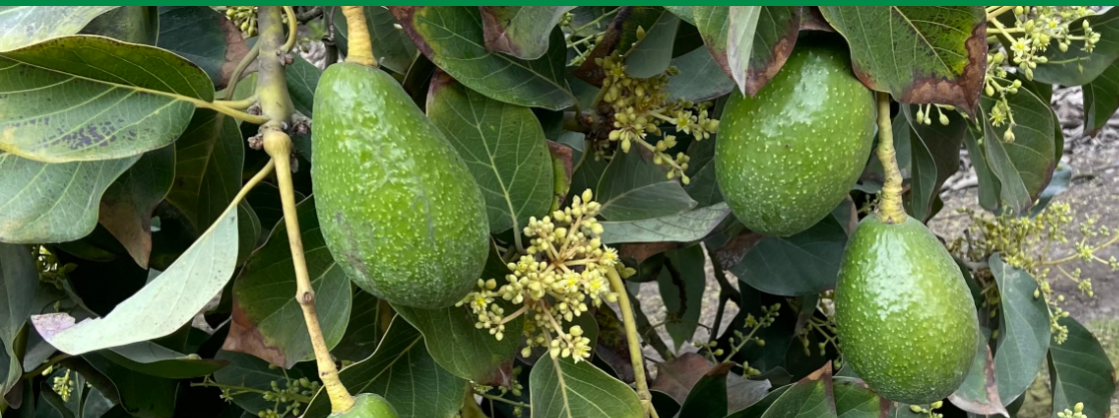




GUÍA METODOLÓGICA

Muestreo de suelo, agua de riego, fertilizantes, fruto, hojas y raíces para la evaluación de cadmio (Cd) en el cultivo de palto (*Persea americana* L.)





GUÍA METODOLÓGICA

Muestreo de suelo, agua de riego, fertilizantes, fruto, hojas y raíces para la evaluación de cadmio (Cd) en el cultivo de palto (*Persea americana* L.)



MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y LIBERACIÓN DE TECNOLOGÍAS





PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

inia Instituto
Nacional de
Innovación
Agraria

GUÍA METODOLÓGICA. MUESTREO DE SUELO, AGUA DE RIEGO, FERTILIZANTES, FRUTO, HOJAS Y RAÍCES PARA LA EVALUACIÓN DE CADMIO (Cd) EN EL CULTIVO DE PALTO (*Persea americana* L.)

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego

Marco Antonio Vinelli Ruiz

Viceministro de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Manuel Felipe Layseca Ortigas

Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego

José Angello Tangherlini Casal

Presidente Ejecutivo del Instituto Nacional de Innovación Agraria

Jorge Juan Ganoza Roncal

© Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Primera edición digital:

Agosto, 2026

Publicado:

Agosto, 2026

Disponible en:

<https://repositorio.inia.gob.pe/>

ISBN:

978-9972-44-279-7

Editado por:

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)

Av. La Molina 1981, Lima-Perú

Teléfono (511) 240 2400

www.gob.pe/inia

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2026-09905

Autor: INIA Perú. / **Equipo técnico:** Roberto Cosme - INIA, Rachel Atkinson - Bioversity International, Karina Arango - INIA y Fredy Yovera - Bioversity International / **Instituciones colaboradoras - Grupo de Trabajo Sectorial (RM - 290-2024-MIDAGRI):** Clotilde Quispe - Dirección General de Desarrollo Agrícola y Agroecología (DGDA), Marco Alcalde - Consultor técnico de Dirección General de Desarrollo Agrícola y Agroecología (DGDA), Josue Carrasco - Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), Guillermo Parodi - Agromercado, María Palacios - Autoridad Nacional del Agua (ANA), Patricia García - INIA, Efraín Rosario - Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios (DGAAA), Arturo Medina - Asociación de Productores y Exportadores de Palta Hass del Perú (ProHass), Karina Tokashiki - Asociación de Productores y Exportadores de Palta Hass del Perú (ProHass), Leylha Rebaza - Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas (IPEH), Edith Cevallos - Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas (IPEH) / **Revisión de contenido, edición, diseño y diagramación:** Susan M. Medina y Miguel A. Fernández / **Fotografías:** Roberto Cosme, Miguel A. Fernández, Karina Tokashiki, Rachel Atkinson, Fredy Yovera y Jorge Santillan.

Tabla de contenido

1. Presentación	<u>9</u>
2. Introducción	<u>13</u>
3. Objetivo	<u>15</u>
4. Alcance	<u>15</u>
5. Etiquetado de muestras y sistema de codificación	<u>16</u>
6. Protocolos para muestreo en el cultivo de palto	<u>18</u>
6.1 Protocolos relacionados al fruto comercial	<u>18</u>
6.2 Protocolos para fines de investigación	<u>21</u>
7. Agradecimientos	<u>42</u>
8. Financiamiento	<u>42</u>
9. Bibliografía	<u>42</u>
Anexos	<u>45</u>



Glosario

- **Cadmio (Cd):** Metal pesado regulado en alimentos.
- **Muestra compuesta:** Conjunto de submuestras representativas.
- **Submuestra:** Porción tomada en un punto específico.
- **Trazabilidad:** Seguimiento del origen y manejo de la muestra.
- **Código único de muestra:** Identificación irrepetible de la muestra.
- **pH:** Grado de acidez o alcalinidad.
- **Conductividad eléctrica (CE):** Medida de sales disueltas en agua.
- **Contramuestra:** Porción de la muestra analizada guardada como respaldo para verificaciones futuras.
- **Enmienda agrícola:** Material que mejora el suelo.
- **Fertilizante:** Sustancia que aporta nutrientes a las plantas.
- **Bioacumulación:** Acumulación de sustancias en tejidos vivos.
- **GPS:** Sistema que determina ubicación geográfica.
- **Reglamento (UE) 2023/915:** Norma europea que establece límites máximos de contaminantes, incluido el cadmio, en alimentos.



1. Presentación

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) es un organismo técnico especializado, adscrito al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), encargado de desarrollar actividades de investigación, transferencia tecnológica, aprovechamiento y conservación de los recursos genéticos; así como de la producción de semillas, plantones y reproductores de alto valor genético.

