



GUÍA METODOLÓGICA

**Muestreo de suelo, agua de riego,
fertilizantes, turiones y raíces
para la evaluación de cadmio
(Cd) en el cultivo de espárrago
(*Asparagus officinalis* L.)**





GUÍA METODOLÓGICA

Muestreo de suelo, agua de riego, fertilizantes, turiones y raíces para la evaluación de cadmio (Cd) en el cultivo de espárrago (*Asparagus officinalis* 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





GUÍA METODOLÓGICA. MUESTREO DE SUELO, AGUA DE RIEGO, FERTILIZANTES, TURIONES Y RAÍCES PARA LA EVALUACIÓN DE CADMIO (Cd) EN EL CULTIVO DE ESPÁRRAGO (*Asparagus officinalis* 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:

978-9972-44-280-3

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° 2026-09899

Autor: INIA Perú. / **Equipo técnico:** Roberto Cosme - INIA, Rachel Atkinson - Bioversity International, Karina Arango - INIA, 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, José Guevara, Angelo Navarro, Karina Arango y Miguel A. Fernández.

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 espárrago	<u>18</u>
6.1 Protocolos para muestreo de turión	<u>18</u>
6.2 Protocolos para fines de investigación	<u>21</u>
7. Agradecimientos	<u>39</u>
8. Financiamiento	<u>39</u>
9. Bibliografía	<u>39</u>
Anexos	<u>42</u>



Glosario

- **Cadmio (Cd):** Metal pesado regulado en alimentos.
- **Turión:** Brote comestible del espárrago.
- **Corona:** Raíz carnosa del espárrago usada como reserva
- **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 sobre límites de 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 suelo, agua de riego, fertilizantes, turiones y raíces para la evaluación de cadmio (Cd) en el cultivo de espárrago (*Asparagus officinalis* 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, turiones y raíces en el cultivo de espárrago, 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 espárrago, 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 espárrago (*Asparagus officinalis* L.) se ha consolidado en la estructura agroexportadora peruana, siendo una fuente significativa de divisas y desarrollo en las regiones de La Libertad, Ica y Lambayeque (Agencia agraria de noticias, 2025). 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 turión:

- 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 metales pesados.
- El recurso hídrico: El agua de riego actúa como un agente de transporte y dispersión. Los ríos y pozos son fuentes vitales, pueden acarrear sedimentos o solutos contaminantes desde las partes altas de las cuencas, lo que podría introducir el metal en los campos de cultivo y modificar el equilibrio químico del suelo.
- La fisiología del cultivo: El espárrago 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 o baja materia orgánica. Aunque los mecanismos de movimiento y transporte del cadmio aún requieren mayor estudio científico, 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. Si bien, la preferencia de las plantas por el cadmio también varía entre especies.

Una vez dentro del espárrago, el cadmio podría acumularse en los tejidos, como raíces y turiones alcanzando concentraciones que, aunque 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, turiones (brote) y raíces en el marco de estudios (con fines comerciales o de investigación, no cartográficos) relacionados con la posible acumulación de cadmio en el cultivo de espárrago.

4. Alcance

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



5. Etiquetado de muestras y sistema de codificación

Las muestras para analizar deben tener una codificación en sus etiquetas que permita identificarlas y agilice el proceso. Es primordial que se preserve la cadena de trazabilidad en todo el proceso de la toma o recolección de la muestra, transporte, manipulación, preparación, análisis, y almacenamiento de la contramuestra. Para ello el sistema de codificación debe ser un sistema sencillo, que permita que cada muestra tenga un código único, sea identificable y trazable.

