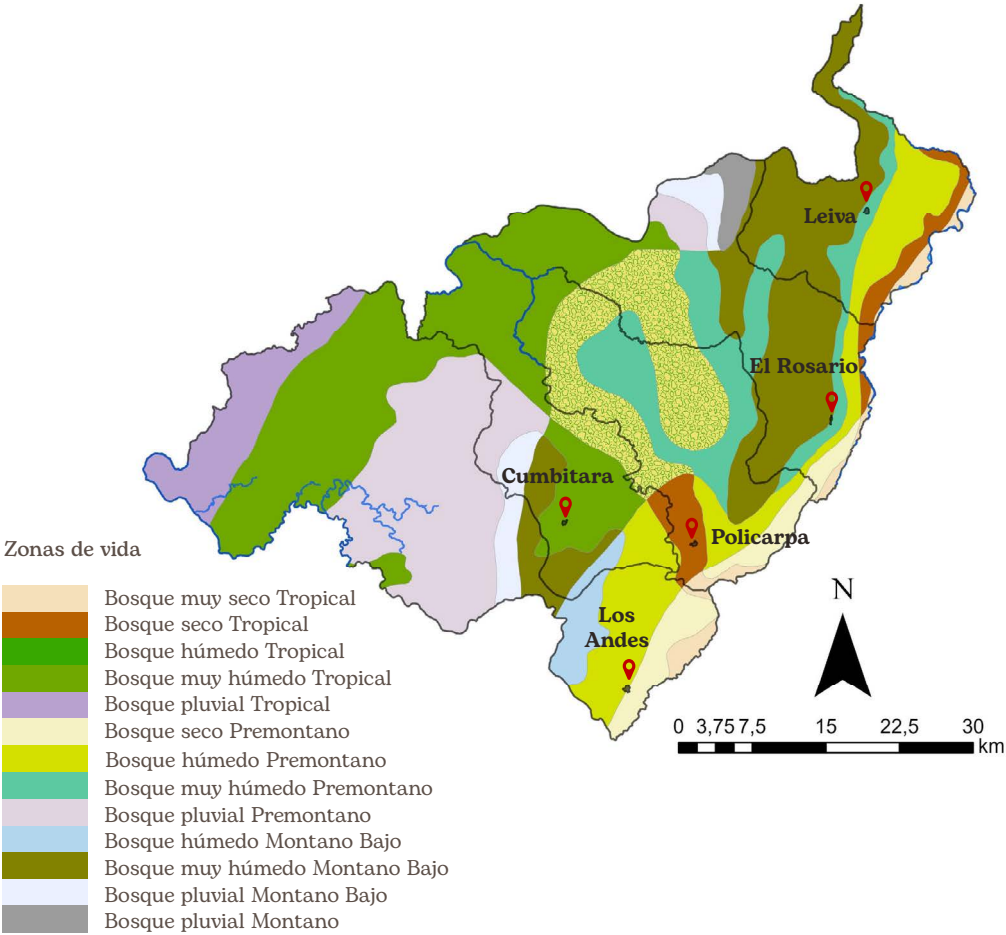


Figura 2.2. Zonas de vida de los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

Capacidad de uso de la tierra en La Cordillera

En una gran proporción, los suelos de la subregión de La Cordillera se clasifican como tierras que deberían estar en bosques protectores y productor-protector y bosques en recuperación, reforestación o conservación. Por otra parte, las tierras ubicadas hacia el norte de los municipios de Cumbitara, El Rosario, Los Andes y Policarpa han sido históricamente destinadas a la agricultura y ganadería semi-intensivas. Sus restricciones están dadas por pendientes moderadamente inclinadas, erosión actual ligera o moderada y encharcamientos ocasionales, todas condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo de cacao (figura 2.3).

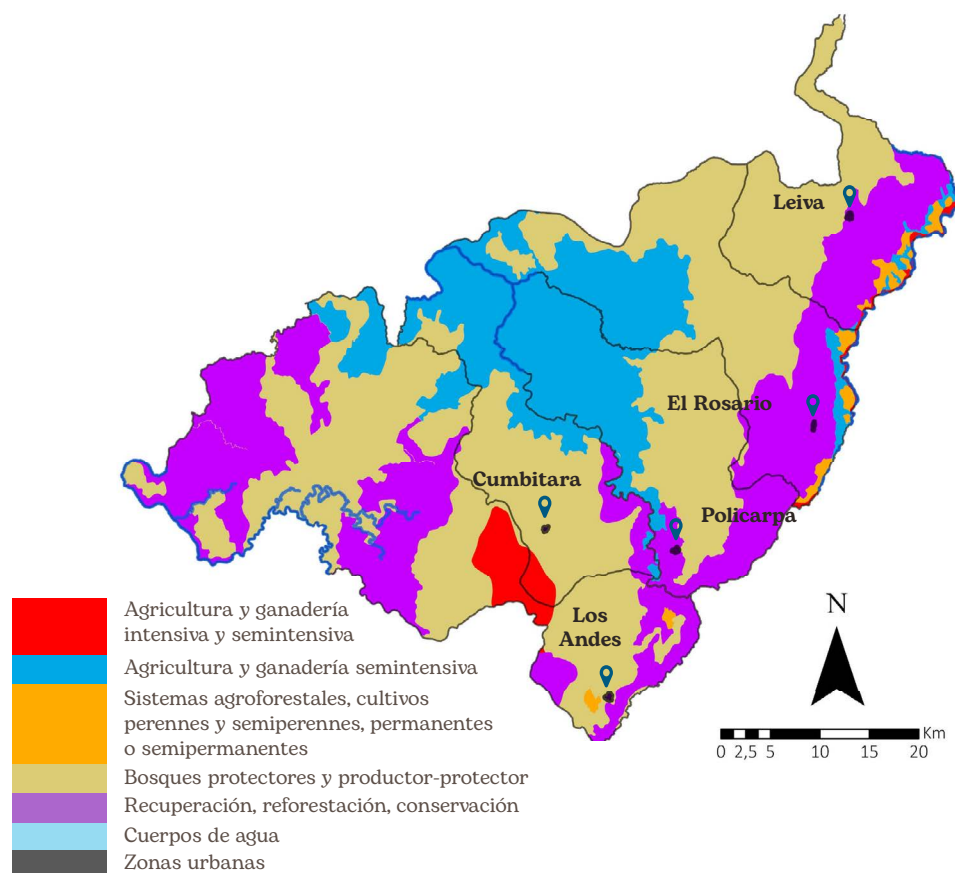


Figura 2.3. Capacidad de uso de las tierras presentes en los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

Altitudes de la subregión de La Cordillera

La subregión de La Cordillera está ubicada a alturas que oscilan entre los 250 hasta los 3.640 m s. n. m. Los cultivos de cacao en los diferentes municipios que conforman esta subregión se localizan a alturas que van desde los 500 hasta los 1.500 m s. n. m., con una mayor proporción de cultivos entre los 500 y los 1.000 m s. n. m., lo cual coincide con los rangos de adaptación de la especie (figura 2.4). Estas diferencias fisiográficas hacen que los elementos climáticos presenten alta variabilidad en su comportamiento y, por ende, que los diferentes clones de cacao del territorio presenten diferencias en su desarrollo dentro de un mismo municipio.

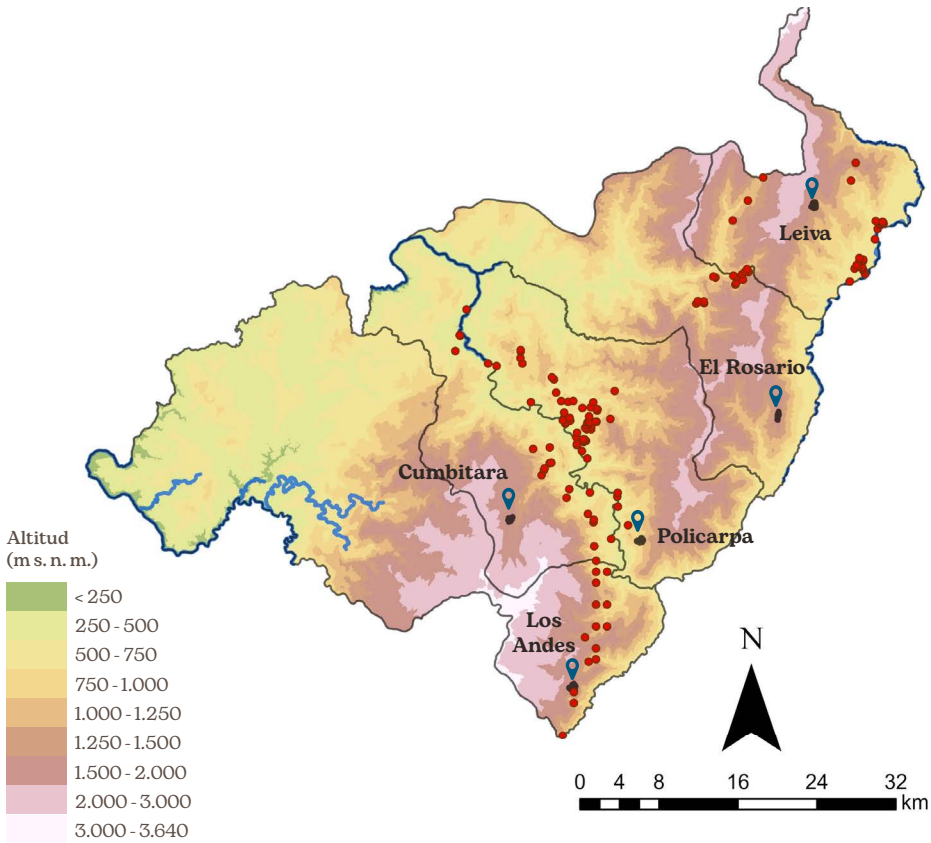


Figura 2.4. Altitudes de los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

Caracterización de las condiciones climáticas de la subregión de La Cordillera

Precipitación promedio de La Cordillera

En la subregión de La Cordillera la precipitación promedio anual varía entre 1.000 y 7.000 mm. La mayoría de los cultivos de cacao se encuentran en zonas donde la precipitación oscila entre los 1.000 y los 1.500 mm. La otra parte se distribuye en la zona norte de los municipios de Policarpa y Cumbitara, donde la precipitación se encuentra en el rango de 1.500 a 2.000 mm (figura 2.5). En relación con esto, se aprecia que gran parte de los cultivos de cacao establecidos en la subregión han sido establecidos en zonas donde la distribución de la precipitación no es homogénea, por lo cual se han presentado periodos secos que sobrepasan los dos meses

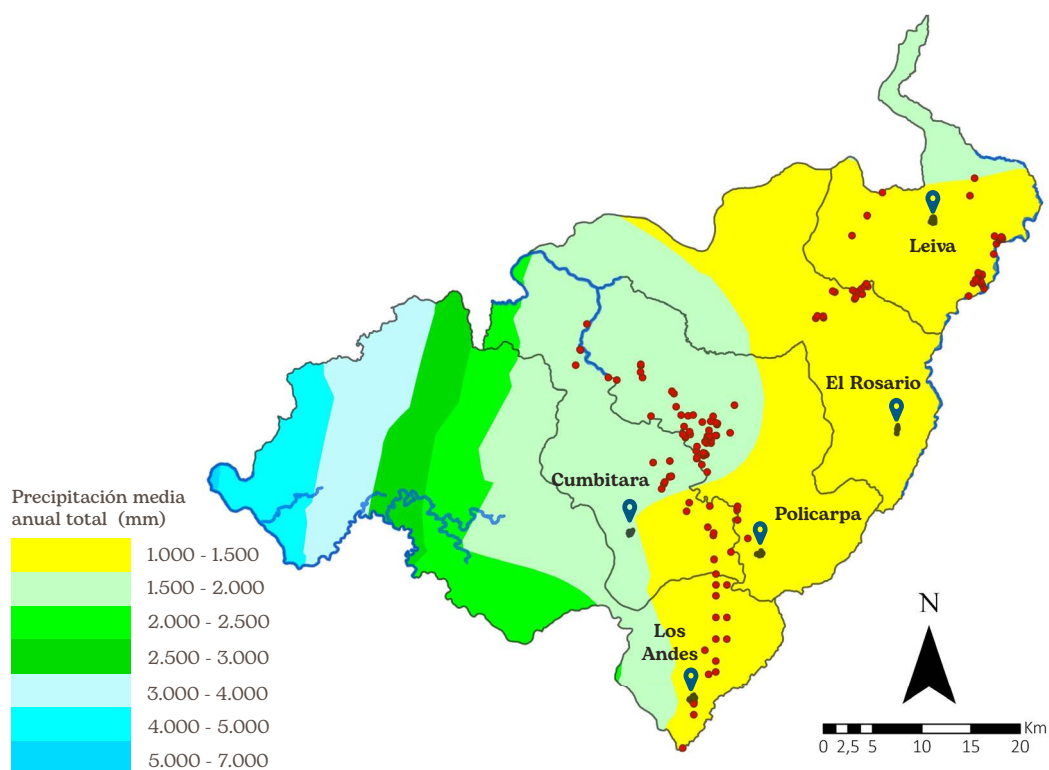


Figura 2.5. Precipitaciones en los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

y afectan la producción y el secado de los árboles. En otras palabras, los cultivos de cacao están en zonas donde la precipitación se encuentra por debajo de los rangos ideales requeridos por el cultivo (1.500 a 2.500 mm).

Temperatura promedio de La Cordillera

Los valores más altos de temperatura media están en los municipios Cumbitara, Policarpa, El Rosario y Leiva, con un rango de temperatura de 24 a 26 °C. Precisamente, allí se ubica la mayoría de los cultivos de cacao, caracterizados por albergar plantaciones con buena fructificación y desarrollo vegetativo. Por otra parte, hacia la zona sur del municipio de Los Andes, la temperatura oscila entre 16 y 20 °C. En esta parte del municipio, algunos cultivos de cacao pueden ver afectado su comportamiento fisiológico por las bajas temperaturas (figura 2.6).

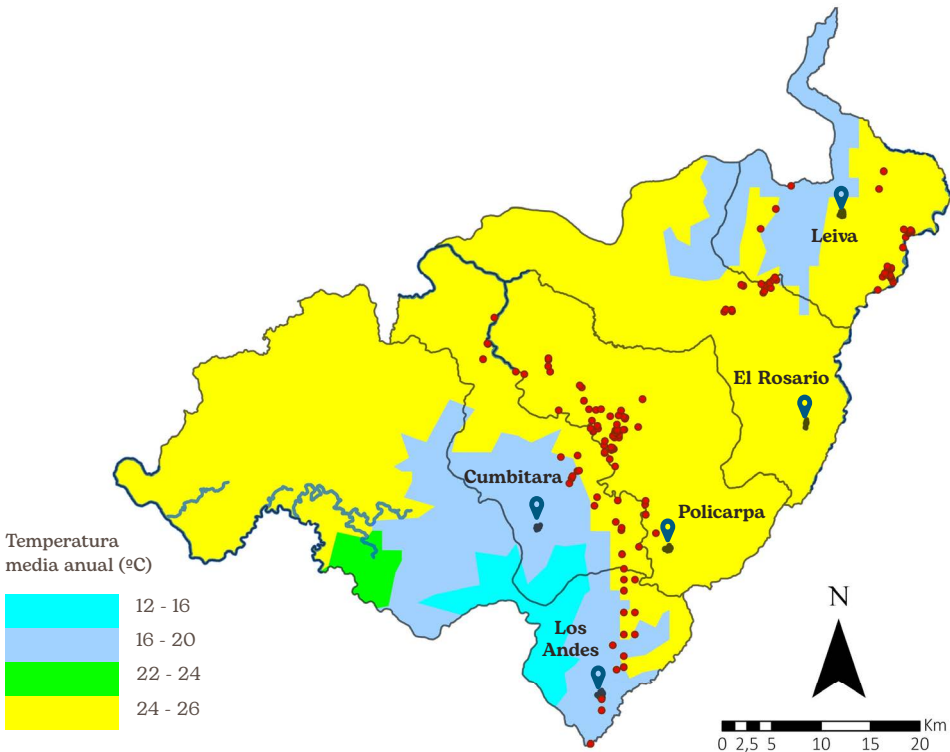


Figura 2.6. Temperaturas de los municipios cacaoteros que conforman La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

Humedad relativa promedio de La Cordillera

En La Cordillera, la humedad relativa oscila entre 75 y 90 %. Los valores más bajos se presentan en zonas donde se han establecido los cultivos de cacao, con un rango de 75 a 80 %. Por su parte, en la zona norte de los municipios de Cumbitara, Los Andes y Policarpa, los valores superan el 80 %. Puntualmente, el mayor valor de humedad relativa –90 % de promedio anual– se reporta en el municipio de Los Andes, situación que se debe al constante desplazamiento de humedad del océano Pacífico (figura 2.7). Ahora bien, partiendo del hecho de que el centro de origen del cacao son las selvas húmedas del Amazonas (Zarrillo et al. 2018), sus requerimientos de humedad relativa son relativamente altos, cercanos a 80 %. Esto indica que la subregión de La Cordillera tiene las condiciones ideales para el desarrollo adecuado del cultivo de cacao.

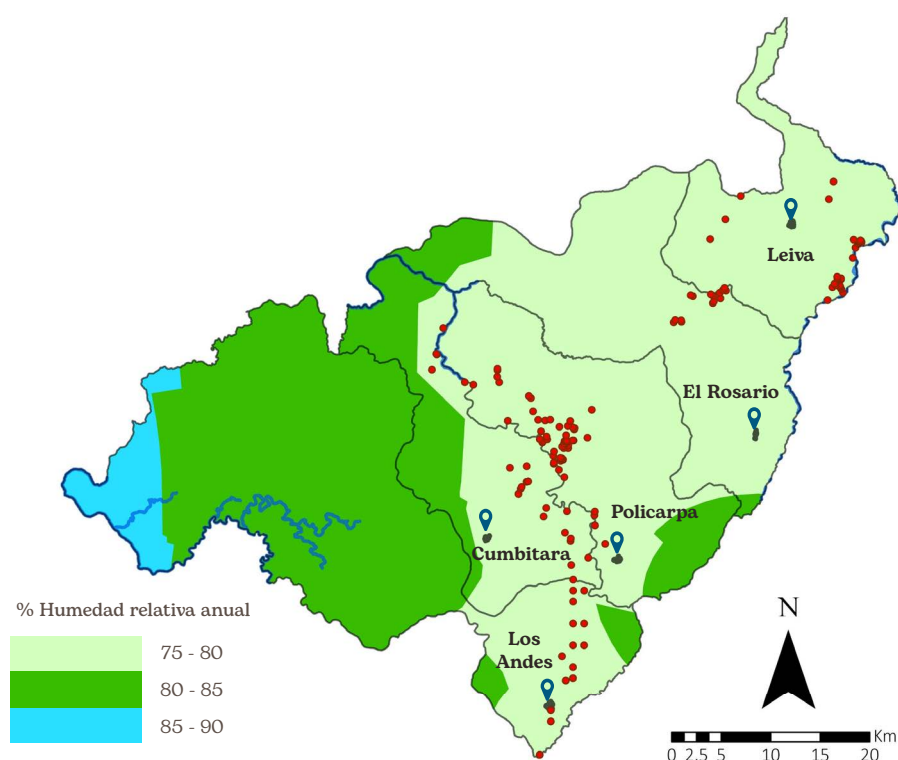


Figura 2.7. Humedad de los municipios cacaoteros que conforman la subregión de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

Situación actual de los cultivos de cacao en La Cordillera

Teniendo en cuenta la capacidad de arraigo a la tierra y sus proyecciones nacionales, hace aproximadamente 14 años el cacao fue impulsado como cultivo promisorio en estos municipios. Ahora bien, para aumentar la rentabilidad del cacao y cerrar las brechas en la productividad, es necesario rehabilitar los cacaotales con el fin de resolver los problemas de incompatibilidad de materiales en los arreglos clonales de la región (Meneses et. al., 2020).

En la subregión de La Cordillera no hay un modelo clonal definido para el cultivo de cacao. Según los productores y técnicos especializados consultados en diferentes talleres de diagnóstico del sistema productivo, esta situación se originó por la falta de acompañamiento técnico durante el establecimiento de las plantaciones que se promovieron con diferentes proyectos. La mayor parte del cacao sembrado en la subregión corresponde a materiales clonales, cacaos híbridos y cacaos criollos. Tras encuestar a la población, entre los clones se registran nueve materiales: CCN-51, ICS-95, IMC-67 (usado como patrón), TSH-565 y ICS-60. Algunos clones como MON-1, ETT-8, FSV-41 y FEC-2 son sembrados por pocos productores (Martínez, 2020).

Características socioeconómicas

Aunque la mayoría de los cacaoteros de la subregión (el 60 %) confía en materiales seleccionados o mejorados para su producción, una gran parte de ellos sigue produciendo materiales inadecuados para llegar a los mercados de alto valor. Plantaciones en las que se aplican prácticas relevantes para el manejo del cultivo reportan tasas de adopción drásticamente bajas, como es el caso del injerto para la renovación o rehabilitación de árboles improductivos (32,6 %) y el análisis fisicoquímico del suelo para gestionar el uso de agroinsumos en la parcela de cacao (21,8 %). Esto último es especialmente preocupante, ya que el cacao es muy sensible a las condiciones del suelo. Una gestión inadecuada de los insumos puede restarle eficacia a otras prácticas, como la fertilización (esto se traduce en que no hay certeza sobre las necesidades reales de la parcela).

Por otro lado, prácticas como el control fitosanitario, el riego y la fertilización están presentes en la mayoría de las fincas de cacao (84,9; 50,4 y 52,7 %, respectivamente). Las dos primeras son de gran importancia en Colombia debido a la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades en ausencia de estos controles (Jaimes & Aranzazu, 2010). Sin embargo, la decisión de utilizar la fertilización química u orgánica no siempre se realiza teniendo en cuenta los resultados del análisis de suelos (Martínez & Martínez, 2021). En la tabla 2.1 se presentan las principales características de los productores de La Cordillera.

Tabla 2.1. Tipología de producción de los productores de La Cordillera

Variable	Descripción
Sexo de los productores	El 63 % son hombres y el 37 % mujeres.
Distribución étnica	Solo un 5,1 % de los productores se identifica como parte de algún grupo étnico (negro indígena), lo que muestra una baja participación de estas minorías en la producción de cacao.
Edad de los productores	Los productores, que en su mayoría son tomadores de decisiones en el hogar, tienen entre 50 y 60 años de edad.
Nivel educativo	El 80 % de los beneficiarios no poseen educación formal, tienen educación primaria incompleta o completa y menos del 5 % de los productores reporta algún tipo de educación terciaria.
Ingreso mensual	La mayoría de los ingresos mensuales monetarios son bastante bajos, la gran mayoría percibe ganancias por debajo de un salario mínimo.
Experiencia en el cultivo	El sistema productivo es manejado por productores con una experiencia media de 9 a 10 años en producción cacaotera.
Tenencia de la tierra	La producción de estos agricultores tiene lugar en una única finca o lote. Se destaca que son los dueños del predio o lote principal para el proceso productivo.