En un contexto en el que la agroexportación enfrenta crecientes exigencias en los mercados internacionales, particularmente en relación con los límites máximos permisibles de contaminantes como el cadmio, resulta indispensable contar con herramientas técnicas que respalden la toma de decisiones basadas en información confiable y comparable. Por ello el INIA, y en el marco de nuestra participación en el Grupo de Trabajo Sectorial (GTS) “Mesa Técnica para el abordaje estratégico de la problemática de cadmio para una agricultura competitiva, sostenible y segura” creado mediante Resolución Ministerial N° 0290-2024-MIDAGRI, pone a disposición la presente Guía Metodológica denominada Muestreo de suelo, agua de riego, fertilizantes, fruto, hojas y raíces para la evaluación de cadmio (Cd) en el cultivo de palto (*Persea americana* L.), donde realizamos acciones estratégicas para garantizar una agricultura competitiva, sostenible y segura.

Este documento establece protocolos prácticos y consensuados para la toma de muestras de suelo, agua de riego, fertilizantes, raíces, hojas y frutos en el cultivo de palto, orientados a evaluar la presencia y/o concentración de metales pesados, con énfasis en cadmio, bajo las diversas condiciones edafoclimáticas del país. Su aplicación permitirá generar información consistente a nivel nacional, fortalecer la trazabilidad del producto y contribuir al cumplimiento de los estándares

internacionales de calidad, en concordancia con la normativa de la Unión Europea u otras normas internacionales.

Finalmente, la presente guía está dirigida a productores, exportadores, investigadores y profesionales del sector agrícola, y constituye una herramienta técnica fundamental para la gestión de la inocuidad y la sostenibilidad del cultivo de palto, reafirmando el rol del INIA como entidad líder en investigación e innovación agraria al servicio del desarrollo del país.

M. Sc. Jorge Juan Ganoza Roncal
Presidente Ejecutivo
Instituto Nacional de Innovación Agraria



2. Introducción

El cultivo de palto (*Persea americana* L.) se ha consolidado en la estructura agroexportadora peruana, siendo una fuente significativa de divisas y desarrollo en las regiones de La Libertad, Lima e Ica. Además, en los valles interandinos el cultivo ha tomado importancia, ya que está presente en la mayoría de regiones del país, en su gran mayoría a través de la pequeña agricultura familiar. No obstante, la sostenibilidad comercial de este producto podría enfrentar desafíos técnicos. Al igual que la calidad del agua es esencial para el riego, la ausencia de elementos contaminantes en el producto final es importante para cumplir con las normativas internacionales de distintos entes reguladores, como las establecidas por la Unión Europea (Comisión Europea, 2023), que establecen límites máximos de cadmio con niveles de exigencia crecientes.

Para gestionar adecuadamente este posible riesgo, es necesario comprender las fuentes y dinámicas del cadmio en el agrosistema, las cuales actúan como componentes interconectados que determinan la calidad final del palto:

- El suelo como reservorio: Es la matriz principal de almacenamiento. La presencia de cadmio puede tener un origen geogénico, derivado de la meteorización natural de la roca madre y la actividad volcánica, o un origen antropogénico, producto de actividades humanas como el uso histórico de algunos fertilizantes fosfatados con trazas de cadmio y otros metales pesados.
- El recurso hídrico: El agua de riego actúa como un agente de transporte y dispersión. Si bien los ríos y pozos son fuentes vitales, pueden acarrear sedimentos o solutos contaminantes desde las partes altas de las cuencas, lo que podría, en ciertos casos, introducir el metal en los campos de cultivo y modificar el equilibrio químico del suelo.

- La fisiología del cultivo: El palto posee mecanismos específicos de absorción y transporte. El cadmio disuelto en la solución suelo podría ser absorbido bajo ciertas condiciones por el sistema radicular y, mediante procesos de traslocación, ser movilizado a través del xilema hasta acumularse en los órganos de reserva y crecimiento.

El cadmio es un metal pesado no esencial para las plantas que se caracteriza por su alta movilidad en el sistema suelo-planta, especialmente en condiciones de pH ácido y/o baja materia orgánica. Aunque los mecanismos de movimiento y transporte del cadmio son complejos y aún requieren mayor investigación científica, químicamente este elemento presenta similitudes con nutrientes esenciales como el zinc (Zn) y el calcio (Ca), lo que podría facilitar su ingreso a las células vegetales utilizando los mismos canales de transporte iónico. Es importante considerar que la acumulación de cadmio varía entre especies vegetales.

Una vez dentro del palto, el cadmio podría acumularse en los tejidos, como raíces y hojas, y en menor medida en los frutos. Estas concentraciones pueden alcanzar niveles que, si bien no siempre generan síntomas visibles de fitotoxicidad en el cultivo, en algunos casos podrían superar los umbrales de seguridad permitidos por los entes reguladores para el mercado agronómico.



3. Objetivo

La guía metodológica tiene el objetivo de establecer protocolos de muestreo de suelo, agua de riego, fertilizantes, frutos, hojas y raíces para realizar estudios (con fines comerciales o de investigación, no cartográficos) relacionados con la acumulación de cadmio en el cultivo de palto. Esto permitirá entender la relación entre las condiciones de suelo, la planta y la acumulación de cadmio.

4. Alcance

Estos protocolos están dirigidos a quienes realizan muestreos en lotes comerciales o en campo con el fin de determinar la posible acumulación de cadmio en lotes o parcelas de palto, con fines comerciales o de investigación. Los protocolos están basados en procedimientos publicados por instituciones del gobierno del Perú y de la Unión Europea, adaptados a la fisiología, biología y sistemas de manejo del cultivo en el Perú. Asimismo, describen de manera clara cómo recolectar muestras de suelo, agua de riego, fertilizantes, raíces, hojas y frutos.



5. Etiquetado de muestras y sistema de codificación

Para la toma o recolección de la muestra es primordial preservar la cadena de trazabilidad en todo el proceso de toma de muestra, transporte, manipulación, preparación, análisis, y almacenamiento de la contramuestra. Antes de iniciar la recolección de las muestras, es importante tener un sistema de codificación que agilice el proceso. Este debe ser un sistema sencillo que permita que cada muestra tenga un código único, identificable y trazable.