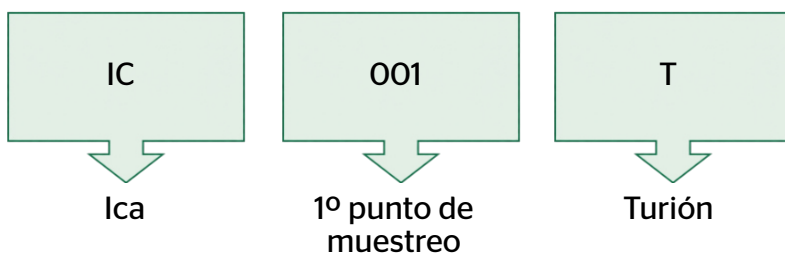
Una opción sería el uso de un número o código único para cada muestra (sistema de código de barras o código QR) el cual permite el acceso a la información asociada a través de una base de datos. Si la organización responsable del muestreo no tiene un sistema desarrollado de codificación, se puede desarrollar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



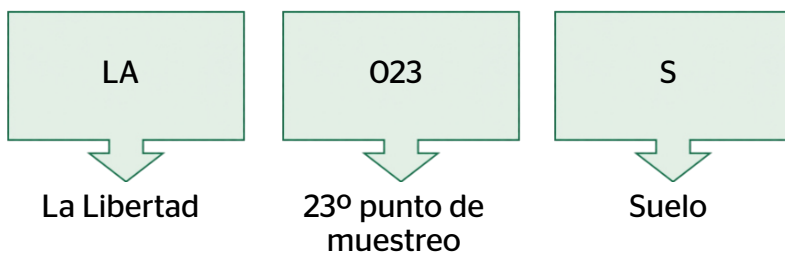
- Código único de la unidad de muestra (lugar de muestreo, predio, lote o planta). Por ejemplo: IC (Ica) o LA (La Libertad).
- Código de cultivar (si se va a tomar muestras de más de un cultivo en un lugar).
- Número de muestreo (relacionado con el orden o fecha de muestreo y tomar en cuenta si se va a tomar otra muestra más adelante).
- Código único de tipo de muestra (S: suelo; A: agua de riego; X: fertilizante; T: turión; C: corona).

El código debe estar puesto de forma indeleble en la bolsa que contenga la muestra, puede ser a través de una etiqueta adhesiva o escritura directa. Paralelamente, este código se debe registrar en una base de datos o en un cuaderno de notas y debe verificarse al finalizar la jornada de campo para que todo esté en orden. 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-T**



Ejemplo 2: **LA-023-S**



6. Protocolos para muestreo en el cultivo de espárrago

6.1 Protocolos para muestreo del turión

Materiales y equipos

- Bolsas de papel para muestras de turiones
- Plumón indeleble
- Cooler (nevera portátil) para transporte de muestras
- Tijera o cuchillo
- Paquetes de hielo reutilizables (ice pack)
- Cuaderno y lápiz
- GPS (para la recolección de muestras en campo)

Protocolo

Muestreo de turiones en planta de procesamiento: 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 espárrago en la etapa final de la línea de proceso, es decir, del producto listo para vender al consumidor. Se debe recolectar una muestra compuesta de submuestras (también llamadas muestras elementales o sublotes). Cada submuestra debe pesar un mínimo de 100 g, en este caso se puede considerar que cada submuestra contenga aproximadamente 10 turiones. El peso de la muestra compuesta debe llegar a 1 kg.

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



Tabla 1. Número de sub muestras (turiones) para la obtención de una muestra compuesta según el tamaño del lote comercial .

<i>Tamaño del lote</i>	<i>Número de submuestras (turiones)</i>	<i>Peso mínimo de cada submuestra (la muestra compuesta debe ser de 1 kg)</i>
< 50 kg	3	350 g
50-500 kg	5	200 g
> 500 kg hasta 15 t	10	100 g
> 15 t	10 por cada 15 t, analizadas por separado	100g

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

Las submuestras se combinan para formar la muestra compuesta de 1 kg para el laboratorio. Hay que asegurarse de que todos los turiones estén empacados con sus puntos apicales en la misma dirección dentro de la bolsa plástica sellada para evitar la pérdida de humedad. Deben ser transportados en cooler (nevera portátil) y guardados en refrigeración antes de ser enviados a laboratorio.

Muestreo de turión en campo: El muestreo en el campo debe ser aleatorio en la(s) parcela(s) de cada lote comercial mencionado previamente y debe verificarse mediante sus coordenadas georreferenciadas. El Instituto Peruano del Espárrago y Hortalizas (IPEH) recomienda que se divida el área en 10 secciones de igual tamaño, asegurando que se abarque toda el área de la parcela (normalmente un máximo de 3 ha) evitando tomar muestras en los bordes del predio (SENASA PRO SIAG 07) (SENASA, 2012).