[Continúa]

[Continuación]

Variable	Descripción
Edad de los lotes	Se observa que la gran mayoría de estos están por debajo de los 12 años, con un poco más de la mitad entre los 8 y 12 años.
Tipo de cacao	Los sistemas productivos de cacao de los productores están compuestos, en su mayoría (aproximadamente el 60,6 %), por materiales clonales (52,9 %) o híbridos (7,8 %) (por uso único o combinado).
Utilización de análisis de suelos	El 78,2 % de los productores no analiza los suelos de sus lotes de cacao para tomar decisiones; solo el 21,8 % reporta haberlos realizado.
Realización de prácticas agronómicas principales	Se identifica que la gran mayoría de los productores (84,9 %) hace control fitosanitario y de malezas en los lotes de cacao. Sin embargo, la práctica de fertilización es solamente realizada por el 52 % de los productores encuestados.
Asistencia técnica	Hay un reporte relevante de productores que dicen contar con asistencia técnica. Entre las entidades proveedoras más relevantes se encuentran: Fedecacao, asociaciones de productores, alcaldías, y proyectos productivos.
Tipología del productor	Se destacan tres tipos de productor: productores buenos y dedicados que tienen sistemas productivos sólidos; productores que tienen bien consolidadas actividades a través de toda la cadena de valor pero que deben fortalecer sus sistemas productivos para sacar el mayor provecho de la materia prima y, por último, productores que al tener muy poca dependencia financiera de la producción del cultivo de cacao terminan convirtiéndose en productores ocasionales (o secundarios) y con quienes las intervenciones para mejorar la plantación no resultan tan efectivas.

Fuente: Elaboración propia con base en Martínez & Martínez (2021)

Características de los suelos cacaoteros en La Cordillera



Introducción

El suelo es un componente fundamental del ambiente: es un recurso natural finito y no renovable que proporciona diversos servicios ecosistémicos y, por ende, es esencial para el desarrollo socioeconómico de las comunidades que se establecen sobre un territorio (Burbano, 2016; Gardi, 2014). Su formación es el resultado de la interacción de diferentes procesos y factores que normalmente pueden tardar millones de años (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015; Pendleton & Jenny 1945).

Uno de los factores naturales que permite el estudio de la formación, evolución y distribución de los suelos y facilita su representación cartográfica es la geomorfología (Márquez & Uribe, 2018). Esta última permite el estudio de los accidentes geográficos que influyen en la transformación de la hidrología y el clima y, además, es determinante en el análisis del asentamiento de los ecosistemas y comunidades, aspecto que permite la diferenciación regional (Chai et al., 2015).

La constante expansión de las comunidades y de las actividades humanas ejerce diferentes grados de alteración y deterioro en las características físicas y químicas de los suelos (Rojas, 2008). En particular, en las zonas de ladera se identifican conflictos de uso debido a la explotación agrícola y pecuaria en áreas donde predominan las fuertes pendientes topográficas, las cuales deberían destinarse a la preservación y conservación de los recursos naturales (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2012). En el caso de La Cordillera, 53.000 ha (20,7 % del territorio) que tienen como vocación de utilización principal la conservación, presentan conflictos de uso por sobreutilización de la tierra, lo cual las hace susceptibles a la degradación de los suelos por erosión. A continuación, se muestra un mapa de la subregión que ilustra los tipos de suelo y su origen (figura 3.1).

El 71 % de los suelos de la subregión de La Cordillera están asociados al paisaje de montaña, particularmente a tipos de relieve de filas y vigas (IGAC, 2004, 2016) cuyas elevaciones naturales son mayores a 200 m y que tienen estructuras semejantes a techos (Márquez & Uribe, 2018). Su formación es resultado del depósito y recubrimiento de cenizas volcánicas y se ubican en pendientes fuertes o moderadamente escarpadas y quebradas, con inclinación mayor a 25 % (figura 3.1).



Figura 3.1. Distribución geomorfológica y de suelos de La Cordillera. **a.** Suelos del paisaje de montaña, tipo de relieve filas y viga y clima templado. **b.** Suelos del paisaje de montaña, tipo de relieve filas y viga y clima cálido. **c.** Suelos en paisaje de piedemonte, tipo de relieve abanico y clima cálido.

Fuente: Elaboración propia

Este factor favorece la remoción y el arrastre de material, así como la escorrentía y la erosión de suelos en sitios donde la vegetación natural ha sido reemplazada por cultivos y pastos (IGAC, 2004). En estos sectores se concentra el 47 % de los predios con plantaciones de cacao de esta subregión.

Por otra parte, el 18 % de los suelos de La Cordillera están en el piedemonte (IGAC, 2004). Su formación se relaciona con eventos volcánicos antiguos y recientes, así como con derretimientos, deshielos y avalanchas resultantes de los cambios climáticos durante el Cuaternario. En suma, su origen está relacionado con la acumulación de sedimentos transportados por los ríos que descienden de la cordillera (Márquez & Uribe, 2018).

Los suelos del piedemonte se caracterizan por el relieve de abanico, de configuración triangular y de contorno arqueado, con una zona estrecha en la parte alta (o apical) que se extiende de forma radial y rectilínea hacia la parte distal (Márquez & Uribe, 2018). Asimismo, se caracterizan por estar en zonas con inclinaciones que oscilan entre 3 % y 12 % (figura 3.1) y donde se presentan bajos o sectores de relieve planocóncavo. En estos suelos se encuentra el 44 % de los cultivos de cacao de la subregión.

Criterios óptimos de las propiedades químicas del suelo para el cultivo de cacao

La figura 3.2 representa los rangos óptimos de las variables químicas del suelo para el establecimiento y la producción del cultivo de cacao en la subregión de La Cordillera.



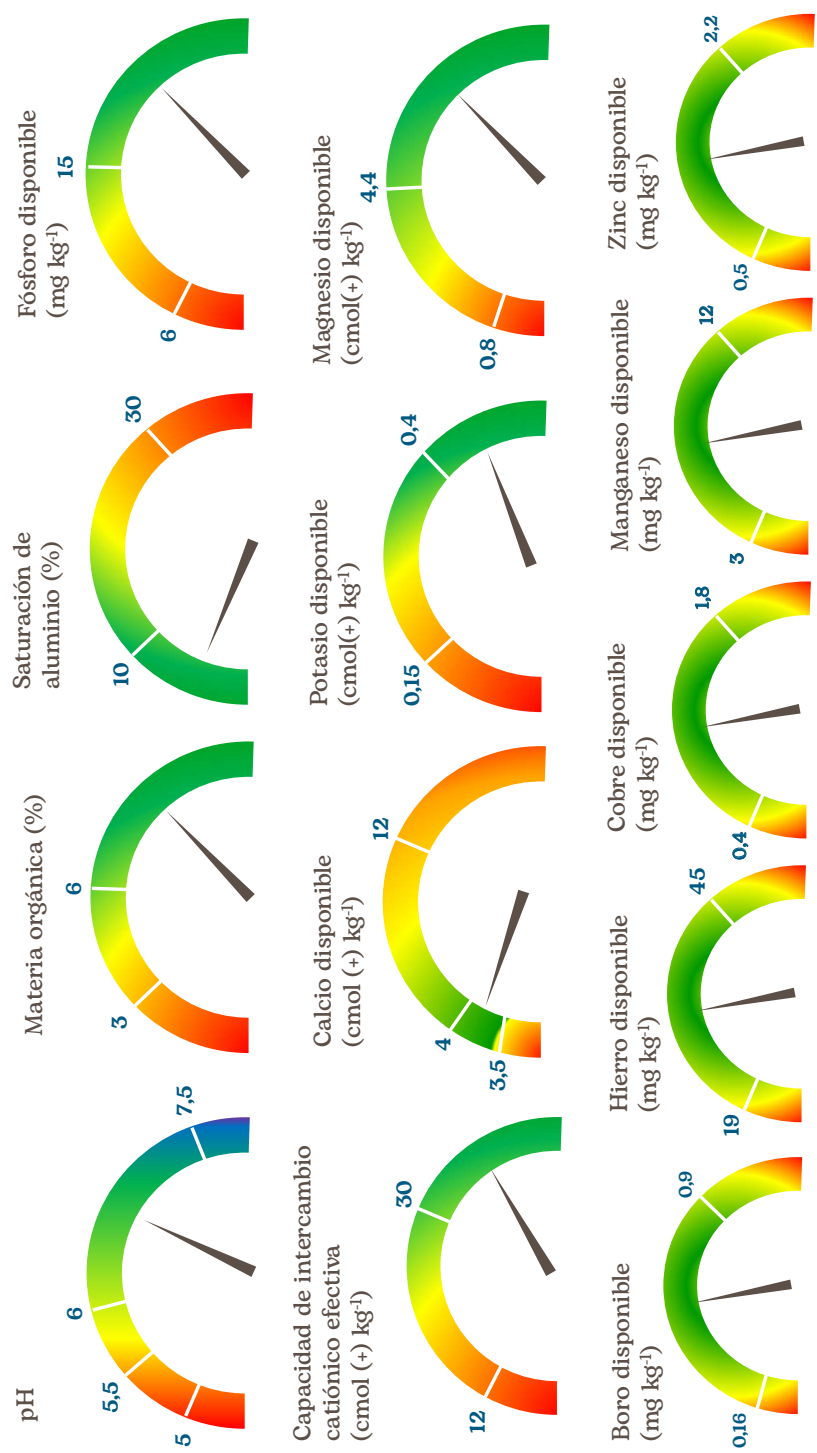


Figura 3.2. Rangos óptimos de las propiedades químicas de los suelos para el establecimiento y la producción de cultivos de cacao en La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

Características químicas de los suelos de los predios cultivados con cacao en La Cordillera nariñense

Entre octubre de 2020 y noviembre de 2021, en el marco del proyecto “Desarrollo de un modelo productivo de cacao bajo en cadmio para la subregión de La Cordillera nariñense”, se hicieron análisis químicos de los suelos para evaluar su fertilidad. Las muestras se tomaron en los primeros 30 cm de profundidad en 189 predios de productores con plantaciones de cacao de más de 12 años y en diferentes etapas fenológicas. A continuación se ilustran los parámetros químicos del análisis.

En la figura 3.3 se observa que del total de fincas muestreadas, el 38,9 % de los suelos tienen un pH entre 6 y 7: rango óptimo para el desarrollo del cultivo de cacao. Por otro lado, en el 55,1 % restante se reportaron valores de pH menores a 6, factor que condiciona la absorción de nutrientes del suelo. Por ello, se sugiere aplicar acondicionadores de suelo que ayuden a corregir el pH (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.4 se observa que del total de fincas muestreadas, solo el 4,8 % de los suelos monitoreados contienen niveles altos de materia orgánica (mayores al 6 %), lo cual contribuye al desarrollo óptimo del cultivo de cacao y a la conservación de los suelos. Por otro lado, el 95,2 % restante contiene menos de 6 % de materia orgánica. Por tal motivo, es necesario aplicar materia orgánica para mejorar las condiciones físicas y biológicas del suelo y mejorar así su fertilidad, productividad y sostenibilidad (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.5 se observa que del total de fincas muestreadas, el 84 % de los suelos monitoreados presentan concentraciones menores a 15 mg kg⁻¹ de fósforo (P) disponible, elemento asociado a pH extremadamente ácidos que afectan el desarrollo óptimo del cultivo de cacao. Generalmente, la deficiencia de fósforo en el suelo genera inconvenientes en el proceso de formación de flores, frutos y granos de cacao: las hojas maduras desarrollan color pálido en los filos y en las puntas y las hojas jóvenes se tornan más pálidas que las venas (Dogbatse et al., 2020).

En el suelo, la saturación de aluminio intercambiable es la responsable del desarrollo de la acidez, la cual puede afectar directa o indirectamente el crecimiento de las plantas (IGAC, 2016). En la subregión de

La Cordillera nariñense (figura 3.6), el 84,2 % de los suelos muestreados presenta una saturación de aluminio menor a 10 %, condición que favorece el desarrollo del cultivo de cacao (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.7 se observa que, del total de fincas muestreadas, el 67 % de los suelos monitoreados presentan concentraciones de calcio (Ca) disponible que oscilan entre 4 y 18 cmol (+) kg⁻¹, valores asociados a pH extremadamente ácidos. En el cultivo de cacao, las deficiencias de Ca en el suelo ocasionan pudriciones apicales en frutos, caída prematura de hojas, muerte de brotes y yemas y afectación del crecimiento radicular (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.8 se observa que del total de fincas muestreadas, el 55,32 % de los suelos monitoreados presentan concentraciones de magnesio (Mg) medias que oscilan entre 0,8 y 4,4 cmol (+) kg⁻¹. En el cultivo de cacao, las deficiencias de Mg en el suelo generan clorosis intervenal y baja concentración de hidratos de carbono por falta de fotosíntesis (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.9 se observa que del total de fincas muestreadas, el 42 % de los suelos monitoreados presentan concentraciones de potasio (K) medias. Estas oscilan entre 0,15 y 0,4 cmol (+) kg⁻¹. En el cultivo de cacao, las deficiencias de K en el suelo generan amarillamiento del borde, inclinan las hojas hacia dentro, impiden el llenado adecuado de las mazorcas y afectan su sabor y generan entrenudos cortos (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.10 se observa que el 76,47 % de suelos monitoreados presentan concentraciones bajas de boro (B), factor que afecta el desarrollo óptimo del cultivo, pues están por debajo de 0,16 mg kg⁻¹ (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.11 se observa que del total de fincas muestreadas, el 68,6 % de los suelos monitoreados presentan concentraciones de hierro (Fe) altas (> 45 mg kg⁻¹). En el cultivo de cacao, el exceso de hierro en el suelo genera competencia en la asimilación de manganeso (Mn), molibdeno (Mo), B, P y azufre (S) (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.12 se observa que del total de fincas muestreadas, el 83 % de suelos monitoreados tienen concentraciones de cobre (Cu) altas (> 1,8 mg kg⁻¹). En el cultivo de cacao, el exceso de Cu en el suelo genera competencia en la asimilación de Mn, K, P, Fe y zinc (Zn) (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.13 se observa que del total de fincas muestreadas, el 64,4 % de suelos monitoreados presentan concentraciones de manganeso (Mn) medias, las cuales oscilan entre 3 y 12 mg kg⁻¹. En el cultivo de cacao, la deficiencia de Mn en el suelo genera clorosis intervenal y quemazón en hojas jóvenes (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).

En la figura 3.14 se observa que, para la subregión de La Cordillera nariñense, el 87,8% de suelos monitoreados presentan concentraciones de zinc (Zn) medias (0,5 - 2,2 mg kg⁻¹). En el cultivo de cacao, las deficiencias de Zn en el suelo ocasionan deformación y retraso en la planta, tallos cortos y delgados y arrosamiento en hojas jóvenes (Batista, 2015; Lichtfouse, 2016).



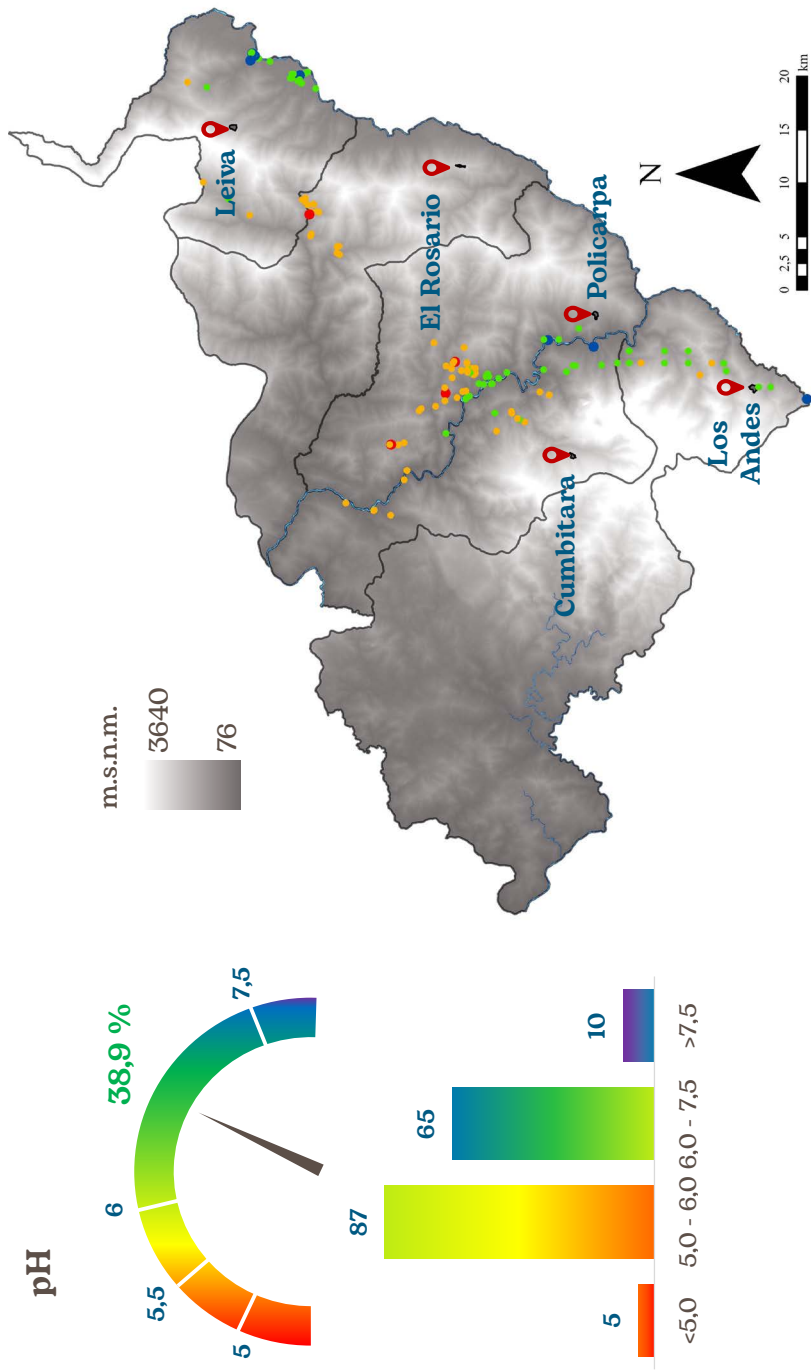


Figura 3.3. Distribución espacial del pH en el suelo de los predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

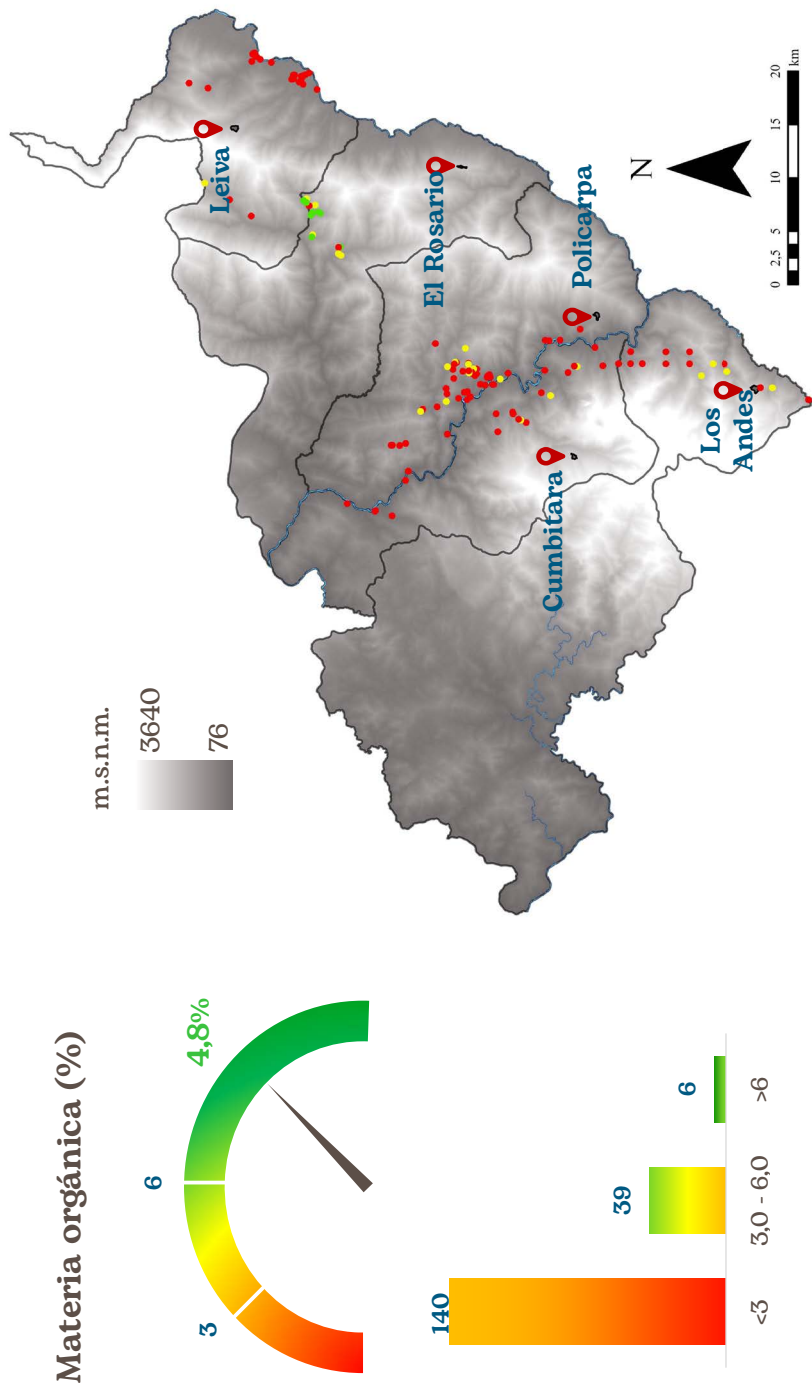


Figura 3.4. Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

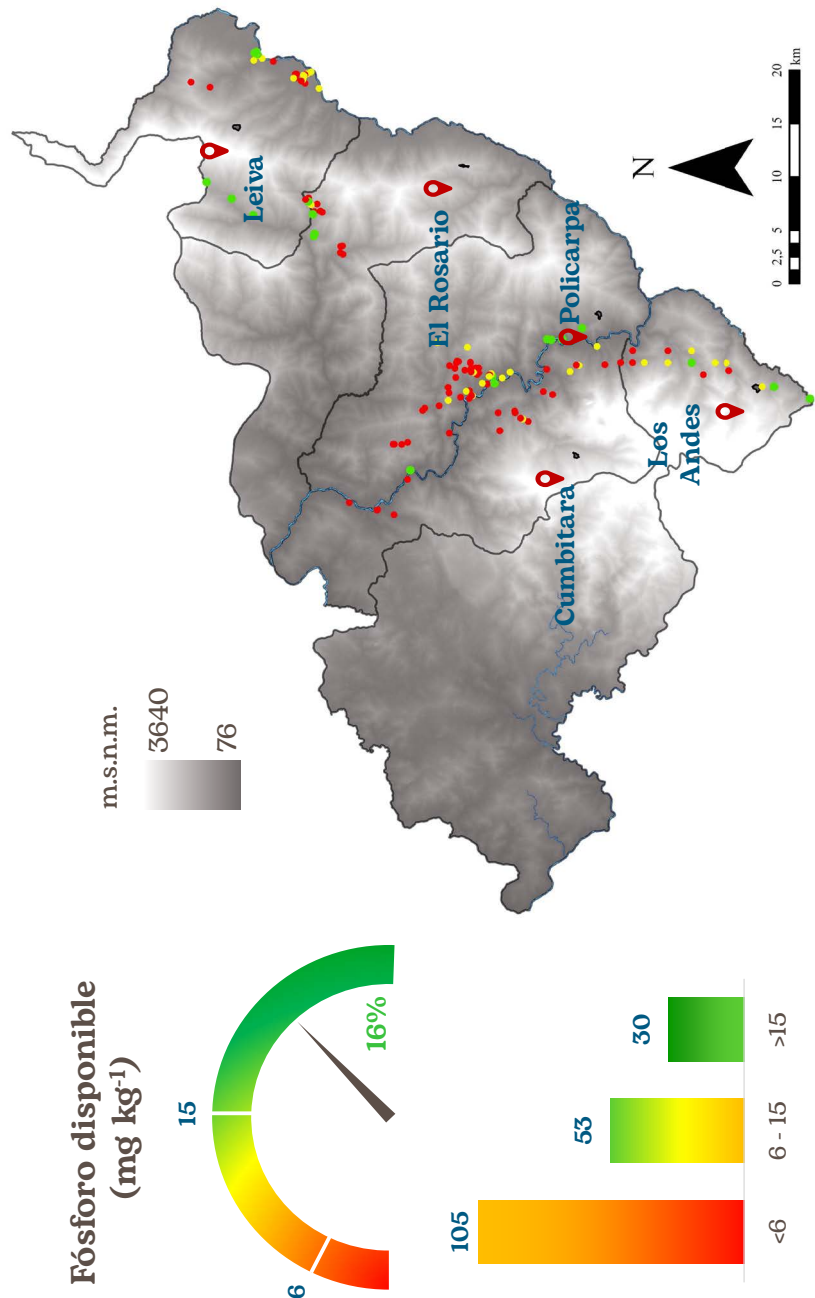


Figura 3.5. Distribución espacial de la disponibilidad de fósforo en los suelos en predios cacaoteros en La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