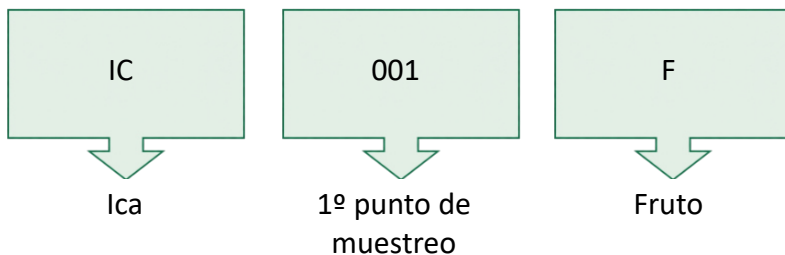
Una opción sería el uso de un número o código único para cada muestra (sistema de código de barras o código QR), el cual permite el acceso a la información asociada a través de una base de datos; si la organización que realiza el muestreo no cuenta con un sistema de codificación desarrollado, se puede desarrollar un código sencillo que contenga básicamente lo siguiente:



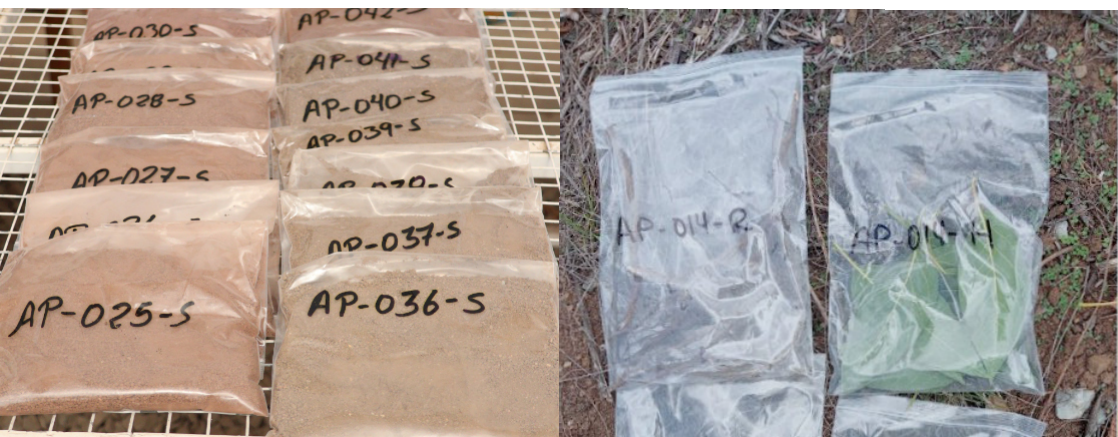
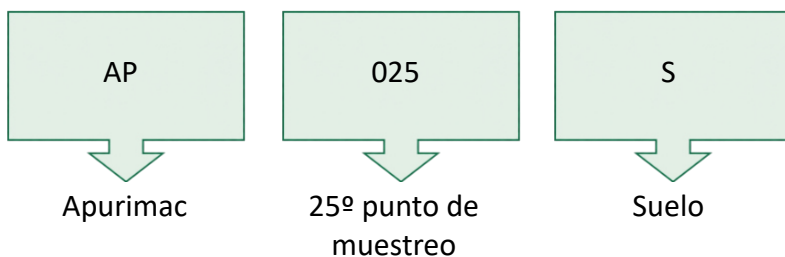
- Código único de la unidad de muestra (lugar de muestreo, predio, lote o planta). Por ejemplo IC: Ica o AY: Ayacucho.
- Número de muestreo (relacionado con el orden o fecha de muestreo, considerando futuras tomas de muestra).
- Código único de tipo de muestra (S: suelo; A: agua de riego; X: fertilizante; R: raíz; H: hoja y F: fruto).

El código debe estar colocado de forma indeleble en la bolsa que contenga la muestra, puede ser a través de una etiqueta adhesiva o mediante escritura directa. Paralelamente, este código se debe registrar en una base de datos o en un cuaderno de notas y se debe verificar al finalizar la jornada de campo para asegurar el registro correcto. Asimismo, es muy importante coordinar la vinculación de los códigos de las muestras cuando se comparten los muestreos con otras instituciones.

Ejemplo 1: **IC-001-F**



Ejemplo 2: **AP-025-S**



6. Protocolos para muestreo en el cultivo de palto

6.1 Protocolos para muestreo en el cultivo de palto

Materiales y equipos

- Bolsas de papel para muestras de frutos
- Plumón indeleble
- Cajas para transporte de muestras
- Tijera de cosecha
- Barreno
- Cuaderno y lápiz
- GPS (para la recolecta de muestras en campo)

Protocolo

Muestras de fruto de lotes comerciales: Según el procedimiento de SENASA (PRO SIAG 07) (Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA], 2012) y conforme a la regulación de la UE (333/2007) (Comisión Europea, 2007), se debe tomar la muestra de palta en la etapa final de la línea de proceso. Y según la Norma Técnica Peruana de Palta, el fruto debe haber alcanzado el desarrollo fisiológico necesario para completar su proceso de maduración, de acuerdo a su variedad y zona de producción. Para la variedad Hass, el fruto deberá tener un contenido mínimo de 22 % de materia seca al momento de cosecha (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2025).

Se debe recolectar una muestra compuesta de submuestras (también llamadas muestras elementales o sublotes). Cada submuestra debe pesar un mínimo de 100 g, considerando que la unidad mínima de la submuestra es un fruto (palta). El peso de la muestra compuesta debe alcanzar 1 kg.

El número de submuestras depende del tamaño del lote de comercialización (ver Tabla 1), indicando un máximo de 10 frutos por muestra compuesta para un lote comercial de 15 toneladas métricas (t). Si el lote comercial es mayor de 15 t, se debe muestrear y analizar por separado cada 15 t (Comisión Europea, 2007; SENASA, 2012). Por ejemplo, para un lote de 30 t, se obtiene una muestra compuesta de 10 paltas de 0-15 t y otra muestra de 10 paltas de 15-30 t.



Tabla 1. Número de submuestras (paltas) para la obtención de una muestra compuesta según el tamaño del lote comercial.

<i>Tamaño del lote</i>	<i>Número de submuestras (N.º de paltas en madurez fisiológica para cosecha)</i>
< 50 kg	3 (3 paltas por submuestra)
50-500 kg	5 (2 paltas por submuestra)
> 500 kg hasta 15 t	10 (1 palta por submuestra)
> 15 t	10 por cada 15 t, analizados por separado.