Se tomará una submuestra de turiones de cada sección en un estado de madurez fisiológica listo para la cosecha (ver Figura 1). Los turiones deben tener el mismo calibre que el lote comercial para asegurar que los resultados sean comparables, y deben ser cosechados en las primeras horas de la mañana cuando tienen mayor contenido de humedad. Cada submuestra debe pesar 100 g (alrededor de 10 turiones).



Figura 1. Turiones listos (A) y métodos para cosecharlos (B).

Luego se combinan las submuestras en una bolsa plástica sellada asegurándose de que todos los turiones estén empacados con sus puntos apicales en la misma dirección y estos paquetes de turiones se guardan en un cooler con paquetes de hielo para que las muestras no pierdan humedad. A continuación, deben ser enviadas al laboratorio para su análisis.

6.2 Protocolos para fines de investigación

La selección de un protocolo de muestreo para fines de investigación relacionado con la evaluación de cadmio depende de la pregunta que se quiere investigar, del tiempo y del presupuesto disponible. Por ejemplo, se puede usar como unidad de muestreo el fundo, la parcela, el lote o un área definida, de donde se sacarán las muestras representativas, o se puede usar una escala más pequeña si se requiere estudiar aspectos fisiológicos, siempre considerando las réplicas de cada muestra en la misma sección o área del fundo según el diseño.

Lo importante siempre es poder relacionar los diferentes tipos de muestra (suelo, agua de riego, fertilizante, turión o raíz) para poder interpretar los resultados del análisis de laboratorio.



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
- Bolsas plásticas de 1 kg y 2 kg
- Bolsas sellables para muestras de turiones
- Bolsas de papel para muestras de corona
- Navarra para cosechar turiones
- Manta, costal o balde
- Plumón indeleble
- Cuaderno y lápiz
- Fichas de entrevistas
- Cinta de larga duración o de señalización forestal
- Cámara fotográfica (o celular)
- Cooler para guardar muestras de turiones
- Paquetes de hielo reutilizables (ice pack)
- Botellas plásticas de 0,5 L con tapa
- GPS

Formulario de información

Información sobre el fundo: Previa al llenado del formulario de información y la recolección de muestras en el fundo, se le debe explicar al productor el objetivo del muestreo, el alcance y los beneficios que este tendrá tras su culminación. Asimismo, es necesario contar con su autorización o consentimiento informado, disposición y disponibilidad para colaborar. En el Anexo 2 se encuentra un ejemplo del 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 al productor
(Ej: IC-001, LA-001-S...)*



INFORMACIÓN DE LA PARCELA

Cultivo				
Edad de las plantas (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 de fertilizante	Mes de aplicación	Dosis (kg/ha)	Frecuencia de aplicación
1.			
2.			
3....			

Riego			
Tipo de riego	☐ Gravedad	☐ Goteo	☐ Otro
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 ☐ noTurión ☐ sí ☐ noAgua ☐ sí ☐ noRaíz ☐ sí ☐ noFertilizantes ☐ sí ☐ noOtro ☐ sí ☐ no**¿Cuenta con análisis de cadmio?**Suelo ☐ sí ☐ noTurión ☐ sí ☐ noAgua ☐ sí ☐ noRaíz ☐ sí ☐ noFertilizantes ☐ sí ☐ noOtro ☐ sí ☐ no**¿Podría compartir los resultados?** ☐ sí ☐ no**Variedades****Tipo de propagación**☐ Coronas ☐ Semilla ☐ Tejidos

Variedad(es)	Área (ha)	Variedad(es)	Área (ha)
UC157 F1		ATLAS	
UC115		...	
Ida Lea		...	
Rendimiento (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 turión (considerando su genética) y las características del suelo y del agua de riego, es crucial considerar que todos estos factores están interconectados. Por lo tanto, es posible recolectar muestras compuestas por fondo, pero es fundamental que todos los tipos de muestra (suelo, agua de riego, fertilizante, raíz y/o turión) provengan exactamente de las mismas secciones o áreas definidas para garantizar la integridad de los datos y su correlación.