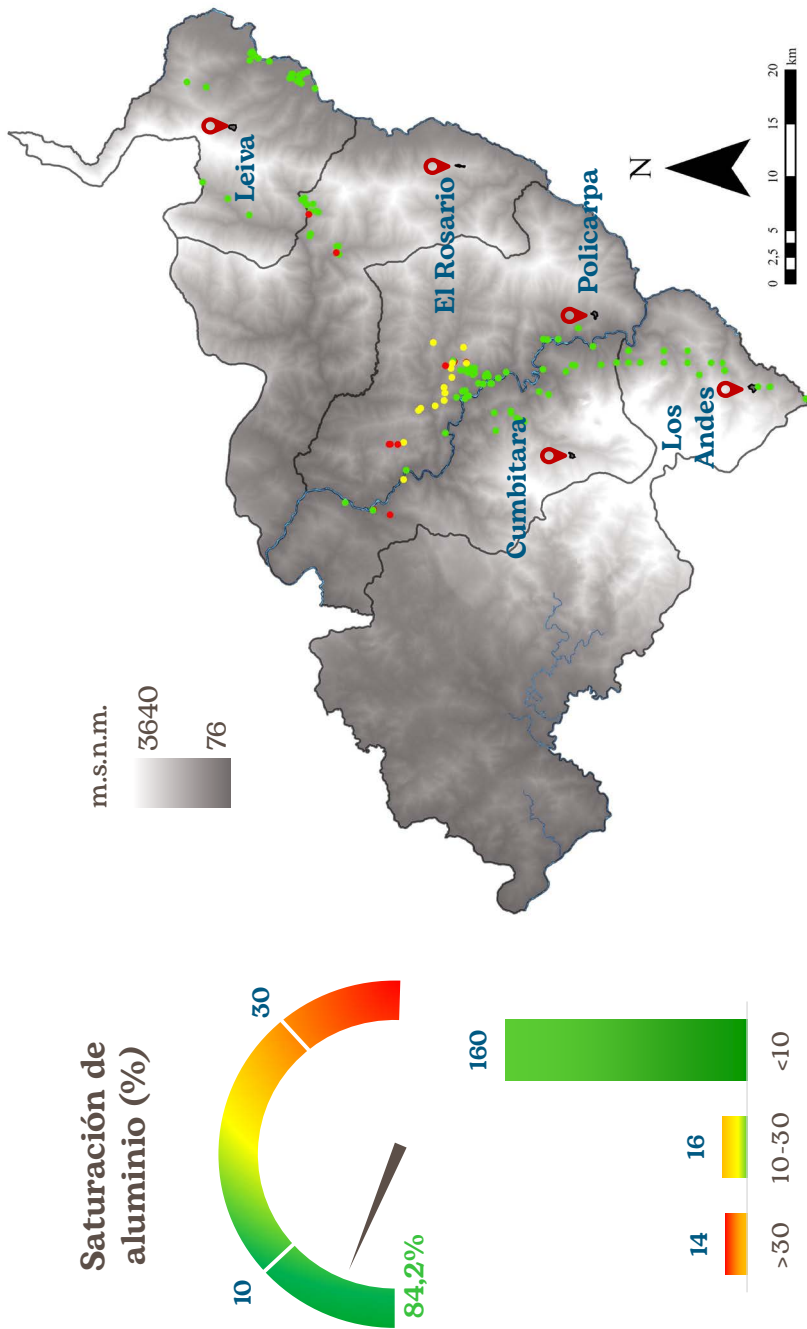


Figura 3.6. Distribución espacial del porcentaje de saturación de aluminio de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

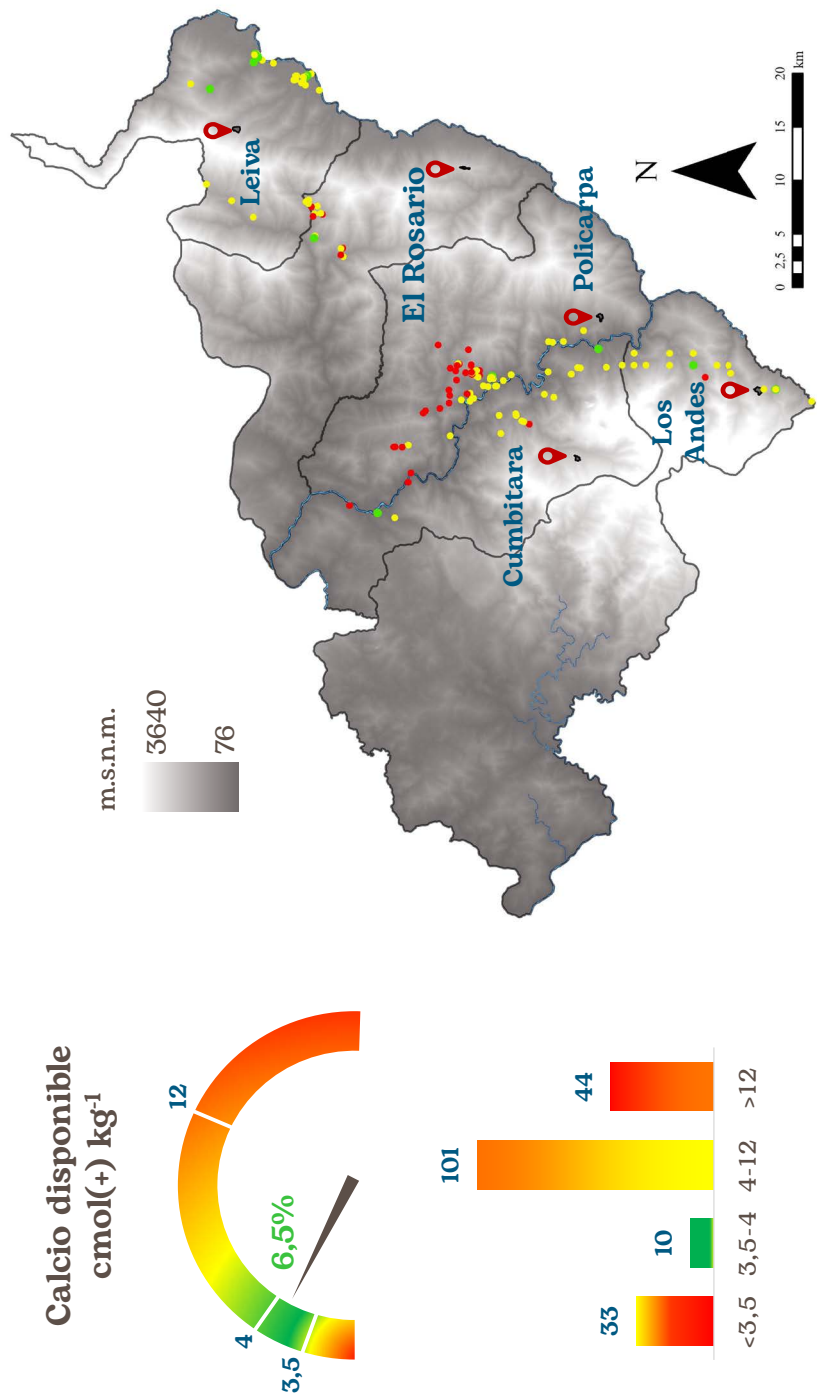


Figura 3.7. Distribución espacial de la disponibilidad de calcio de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

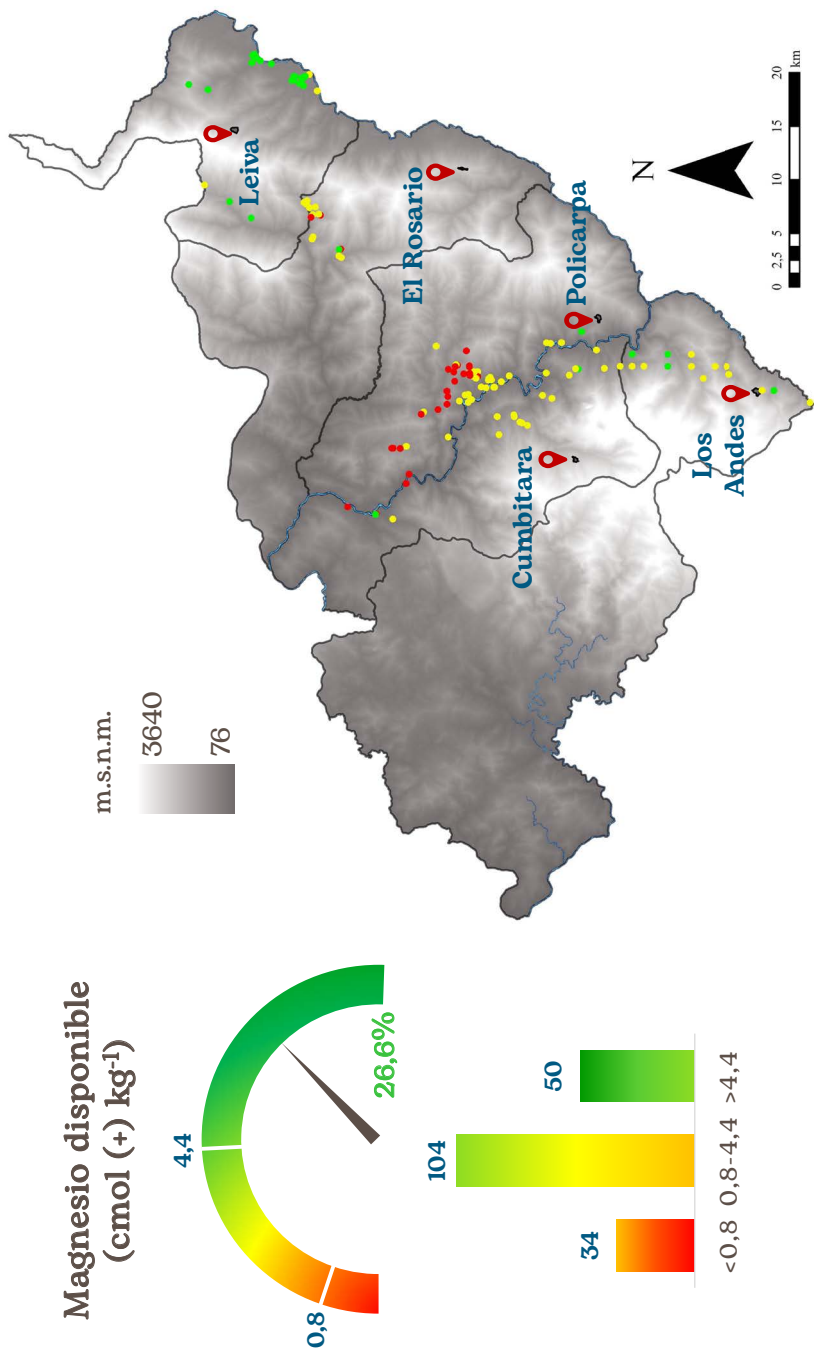


Figura 3.8. Distribución espacial de la disponibilidad de magnesio de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

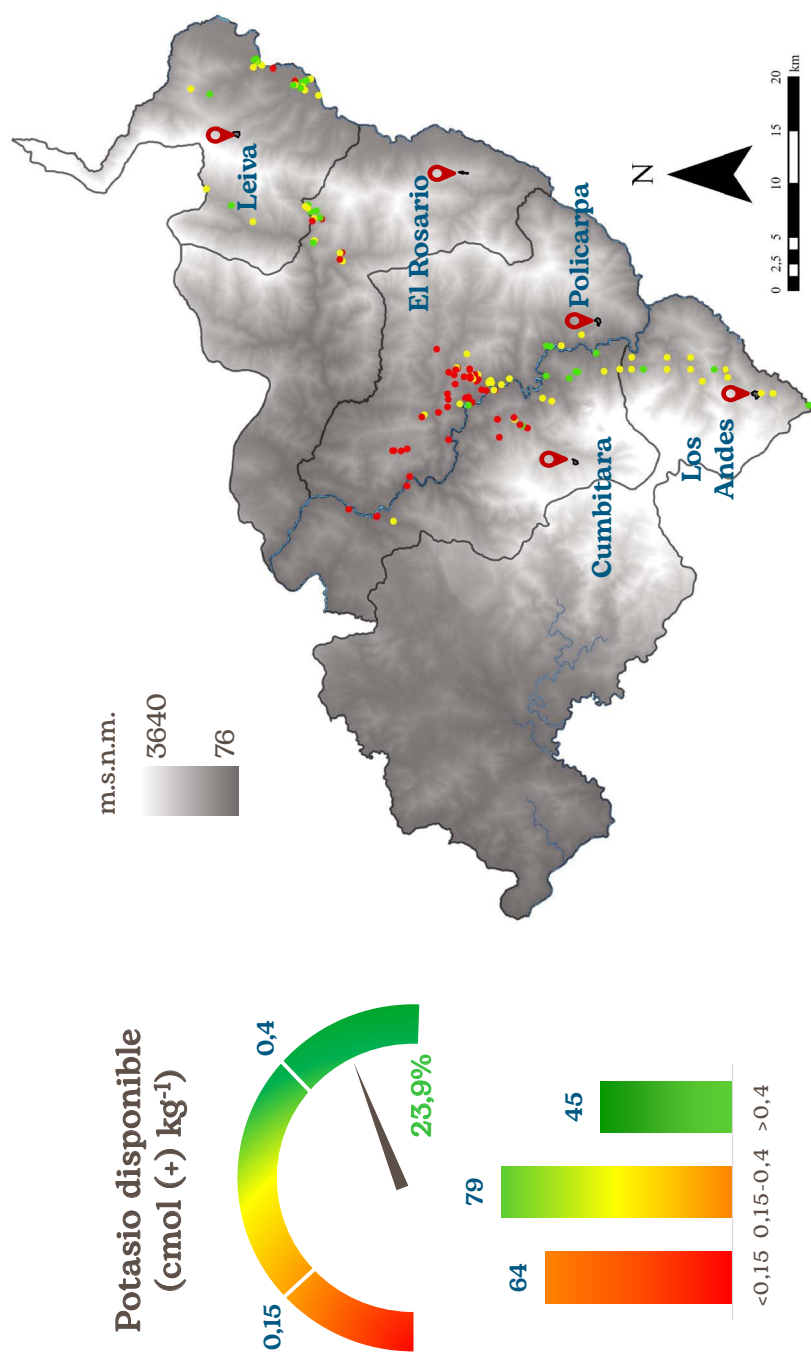


Figura 3.9. Distribución espacial de la disponibilidad de potasio de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.
Fuente: Elaboración propia

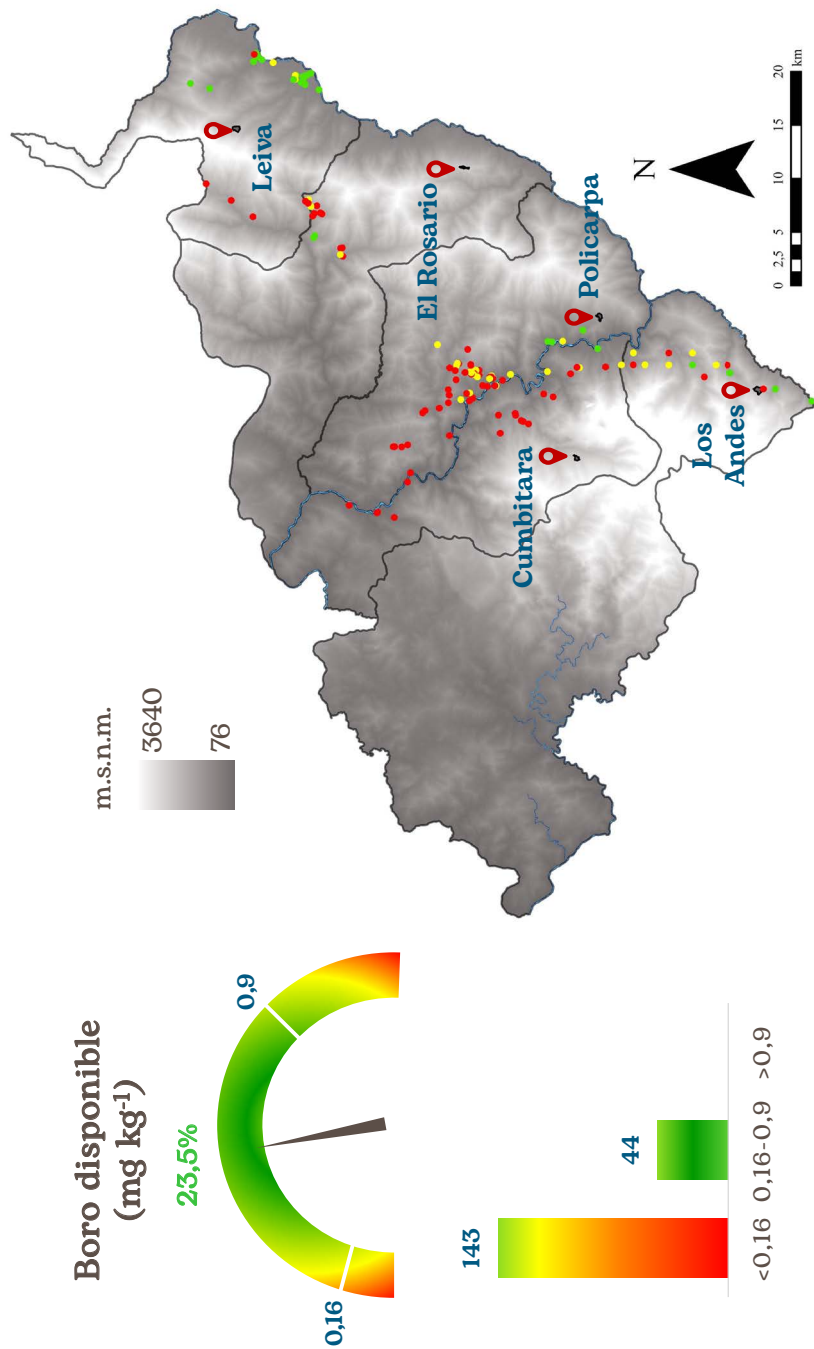


Figura 3.10. Distribución espacial de la disponibilidad de boro de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

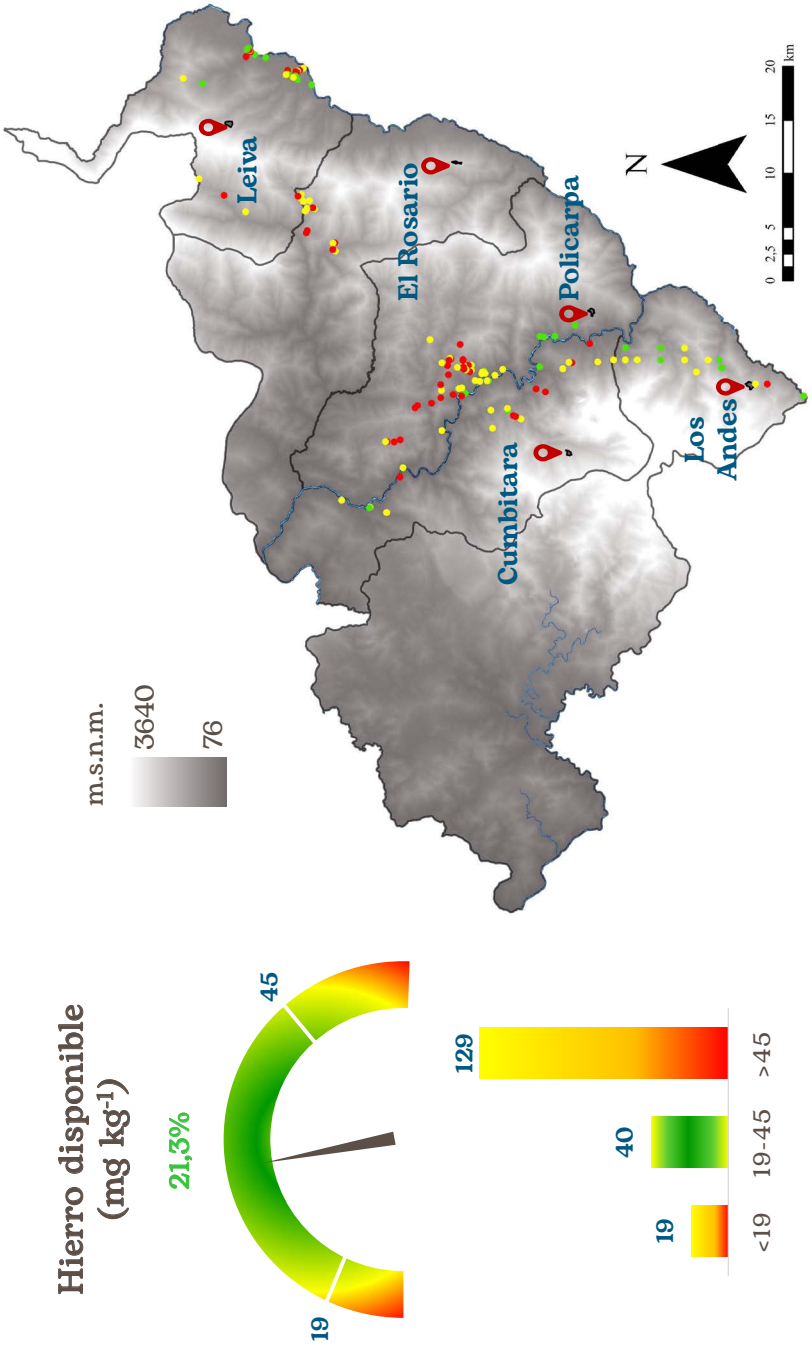


Figura 3.11. Distribución espacial de la disponibilidad de hierro de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