Fuente: Basado en el reglamento UE (333/2007) (Comisión Europea, 2007).

A pesar de que en algunos casos el peso del fruto es mayor, no se deben cortar los frutos en campo, se deben entregar frutos enteros al laboratorio para evitar que se deterioren.

Muestreo del fruto en el campo: El muestreo de lotes comerciales en campo deberá ser aleatorio en la(s) parcela(s) de cada lote comercial (según Tabla 1) y debe verificarse con sus coordenadas georreferenciadas. El área de un lote comercial a sectorizar para la toma de muestras será de máximo 3 ha. Para el muestreo, se puede utilizar un recorrido de "W" u otra forma, asegurando que abarque toda el área del lote, y que todos los árboles tengan la misma probabilidad de ser seleccionados, evitando los bordes del predio (SENASA PRO SIAG 07) (SENASA, 2012).

Por ejemplo, para un lote de 500 kg, se tomarán 5 submuestras (según Tabla 1), equivalentes a aproximadamente 10 frutos en estado de madurez fisiológica para la cosecha (son frutos que han perdido su brillo y tienen un pedúnculo fácil de quebrar, ver Figura 1). Estos frutos deben ser transportados enteros hacia el laboratorio para el análisis.



Figura 1. Diferencia entre palta inmadura (A) y madura (B) para la recolecta de muestras de fruto con madurez fisiológica que están listos para cosechar.

6.2 Protocolos para fines de investigación

La selección de un protocolo de muestreo para fines de investigación relacionado a la evaluación de cadmio depende de la pregunta de investigación, el tiempo y el presupuesto disponible. En este sentido, se puede usar el fundo, la parcela, el lote o un área como unidad de muestreo para obtener muestras representativas. Alternativamente, se puede tomar cada árbol como unidad de muestreo si se desea estudiar aspectos fisiológicos, diferencias entre clones o variedades, procesos de bioacumulación de cadmio o diferencias entre épocas del año.

También se pueden recolectar muestras por árbol durante la fase de campo, y luego decidir usarlas para una muestra compuesta, mezclándolas en laboratorio.

Lo importante siempre es poder relacionar los diferentes tipos de muestra (suelo, agua de riego, fertilizante, raíz, hoja y/o fruto) para poder interpretar los resultados. Esto se hace recolectando cada tipo de muestra del mismo árbol. Cabe mencionar que estos protocolos no abordan el diseño experimental en aspectos como el número de réplicas necesarias o el espaciamiento de muestreo según la pregunta de investigación; están enfocados únicamente en el procedimiento de recolección de muestras.

Materiales y equipos

- Barreno, lampa o pala para muestreo de suelo
- Pico o barreta
- Bolsas plásticas de 1 kg y 2 kg
- Bolsas de papel para muestras de hojas, raíces y frutos
- Tijera de mano
- Manta, costal o balde
- Plumón indeleble, cuaderno y lápiz
- Formularios de información
- Cinta de larga duración para marcar árboles
- Cámara fotográfica (o celular)
- Pizarra para colocar los códigos (fotos)
- Equipo GPS
- Botellas plásticas de 0,5 L con tapa



Formulario de información

Información sobre el fundo: Previo al llenado del formulario de información y a la recolección de muestras en el fundo, se le debe explicar al productor el objetivo del muestreo, el alcance del estudio y los beneficios que este tendrá tras su culminación. Así también, es necesario contar con su autorización o consentimiento informado, disposición y disponibilidad para colaborar. En el anexo 2 se encuentra un ejemplo de texto del consentimiento informado que se puede utilizar.

A continuación, se presenta una guía para la ficha del formulario de información:



UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL FUNDO E INFORMACIÓN DEL PRODUCTOR

Región

Provincia

Distrito

Sector

*Propietario del fundo
(Apellidos y nombres)*

Asociación/Organización

Número de contacto

Ubicación: Altitud, latitud y longitud

*Sistema geodésico WGS84 en
grados decimales*

*Códigos de la parcela o de la
muestra relacionados con el
productor (Ej: IC-001, LA-001-S...)*



INFORMACIÓN DE LA PARCELA

Cultivo

Edad de los árboles de palto (años)				
Área de cultivo (ha)				

Tipo de producción	Uso anterior del suelo
☐ Orgánico	
☐ Convencional	

Uso de fertilizantes y abonos (3 más usados, incluyendo fuentes de fósforo y zinc)

Nombre del fertilizante	Meses de aplicación	Dosis (kg/ha)	Frecuencia de aplicación
1.			
2.			
3....			

Riego

Fuente de agua	☐ Pozo	☐ Río	☐ Lluvia
Frecuencia (N° veces al año)			
¿Se trata el agua antes de usarla?	☐ si	¿Con qué?	
	☐ no		

Análisis

¿Cuenta con análisis de laboratorio de calidad o nutricional previo?

Suelo ☐ sí ☐ no

Fruto ☐ sí ☐ no

Agua ☐ sí ☐ no

Hoja ☐ sí ☐ no

Fertilizantes ☐ sí ☐ no

Raíz ☐ sí ☐ no

¿Cuenta con análisis de cadmio?

Suelo ☐ sí ☐ no

Fruto ☐ sí ☐ no

Agua ☐ sí ☐ no

Hoja ☐ sí ☐ no

Fertilizantes ☐ sí ☐ no

Raíz ☐ sí ☐ no

¿Podría compartir los resultados? ☐ sí ☐ no

Variedades

Tipo de propagación ☐ Injertado ☐ Semilla ☐ Ambos

Variedad(es)	%	Portainjerto (patrón)	%
1		1	
2		2	
3...		3...	
Rendimiento de palta (t/ha)			
Número de plantas/hectárea			



Nota: Este es un modelo guía que puede ser modificado según el interés del investigador(a).



El muestreo

Debido a que el objetivo del muestreo es comprender la relación entre la posible acumulación de cadmio en el árbol y las características del suelo, del agua de riego, de los fertilizantes, de la planta (raíz, hoja, fruto, etc.) e incluso de su genética, es crucial considerar que todos estos factores están interconectados. Por lo tanto, si bien es posible recolectar muestras compuestas por finca o fundo, es fundamental que todos los tipos de muestra (suelo, agua de riego, raíz, hoja, y/o fruto) provengan exactamente de los mismos árboles o grupos de árboles representativos para garantizar la integridad de los datos y su correlación.