Secciones para muestrear:

El muestreo se realizará en un área de hasta 3 ha del fundo, muestreando 10 secciones (parcelas). Antes de empezar la recolecta se debería establecer como seleccionar las 10 secciones del cultivo de acuerdo con el enfoque del muestreo (según metodología desarrollada por IPEH). Se puede elegir al azar, pero si el productor o responsable del fundo indica que hay zonas muy diferentes (basadas en los tipos de suelo o pendiente) se puede utilizar esta información para guiar el muestreo, ubicando las 10 secciones de muestreo proporcionalmente. Por ejemplo, si se identifican 2 zonas con características diferentes, una con 70 %, y la otra con 30 % del área, se muestrearán 7 secciones en la primera zona, y 3 en la segunda zona.

En fundos mayores a 3 ha, el/la investigador(a) deberá decidir si, según su plan espacial de muestreo se tomarán otras muestras compuestas en el mismo fundo o en otro para su análisis. En fundos menores a 1 ha, se puede muestrear un mínimo de 5 secciones en total.

Cuando el investigador(a) requiere alinearse directamente con el muestreo de SENASA de lotes comerciales, tendrá que muestrear las mismas 10 secciones de las cuales se recolectaron los turiones (ver Figura 2).

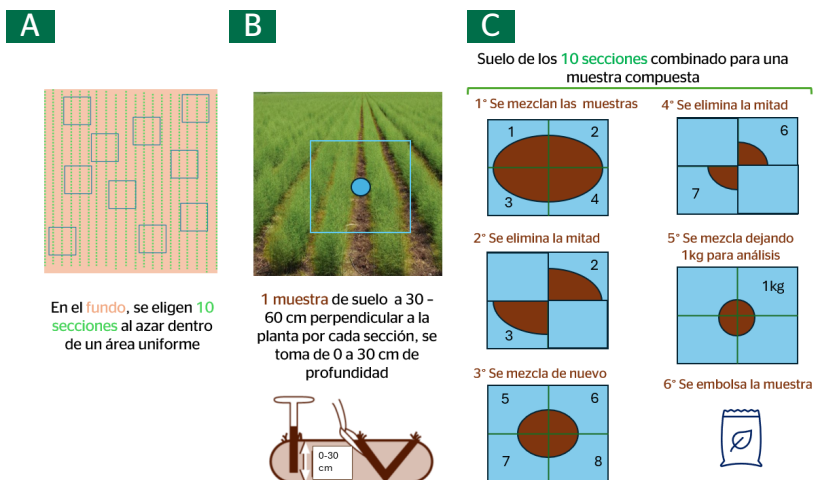


Figura 2. Elección de secciones (A), toma de muestra de suelo (B) y preparación de una muestra compuesta (C).

Dependiendo de la pregunta de investigación, el presupuesto y el tiempo disponible, se puede recolectar y guardar las muestras de cada sección por separado, o se pueden combinar en campo para quedar con una muestra compuesta por fondo. También se puede recolectar por sección y luego, en el laboratorio combinar muestras. Aquí se indican ambos métodos, pero se deja al investigador(a) la potestad de decidir. Asimismo, puede que no sea necesario recolectar la corona siempre.

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 pedir tamaños de muestras mayores. Es importante verificar los pesos mínimos requeridos antes de empezar una campaña de muestreo.

Información adicional:

Cuando se muestrea y se analizan submuestras por sección, se debe dar un código único a cada sección, marcando el punto con una estaca y una cinta de larga duración en el centro (si se necesita recolectar muestras posteriormente). El precinto sólo llevará el código. Adicional al formulario anterior, se tomará información de los siguientes aspectos en una ficha de trabajo:

- Latitud y longitud del centro de cada sección: mediante un equipo GPS, usando el sistema geodésico WGS84 en grados decimales.
- Altitud (m s.n.m.): mediante GPS.
- Variedad.
- Condición fitosanitaria: enfermedades, plagas y aspectos nutricionales.
- Edad de las plantas.
- Registro de toma de muestras: suelo, corona, turión, etc.