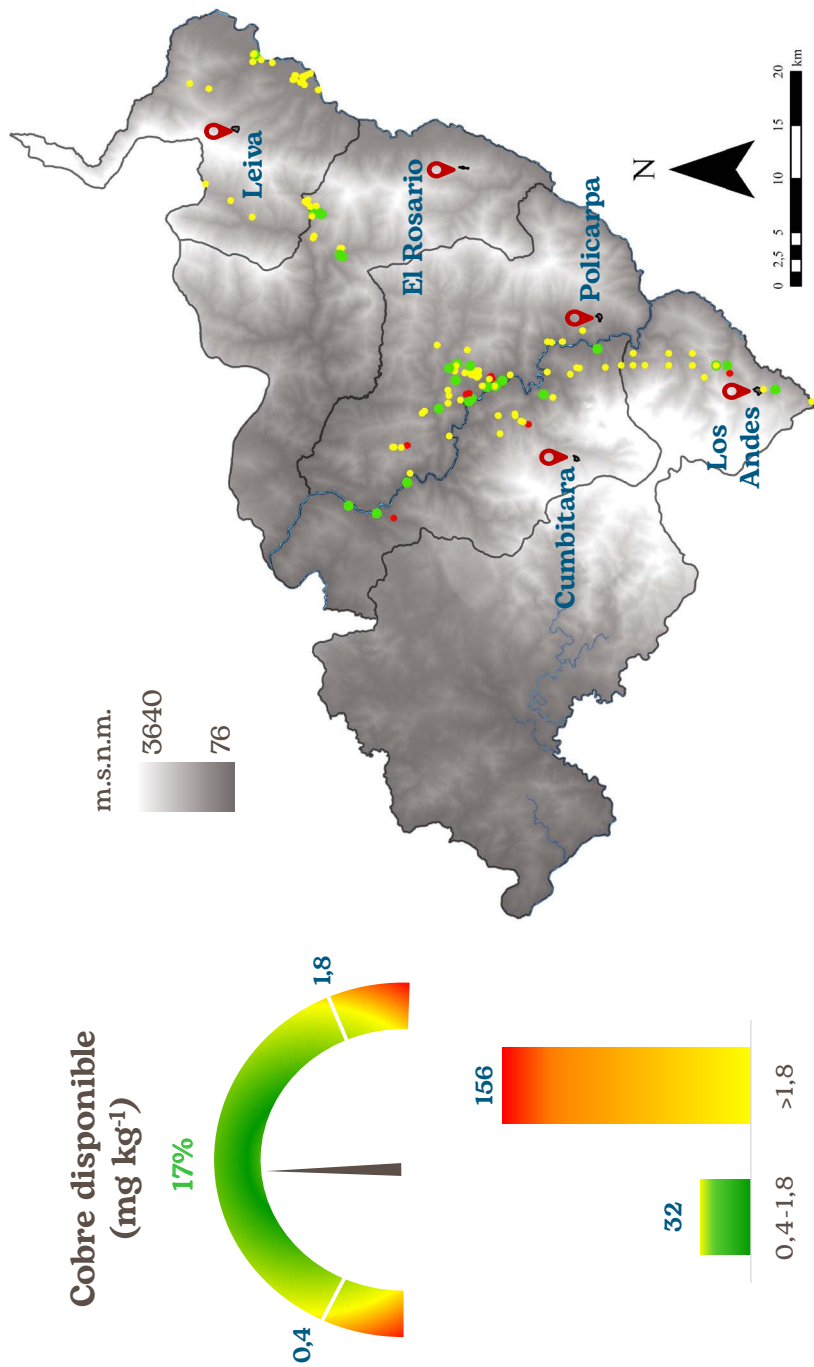


Figura 3.12. Distribución espacial de la disponibilidad de cobre de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

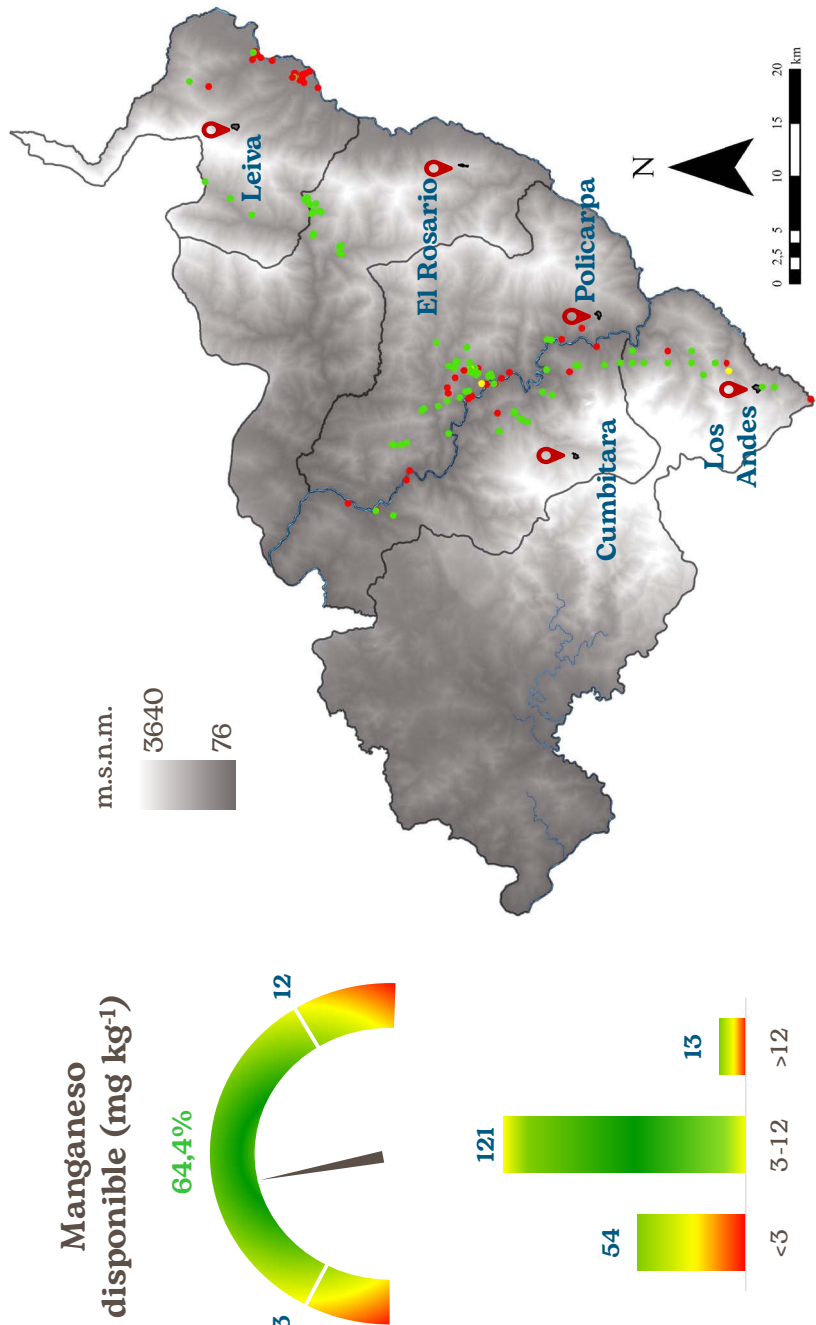


Figura 3.13. Distribución espacial de la disponibilidad de manganeso de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

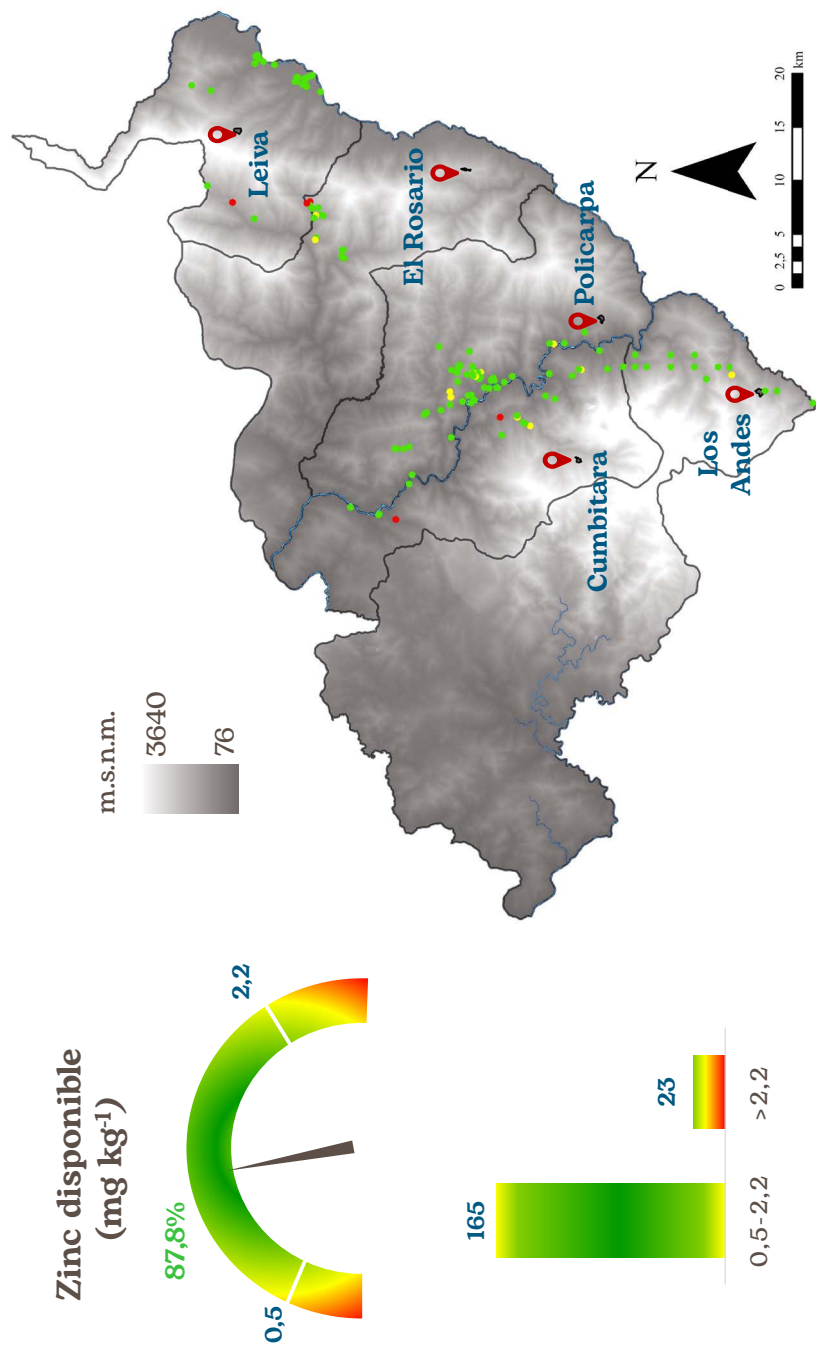


Figura 3.14. Distribución espacial de la disponibilidad de zinc de los suelos en predios cacaoteros de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

Estudios realizados por Batista (2009), Enríquez (1985) y Snoeck et al. (2016) definen los principales requerimientos del cultivo de cacao en función de las propiedades químicas del suelo. Estos fueron organizados en clases de acuerdo con las restricciones que se presentan. Teniendo en cuenta lo anterior, se establecieron cuatro categorías para clasificar su incidencia en el desarrollo del cultivo: supremamente apta, moderadamente apta, marginalmente apta y no apta. Para la subregión de La Cordillera se detallan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Descripción de requerimientos químicos del suelo para el cultivo de cacao y su estado actual en la subregión de La Cordillera

Parámetros químicos del suelo	Unidad	Subregión de La Cordillera nariñense		Clases			
		Rango	Promedio	No apta	Marginalmente apta	Moderadamente apta	Supremamente apta
Acidez	pH	4,7 - 8	6,13	> 7,5 y < 5	6 - 7,5		5 - 6
Materia Orgánica (MO)	g 100g ⁻¹	0,3 - 11,8	2,63	< 3	3 - 6		> 6
Fósforo (P) disponible (Bray II)	mg kg ⁻¹	1,3 - 637	14,64	< 6	6 - 15		> 15
Capacidad Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)	cmol (+) kg ⁻¹	1,7 - 50,4	15,64	< 12	12,1 - 30		> 30,1
Boro (B) disponible	mg kg ⁻¹	0,01 - 0,9	0,13	< 0,16 y > 0,90	0,16 - 0,90		
Calcio (Ca) disponible	cmol (+) kg ⁻¹	0,3 - 37,2	8,96	< 3,5 y > 12	4 - 12		3,5 - 4
Magnesio (Mg) disponible	cmol (+) kg ⁻¹	0,1 - 13,9	3,31	< 0,8	0,8 - 4,4		> 4,4
Potasio (K) disponible	cmol (+) kg ⁻¹	0,09 - 1,9	0,29	< 0,15	0,15 - 0,4		> 0,4
Hierro (Fe) Olsen disponible	mg kg ⁻¹	5 - 249,3	76,09	< 19 y > 45	19 - 45		

[Continúa]

[Continuación]

Parámetros químicos del suelo	Unidad	Subregión de La Cordillera nariñense		Clases			
		Rango	Promedio	No apta	Marginalmente apta	Modernamente apta	Supremamente apta
Cobre (Cu) Olsen disponible	mg kg ⁻¹	1 - 19,2	3,70	< 0,4 y > 1,8	0,4 - 1,8		
Manganeso (Mn) Olsen disponible	mg kg ⁻¹	1 - 33,2	5,50	< 3 y > 12	3 - 12		
Zinc (Zn) Olsen disponible	mg kg ⁻¹	1 - 22	1,70	< 0,5 y > 2,2	0,5 - 2,2		
Exceso de aluminio	% saturación	1 - 22	1,70	> 30	10 - 30		< 10

Fuente: Elaboración propia

Alternativas de uso y manejo para la conservación de los suelos

En la subregión de La Cordillera, los suelos donde se establecieron plantaciones de cacao son susceptibles a deteriorarse debido a las altas pendientes. Para prevenir esta situación, se recomienda la implementación de labores de manejo agronómico que garanticen la sostenibilidad del suelo y tengan en cuenta su estado y oferta natural.

A continuación se describen una serie de recomendaciones para garantizar la sostenibilidad del suelo:

- » Reducir o eliminar la quema de los residuos de cosecha.
- » Incorporar abonos verdes y usar biofertilizantes.
- » Sembrar siguiendo las curvas de nivel y no a favor de la pendiente.
- » Conservar la cobertura vegetal para disminuir la escorrentía por la lluvia.
- » Aportar materia orgánica o *mulch*.
- » Proteger el ecosistema natural y las rondas hídricas.

Problemática del cadmio (Cd) en los cultivos de cacao



Introducción

El cadmio (Cd) es un metal traza altamente tóxico para los seres vivos (Hernández-Baranda et al., 2019) que se distribuye en los suelos del mundo (McLaughlin & Singh, 1999). El Cd está presente en el suelo desde hace millones de años y su presencia depende de la roca (volcánica y sedimentaria) que dio origen a la cordillera o al suelo (origen geológico o geogénesis). En la corteza terrestre, la concentración promedio de cadmio es de $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (He et al., 2015). Según Alloway (2013), las concentraciones de origen geogénico en suelos, generalmente, no superan 1 mg kg^{-1} de Cd. En suelos no contaminados, la concentración de Cd está condicionada por su presencia en el material parental, por los procesos de meteorización y por el transporte y deposición de sedimentos provenientes del agua de los ríos. En relación con el material parental que forma el suelo, los provenientes de rocas ígneas suelen presentar bajos contenidos de Cd. Por su parte, los derivados de rocas metamórficas tienen un contenido intermedio y los de rocas sedimentarias, una alta concentración (He et al., 2015), lo que las convierte en una fuente importante de este contaminante en el suelo.

Cabe destacar que la presencia de Cd en los suelos, las aguas y el aire se debe también a las actividades humanas (origen antropogénico). Así pues, actividades agrícolas, industriales y mineras cercanas al cultivo de cacao pueden ser las principales fuentes de contaminación. A este respecto, dentro de las principales fuentes se identificaron los fertilizantes fosfatados provenientes de material sedimentario, el agua de riego con altos contenidos de Cd, la actividad volcánica, la actividad minera y la quema de combustibles fósiles (figura 4.1).

Los fertilizantes fosfatados son los principales contaminantes de los suelos agrícolas debido a que las rocas fosfatadas de origen sedimentario con que se fabrican presentan concentraciones de Cd entre 150 a 300 mg kg^{-1} (Chaney, 2012; Roberts, 2014). Por otro lado, las fuentes hídricas que pasan por áreas donde hay altas concentraciones de Cd pueden aportar este elemento a las áreas agrícolas a través de las aguas superficiales o subterráneas (Chavez et al., 2015). Asimismo, el Cd puede proceder del proceso de meteorización del lecho rocoso del río (Sun et al., 2010). Además, investigaciones recientes

han demostrado que la deposición de sedimentos originada por el desbordamiento de los ríos es una fuente de Cd en la capa superior del suelo (Gramlich et al., 2018). Finalmente, las emisiones de Cd a la atmósfera provienen principalmente de las industrias de petróleo y gas, de la incineración de desechos, de la producción de acero, cemento y hierro y de los procesos industriales de la minería (Sanchez, 2016). Adicionalmente, se ha mencionado que el Cd proveniente de la deposición atmosférica se acumula en el humus del suelo. Sin embargo, hasta la fecha no hay evidencia científica que soporte que las emisiones atmosféricas provenientes de las actividades industriales generen una alta concentración de Cd en los granos de cacao habida cuenta de que la mayoría de las plantaciones de este cultivo en el mundo no se establecen cerca de zonas industriales.



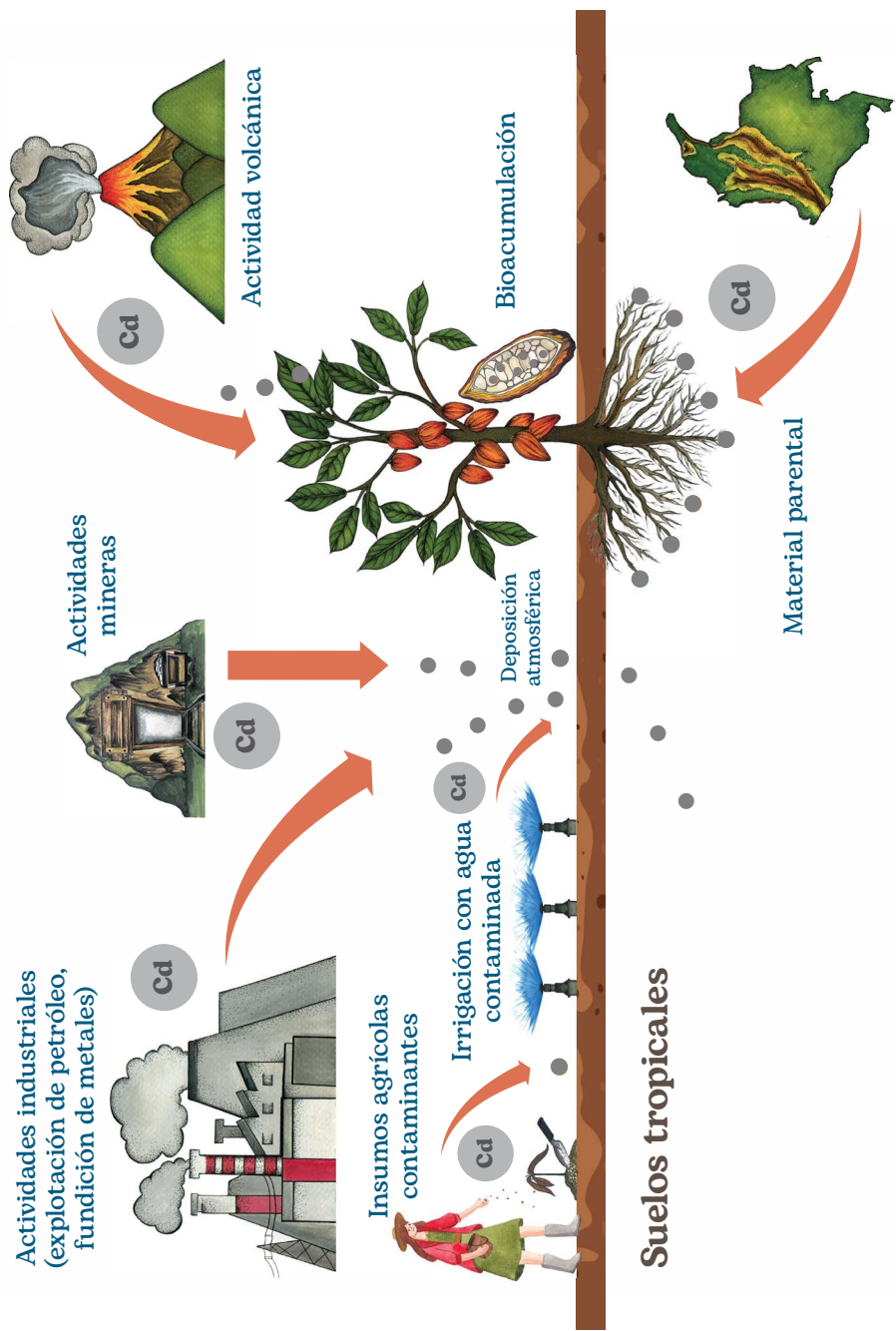


Figura 4.1. Posibles fuentes de cadmio.

Fuente: Elaboración propia

En los últimos años, las investigaciones sobre la presencia de Cd en suelos destinados a la agricultura ha tomado gran importancia, debido a que este elemento puede transferirse del suelo o del ambiente circundante al cultivo y de ahí al ser humano (McLaughlin & Singh, 1999), lo cual puede ocasionar graves enfermedades (Harrison, 2001). De acuerdo con la Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades, el Cd se encuentra en la lista de los metales pesados más peligrosos dado el grado de intoxicación que origina. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha calificado al Cd como agente carcinógeno de tipo I, lo cual implica que existe suficiente evidencia de los efectos carcinogénicos en humanos. Este elemento se acumula principalmente en los riñones, y su tiempo de vida medio biológico en humanos es de 10 a 35 años (Unión Europea, 2014).

Estudios realizados por Dahiya et al. (2005) y Jalbani et al. (2009) arrojaron evidencia significativa sobre la presencia de elementos traza de metales pesados como el Cd en productos derivados como el chocolate, lo cual implica que la materia prima (granos de cacao, sólidos de cacao y manteca de cacao) estaba contaminada con este elemento. Así las cosas, el consumo de estos alimentos puede afectar la salud de los consumidores, en particular la de los niños.