Muestreo de árboles:

Cada árbol elegido para muestrear recibirá un código único y estará marcado utilizando una cinta de larga duración, precinto o etiqueta puesta en un tronco o rama que no será podada y que no pueda desprenderse (debe ubicarse fuera del alcance de terceros). Cada etiqueta llevará el código del árbol. Luego, por cada árbol se tomará una foto, con una pizarra delante indicando su código, para facilitar su posterior ubicación. Adicionalmente al formulario descrito previamente, se tomarán los siguientes datos en la ficha de trabajo:

- Código del árbol.
- Latitud y Longitud: tomadas por cada árbol usando GPS WGS84 en grados decimales mediante un equipo receptor de GPS.
- Altitud (m s.n.m.): registrada mediante GPS.
- Variedad: Variedad de árbol (portainjerto/patrón o injerto) según información del productor.

- Condición fitosanitaria: enfermedades, plagas y deficiencias nutricionales.
- Registro de toma de muestras: suelo, raíces, hojas y frutos (Figura 2).



Figura 2. Toma de muestra de suelo (A), raíces (B) hojas (C) y suelo, hojas y frutos (D).

Elección de los árboles:

Si el fundo tiene un área de hasta 3 ha, se muestrearán 10 árboles. Antes de empezar la recolección, se debe definir cómo elegir estos 10 árboles según el enfoque del muestreo. Éste se puede realizar al azar; sin embargo, si el productor o responsable del fundo indica que existen zonas muy diferentes (basadas en tipos de suelo o pendiente), se puede utilizar esta información para guiar el muestreo dividiendo los árboles proporcionalmente. Por ejemplo, si se identifican dos zonas con características diferentes, una que ocupa el 70 % del área y la otra el 30 %, se muestrearán 7 árboles en la primera zona y 3 en la segunda. En fundos mayores a 3 ha el investigador(a) deberá decidir, según su plan espacial de muestreo, si se tomarán muestras compuestas adicionales en el mismo fundo o en otro para su análisis. Si el fundo tiene un área menor a 1 ha, se puede muestrear un mínimo de 5 árboles en total.

Cuando el investigador(a) requiere alinearse con el muestreo de SENASA de lotes comerciales, muestreará los mismos 10 árboles de donde se recolectan los frutos (ver Figura 3).

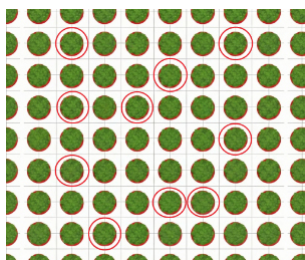
Si el área de 3 ha presenta alta variabilidad en portainjertos o variedades injertadas, se sugiere considerarlo para asegurar que haya muestras de las variedades más comunes.

El tamaño de muestra sugerido aquí está considerado para el análisis en laboratorios de centros de investigación; sin embargo, si se va a analizar en laboratorios comerciales, éstos podrían requerir tamaños de muestras mayores. Es importante verificar los pesos mínimos requeridos por el laboratorio antes de iniciar una campaña de muestreo.

A

Terreno uniforme

10 árboles elegidos al azar



Terreno variable

10 árboles representativos

3 7

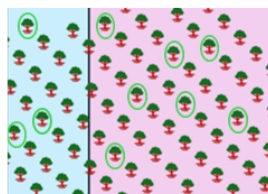
**B**

Figura 3. Elección de los árboles para el muestreo (A) y el etiquetado (B).

Muestreo de frutos:

La muestra de fruto deberá tomarse en su estado de madurez fisiológica para la cosecha (frutos que han perdido su brillo y tienen un pedúnculo fácil de quebrar – ver Figura 1). La ubicación del fruto en el árbol no es relevante (Figura 4), debido a que la meta de la investigación es obtener una muestra representativa de la cosecha comercial. Las paltas deben ser transportadas al laboratorio enteras y en bolsa de papel o plástico sellada con su código correspondiente.

- *Muestra compuesta de frutos:* Se tomará un fruto de cada uno de los 10 árboles seleccionados.
- *Muestra de frutos por árbol:* Cosechar de 2 a 4 frutos por árbol (1 kg en total).



Figura 4. Muestreo de frutos de palto o paltas.

Muestreo de hojas:

El muestreo de hojas se recolectará de los mismos 10 árboles de los que se han tomado muestras del fruto. Se tomarán hojas sanas y adultas (ver Figura 5).

- *Muestra compuesta de hojas:* De cada árbol se tomarán 10 hojas adultas para obtener una muestra compuesta de 100 hojas que se guardará en una bolsa de papel debidamente codificada.
- *Muestra de hoja por árbol:* Se recolectarán 10 a 20 hojas por cada árbol. Se guardarán en una bolsa de papel (para que pueda secar), debidamente codificadas.



Figura 5. Características de hojas adultas (A) y juveniles o nuevas (B) del árbol de palto.

Muestreo de raíces:

Al mismo tiempo que se realizan los hoyos para el muestreo de suelo, se encontrarán raíces que pueden aprovecharse para su recolección. Se deben seleccionar raíces de color marrón, evitando raíces muy jóvenes y raíces gruesas (ver Figura 6).

- *Muestra compuesta de raíces:* Se guardarán las muestras de raíces de los 10 árboles (alrededor de 50 g por árbol) en una bolsa plástica limpia, debidamente codificada.
- *Muestra de raíces por árbol:* Se guardará la muestra de un peso aproximado de 150 g de forma separada por cada árbol.



Figura 6. Características de raíces de palto aptas para ser tomadas como muestra.

Muestreo de suelo:

El muestreo consistirá en recolectar muestras de suelo alrededor de los mismos 10 árboles donde se han tomado las muestras de fruto. El protocolo está adaptado a partir del muestreo de la campaña nacional Perú 2M de INIA (INIA, 2023) que consiste en eliminar la hojarasca alrededor del árbol. Utilizar un barreno u otra herramienta para tomar

4 submuestras de suelo equidistantes alrededor de tronco de la planta, el punto de muestreo debe quedar en medio de la distancia entre el tronco y el borde de la copa, se tomará la muestra a una profundidad de 0 a 30 cm, como se indica en la Figura 7.