En los árboles de cacao, el Cd es absorbido y bioacumulado, lo que da como resultado niveles inaceptablemente altos en los granos de cacao que requieren medidas para reducir su concentración. Diferentes estudios desarrollados en suelos con cultivos de cacao en América Latina y el Caribe demuestran que las mayores concentraciones de Cd se presentan en las capas superiores del suelo y disminuyen conforme aumenta la profundidad (Barraza et al., 2017; Gramlich et al., 2017; Rodríguez-Albarrcín et al., 2019). Algunas investigaciones realizadas en suelos agrícolas muestran que la aplicación de fertilizantes fosfatados es una posible fuente de contaminación por Cd, por lo que reducir la utilización de este tipo de fuentes puede limitar el impacto de esta sobre las plantaciones de *T. cacao* (Gramlich et al., 2018). En otras investigaciones se determinó que la concentración de Cd en los suelos con plantaciones de cacao varía significativamente a lo largo de diferentes sustratos geológicos: es más alto en suelos aluviales originados por material sedimentario. Adicionalmente, otros factores que influyen en el contenido

de Cd en el suelo son la actividad volcánica, los incendios forestales y las partículas del suelo arrastradas por el viento (Argüello et al., 2019; Gramlich et al., 2018). Finalmente, en Colombia también hay estudios que demuestran la presencia de este contaminante y que llegan a conclusiones similares a las de los trabajos previamente citados (Bravo et al., 2021; Joya- Barrero 2021; Rodríguez-Albarracín, 2019).

Debido a la problemática que ocasiona la presencia de Cd en el cacao, a partir de 2019 entró en vigor la reglamentación de la Unión Europea (2014) que establece los niveles máximos permisibles de Cd en diferentes productos de cacao. Dicha reglamentación impactó el mercado cacaotero y aumentó la preocupación del gremio por las posibles restricciones de comercialización del cacao colombiano en el mercado internacional por exceder los niveles de Cd; no puede perderse de vista que la presencia de este metal pesado en los granos de cacao limita las exportaciones de este producto.

En el mundo existen diferentes entes reguladores de la concentración de este tipo de contaminantes que, en general, definen los niveles máximos (NM). Este parámetro —basado en datos derivados de las Buenas Prácticas Agrícolas— da cuenta de los niveles máximos de contaminantes expresados en mg kg^{-1} . Además, como su nombre lo indica, establece las concentraciones máximas permitidas legalmente en los alimentos (Comisión del Codex Alimentarius 2019). Los alimentos derivados de fuentes contaminadas que cumplen con los NM establecidos se consideran toxicológicamente aceptables. Esto significa que cualquier producto que cumpla con esos niveles puede ser consumido por una persona toda su vida sin que ello le cause ningún daño.

Cabe destacar que los NM pueden variar por país o región, ya que son varios los factores que influyen en la determinación de estos niveles. Dentro de dichos factores destacan la concentración y acumulación de estos elementos tóxicos, que depende de la ingesta del consumo de los alimentos en una población dada, en suma, un mayor consumo de alimentos con altas concentraciones de contaminantes provoca una mayor acumulación en los seres vivos. Así, por ejemplo, mientras que los colombianos consumen entre 0,3 y 0,8 kilos de chocolate por persona, los franceses consumen 7 kilos en promedio, lo cual ha repercutido en que estos países tengan niveles máximos permisibles más bajos para Cd que disminuyen el riesgo de acumulación.

Teniendo en cuenta que los niveles están definidos para el chocolate y los derivados del cacao y que aún no existe una normatividad específica para los granos, los compradores aplican los mismos niveles para la materia prima con el fin de cumplir con la normatividad. Esta situación pone en riesgo las exportaciones de granos de cacao de países como Colombia y afecta al gremio de los productores, que en su mayoría son pequeños. Asimismo, restringe el uso del cacao como plantación sustitutiva de cultivos ilícitos, lo que implica su subutilización como alternativa para los agricultores víctimas del conflicto armado.

A pesar de lo anterior, se debe tener en cuenta que la biodisponibilidad del Cd depende de las características químicas, biológicas y físicas del suelo, así como de los factores agronómicos, las condiciones edafoclimáticas y los cultivares. Estas variables son ventajosas para Colombia debido a su gran biodiversidad de suelos (IGAC, 2016), de materiales genéticos (Osorio-Guarín et al., 2017) y de zonas productivas (León-Moreno et. al., 2019). Por ello, es imperativo realizar estudios en los que se tomen muestras y se construyan mapas en zonas específicas para determinar la presencia de este contaminante: tanto en suelos como en los granos de cacao y sus productos derivados. No puede perderse de vista que, en el caso de las exportaciones, determinar los niveles de Cd en el grano es un requisito básico e indispensable para comercializar el cacao y sus derivados en el exterior.

Delimitación de la problemática del cadmio en fincas de cacao

Para determinar si el Cd constituye un factor a contemplar en la producción de cacao en fincas de un área específica, se debe diseñar una estrategia de muestreo adecuada que permita evaluar la presencia de este contaminante. En el proyecto “Desarrollo de un modelo productivo de cacao bajo en cadmio para la subregión de La Cordillera nariñense” se recurrió a la secuencia presentada en la figura 4.2.

Se realizó un censo de productores de la zona gracias al cual se caracterizó rápidamente el sistema productivo. El cuestionario incluyó aspectos como el tamaño de la producción, la localización geográfica, la altitud, la edad de la plantación, el tipo de materiales, el manejo de

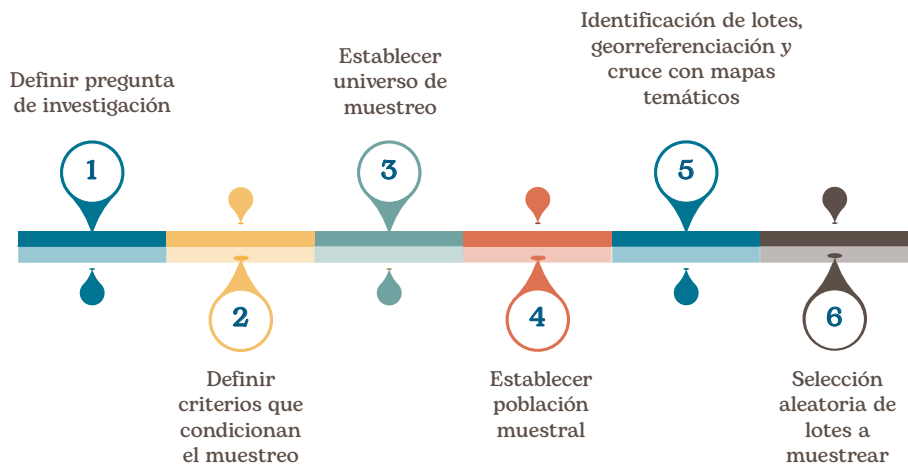


Figura 4.2. Secuencia de pasos que se usaron para el diseño de la estrategia en el proyecto de La Cordillera.

Fuente: Elaboración propia

la fertilización, el tipo de riego y rendimiento, entre otras variables. Estos aspectos fueron empleados en la formulación conjunta de la pregunta de investigación.

Para definir la pregunta de investigación, se tuvo en cuenta que la bioacumulación de Cd en los granos de cacao depende de múltiples factores que interactúan entre sí: la capacidad de bioacumulación del material genético de cacao, el tipo de material parental, la cercanía a fuentes de contaminación, la adición de enmiendas, la edad de la plantación, entre otros (Barraza et al., 2017). Por ello, es necesario plantear una pregunta de investigación en función de los actores involucrados y del objetivo y alcance de esta. La medición de Cd en el sistema productivo de cacao puede responder a interrogantes como: ¿Cuál es la incidencia de la contaminación por Cd en granos de cacao en un área geográfica? ¿Cuál es la dinámica de la contaminación por Cd en cacao? ¿Cuáles son las fuentes del contaminante? ¿Cuánto se transloca desde el suelo a las diferentes estructuras de la planta? ¿Cuál es la respuesta de diferentes materiales genéticos a la contaminación geogénica y antropogénica con Cd? ¿Qué estrategias de manejo del cultivo son efectivas para mitigar la contaminación con Cd?

Para definir la población sobre la que se realizará el muestreo, se deben establecer condiciones para incluir o excluir un lote de cacao del análisis. Estas condiciones dependen de las preguntas que se quieren responder, así como de otras restricciones logísticas para la definición de la población, por ejemplo, los criterios de inclusión de beneficiarios en un proyecto (solo se incluyen productores con lotes de al menos 400 árboles de cacao). En el caso de La Cordillera nariñense, la producción de cacao tiene lugar en zonas de piedemonte y ladera, en alturas comprendidas entre los 200 y 1.400 m s. n. m., por lo que lo ideal sería estratificar el muestreo por franja altitudinal (de 0 a 400; de 401 a 800 y de 801 a 1.400 m s. n. m.). Adicionalmente, se debería considerar el material parental de los suelos, ya que se ha determinado que dependiendo de su origen puede haber concentraciones más altas de Cd (McLaughlin & Singh, 1999).

También es necesario definir el universo de muestreo, el cual corresponde a todos los lotes de producción de cacao establecidos en un área geográfica determinada. Como insumo inicial se debe consultar la información de las evaluaciones agropecuarias y esta se debe verificar con los funcionarios de las Secretarías de Agricultura Municipal y las oficinas con esta función en cada uno de los municipios. Algunos proyectos han efectuado censos de productores cuyo criterio ha sido el número total de beneficiarios incluidos dentro de las actividades de una propuesta específica. Para este caso, el universo de muestreo corresponde a los productores de cacao beneficiarios del proyecto que lidera Ayuda en Acción de cacao en la subregión de La Cordillera.

De todos los lotes que conforman el universo de muestreo, se seleccionarán aquellos que cumplan con los criterios establecidos como condicionantes. A partir de allí, se consolidará una base de datos que contenga toda la información de cada lote y que puede ser utilizada para indexar la información en el futuro.

Para facilitar la identificación de los lotes que cumplen con los criterios, es necesario contar con la georreferenciación y su visualización en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto permite cruzar la localización de los lotes con mapas temáticos de unidades de suelo, franjas altitudinales y distribución espacial de los materiales de siembra. Además, se pueden considerar criterios adicionales, como, por

ejemplo, la edad de la plantación o el tipo de material genético. En todo caso, si se tiene en cuenta la estratificación del muestreo, se debe contemplar un mayor número de muestras para garantizar su representatividad. Para el caso del proyecto de La Cordillera, la información que se consolidó contempló la identificación del lote, el municipio, las coordenadas geográficas, la unidad de suelos, la altitud y el rango altitudinal. En la figura 4.3 se muestra el mapa del área de estudio.

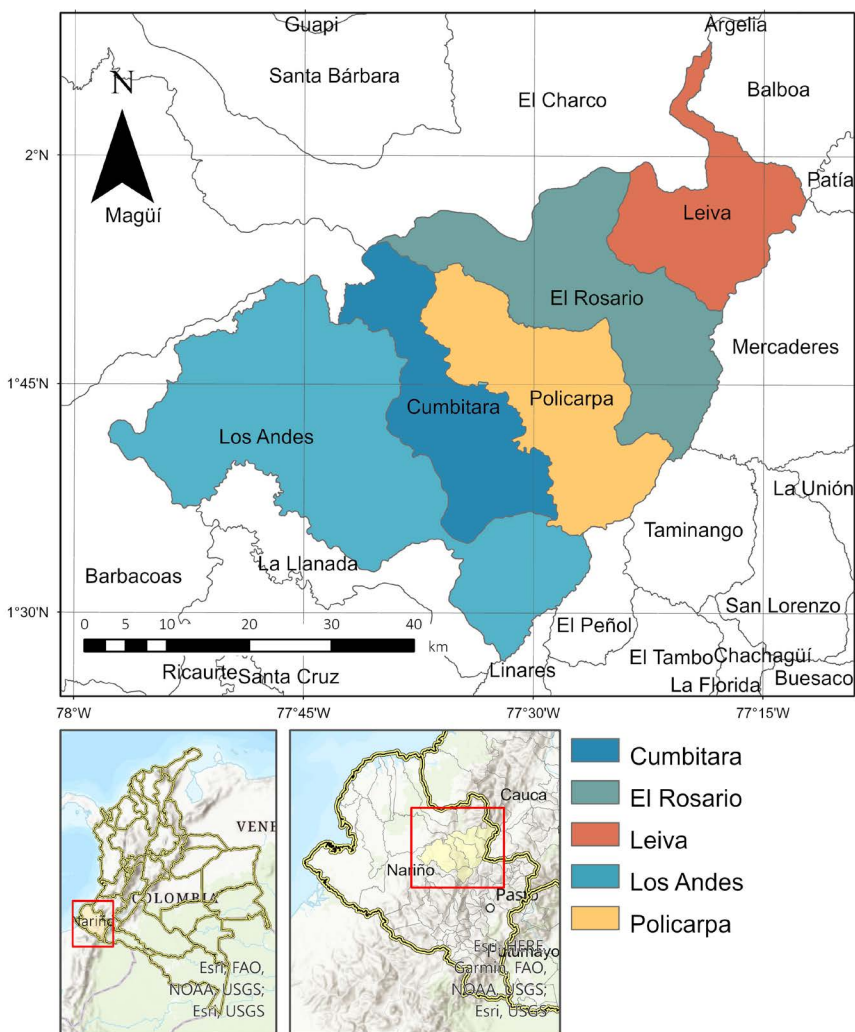


Figura 4.3. Mapa del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

El interés de este muestreo fue tomar una muestra aleatoria que permitiera cuantificar la proporción de cacaoteros beneficiarios del programa Ayuda en Acción que se incluirían en La Cordillera y determinar los niveles de Cd en sus suelos y en los granos de cacao que puedan estar por encima de los estándares internacionales aceptados para la producción de cacao. Para esto se puede determinar un tamaño de muestra n usando la ecuación 4.1:

$$n \geq \frac{Z^2 \times N_B \times P \times (1 - P)}{[\epsilon^2 \times (N_B - 1)] + [Z^2 \times N_B \times P \times (1 - P)]}$$

Ecuación 4.1. Fórmula para determinar el tamaño de muestra donde Z es el valor crítico absoluto de una distribución normal estándar, con un nivel de significancia estadística de $100 \times (1 - \alpha)\%$, N_B es el total de beneficiarios, ϵ es el margen de error a tolerar en la medición, y P es la proporción esperada de las fincas que tendrán niveles de cadmio por encima del nivel de tolerancia para seguridad alimentaria.

Dada la ausencia de estudios representativos con información sobre la proporción de fincas con tal condición, al momento de hacer este muestreo orientado a medir una proporción, se asumirá un $P = 0,5$, con lo que se supone un máximo nivel de varianza ($P \times (1 - P)$). Con esto, se garantiza que la muestra cumpla con el tamaño para detectar apropiadamente la proporción real de afectados (esté por encima o por debajo de ese umbral del 50 %) (Levy & Lemeshow, 2011).

Por ejemplo, si se considera necesario establecer una muestra aleatoria de lotes en una zona en la que interesa conocer las diferencias entre dos materiales, que a su vez se encuentran establecidos en dos unidades de suelos, por cada combinación de factores se debe establecer el número total de lotes y, posteriormente, aplicar la ecuación 4.1 para definir el tamaño de muestra.

Para el muestreo de Cd en cuatro de los municipios de La Cordillera, se contó con un total de 211 productores con la georreferenciación de los lotes y en la medida de lo posible la identificación de los materiales genéticos. Esta población se tomó como el universo de muestreo. Además, cuando se condicionó el muestreo a los dos materiales de uso

común en la región (CCN51 e ICS95) y a los dos órdenes de suelo predominantes (andisoles e inceptisoles), la población se redujo a 195 lotes que cumplieran con las condiciones establecidas en la etapa de diseño del muestreo. Sobre esta población se realizó la inferencia estadística a partir de 117 muestras aleatorias, con una confianza del 95 % y un error del 5 % (tabla 4.1).

Tabla 4.1. Población estadística y número de muestras para la región de La Cordillera nariñense

Combinación de factores	Población	No. de muestras
Andisoles + CCN51	44	28
Andisoles + ICS95	38	25
Inceptisoles + CCN51	69	36
Inceptisoles + ICS95	44	28
Total	195	117

Fuente: Elaboración propia con base en Ayuda en Acción (2020)

Una vez definidos los lotes que se incluyeron en el muestreo, se contactó telefónicamente a los productores y se concertó una visita al predio para obtener el permiso del productor para la toma de la muestra. Cada entidad puede tener un formato preestablecido para este permiso.

Materiales para el muestreo

Las herramientas que se deben usar en una medición de Cd en suelos, hojas y granos de cacao deben ser de acero inoxidable o plástico para evitar la contaminación de estas. Por ello, se sugiere comprar barrenos, palas y cuchillos de estos materiales. Adicionalmente, se debe tener

en cuenta la siguiente lista de chequeo en la que se deben incluir los siguientes materiales:

- » Guantes: XL/M- de látex o de nitrilo
- » Toallas de papel
- » Atomizadores (500 ml)
- » Alcohol industrial al 95 %
- » Neveras de icopor para trasladar las muestras
- » Cinta de embalaje
- » Marcadores
- » Balde plástico
- » Palas plásticas, barreno y bolsas de papel con capacidad de 1 kg para homogeneizar las muestras de suelo
- » Bolsas plásticas con capacidad de 1 kg
- » Marcador indeleble
- » Formato de rotulación
- » Libreta de campo
- » Bolsa plástica delgada para embolsar muestras
- » Lápiz o rapidógrafo

Durante el muestreo

En esta etapa, se debe tener claro el objetivo y alcance del muestreo, así como la población de muestreo y el tamaño de muestra. Para dicho fin se deben resolver las siguientes preguntas: ¿A qué profundidad se va a tomar la muestra del suelo? ¿Cuántas muestras se deben tomar para que sean representativas del cultivo? ¿Qué variedades de cacao se muestrearán? ¿Qué tipo de tejidos (raíces, tallos, mazorcas u hojas) se tomarán? También es importante socializar este tipo de acciones con los productores y las autoridades locales y así obtener su consentimiento para la toma de las muestras de suelos y material vegetal.

En cuanto a los aspectos logísticos, se debe revisar la lista de chequeo para verificar que todos los equipos y materiales necesarios estén disponibles para el trabajo en campo. Se debe llevar a campo un mapa y la posible ruta de muestreo junto con un directorio de los productores a visitar, con quienes previamente se debieron realizar acuerdos sobre la fecha y hora del muestreo. Finalmente, es recomendable realizar todo el muestreo en una misma época del año.

A continuación se describe la secuencia de pasos para realizar el muestreo:

a) Obtención de información sobre el productor y el manejo agronómico del lote de cacao

Antes de iniciar el muestreo es necesario verificar si el lote cumple con los requisitos de material y edad definidos en el diseño del muestreo y que no haya sido fertilizado en los últimos meses. El equipo de trabajo llevará un formato de caracterización del lote que deberá ser diligenciado con el consentimiento previo del productor y que servirá como guía para el rotulado de muestras. Los campos básicos deben incluir:

- » **Localidad:** país, departamento, municipio, corregimiento, vereda, nombre del predio, altitud (m s. n. m.) y coordenadas geográficas.
- » **Fecha del muestreo:** dd/mm/aaaa
- » **Identificador de muestra:** ID_0001
- » **Descripción del lote:** debe incluir área del lote, número de árboles, edad de la plantación, arreglo de materiales, estado fenológico, rendimiento estimado, tipo de fertilización, pendiente del terreno, manejo de plagas y enfermedades, disponibilidad de riego, especies acompañantes y tipo de fermentación, entre otras.
- » **Datos de contacto del productor:** nombre completo, cédula y número telefónico.

Es necesario recorrer el lote con el productor con el fin de seleccionar los árboles a muestrear. Estos deben ser representativos del cultivo, es decir, estar en un área con condiciones relativamente homogéneas en cuanto a topografía, sombra y manejo agronómico. Se deberán escoger árboles que tengan las hojas sanas, los frutos maduros y que, además, estén ubicados lejos del borde del cultivo y de caminos, charcos o quebradas.

b) Protocolo para la toma de muestras de suelos alrededor de los árboles seleccionados

Una vez seleccionados los árboles a muestrear, se deben seguir los siguientes pasos para asegurar una correcta identificación, etiquetado y embalaje de las muestras:

- » Preparar los implementos necesarios para realizar el muestreo.
- » Recorrer el lote y seleccionar los árboles a muestrear.
- » Estimar la altura del árbol y dividirla entre dos para definir la gotera.
- » Ponerse los guantes.
- » Limpiar la hojarasca del suelo.
- » Limpiar el barreno, los baldes y las palas plásticas.
- » Tomar una muestra superficial con el barreno de 0 a 35 cm.
- » Desechar los primeros 5 cm de la parte superior del barreno y poner el resto en el interior del balde.
- » Repetir el proceso de toma de muestra superficial para garantizar al menos tres submuestras de suelo por árbol.
- » Homogeneizar, cuartear y embolsar la muestra.
- » Poner el rótulo de la muestra.
- » Completar la ficha técnica del muestreo con observaciones del lote.

En esta parte es importante conocer e identificar lo que puede encontrarse a diferentes profundidades en los suelos con cultivos de cacao:

- » 0 - 5 cm: materia orgánica en descomposición.
- » 5 - 20 cm: raíces más jóvenes de los árboles de cacao.
- » 20 - 60 cm (20-40 cm; 40-60 cm): raíces jóvenes de los árboles de cacao.
- » 60 - 80 cm: raíces más viejas.
- » >80 cm: fondo geoquímico natural.

c) Protocolo para la toma de muestras de hojas de los árboles seleccionados

En el mismo árbol en el que se muestreó el suelo alrededor de la gotera, se deberán tomar las muestras de las hojas, para ello se deben seguir los siguientes pasos:

- » Preparar los implementos necesarios para realizar el muestreo, incluido el diligenciamiento del rótulo de muestra.
- » Ponerse los guantes.
- » Identificar los árboles a muestrear: se recomienda escoger árboles que se encuentren bajo las mismas condiciones de edad, etapa fenológica, manejo, sombrío, suelo y relieve.

- » Realizar el muestreo en una misma época del año.
- » Tomar una muestra conformada en promedio por 6 hojas adultas y maduras del tercio medio del árbol distribuidas en los cuatro puntos cardinales de la planta.
- » Poner la muestra dentro de una bolsa de papel previamente rotulada evitando que se moje y enviarla al laboratorio.

d) Protocolo para el muestreo de los frutos

Para el muestreo de los frutos se seguirán las siguientes indicaciones:

- » Limpiar los implementos necesarios para el muestreo.
- » Diligenciar el rótulo de la muestra.
- » Ponerse los guantes.
- » El fruto debe escogerse del mismo árbol seleccionado para el muestreo de suelos y hojas. Debe ser un fruto totalmente formado, sin presencia de enfermedades y en un adecuado estado de madurez fisiológica. Teniendo en cuenta el tipo de clon muestreado, hay que determinar a través de la coloración de la mazorca su estado de madurez.
- » Seleccionar entre 3 y 5 frutos del mismo árbol o de varios árboles (dependiendo de la superficie).
- » En caso de necesitar trazabilidad de las muestras para el proceso de fermentación se pueden llevar a cabo los siguientes pasos:
 - Abrir las mazorcas con ayuda de guantes y un cuchillo de acero inoxidable y extraer los granos de cacao eliminando la placenta.
 - Retirar los granos de cacao y ponerlos en una malla plástica tejida previamente rotulada.
 - Poner la muestra en el fermentador de la finca para que siga el proceso de fermentación que realiza el productor.
 - Recomendar al productor el almacenamiento de la muestra en la bolsa previamente rotulada.
 - Recoger la muestra una vez concluido el proceso de fermentación y secado.
- » Otra alternativa es llevar directamente las mazorcas al laboratorio para su análisis

e) Muestreo de granos fermentados

Finalmente, también se puede llevar a cabo el muestreo del total de granos del lote de producción que cumplen con el proceso total de fermentación, para lo cual se deben realizar métodos de cuarteo adecuados que garanticen la representatividad de la muestra (Aguilar, 2016). Así se obtendrán resultados confiables de los análisis realizados.

f) Despacho de muestras al laboratorio

Para esta etapa se debe tener en cuenta:

- » Lista de chequeo.
- » Llenar formato de recepción de muestras.
- » Asignación de códigos en laboratorio.
- » Ingreso de muestras.

Análisis de las muestras en laboratorio

Etapa preoperativa

En la figura 4.4 se resumen los diferentes pasos de la etapa preoperativa:



Figura 4.4. Diagrama de la etapa preoperativa del análisis de muestras.

Fuente: Elaboración propia

Etapa operativa

Una vez recibidas las muestras en el laboratorio, se deben mantener en un lugar seco, fresco y protegido de la luz natural. Asimismo, la muestra debe permanecer sellada hasta que se proceda al análisis en la etapa operativa (figura 4.5).

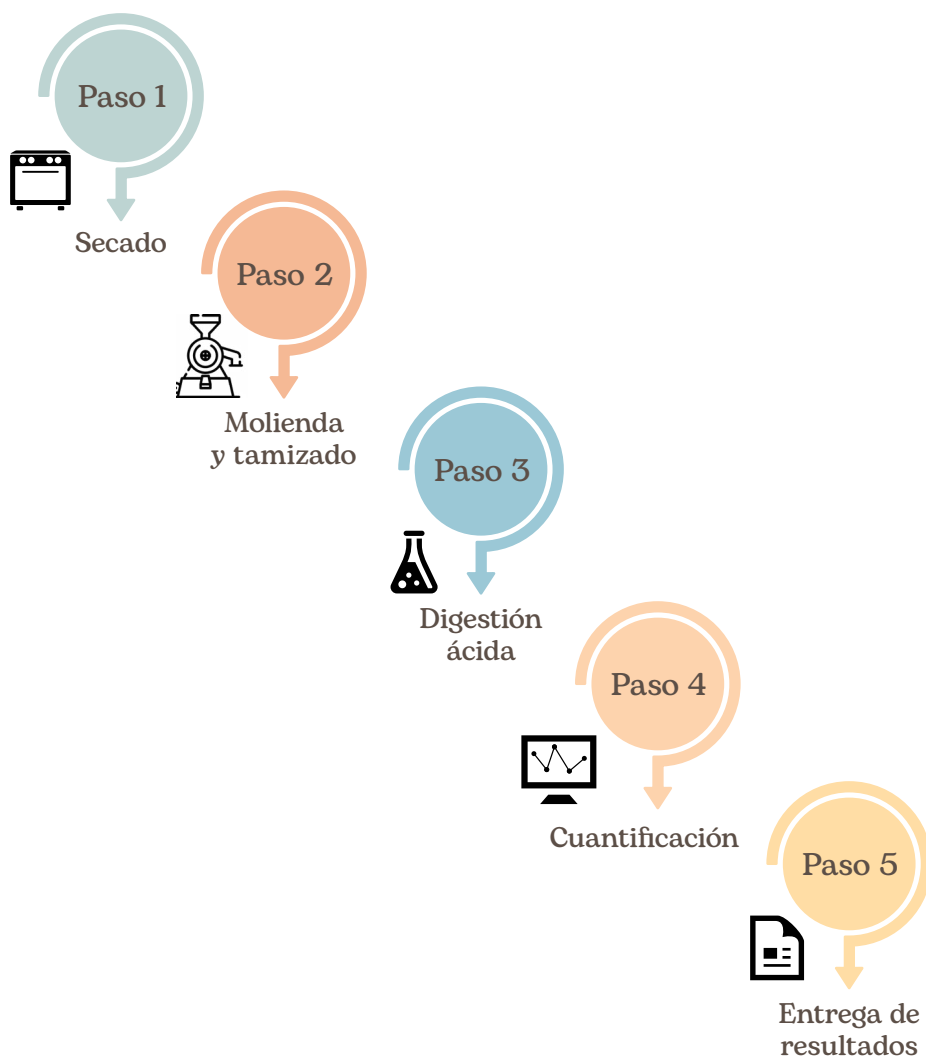


Figura 4.5. Diagrama de la etapa operativa del análisis de muestras.

Fuente: Elaboración propia

El pretratamiento comprende todas las operaciones físicas (figuras 4.6 y 4.7) que se realizan sobre las muestras con el fin de homogeneizarlas y obtener el mejor proceso de digestión posible. Asimismo, la determinación de la humedad es un paso fundamental para controlar la calidad en esta etapa de la medición.

El primer paso de la etapa operativa es el secado de la muestra (figura 4.6).



Figura 4.6. Paso 1. Secado de muestras.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Andrea Montenegro

El segundo paso de la etapa operativa es la molienda y el tamizado de la muestra. Para el caso de los granos de cacao, es necesario pasar por una etapa inicial de descascarillado. Surtido este paso se procede con la molienda de la muestra (figura 4.7).

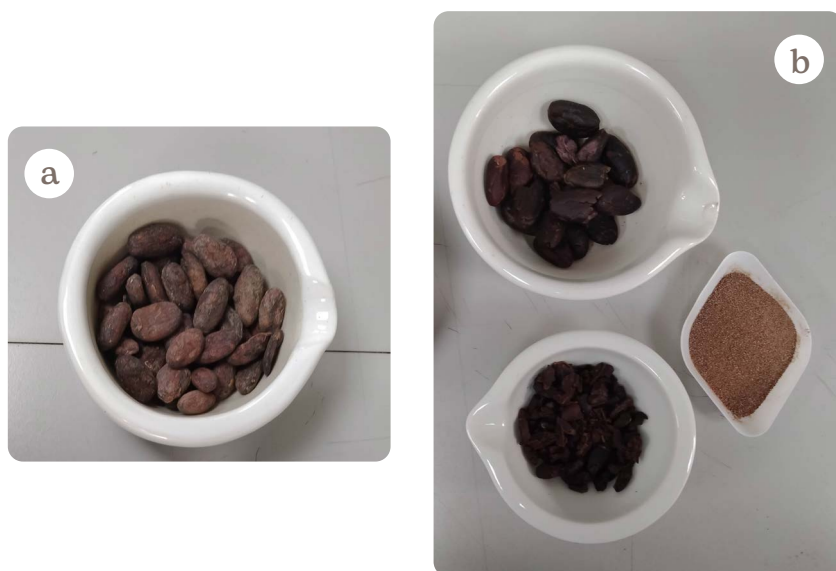


Figura 4.7. Paso 2. Molienda y tamizado. **a.** Granos fermentados de cacao. **b.** Separación en cascarilla y almendra, y muestra molida y tamizada.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Andrea Montenegro

Los métodos desarrollados para el análisis químico en suelos, tejidos, granos y productos derivados de cacao requieren procesos de digestión que pueden ser:

- a.** Abierta por plancha
- b.** Secado por cenizas
- c.** Asistida por microondas

Para la digestión de las muestras, inicialmente se pesa una cantidad exacta de estas, lo que se realiza en una balanza analítica previamente calibrada, pues sobre esta operación se establece trazabilidad. Luego, se agrega un agente oxidante. Los agentes oxidantes más utilizados en la digestión ácida son: el ácido nítrico (HNO_3) concentrado o mezclado con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30 %, el ácido clorhídrico (HCl), el ácido fosfórico (H_3PO_4), el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el ácido perclórico (HClO_4) concentrados, y, finalmente,

el agua regia - $\text{HNO}_3 + 3 \text{HCl}$ - (U.S. Environmental Protection Agency [US EPA], 2014; International Organization for Standardization [ISO], 1995). En la figura 4.8 se muestra el paso 3, correspondiente a la digestión ácida realizada con un equipo microondas en el laboratorio de química analítica de AGROSAVIA.

Después de esto, se obtienen los extractos que contienen el cadmio que va a ser cuantificado, la dilución de extractos puede realizarse gravimétrica o volumétricamente, en cuyo caso se establece trazabilidad a la magnitud de volumen a partir del uso de material volumétrico calibrado. En esta etapa para control de calidad se usan estándares internos o externos, blancos de digestión y de materiales de referencia certificados (MRC). Todos estos procesos se realizan antes de la cuantificación (Codex Stan, 1995).



Figura 4.8. Paso 3. Digestión ácida de las muestras en un equipo microondas.

Fuente: Elaboración propia

Foto: Andrea Montenegro

Las principales metodologías para cuantificar Cd se basan en técnicas instrumentales como absorción atómica (AAS), de llama (FAAS) y de horno de grafito (GF-AAS). Asimismo, se cuantifica en plasma acoplado inductivamente (ICP) a través de detección óptica (ICP-OES) o detección con espectrometría de masas (ICP-MS). Cabe mencionar que en el laboratorio de química analítica de AGROSAVIA se cuenta actualmente con todos estos equipos, que se usan dependiendo de la sensibilidad requerida. Las figuras 4.9 y 4.10 presentan fotos del proceso de cuantificación de las muestras y del equipo ICP-MS, respectivamente.



Figura 4.9. Paso 4. Cuantificación de Cd en las muestras por ICP-MS.

Fuente: Elaboración propia

Foto: Andrea Montenegro



Figura 4.10. Equipo de medición ICP-MS.

Fuente: Elaboración propia

Foto: Andrea Montenegro

En la etapa de medición, la trazabilidad a la medida puede lograrse usando material de referencia certificado (MRC) y usando parámetros de validación como la precisión y la veracidad. En este caso, los parámetros y el MRC comprenden: estándares de Cd en HNO_3 diluido, materiales de suelos y tejido vegetal trazables y MRC para Cd en matriz de chocolate. Los estándares suelen ser utilizados para construir curvas de calibración en solvente y para preparar materiales de referencia internos de extractos de cacao enriquecidos con Cd. Mientras que los materiales de referencia certificados pueden ser usados en las matrices de aguas, de suelos, de tejido vegetal y de chocolate; estos son más usados para estudios de veracidad y como control de calidad en la medición de muestras de rutina.

De la misma manera, el uso de blancos de curva de calibración y de cartas de control durante esta etapa debe considerarse como una medida de control de calidad para seguir el valor certificado del MRC en condiciones de precisión intermedia.

Finalmente, debe realizarse la estimación de la incertidumbre, que es un aspecto fundamental para el control de la calidad de estas mediciones. Debe tenerse en cuenta que todas las operaciones, tanto de medición como de control de calidad y estimación de la incertidumbre, deben realizarse cumpliendo los requerimientos de la ISO/IEC 17025:2017. Una vez obtenidos los resultados, el laboratorio revisa los controles y finalmente entrega el informe correspondiente (figura 4.11).

La medición de Cd en suelos, material vegetal, granos o productos derivados de cacao tiene que ver con la movilidad de este metal desde el suelo hacia la planta. Este fenómeno se ve favorecido por: el pH del suelo, la cantidad de materia orgánica y el potencial redox, entre otros (Sanchez, 2016). Por tal motivo, el Cd puede estar presente en una o en varias de las matrices del cultivo de cacao en función del ambiente químico. De ahí la importancia de desarrollar metodologías para detectar Cd en estas matrices.

En este punto es muy importante mencionar que los laboratorios de química analítica de AGROSAVIA miden el cadmio en diferentes matrices: agua, suelo y tejido vegetal (hojas, tallo, frutos y raíz). Asimismo, no puede perderse de vista que, actualmente, dichos laboratorios cuentan con acreditación ONAC ISO IEC 17027: 2017 para cuantificar el cadmio en granos de cacao con reconocimiento y validez internacional. La metodología analítica se publicó en una revista de acceso abierto, con el título “Desarrollo de métodos de validación para determinar el cadmio en la almendra de cacao a partir de los granos por ICP-MS e ICP-OES” (Rodríguez-Giraldo et al., 2022).

Reporte de resultados Laboratorio de química		
1. Información del cliente	# de solicitud:	Código de laboratorio:
Nombre y Apellido:		
Cédula o NIT:		
Dirección:		
Dpto.:		
Municipio:		
Tel. fijo/Celular:		
Tipo de análisis: Metal pesado cadmio.		

[Continúa]

[Continuación]

2. Información de la muestra suministrada por el cliente

Identificación:
Matriz: Tejido
Finca:
Cultivo: Cacao
Tiempo de establecido:
Parte de la planta para análisis: Almendra
Sintomatología:
Fecha de recepción:
Fecha(s) de análisis:
Fecha de reporte:

Coordinador Técnico de Laboratorio

Determinación analítica	Unidad	Método	Valor
Cadmio (Cd)	mg kg ⁻¹	AOAC 2013.06 Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods. 21st 2019	

Observaciones:
Código:
Versión:
Fecha de aprobación y publicación del cambio:

Figura 4.11. Formato de entrega de resultados de un laboratorio de química analítica.

Fuente: Elaboración propia



Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que condicionan la biodisponibilidad de Cd en el cultivo de cacao

La biodisponibilidad de Cd en las plantas de *T. cacao* está afectada por diversas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo entre las que se encuentran la textura, la mineralogía del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el contenido de macro y micronutrientes del suelo, el pH y los microorganismos (Hamid et al., 2019).

La textura es una propiedad física del suelo que incide en la concentración de Cd y su biodisponibilidad en el suelo como consecuencia de las diferentes capacidades de intercambio catiónico asociadas a esta propiedad. Así pues, la concentración de Cd y su biodisponibilidad en el suelo es mayor en suelos de textura franca que en suelos de textura arenosa (Kabata-Pendias, 2010). No obstante, este comportamiento no es claro dado que la capacidad de adsorción de las arcillas está asociada a su estructura mineral, es decir, las arcillas tipo 2:1 presentan una mayor capacidad de intercambio catiónico que el tipo 1:1 (Rieuwerts, 2007).

La conductividad eléctrica es una propiedad química del suelo que mide la capacidad que tiene este de transmitir una corriente eléctrica a través del agua al aprovechar las sales presentes en el suelo. Valores altos de conductividad eléctrica indican la presencia de un gran número de nutrientes en los lugares de intercambio catiónico de este, en suma, los valores altos de conductividad eléctrica son indicadores de suelos fértiles. No obstante, los suelos con alta conductividad eléctrica tienen exceso de iones de sodio (Na^+) y magnesio (Mg^{+2}), los cuales pueden incrementar la biodisponibilidad de Cd en el suelo (Ahmad et al., 2017). Generalmente, la conductividad eléctrica suele ser un problema en los cultivos de *T. cacao* que son regados con aguas salinas o que se encuentran en zonas de inundaciones y sequías, esto se debe a que el cloro (Cl^-) forma complejos con el Cd en la fracción intercambiable que está asociada a las partículas de los suelos hasta estar disponible en solución (Grant et al., 1998). Actualmente, son pocas las investigaciones desarrolladas que logran relacionar la conductividad eléctrica con la biodisponibilidad del Cd.

Chávez et al. (2015) encontraron que en Ecuador el contenido de Cd en granos de cacao se puede pronosticar mejor por la conductividad eléctrica en los horizontes superficiales del suelo y el contenido de Cd biodisponible. Mientras que Argüello et al. (2019) determinaron que las concentraciones de cloro en el suelo superiores a 500 ppm en una conductividad eléctrica de $350 \mu\text{S cm}^{-1}$ aumentan considerablemente la biodisponibilidad de Cd en el suelo.

Varios elementos presentes en el suelo pueden influir en la absorción de Cd por parte del cultivo de *T. cacao* (Shahid et al., 2017). Por ejemplo, el nitrógeno (N) presente en el suelo influye sobre la biodisponibilidad de Cd dependiendo de la forma mineral que presente: ya sea en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-) (He et al., 2015). Entonces, por su contenido de nitrógeno amoniacal (NH_4^+), la aplicación excesiva de fertilizantes como el fosfato diamónico (DAP) puede acidificar el suelo y aumentar la biodisponibilidad de Cd. En este sentido, se ha reportado que el uso de fertilizantes nitrogenados incrementa drásticamente la concentración de Cd en los granos secos de cacao (Zug et al., 2019).

Por otra parte, en lo concerniente al fósforo (P), los autores He et al. (2015) y Mahar et al. (2015) mencionan que la aplicación de fertilizantes fosfatados puede disminuir el pH del suelo y, con ello, aumentar la biodisponibilidad de Cd. En una investigación desarrollada en Venezuela por Sánchez, Rivero y Martínez (2011), se menciona que la aplicación de 150 mg kg^{-1} de P por árbol de cacao en forma de dihidrógeno fosfato de potasio (K_2HPO_4) disminuye la concentración de Cd biodisponible en el suelo. Asimismo, Zug et al. (2019) afirma que el uso de fertilizantes fosfatados contaminados con Cd presenta una correlación positiva con el Cd biodisponible en el suelo. No obstante, Huamaní-Yupanqui et al. (2012) determinaron que las concentraciones de Cd en el suelo se correlacionan positivamente ($r > 0$) con las concentraciones de P presentes en las hojas de cacao. Mientras que en Bolivia, Gramlich et al. (2017) determinaron que las concentraciones de P en el suelo se correlacionan negativamente ($r < 0$) con el Cd presente en la cáscara de la mazorca del cacao.

Otros elementos como el zinc (Zn) presentan propiedades químicas semejantes al Cd y esto ha generado que se lleguen a conclusiones como que a una menor concentración de este elemento en el suelo el cultivo de *T. cacao* absorberá más Cd (Chaney, 2012). En relación

con el manganeso (Mn), Argüello et al. (2019) reportaron que el Mn extraído con oxalato explicó el 8 % del contenido de Cd en los granos de cacao en un modelo de regresión que contenía las variables Cd total del suelo, pH y carbono orgánico total.

Estos estudios muestran que la dinámica del Cd depende de diferentes condiciones y factores que pueden interactuar entre ellos, razón por la cual se deben buscar soluciones que contemplen distintas estrategias y que se adapten mejor a las necesidades de los agricultores.

Posibles estrategias de manejo de la contaminación por cadmio en cacao

La variación en las concentraciones de Cd en los granos de cacao de diferentes zonas productoras de cacao se ha atribuido a diferentes materiales parentales del suelo y las entradas de Cd por otras fuentes (agua, enmiendas, fertilizantes, deposiciones atmosféricas, entre otras). Además, el tipo de variedades y cultivares, la edad de estos y, finalmente, las propiedades fisicoquímicas del suelo también influyen en la disponibilidad de Cd. Por ello, existen diferentes estrategias que se pueden aplicar para el manejo de la contaminación por Cd en el cultivo de cacao. Al aplicarse en un cultivo perenne, dichas estrategias se pueden plantear a corto, mediano y largo plazo. Entre ellas se encuentran:

1. Control de las principales fuentes de ingreso de Cd

El uso de aguas y suelos contaminados con Cd es una de las principales fuentes de este contaminante. Además, las enmiendas de origen natural inorgánico (obtenidas de la roca madre) u orgánico (de materiales compostados) pueden tener trazas de este contaminante y entrar al cultivo de cacao.

Una vez el contaminante ingresa al cultivo, otra fuente que participa en el ciclaje de este elemento es la descomposición de la hojarasca. La identificación de huellas isotópicas en fertilizantes, plaguicidas, aguas, suelos, plantas, hojas, mazorcas, granos y en el mucílago, entre otros (Barraza et al., 2019), permite identificar las fuentes de Cd y diseñar estrategias para controlar su entrada en el cultivo.

2. Control de la biodisponibilidad del cadmio en los suelos

De acuerdo con diferentes autores (Argüello et al., 2019; Gramlich et al., 2018; Smolders & Mertens, 2013) la concentración de cadmio en los cultivos depende de la disponibilidad de este elemento en el suelo, el cual incrementa con la acidez, cuando la concentración total de este contaminante es mayor y con la disminución de la materia orgánica en los suelos. A continuación se muestran algunas estrategias que ayudan a controlar la biodisponibilidad del cadmio.

a. Tratamientos biológicos (biorremediación)

- » Utilizar las actividades metabólicas de ciertos microorganismos (hongos o bacterias) para inmovilizar el cadmio (bioproductos).
- » Sembrar plantas hiperacumuladoras que compitan con el cacao por la absorción de cadmio.

Actualmente, los estudios con microrganismos en suelos muestran resultados positivos y negativos, ya que varían en función de la variedad de organismos y de sus interacciones dentro de la comunidad de suelo. Por ende, antes de aplicar estos tratamientos, se deben llevar a cabo los estudios correspondientes para verificar cuál es el efecto específico en la zona o área de estudio. Por ejemplo, un estudio con micorrizas (Jiang et al., 2016) mostró que las plantas absorbían menos Cd y toleraban altas concentraciones de este elemento. Sin embargo, otros estudios muestran que estos hongos aumentan la absorción de Cd (Gaur & Adholeya, 2004).

En AGROSAVIA se han adelantado estudios sobre el uso de bacterias remediadoras de Cd que presentan potenciales mecanismos de inmovilización de este metal (Bravo et al., 2021; Bravo et al., 2018). Finalmente, en el ámbito de fitorremediación, se muestra que la *Heliconia psittacorum* se ha utilizado para remediar suelos contaminados con Cd por su capacidad de acumularlo en las raíces (Aguillon-Almario, 2018).

b. Tratamientos químicos (enmiendas orgánicas e inorgánicas)

La aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas es una práctica común en la agricultura tradicional que se ejecuta con el fin de mejorar la nutrición de las plantas. Sin embargo, esta estrategia puede ser

también usada para controlar la biodisponibilidad de Cd en los suelos. Entre las principales enmiendas usadas se destacan: la cal, el compost, la roca fosfórica, los biocarbones, entre otros (Chávez et al., 2016; Meter, 2019; Ramtahal et al., 2019).

3. Estudios genéticos

La selección de variedades y cultivares clasificados por sus porcentajes de bioacumulación de Cd –proceso que involucró la identificación de genes responsables de la bioacumulación–, fue el objeto del estudio realizado por investigadores de AGROSAVIA y la Universidad Nacional de Colombia (Fernández-Paz et al., 2021). Los científicos trabajaron con genotipos IMC67 y PA12, los cuales se utilizaron como portainjertos en injertos con dos clones comerciales (ICS95 y CCN51) comúnmente cultivados en Colombia. El estudio mostró que hay una triple interacción (portainjerto × copa × suelo) en lo referente a la absorción de Cd y nutrientes, el crecimiento temprano y el proceso fotosintético en plantas de cacao juveniles, hallazgo que debe ser profundizado para aprovechar los esquemas de mejoramiento genético.