- **Muestra compuesta de suelo:** Se colocará las muestras de suelo de cada árbol en una manta, costal o balde limpio y se mezclarán bien, eliminando piedras, rocas y raíces. Luego, se dividirá la mezcla en cuatro porciones. Se retirarán dos porciones, y se mezclarán las dos restantes (ver Figura 7 y 8). Se repetirá el proceso hasta lograr una muestra final de 1 kg. Finalmente, la muestra se colocará en una bolsa de plástico limpia, sellada con su código correspondiente.

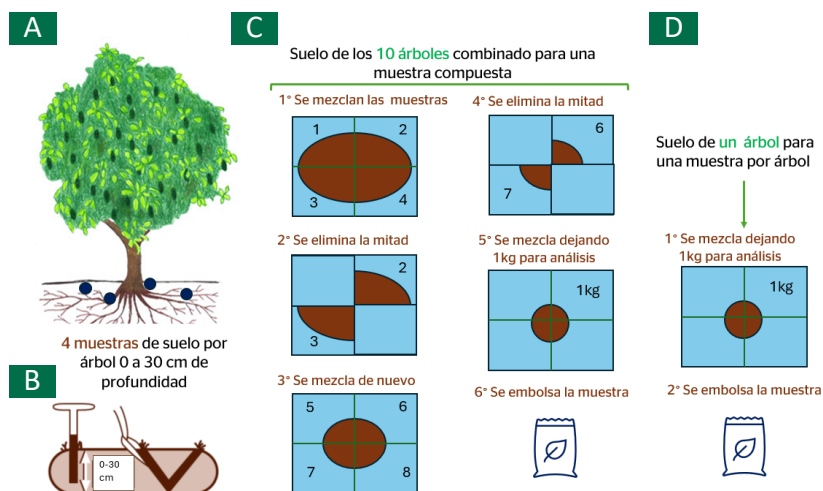


Figura 7. Toma de las 4 submuestras alrededor del tronco de la planta (A - Círculos azules). Método para toma de muestra con barreno o con calicata a profundidad de 30 cm (B). Esquema de la toma de muestra de suelo de una muestra compuesta (C) y una muestra por árbol (D).



Figura 8. Recolectión de muestras de suelo: Etiquetado del árbol (A), marcado de 4 puntos de muestreo (B), recolección de suelo con barreno (C y D) o con lampa (E y F), cuarteado (G y H) y embolsado (I).

- **Muestra de suelo por árbol:** Sigue la metodología anterior, pero en lugar de obtener una única muestra compuesta de los 10 árboles, se mezclarán las 4 submuestras de un solo árbol en una bolsa nueva de plástico marcada con el código, reduciendo el volumen hasta obtener aproximadamente 1 kg. Se debe amarrar bien la bolsa eliminando la mayor cantidad de aire posible.

Muestreo de agua de riego:

La muestra de agua debe tomarse de la fuente usada para la irrigación, por donde entra a la parcela (Figura 9). Este punto se define con el responsable o dueño de la parcela o fundo, y puede ser del canal de irrigación, del pozo, luego del tratamiento, o antes de entrar al sistema de irrigación. El lugar de muestreo se debe georreferenciar; esto es útil para poder regresar al mismo punto en futuros muestreos o en caso se detecte un problema de cadmio en la parcela. Si la parcela tiene más de una fuente de agua de riego, se debe muestrear cada una.

Siguiendo la guía de muestreo de agua con fines agrícolas de INIA (Contreras Pino et al., 2025) que se basa en el protocolo nacional 010-2016-ANA (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016), se recomienda evaluar parámetros tales como pH y conductividad eléctrica en campo con un equipo calibrado con suficiente precisión para fines de análisis. Para sistemas de riego o canales, es necesario usar botas de jebe y guantes descartables; además, se debe medir el caudal de agua que ingresa al cultivo, siguiendo el manual del equipo o las anotaciones del sistema de irrigación.

Para tener datos de otros parámetros (por ejemplo, sales), se deberán recolectar entre 100 y 500 mL de agua (dependiendo del laboratorio). Se usará la botella proporcionada por el laboratorio o en algunos casos se puede enjuagar una botella nueva de plástico por lo menos dos veces antes de llenarla. En canales de irrigación, se toma la botella por debajo



Figura 9. Toma de muestra de agua en la entrada al campo de distintos métodos de regadío (A y B). Adición de ácido nítrico (C) y guardado de las muestras para su envío a laboratorio (D).

del cuello, sumergiéndola en dirección opuesta al flujo de agua para llenarla. Para muestrear agua de los sistemas de irrigación, se llenará la botella con la fuente de agua que ingresa al cultivo.

En lotes donde se está tratando el agua antes de riego, es importante preguntar y anotar cómo y con qué se realiza dicho tratamiento. Si se detectan niveles altos de cadmio en suelo o fruto, se sugiere empezar un monitoreo mensual de cadmio usando membranas de DGT (*Diffusive Gradients in Thin films*) para obtener más información de la concentración del cadmio en el agua disponible para uso de la planta durante el desarrollo de los frutos (Thomas et al., 2023).

En todo caso, la muestra de agua debe conservarse en una botella plástica (no vidrio) para su análisis dentro de un mes desde su toma adicionando ácido nítrico (Figura 9). Si el interés es solamente medir el cadmio disponible, y no hay pérdida de cadmio, no hace falta la adición de ácido nítrico (Batley y Gardner, 1977). La recolección de muestras para medición de cadmio total en agua de riego está fuera del alcance del protocolo. No se aconseja analizar cadmio en una muestra de agua si no se ha detectado un problema con la concentración de cadmio en la cosecha.

Muestreo de fertilizantes:

La muestra de fertilizante se debe recolectar de la bolsa o frasco que se esté usando en la parcela, esta se debe tomar en el almacén o en un espacio adecuado libre de polvo y directamente del envase original del fabricante. Si se va a medir solamente cadmio, se necesitan 100 g del fertilizante o enmienda sólida en una bolsa plástica (según NTP ISO 17318) (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2022). Para fertilizantes líquidos se necesitan 100 mL, en una botella plástica sellada. Se debe asegurar que se cuente con la ficha técnica de cada producto. Se recomienda enfocar el muestreo en fuentes de fósforo y micronutrientes. Para fuentes de nitrógeno orgánico, se sugiere también medir sales.