4. Estrategias de disminución de Cd en procesos de poscosecha

A continuación se enumeran las posibles estrategias a utilizar durante los procesos de poscosecha, procesamiento y obtención de productos derivados de cacao.

- » Procesos usados para remover el Cd durante la fermentación de cacao o durante el proceso de elaboración de licor de cacao o productos derivados.
- » Mezcla de granos de cacao de altas concentraciones con granos de cacao de bajas concentraciones para cumplir con los niveles máximos permisibles en cacao y productos derivados.

En el sector privado se ha trabajado con microbiología en granos y nanotecnología en masa de cacao, sin embargo, aún no hay estudios detallados sobre el tema (Meter, 2019).

En la figura 4.12 se presenta un resumen de las posibles alternativas para controlar la contaminación de cadmio en cultivos de cacao.

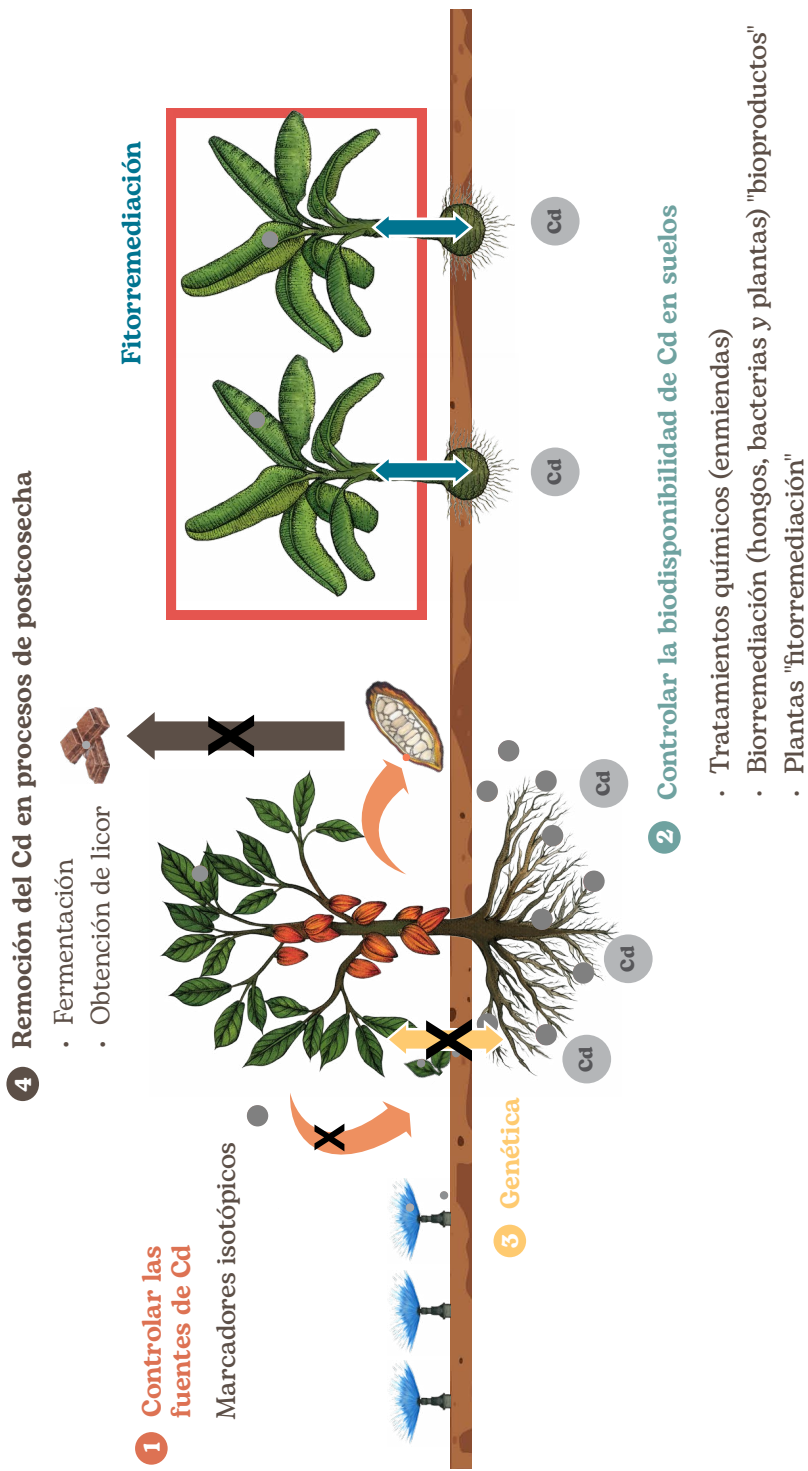


Figura 4.12. Estrategias para el manejo de Cd en cultivos de cacao.

Fuente: Elaboración propia

Resultados relevantes del proyecto en granos de cacao

En el contexto específico del proyecto “Desarrollo de un modelo productivo de cacao bajo en cadmio para la subregión de La Cordillera nariñense”, se observó que la prevalencia de Cd en los granos de cacao es baja comparada con otras regiones del mundo (figura 4.13).

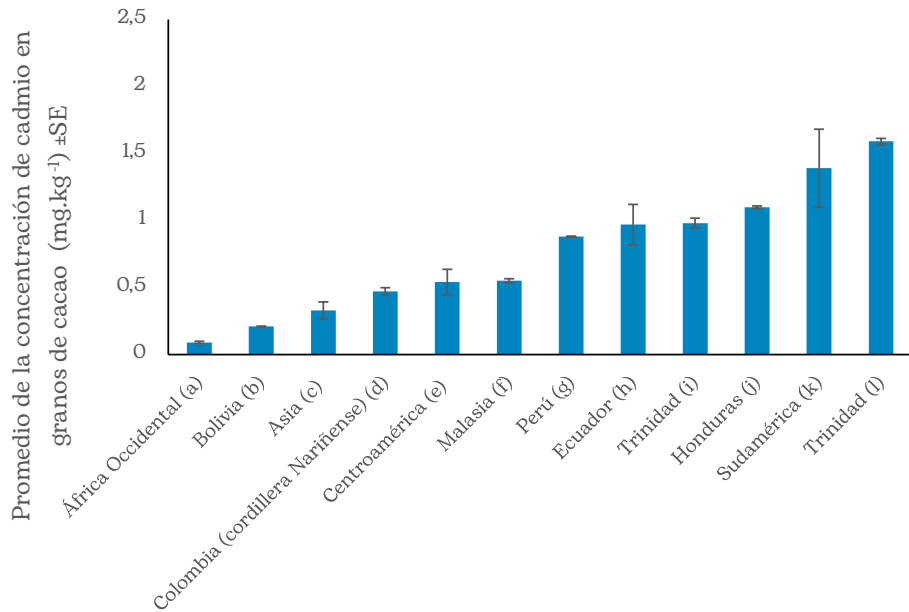


Figura 4.13. Niveles de Cd en granos de cacao para diferentes países del mundo. **a,c,e,k.** (Bertoldi et al., 2016); **b.** (Gramlich et al., 2017); **d.** (Meneses et al., 2022); **f.** (Fauziah et al., 2001); **g.** (Arévalo-Gardini et al., 2017); **h.** (Barraza et al., 2017); **i,l.** (Ramtahal et al., 2016; Ramtahal et al., 2015); **j.** (Gramlich et al., 2018).

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de los datos de La Cordillera se encontró que la mediana de la concentración de Cd en granos de cacao es de $0,406 \text{ mg kg}^{-1}$, lo que indica que en el 50 % de los lotes las concentraciones de Cd en granos son menores a este valor. La concentración varió desde un mínimo de $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$ hasta un máximo de $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$, con un recorrido intercuartílico de $0,342 \text{ mg kg}^{-1}$.

La distribución de los valores de Cd está sesgada a la izquierda (figura 4.14), lo que significa que la mayoría de los datos están por debajo del promedio ($0,4708 \text{ mg kg}^{-1}$). Cerca del 75 % de los valores están por debajo de $0,58 \text{ mg kg}^{-1}$ y un 93 % de los lotes evaluados presentaron granos con concentraciones de Cd por debajo de 1 mg kg^{-1} .

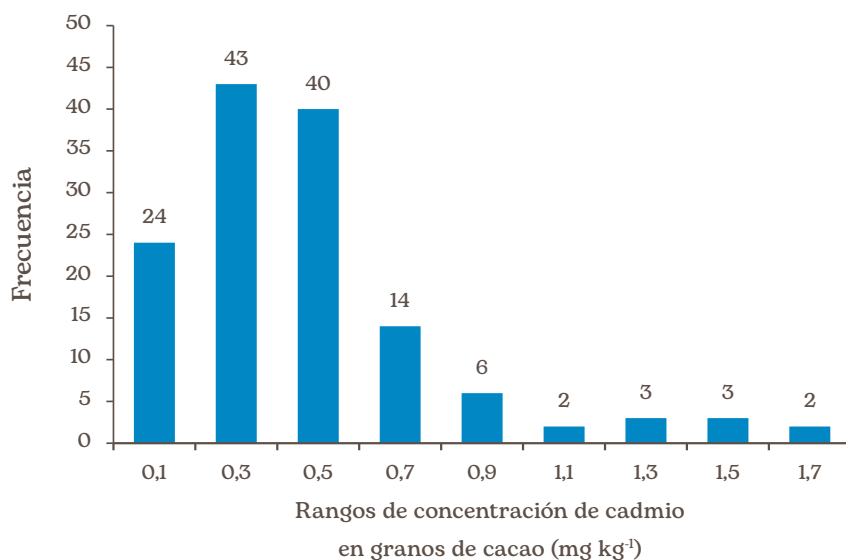


Figura 4.14. Distribución de los datos de la concentración de Cd (mg kg^{-1}) en almendra de muestras de cacao tomadas en La Cordillera ($n=137$).

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la medición de Cd en cacao cultivado en La Cordillera permiten concluir que la prevalencia del problema de contaminación por este metal pesado es baja en la zona muestreada. La solución costo-efectiva más eficiente que se puede plantear en este caso es el acopio y la mezcla del grano de cacao por núcleo productivo. Esta estrategia se conoce como *blending* y permite mezclar los granos en los centros de acopio con diferentes concentraciones para llegar al valor requerido en el producto final. La estrategia de manejo en el lote individual implica incurrir en costos ya sea para la sustitución de cultivares, para el tratamiento de los suelos o de los granos durante el proceso de fermentación.

A manera de conclusión, se sugiere continuar con la medición periódica de Cd en granos de cacao en centros de acopio con el fin de monitorear la contaminación por este metal pesado y gestionar un valor agregado para el cacao de la región, lo cual es esencial para implementar una estrategia de *blending* en el país. Esta información puede ofrecérsele al comprador a través de códigos QR desarrollados para el sistema de trazabilidad de cacao en La Cordillera (Cañar et al., 2022).



Conclusiones

- » El presente manual permite explorar y compilar información importante y relevante sobre la producción de cacao en La Cordillera.
- » Este trabajo permitió a los autores exponer las aproximaciones y consideraciones a tener en cuenta para gestionar la presencia de Cd.
- » El cultivo de cacao en La Cordillera presenta deficiencias nutricionales, las cuales pueden ser abordadas desde un enfoque microbiológico y orgánico con el fin de incrementar la producción de este cultivo.
- » La presencia de Cd en La Cordillera se evidenció solo en un porcentaje bajo de muestras. Sin embargo, la varianza de los datos es alta y, por lo tanto, se sugiere ampliar el número de muestras con el fin de mejorar la precisión de la medición y avanzar hacia la delimitación y construcción de mapas útiles para tomadores de decisiones en las áreas de expansión del cultivo.





Recomendaciones

Se recomienda buscar y evaluar alternativas eficientes para corregir la deficiencia de nutrientes en el suelo donde se establecen los cultivos de cacao en La Cordillera.

Con el fin de no afectar la comercialización del cultivo de cacao en los municipios muestreados de La Cordillera, se sugiere continuar con la construcción de centros de acopio donde se realice *blending*. La mezcla puede ser monitoreada para garantizar que las concentraciones de Cd sean inferiores a 0,1 y 0,8 mg kg⁻¹: niveles para la comercialización de productos derivados de cacao en el mercado europeo.

Los suelos de La Cordillera requieren la aplicación de materia orgánica, por lo que la elaboración de compostaje puede ser una alternativa para la nutrición del cultivo de cacao. Sin embargo, los residuos a compostar deben ser analizados para descartar que tengan altos contenidos de Cd, ya que pueden ser una fuente de contaminación. En particular, se recomienda analizar la cacota o la hojarasca de cacao para la elaboración de compostaje, ya que diferentes estudios han demostrado que las concentraciones de Cd en estos materiales son superiores a las observadas en granos y pueden ser una fuente de contaminación.

La deficiencia de fósforo en los cultivos es generalizada y la adición de abonos con este mineral puede representar un riesgo de contaminación, como ha sido reportado en la literatura. Frente a esto, se sugiere, en primera instancia, enviar a laboratorio muestras del abono con el fin de analizar la concentración de cadmio y evitar el uso de fuentes significativas de este metal. Por otra parte, se recomienda adicionar acondicionadores (enmiendas orgánicas bien compostadas, bioinsumos, entre otros) del suelo que aumenten la biodisponibilidad de los nutrientes en el suelo. A este respecto, los técnicos deben revisar los factores edáficos que determinan la solubilidad del fósforo en el suelo.

Finalmente, para exportar granos de cacao y productos derivados a mercados internacionales donde se pongan niveles máximos

permisibles de Cd, se deben realizar los análisis químicos correspondientes en laboratorios que tengan técnicas acreditadas con reconocimiento internacional, tanto a la almendra de cacao, como a productos derivados. Si se envían estos productos con Cd, muchos de los mercados y acuerdos comerciales existentes se pueden perder por sanciones reglamentarias. Igualmente, esta problemática puede incidir negativamente en el precio del grano de cacao y de los productos derivados.



Referencias

- Aguilar, H. (2016). *Manual para la evaluación de la calidad del grano de cacao*. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.
- Aguillón-Almario, D. M. (2018). *Evaluación de la capacidad fotosintética de Heliconia Psittacorum (L.f.) asociada a Rhizophagus Irregularis y Aspergillus Niger en suelos impactados por cadmio* [Tesis de grado, Universidad de Santander]. Repositorio UDES t.ly/B2LE
- Ahmad, A., Hadi, F., Ahmad, H., Jan, A. U., & Rahman, K. (2017). Salinity in soil increased cadmium uptake and accumulation potential of two terrestrial plants. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 10(3), 132–142. <https://doi.org/10.12692/ijb/10.3.132-142>
- Alloway, B. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. En B. Alloway (Ed.), *Environmental Pollution* (Vol. 22, pp. 11–50). https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2
- 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(1), 792–800. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.06.122>
- 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, 120–27. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>

- Barraza, F., Moore, R., Rehkämper, M., Schreck, E., Lefeuvre, G., Kreissig, K., Coles, B., & Maurice, L. (2019). Cadmium isotope fractionation in the soil-cacao systems of Ecuador: a pilot field study. *RSC Advances*, 9(58), 34011–34022. <https://doi.org/10.1039/c9ra05516a>
- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., & Marquet, A., Maurice, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environmental Pollution*, 229, 950–963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>
- Batista, L. (2009). Guía técnica el cultivo de cacao. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF).
- Batista, L. (2015). El cultivo de cacao en Bolívar. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF).
- Bertoldi, D., Barbero, A., Camin, F., Caligiani, A., & Larcher, R. (2016). Multielemental Fingerprinting and geographic traceability of *Theobroma Cacao* beans and cocoa products. *Food Control*, 65, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.013>
- Bravo, D., & Braissant, O. (2021). Cadmium-tolerant bacteria: current trends and applications in agriculture. *Letters in Applied Microbiology*, 74(3), 311–333. <https://doi.org/10.1111/lam.13594>
- Bravo, D., Pardo-Díaz, S., Benavides-Erazo, J., Rengifo-Estrada, G., Braissant, O., Leon-Moreno, C. (2018). Cadmium and cadmium-tolerant soil bacteria in cacao crops from northeastern Colombia. *Journal of Applied Microbiology*, 124(5), 1175–94. <https://doi.org/10.1111/JAM.13698>
- Bravo, D., León-Moreno, C., Martínez, C. A., Varón-Ramírez, V. M., Araujo-Carrillo, G. A., Vargas, R., Quiroga-Mateus, R., Zamora, A., & Rodríguez, E.A.G. (2021). The First National Survey of Cadmium in Cacao Farm Soil in Colombia. *Agronomy*, 11(4), 761. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040761>

- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-24. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Cañar-Serna, Y. D., Sepúlveda-Forero, J. L., Martínez-Pachón, Eliana, & Tibaduiza-Castañeda. (2022). Design of a traceability system as support to the cocoa production model in the Colombian Nariñense Mountain Range. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9, 0-2.
- Celis-Tarazona, R., Florida-Rofner, N., & Rengifo-Rojas, A. (2020). Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. *Ciencia Unemi*, 13(33), 1-9. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss33.2020pp1-9p>
- Chai, H., Rao, S., Wang, R., Liu, J., Huang, Q., & Mou, X. (2015) The effect of the geomorphologic type as surrogate to the time factor on digital soil mapping. *Open Journal of Soil Science*, 5, 123-134. <https://doi.org/10.4236/ojss.2015.56012>
- Chaney, R. L. (2012). Food safety issues for mineral and organic fertilizers. *Advances in agronomy*, 117, 51-116. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00002-7>
- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R., Li, Y., & Baligar, V. C. Evaluation of soil amendments as a remediation alternative for cadmium-contaminated soils under cacao plantations. (2016). *Environmental Science and Pollution Research*, 23(17): 17571-17580. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6931-7>.
- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., & 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(15), 205-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>

- Codex Stan.** (1995). Codex Stan 193-1995. Codex Stan.
- Comisión del Codex Alimentarius.** (2019). Informe de la 13.^a reunión del comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. FAO / OMS.
- Comisión Europea.** (2006). Reglamento CE N° 1881/2006 de la comisión. *Diario Oficial de la Unión Europea*, (8), 5-24. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out123_en.pdf
- Consejo Federal de Inversiones.** (2020). Hacer negocios con Malasia. Acceso al mercado. [Informe de Mercado, Vol. 7].
- Dahiya, S., Karpe, R., Hegde A. G., & Sharma, R. M.** (2005). Lead, Cadmium and Nickel in Chocolates and Candies from Suburban Areas of Mumbai, India. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(6), 517-22. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.05.002>
- Departamento de Salud.** (2016). Australia New Zealand Food Standards Code. Gobierno de Australia. <https://www.health.vic.gov.au/food-safety/australia-new-zealand-food-standards-code>
- Dogbatse, J. A., Arthur, A., Kwame, F., Konlan, S., Quaye, A. K., Owusu-Ansah, F., & Kweku Awudzi, G..** (2020). Influence of acidic soils on growth and nutrient uptake of cocoa (*Theobroma cacao* L.) varieties. *Communications in soil science and plant analysis*, 51(17), 2280-2296. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1822384>
- Engbersen, N., Gramlich, A., Lopez, M., 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). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
- Enríquez, G. A.** (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2022). Cultivos y Productos de Ganadería. FAOSTAT [Conjunto de datos]. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TCL>
- Fauziah, C. I., Rozita, O., Zauyah, S., Anuar, A. R., & Shamshuddin, J. (2001). Heavy metal content in soils of peninsular malaysia grown with cocoa and in cocoa tissues. *Malaysian Journal of Soil Science* 5, 47-58.
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2022). *Balanza FEPCACAO*.
- Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao]. (2021). Economía Nacional. <https://www.fedecacao.com.co/economianacional>.
- Fernández-Paz, J., Cortés A. J., Hernández-Varela, C. A., Mejía-de-Tafur, M. S., Rodríguez-Medina, C., & Baligar, V. C. (2021). Rootstock-mediated genetic variance in cadmium uptake by juvenile cacao (*Theobroma cacao* L.) genotypes, and its effect on growth and physiology. *Frontiers in Plant Science*, 12, 777842. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.777842>
- Gardi, C. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea.
- Gaur, A., & Adholeya, A. (2004). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*, 86(4), 528-534.
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros-Paniagua, J., Armengot, L., Schneider, M., & Schulin, R. (2017). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of the Total Environment*, 580, 677-686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V., & Schulin, R. (2018). Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the Total Environment*, 612, 370-78. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.145>

- Grant, C. A., Buckley, W. T., Bailey, L. D., & Selles, F. (1998). Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 78(1), 1-17. <https://doi.org/10.4141/P96-100>
- Hamid, Y., Tang, L., Sohail, M. I., Cao, X., Hussain, B., Aziz, M. Z., Usman, M., He, Z. L., & Yang, X. (2019). An explanation of soil amendments to reduce cadmium phytoavailability and transfer to food chain. *Science of the Total Environment*, 660, 80-96. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.12.419>
- Harrison, N. (2001). Inorganic contaminants in food metals and metalloids. En D. Watson (Ed.), *Food Chemical Safety Contaminants* (Vol. 1, capítulo 7) CRC Press.
- He, S., He, Z., Yang, X., Stoffella, P., Baligar, V. C. (2015). Soil biogeochemistry, plant physiology and phytoremediation of cadmium contaminated soils. En D. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 134, pp. 135-225). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.06.005>
- Hernández-Baranda, Y., Rodríguez-Hernández, P., Peña-Icart, M., Meriño-Hernández, Y., & Cartaya-Rubio, O. (2019). Toxicidad del cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: el tomate. *Cultivos Tropicales* 40(3).
- Huamaní-Yupanqui, H. A., Huauya-Rojas, M. A., Mansilla-Minaya, L. G. Florida-Rofner N., & Neira-Trujillo, G. M. (2012). Presencia de metales pesados en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*, 61(4), 339-44.
- International Cocoa Organization [ICCO]. (2020). Fine or Flavor Cocoa - International Cocoa Organization. <https://www.icco.org/fine-or-flavor-cocoa/>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2004). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de nariño. IGAC.