Recomendaciones para el investigador(a)



La decisión de recolectar muestras compuestas por fundo, o muestras por árbol dependerá de la pregunta de investigación que se quiere responder, además del presupuesto y tiempo disponible.

Se pueden recolectar muestras individuales por árbol y posteriormente combinarlas en el laboratorio. Por ejemplo, si se desea investigar diferencias entre clones o variedades y aspectos de bioacumulación de cadmio, se debe muestrear por árbol, pero si se requiere para un mapeo, se puede elegir cualquiera de las dos opciones. No es obligatorio tomar todos los tipos de muestras indicadas, y puede ser oportuno tomar muestras en diferentes épocas del año.

En la Tabla 2 se indica el tamaño de muestra sugerido por cada tipo de muestreo; sin embargo, es importante verificar con el laboratorio que las va a analizar cuál será el volumen necesario para sus protocolos internos.



Tabla 2. Resumen del tamaño de muestra por cada tipo de muestreo.

<i>Tipo de muestra</i>	<i>Muestra compuesta (1 muestra por fundo)</i>	<i>Muestra por cada árbol (5-10 muestras por fundo) *</i>
<i>Suelo</i>	<i>1 kg</i>	<i>1 kg</i>
<i>Agua</i>	<i>100 a 500 m L</i>	<i>N/A</i>
<i>Fertilizantes</i>	<i>100 g, 100 mL</i>	<i>N/A</i>
<i>Fruto</i>	<i>10 frutos (1 por árbol)</i>	<i>2-3 frutos</i>
<i>Hoja</i>	<i>100 hojas (10 por árbol)</i>	<i>10-20 hojas</i>
<i>Raíz</i>	<i>500 g (50 g por árbol)</i>	<i>150 g</i>

**Se sugieren 5 muestras cuando el fundo es menor de 1 ha.*

Preparación de muestras

Durante la preparación de las muestras se deberá seguir un proceso ordenado para evitar contaminación cruzada entre muestras (ver tabla 3). Si se utiliza un laboratorio comercial para el análisis, este será responsable de esta etapa.

Tabla 3. Tipo y descripción de las muestras para la toma de muestra.

Tipo de muestra	Descripción
Suelo	Se secará la muestra al aire hasta que su peso no varíe; luego se molerá y se pasará por un tamiz de 2 mm.
Agua de riego	No hay preparación de la muestra.
Fertilizantes	No hay preparación de la muestra.
Fruto (mediciones fruto fresco)	Se sacarán láminas de los frutos de la muestra, luego se molerán o rallarán, y se analizarán usando la tecnología que no requiera otra preparación de la muestra.
Fruto (medición fruto seco)	Se extraerá la pulpa en láminas, sin tomar la cascara ni la semilla (pepa). Se pesará toda la muestra de un fruto en una balanza de precisión de 0,01 g, luego se secará en el horno microondas a baja potencia durante 2-4 min, para poderla rallar. Alternativamente se puede secar en un horno por un tiempo mínimo de 24 h. Antes y después de secar la muestra, se debe pesar y anotar tanto el peso fresco como el peso seco, luego rallarla para poder medir la cantidad de Cd en la muestra.
Hoja	Se lavarán con agua corriente y después con agua destilada o desionizada. Luego se secarán a 60 °C por 24 h como mínimo o hasta que no pierda más peso. Antes y después de secar la muestra, se deberá pesar y anotar peso fresco y peso seco. Luego se deberá moler toda la muestra y se pasará por un tamiz de 2 mm.
Raíz	Se lavarán con agua corriente y después con agua destilada o desionizada. Luego se secarán a 60 °C por 24 h como mínimo o hasta que no pierda más peso. Antes y después de secar la muestra, se deberá pesar y anotar peso fresco y peso seco. Luego se deberá moler toda la muestra y se pasará por un tamiz de 2 mm.

Análisis en laboratorio

Las muestras de fruto, raíz y hoja deben analizarse usando métodos que cumplan con la norma europea 333/2007 (Comisión Europea, 2007). Se recomienda que, si se utilizan laboratorios comerciales, se verifique que cuenten con certificación de INACAL u otra entidad acreditadora; y que para la medición de Cd se utilice ICP MS o una metodología con precisión similar, por ejemplo la tecnología XRF (Dekeyrel et al., 2024). Para medir Cd disponible se deberá utilizar la digestión Mehlich 3 (MH3) ya que sus resultados son similares a la concentración de Cd disponible para la planta (Chavez et al., 2016). Los métodos para la caracterización de suelo pueden variar según laboratorio. Por ello se aconseja analizar en el mismo laboratorio todas las muestras. En la tabla 4 se sugieren los parámetros a medir.



Tabla 4. Parámetros de medición.

<i>Tipo de muestra</i>	<i>Parámetros sugeridos</i>	<i>Parámetros mínimos</i>
<i>Suelo</i>	<i>Caracterización de suelo, metales pesados totales y disponibles (MH3), cloruro.</i>	<i>pH, CEC, % Materia orgánica, Cd Total</i>
<i>Agua</i>	<i>pH, sales, cadmio*</i>	<i>pH, sales</i>
<i>Fertilizantes</i>	<i>Cd, sales, P (en fuentes de fosfato)</i>	<i>Cd, sales, P (solo en fuentes de fosfato)</i>
<i>Fruto, hoja y raíz</i>	<i>Cd, Mn, Zn</i>	<i>Cd</i>

**Se sugiere utilizar membranas DGT (Thomas et al., 2023) para la estimación de cadmio, cuando se ha detectado que las plantas están acumulando cadmio.*

7. Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a los miembros del Grupo de Trabajo Sectorial (GTS) “Mesa Técnica para el Abordaje Estratégico de la Problemática de Cadmio para una Agricultura Competitiva, Sostenible y Segura” del MIDAGRI por su colaboración en la elaboración de los protocolos incluidos en la presente guía. Asimismo, reconocemos a los investigadores de *Bioversity International* por brindar un gran soporte técnico y científico para el desarrollo de este documento.

8. Financiamiento

Los protocolos forman parte de la Agenda Estratégica Nacional (AEN) 2025-2030 Gobierno del Perú.