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC].** (2016). Suelos y tierras de Colombia. IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC].** (2012). Estudio de los conflictos del uso del territorio colombiano. Escala 1:100.000. IGAC.
- International Organization for Standardization [ISO].** (1995). ISO 11466:1995 - Soil Quality. Extraction of Trace Elements Soluble in Aqua Regia. <https://www.iso.org/standard/19418.html>
- International Trade Center [ITC].** (2022). Trade Map. Lista de los exportadores para el producto seleccionado (cacao en grano, entero o partido, crudo o tostado). Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas.
- Jaimes, Y., & Aranzazu, F.** (2010). *Manejo de las enfermedades del cacao (Theobroma cacao L.) en Colombia con énfasis en monilia (Moniliophthora roreri)*. Corpoica.
- Jalbani, N., Kazi, T. G., Afridi, H. I., & Balal, M.** (2009). Determination of toxic metals in different brand of chocolates and candies, marketed in pakistan. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 10(2), 48-52.
- Jaramillo, M.** (2013). *Caracterización del consumo de chocolate caso Colombia y Francia*. [Tesis de grado, Escuela de Ingeniería de Antioquia]. Repositorio EIA. t.ly/nU8L
- Järup, L., & Akesson, A.** (2009). Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238(3), 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2009.04.020>
- Jiang, Q. Y., Zhuo, F., & Long, S. H.** (2016). Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce Cd uptake and alleviate Cd toxicity of *Lonicera japonica* grown in Cd-added soils? *Scientific Reports*, 6, 21805. <https://doi.org/10.1038/srep21805>

- Joya-Barrero, V., Huguet, C., & Pearse, J. (2021). Natural and anthropogenic sources of cadmium in cacao crop soils in Santander, Colombia. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1055771/v1>
- Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace elements in soils and plants*. CRC Press.
- León-Moreno, C., Rojas-Molina, J. & Castilla-Campos, C. (2019). Physicochemical characteristics of cacao (*Theobroma cacao* L.) soils in Colombia: Are they adequate to improve productivity? *Agronomía Colombiana*, 37(1), 52–62. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.70545>
- Levy, P. S., & Lemeshow, S. (2011). *Sampling of populations: Methods and applications*. Wiley.
- Lewis, C., Lennon, A., Eudoxie, G., & Umaharan, P. (2018). Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Science of the Total Environment*, 640–641(1), 696–703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.365>
- Lichtfouse, E (Ed.). (2016). *Sustainable Agriculture Reviews*. Springer.
- MADS, IDEAM & UDCA. (2015). *Summary of the national study of soil degradation due to erosion in Colombia*. IDEAM
- Mahar, A, Wang, P., Li, R., & Zhang, Z. (2015). Immobilization of lead and cadmium in contaminated soil using amendments: a review. *Pedosphere*, 25(4), 555–568. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30036-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30036-9)
- Márquez, I., Uribe, E. (2018). *Sistema de clasificación geomorfológica aplicado a los levamientos de suelos*. IGAC.
- Martínez, J. M. (2020). Caracterización y tipificación socioeconómica de fincas cacaoteras beneficiarias de ‘Ayuda en Acción’ en la subregión de La Cordillera del departamento de Nariño, Colombia [Informe de actividad]. AGROSAVIA.

- Martínez, J. M., & Martínez, E. (2021). Multivariate Analysis of the adoption of cacao productive technologies: evidence from a case study in Colombia. *Agricultural and Resource Economics*, 21(1), 79-102. <https://doi.org/10.7201/EARN.2021.01.04>
- Mata-Anchundia, D., Suatunces-Cuñumai, J., Muñoz-Macías, S., Bayas, A., & Herrera-Soler, M. (2019). Dimensión climática en el comercio justo para el cacao fino de aroma (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Estudios Empresariales. Segunda Época*, 2(2), 86-102. <https://doi.org/10.17561/ree.v2018n2.5>
- McLaughlin, M. J., & Singh, B. R. (1999). *Cadmium in soils and plants*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4473-5_1
- Meneses, D., Pachón, H., Martínez, E., & Guerrero, G. (2020). Plan de Acción: Policarpa territorio innovador y socioecológicamente resiliente. Nodo de innovación de cacao. AGROSAVIA.
- Meter, A., Atkinson, R. J., & Laliberte, B. (2019). *Cadmium in Cacao From Latin America and The Caribbean. A Review of Research and Potential Mitigation Solutions*. Bioversity International.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). Evaluaciones agropecuarias EVA y anuario estadístico del sector agropecuario. Agronet. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2012). Suelos Colombia: IDEAM. Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). <http://www.ideam.gov.co/web/siac/sueloscolombia>
- Osorio-Guarín, J. A., Berdugo-Cely, J., Coronado, R. A., Zapata, Y. P., Quintero, C., Gallego-Sánchez, G., & Yockteng, R. (2017). Colombia a source of cacao genetic diversity as revealed by the population structure analysis of germplasm bank of *Theobroma cacao* L. *Frontiers in Plant Science*, 8.

- Pendleton, R. L., & Jenny, H. (1945). *Factors of soil formation: A system of quantitative pedology. Geographical review*. Dover Publications. <https://doi.org/10.2307/211491>
- Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K. H. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 125, 365–85. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2019.01.067>
- Ramtahal, G., Chang-Yen, Bekele, I., Bekele, F. Wilson, L. Maharaj, K., & Sukha, B. (2015). Implications of distribution of cadmium between the nibs and testae of cocoa beans on its marketability and food safety assessment. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 7(5), 731–736. <https://doi.org/10.3920/QAS2013.0388>
- 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. *Science of the total environment*, 693, 133563. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.07.369>
- Ramtahal, G., Chang-Yen, I. Bekele, I., Bekele, F., Wilson, L., Maharaj, K., & Harrynanan, L. (2016). Relationships between Cadmium in Tissues of Cacao Trees and Soils in Plantations of Trinidad and Tobago. *Food and Nutrition Sciences*, 7(1), 37–43. <https://doi.org/10.4236/fns.2016.71005>
- Rankin, S. (2018). Hablemos del cadmio en el cacao andino. CIAT Blog. <https://blog.ciat.cgiar.org/es/hablemos-del-cadmio-en-el-cacao-andino/>
- Rieuwerts, J. S. (2007). The mobility and bioavailability of trace metals in tropical soils: A review. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 19(2), 75–85. <https://doi.org/10.3184/095422907X211918>
- Robertsa, T. L. (2014). Cadmium and phosphorous fertilizers: The issues and the science. *Procedia Engineering*, 83, 52–59. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.09.012>

- Rodríguez-Albarrcín, H. S., Darghan-Contreras, A. E. & Henao, M. C. (2019). Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of central Colombia. *Geoderma Regional*, 16, e00214. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>
- Rodríguez-Giraldo, Y., Rodríguez-Sánchez, E., Torres, L. G., Montenegro, A. C., & Pichimata, M. A. (2022). Development of validation methods to determine cadmium in cocoa almond from the beans by ICP-MS and ICP-OES. *Talanta Open*, 5, 100078. <https://doi.org/10.1016/J.TALO.2021.100078>
- Rojas, A. E. & Ibarra, J. (2008). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población la degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Poblacion y Desarrollo*, 4–9.
- Sánchez, G. (2016). Ecotoxicología del Cadmio: Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio. *Facultad De Farmacia Universidad Complutense Trabajo*, 5(6), 23. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA SANCHEZ BARRON.pdf>
- Sánchez, C., & Martínez, Y. (2011). Cadmio Disponible en dos suelos de Venezuela: Efecto del fósforo. *Revista Ingeniería UC*, 18(2), 7–14.
- Sánchez-Arizo, V. H., Zambrano-Mendoza, J. L., Iglesias, C. (2019). *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe*. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina.
- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., & Khan Niazi, N. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*, 325, 36–58. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2016.11.063>
- Smolders, E., & Mertens, J. (2013). Cadmium. En Z. Romano (Ed.), *Environmental Pollution*, (pp. 283–311). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_10

- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., & Jagoret, P.** (2016). Cacao Nutrition and Fertilization. En: Lichtfouse, E. (Eds.), *Sustainable Agriculture Reviews. Sustainable Agriculture Reviews*, (Vol. 19, pp. 155-202). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4
- Sosa, M.** (2018). Referencia obligada para la inserción del cacao de baracoa. *Revista Cubana de Economía Internacional*, 1(1), 54-70.
- Sun, L. N., Zhang, Y. F., He, L. Y., Chen, Z. J., Wang, Q. Y., Qian, M., & Sheng, X. F.** (2010). Genetic diversity and characterization of heavy metal-resistant-endophytic bacteria from two copper-tolerant plant species on copper mine wasteland. *Bioresource Technology*, 101(2), 501-509. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2009.08.011>
- Swisscontac.** (2016). Estrategias país para la oferta de cacaos especiales. Colombia Exporta Cacao Fino y de Aroma (Coexca).
- Unión Europea.** (2014). Reglamento (UE) N° 488/2014 de la Comisión. *Diario Oficial de la Unión Europea*. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA].** (2020). Evaluaciones agropecuarias EVA y anuario estadístico del sector agropecuario. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Agronet. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/paginas/home.aspx?cod=59>
- United States Environmental Protection Agency [US EPA].** (2014). Inorganic Analytes. US EPA.
- Wang, X., Zhang, Y., Geng, Z., Liu, Y., Guo, L., & Xiao, G.** (2019). Spatial analysis of heavy metals in meat products in China during 2015-2017. *Food Control*, 104, 174-180. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2019.04.033>

- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., & Fouet, O. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology and Evolution*, 2(12), 1879–1888. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>
- Zug, K. L. M., Huamaní-Yupanqui, H. A., Meyberg, F., Cierjacks, J. S., & Cierjacks, A. (2019). Cadmium accumulation in peruvian cacao (*Theobroma cacao* L.) and opportunities for mitigation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(3). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>





Glosario

- » **Agente carcinógeno o cancerígeno:** es una sustancia o mezcla de sustancias que produce cáncer o aumenta su incidencia.
- » **Área cosechada:** es la sumatoria de superficies de terreno en las que se cosechó o recolectó la producción de una especie agrícola determinada en un área geográfica delimitada durante el año calendario. Se expresa en hectáreas y puede ser igual o menor al área sembrada.
- » **Área sembrada:** es la sumatoria de superficies de terreno que durante el año calendario están sembradas con una especie agrícola determinada en un área geográfica delimitada. También se expresa en hectáreas.
- » **Balanza comercial:** es un índice que mide la diferencia entre las exportaciones y las importaciones de un país en un determinado periodo. La balanza es positiva cuando las exportaciones son mayores a las importaciones, esto se denomina superávit comercial. La balanza es negativa cuando las importaciones son mayores a las exportaciones, en cuyo caso existiría un déficit comercial.
- » **Bioacumulación:** hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales (u otras sustancias persistentes) en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua).
- » **Clon de cacao:** un clon o variedad clonal de cacao es un conjunto de plantas genéticamente idénticas reproducidas asexualmente a través de la injertación, por acodos o por enraizamiento de estacas y ramillas.
- » **Conflicto de uso de la tierra:** discrepancia entre el uso que el hombre hace del medio natural y el uso que debería hacer de acuerdo con sus potencialidades y restricciones ambientales, ecológicas, culturales, sociales y económicas.

- » **Cuantificación:** determinación de la concentración de los compuestos o elementos que intervienen y forman parte de reacciones químicas.
- » **Cultivos perennes:** son aquellos que tienen ciclos muy largos, ya que su periodo de vida vegetativo se puede extender más allá de 25 años continuos. Durante este tiempo, una vez realizada la siembra, pueden obtenerse varias cosechas (cíclicas o continuas) dependiendo del tipo de plantación.
- » **Digestión ácida:** es el mecanismo mediante el cual a altas temperaturas y en presencia de ácidos se descompone la materia orgánica en fracciones más simples como iones, agua y gases remanentes de las mezclas ácidas.
- » **Elemento traza:** cualquier elemento que tenga una concentración promedio menor a 1000 partes por millón (ppm).
- » **Erosión:** pérdida de la capa superficial del suelo cuyo impacto en la productividad y aporte de nutrientes es perjudicial.
- » **Exportación:** hace referencia a la acción comercial de vender un producto o servicio fuera del territorio nacional. Todo lo que un país produce y envía de forma legítima como mercancía a otro país es una exportación.
- » **Extractos:** sustancias que se obtienen de otras en una elevada concentración usando disolventes que se ponen en contacto con la sustancia original para extraer de ella sus principios activos.
- » **Fertilidad del suelo:** cualidad que permite al suelo proporcionar nutrientes en cantidades y balance adecuados para el crecimiento de plantas en condiciones medioambientales favorables.
- » **Fisiografía:** ciencia que tiene por objeto la descripción de la tierra y sus fenómenos.
- » **Fondo geoquímico:** es el contenido de elementos traza de un suelo sin intervención humana.
- » **Geomorfología:** disciplina que analiza el origen de las geformas, su evolución a través del tiempo geológico, su topografía, su configuración, su edad y sus materiales constituyentes.
- » **Georreferenciación:** posicionamiento espacial de un cuerpo en una localización geográfica de acuerdo con un sistema de coordenadas y a datos específicos.

- » **Gotera:** proyección de los extremos de las ramas del árbol sobre el terreno
- » **Humedad relativa:** la humedad relativa normalmente se expresa como un porcentaje. Un mayor porcentaje significa que la mezcla de aire y agua es más húmeda. Al 100 % de humedad relativa, el aire está saturado y se encuentra en su punto de rocío.
- » **Incertidumbre:** es una medida cuantitativa que expresa la calidad de la medición. Permite que los resultados de medida sean comparados con otros resultados, referencias, especificaciones o normas.
- » **Importación:** hace referencia a la acción comercial de comprar un producto o servicio a un país extranjero. Todo lo que ingrese a un país de forma legítima como mercancía y que provenga de terceros (otros países) es una importación.
- » **Material parental:** es el material geológico subyacente (generalmente un lecho rocoso o un depósito superficial o de deriva) en el que se forman los horizontes del suelo. Los suelos suelen heredar una gran cantidad de estructura y minerales de su material original y, como tal, a menudo se clasifican en función de su contenido de material mineral consolidado o no consolidado objeto de algún grado de meteorización física o química.
- » **Metal:** elementos químicos que a temperatura ambiente son de estado sólido (excepto el mercurio), conducen bien el calor y la electricidad y tienen, además, un brillo característico. En sus sales en disolución forman iones electropositivos (cationes).
- » **Meteorización:** es un proceso que tiene lugar cuando los minerales y las rocas, al estar en contacto con la biósfera, la hidrósfera o la atmósfera, se degradan o se fragmentan. Esta meteorización puede ser física o química y llevarse a cabo de manera total o parcial.
- » **Modelo clonal:** propone el uso de materiales de cacao con diferentes características como resistencia a plagas y enfermedades, productividad, calidad de grano, tamaño del árbol y compatibilidad sexual.

- » **Montaña:** superficie elevada de topografía accidentada, constituida por rocas de diverso origen y edad, que fueron deformadas, fracturadas y levantadas hasta conformar cordilleras
- » **Metros sobre el nivel del mar:** el metro sobre el nivel del mar (m s. n. m.) es un patrón de medida de la elevación o altitud sobre un lugar geográfico, ya sea un pueblo, una montaña o alguna otra formación.
- » **Molienda:** proceso en el cual se usan molinos para reducir el tamaño de partícula de una muestra determinada y se obtiene una de menor tamaño.
- » **Partida arancelaria:** corresponde a un código que puede tener entre 4 y 10 dígitos utilizado para identificar las mercancías que serán exportadas o importadas. Este código permite estandarizar y simplificar el método de clasificación de productos que se comercializan alrededor del mundo.
- » **Piedemonte:** superficie inclinada, de gran extensión, de altura media y topografía plana o ondulada. Está ubicado en la base de unidades de paisaje más elevadas, como la montaña.
- » **Precipitación:** es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo. Es el principal proceso por el cual el agua retorna a la tierra.
- » **Producción:** corresponde a la cantidad total de producto obtenida en el área cosechada durante el año calendario. Sus datos se expresan en toneladas.
- » **Rendimiento:** es un índice que relaciona la producción o las cantidades cosechadas con el área. El resultado de esta relación indicará la cantidad de un producto agrícola que se obtiene por cada hectárea sembrada.
- » **Rocas sedimentarias:** son aquellas rocas que han sido formadas debido a la acumulación de sedimentos a lo largo del tiempo, procedentes de otras rocas o restos orgánicos.
- » **Rocas volcánicas:** son aquellas que se originan por el enfriamiento rápido o brusco de lava o material volcánico que es expulsado sobre la superficie de la corteza terrestre.
- » **Sustrato:** capa del suelo que se encuentra debajo de la capa superficial del terreno. También suele denominarse subsuelo.

- » **Tamizado:** es un método simple que permite separar partículas de diferentes tamaños al pasarlas a través de un tamiz (un filtro con malla de alambre) o un colador fino. Durante este proceso, las partículas pequeñas pasan por los orificios del tamiz y las de mayor tamaño quedan retenidas.
- » **Temperatura:** indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente y se mide con un termómetro.
- » **Tiempo de vida medio biológico:** es el tiempo necesario para que la cantidad de un elemento particular en el cuerpo disminuya a la mitad de su valor inicial.
- » **Tipología de productores:** identificación y clasificación de productores agropecuarios según sus características productivas.
- » **Tipos de cacao:** desde el punto de vista de la botánica, existen tres tipos de cacao, que a la vez determinan tres clases de grano. Estos son los criollos, los forasteros y los híbridos.
- » **Zona de vida:** región biogeográfica que está delimitada por parámetros climáticos como la temperatura y precipitaciones.



Los autores

Diego Hernán Meneses Buitrago

Correo: dmeneses@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3033-3079>

Es ingeniero agropecuario y magíster en Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, con énfasis en sistemas integrados de producción agropecuaria. Cuenta con experiencia en las áreas de manejo de suelos y aguas (sistemas de riego en diferentes sistemas productivos como cacao, limón, pastos y forrajes), cambio climático, análisis de datos y estadística, formulación de proyectos y diseño de experimentos. Su trabajo se ha concentrado en el desarrollo de estrategias para mejorar la resiliencia de los diferentes sistemas productivos a través del enfoque de agricultura climáticamente inteligente, especialmente en programas de selección y evaluación de especies forrajeras para ganadería del trópico alto, determinación de la huella hídrica de especies forrajeras y generación de nuevos métodos de renovación de praderas para el trópico alto. Actualmente se desempeña como investigador máster adscrito a la Red de Innovación de Ganadería y Especies menores del Centro de Investigación Obonuco de Agrosavia.

José Libardo Lerma Lasso

Correo: jlerma@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4920-9801>

Ingeniero agrícola y candidato a magíster en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, especializado en el área de suelos. Cuenta con experiencia en el manejo de suelos y aguas, especialmente, en el cultivo de cacao y de pastos y forrajes, así como en cambio climático. Además, cuenta con habilidades en el manejo de software estadístico, análisis de datos, formulación de proyectos y diseño de experimentos. Actualmente, se encuentra involucrado en varios

programas importantes. Por un lado, trabaja en la determinación de la huella hídrica de especies forrajeras y en la generación de nuevos métodos de renovación de praderas para los sistemas ganaderos de trópico alto. Por otro lado, se dedica al desarrollo de un modelo productivo de cacao bajo en cadmio para la subregión de La Cordillera nariñense y al manejo eficiente de la fertilización integrada para la producción de cacao en la región del Catatumbo.

Gissela Fernanda Guerrero Díaz

Correo: gfguerrero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5596-1947>

Economista y especialista en Gerencia de proyectos de la Universidad de Nariño. Cuenta con experiencia en temas de desarrollo económico regional; bienestar y pobreza; y economía agraria y de los recursos naturales. Ha participado en proyectos de carácter ambiental, investigación socioeconómica y formulación y ejecución de proyectos productivos, por ejemplo: evaluación de planes de desarrollo territoriales, estudios técnicos para la delimitación de páramos, estudios de satisfacción empresarial, estudios para la evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios, fortalecimiento organizacional en zonas rurales y planes generales de asistencia técnica. Desde el año 2019 se encuentra vinculada como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

Diego Leonardo Cortés Delgadillo

Correo: dlcortes@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0972-6719>

Magíster en Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia. Ha investigado sobre la evaluación y predicción de atributos hidrofísicos del suelo mediante geostatística funcional. Cuenta con experiencia en la coordinación de equipos para la producción de cartografía temática y en el desarrollo de proyectos de levantamiento de suelos, análisis de capacidad agrológica, zonificación de tierras y

evaluación de variables agroclimáticas. Tiene especial interés por la cartografía digital de suelos, la planificación y el manejo sostenible del territorio. Actualmente se desempeña como Investigador Máster en el Centro de Investigación Obonuco de Agrosavia.

Eliana Martínez Pachón

Correo: emartinezp@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5144-132X>

Bióloga con M. Sc. en Ciencias Biológicas y Ph. D. en Agroecología de la Universidad Nacional de Colombia. Estudia los mecanismos que permiten a las comunidades rurales aumentar su resiliencia socioecológica. Se interesa por el desarrollo de procesos de fortalecimiento de capacidades con los agricultores campesinos, mediante aproximaciones metodológicas dirigidas a la coinnovación, la articulación de los actores territoriales y la integración de diferentes tipos de conocimiento. Es investigadora en Agrosavia desde 2016, donde ha desarrollado proyectos de fortalecimiento de capacidades con enfoque agroecológico para pequeños y medianos agricultores. Lidera el desarrollo de la metodología de Agrosavia para la conformación de sistemas territoriales de innovación Tisere (Territorios Innovadores y Socioecológicamente Resilientes). Actualmente dirige los proyectos “Fortalecimiento de capacidades para la innovación en la agricultura campesina, familiar y comunitaria tendiente a mejorar los medios de vida de la población vulnerable frente a los impactos del COVID-19, en la subregión Centro del departamento de Nariño” y “Desarrollo de un modelo productivo de cacao bajo en cadmio para la subregión de La Cordillera nariñense”.

Andrea Constanza Montenegro

Correo: amontenegro@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2634-2151>

Química de la Universidad de Nariño con Doctorado en Ciencias Químicas de la Universidad de Buenos Aires en áreas de Química Inorgánica, Química Analítica y Química Física. Realizó una estancia posdoctoral en el Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas

y Ambientales (INBA) de la UBA, donde trabajó en temas de agricultura relacionados específicamente con metales y metaloides (arsénico, cobre, plomo y cromo, entre otros) que generan contaminación en suelos, plantas y productos compostados.

Desde el 2015 es investigadora Ph. D. de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) en el Centro de Investigación Tibaitatá. Su área de investigación es la aplicación de diversas técnicas de análisis químico: métodos clásicos e instrumentales (Espectroscopía UV-Vis, Infrarroja, NIR, AAS, ICP-OES, ICP-MS, HPLC, RMN, GC y Raman) para análisis de compuestos y elementos químicos en diferentes productos y cadenas agrícolas (cacao, caña panelera, arroz, hortalizas y leche, entre otros). Se ha enfocado en temas de seguridad alimentaria, caracterización nutricional, bioprospección de plantas y determinación de la presencia de contaminantes (metales y plaguicidas) en aguas, suelos, tejidos y productos agrícolas.



Este libro se terminó de
diagramar en Bogotá
durante el mes
de diciembre
del año
2022



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL

El cacao es un importante producto de exportación para varios países de América del Sur (Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela). Dentro de ellos, Colombia ocupa el quinto lugar en producción y cuenta actualmente con el reconocimiento de la International Cocoa Organization (ICCO) por producir un cacao *fino y de aroma*.

La producción de cacao en La Cordillera nariñense se da en diferentes zonas de vida con una amplia gama de ambientes agroecológicos, donde el cacao se adapta de forma diferencial. Esto implica adoptar prácticas adecuadas para la sostenibilidad de este cultivo en distintas áreas de la región, sin perder de vista los altos requerimientos de calidad e inocuidad exigidos por los mercados internacionales. En este sentido, la presencia de elementos como el cadmio constituye un problema de salud pública que amenaza la inocuidad del cacao y sus derivados. También es un factor importante a la hora de comercializar hacia países con normatividades exigentes que regulan y restringen los niveles de este contaminante.

Por todo lo expuesto anteriormente, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA y La Fundación Ayuda en Acción, presentan en este manual las características de producción del cacao y abordan la presencia de este metal pesado con el fin de mejorar la sostenibilidad de este cultivo en la región y promover su comercialización.