9. Bibliografía

- Agencia agraria de noticias. (20 de enero de 2025). *La Libertad, Ica y Lambayeque concentran el 89% de la superficie de palta orgánica*. Agraria.pe. <https://agraria.pe/noticias/la-libertad-ica-y-lambayeque-concentran-el-89-de-la-superficie-37529>
- ANA. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Autoridad Nacional del Agua. <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>
- Batley, G. E., y Gardner, D. (1977). Sampling and storage of natural waters for trace metal analysis. *Water Research*, 11(9), 745–756. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(77\)90042-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(77)90042-2)

- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, Y. C., Moyano, B., y Baligar, V. C. (2016). Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere*, 150, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.013>
- Comisión Europea. (2007). *Reglamento (CE) 333/2007 de la Comisión, de 28 de marzo de 2007, por el que se establecen los métodos de muestreo y análisis para el control oficial de los niveles de plomo, cadmio, mercurio, estaño inorgánico, 3-MCPD y benzo(a)pireno en los productos alimenticios*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 88, 29-38. <http://data.europa.eu/eli/reg/2007/333/2024-04-30>
- Comisión Europea. (2023). *Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión, de 25 de abril de 2023, relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 119, 103-157. <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/915/2025-10-08>
- Contreras Pino, D. L., Ospina Gomes, J. D., y Verástegui Martínez, P. (2025). *Guía de muestreo de agua con fines agrícolas*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <http://hdl.handle.net/20.500.12955/2768>
- Dekeyrel, J., Vanderschueren, R., Mamo, T., Smolders, E., y Diels, J. (2024). Using optimized monochromatic energy dispersive X-ray fluorescence to determine the cadmium concentration in cacao and soil samples. *Heliyon*, 10(18), e39034. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39034>
- INACAL. (2022). *Fertilizantes y acondicionadores del suelo. Determinación del contenido de arsénico, cadmio, cromo, plomo y mercurio (NTP 55)*. Instituto Nacional de Calidad. <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/app-default/login/>

- INACAL. (2025). *Palta. Requisitos (NTP 011.018:2025, 7.ª ed.)*. Instituto Nacional de Calidad. <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/app-default/login/>
- INIA. (2023). Perú 2M: Conoce la fertilidad de tu suelo.
- MINAM. (2012). *Resolución Ministerial N° 307-2012-MINAM. Estándares de calidad para suelo*. Ministerio del Ambiente. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/275139-307-2012-minam>
- MINAM. (2017). *Decreto Supremo 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua*. El Peruano 10-19. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam>
- SENASA. (2012). *Procedimiento: toma y envío de muestras de alimentos agropecuarios primarios y piensos (PRO SIAG 07)*. Servicio Nacional de Sanidad Agraria. <https://www.senasa.gob.pe/intranet/wp-content/uploads/2016/08/PRO-SIAG-07 TOMA-Y-ENVIO-DE-MUESTRAS-APP REV01.pdf>
- Thomas, E., Alcazar, C., Caicedo, M. J., Loo, J., Jalonen, R., y Vinceti, B. (2023). The distribution of cadmium in soil and cacao beans in Peru. *Science of The Total Environment*, 881, 163372. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163372>
- Unión Europea. (2019). *Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de los productos fertilizantes UE*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 170, 1-114. <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/2024-11-20>

Anexo 1: Límites máximos de cadmio permitidos en diferentes medios

Medición y regulación	Límite de cadmio
<i>Suelo apto para uso agrícola Resolución ministerial N° 307/2012 MINAM (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012)</i>	1,4 mg/kg *
<i>Fertilizantes Reglamento para poner disponible productos de fertilización en el mercado europeo (EU 2019/1009) (Unión Europea, 2019)</i>	<i>Enmienda en encalado y mejoramiento orgánico de suelo: 2 mg/kg</i> <i>Fertilizante fuente de fósforo (>5% P_2O_5): < 60 mg de Cd por kg de P_2O_5</i> <i>Fertilizante fuente de fósforo (<5% P_2O_5): 3 mg Cd por kg de producto seco</i> <i>Fertilizante inorgánico micronutriente 200 mg de Cd por kg de contenido total de micronutrientes</i> <i>Fertilizante orgánico, media para propagación, biostimulante, mejoramiento inorgánico de suelo: 1,5 mg/kg</i>
<i>Agua para riego de cultivos en el Perú Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM-ECA AGUA (MINAM, 2017)</i>	0,01 mg/L *
<i>Palta exportación a UE Reglamento 2023/915 (Comisión Europea, 2023), Corea del Sur y Japón</i>	0,05 mg/kg en palta fresca sin pepa ni cascara

**Este límite es general y no toma en cuenta la fisiología de cada cultivo, ni está relacionado a los límites establecidos para otros países compradores.*

Anexo 2: Ejemplo de consentimiento informado para explicar al productor o dueño del fundo la finalidad del muestreo y el uso de los resultados

Consentimiento informado para [nombre de proyecto, iniciativa o muestreo]

Fecha: [fecha de firma o aceptación de este consentimiento]

Buenos días/tardes/noches, mi nombre es [nombre del encuestador(a)], de [organización]. El propósito de este formulario es recoger información del manejo de su cultivo, y muestras de su fundo con el fin de indagar en los factores que podrían estar promoviendo la absorción de cadmio.

Su participación es totalmente voluntaria, por lo que usted puede optar por no responder alguna pregunta o retirarse en cualquier momento, sin que ello le genere ningún tipo de inconveniente. Le aseguramos que toda la información proporcionada será tratada con absoluta confidencialidad y utilizada únicamente con fines de investigación.

Al responder este formulario, usted confirma que ha sido informado/a sobre los objetivos del estudio y que acepta participar de manera libre y voluntaria.

Participante: [nombre completo y firma de la persona que completa el formulario y brinda la información; nombre del fundo o empresa]

Ubicación de la parcela: [ubicación del fundo y/o parcela]

**Nota: Este consentimiento informado es un ejemplo, puede usarse otro documento similar escrito y firmado por ambas partes.*



D. : Av. La Molina 1981, La Molina

T. : (511) 240-2400

www.gob.pe/inia

ISBN: 978-9972-44-279-7



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

inia

Instituto
Nacional de
Innovación
Agraria



INIAPeru