Muestreo de turión:

Se tomará una submuestra de turiones de cada sección en estado fisiológico listo para la cosecha (Figura 3). Deben ser todos del mismo calibre (Estándar 8-12 mm de diámetro, o large 12-16 mm), y cosechados en las primeras horas de la mañana cuando tienen mayor contenido de humedad. La muestra se guarda en una bolsa sellada, asegurándose de que todos los turiones estén empacados con sus puntos apicales en una misma dirección y se guarda en un cooler para que las muestras no pierdan humedad.

- Muestra compuesta de turiones: Cada submuestra deberá pesar 100 g (aproximadamente 10 turiones). Se combinarán las submuestras de las 10 secciones para obtener una muestra de 1 kg.
- Muestra de cada sección de turiones: Se tomarán 10 a 20 turiones de cada sección y se embolsarán por separado.

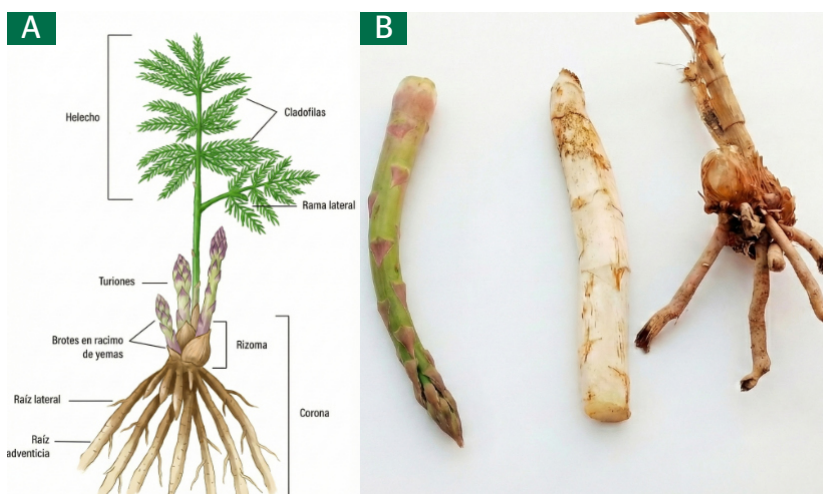


Figura 3. Esquema de la planta de espárrago, adaptado de Valenzuela Romero, 2023. [CC BY-SA 4.0](#) (A) y sus partes (B)

Para evaluar las diferencias de la acumulación de cadmio entre diferentes estados de desarrollo del turión se pueden tomar 10 turiones de diferentes calibres (Jumbo ≥ 20 mm, Extra Large 16 – 20 mm, Large 12 – 16 mm, Estándar 8 – 12 mm, Small 4 – 8 mm de diámetro) por semana de cada sección durante un periodo de 1 mes. Las submuestras se rotulan indicando la sección de muestreo en campo, variedad, calibre y número de muestreo. Cada muestra debe pesar 1 kg y se guarda en bolsas plásticas selladas manteniendo la refrigeración en un cooler hasta su envío al laboratorio.

Para evaluar diferencias de acumulación de cadmio entre variedades, se pueden tomar 10 turiones de un mismo calibre (Por ej. Large o Standard) pero de distintas variedades en una misma sección homogénea. Las muestras se rotulan indicando la sección de campo de muestreo, variedad, calibre y número de muestreo. Cada muestra debe pesar 1 kg y se guardarán en bolsas plásticas selladas manteniendo la refrigeración en un cooler hasta su envío al laboratorio.

Muestreo de suelo:

En cada sección se tomará una submuestra de suelo, en dirección perpendicular a la línea de siembra, en el camellón, a una distancia de 30 a 60 cm de distancia del cuello de la planta. Usando lampa, barrenador u otra herramienta, se extraerá un perfil de 0 a 30 cm (según las condiciones del suelo, especialmente en suelos arenosos).

- **Muestra compuesta:** Se colocan las submuestras de cada sección en una manta, costal o balde limpio y se mezclan bien, eliminando piedras, rocas y raíces. Se divide la mezcla en cuatro porciones. Se retiran 2 porciones, luego se mezclan las dos restantes. Se repite el proceso hasta

lograr una muestra de 1 kg, la cual se guardará en una bolsa de plástico limpia (ver Figura 4).

- Muestra de cada sección: Se recolecta suelo de entre 5 y 10 puntos de muestreo dentro de la misma sección y se embolsa.

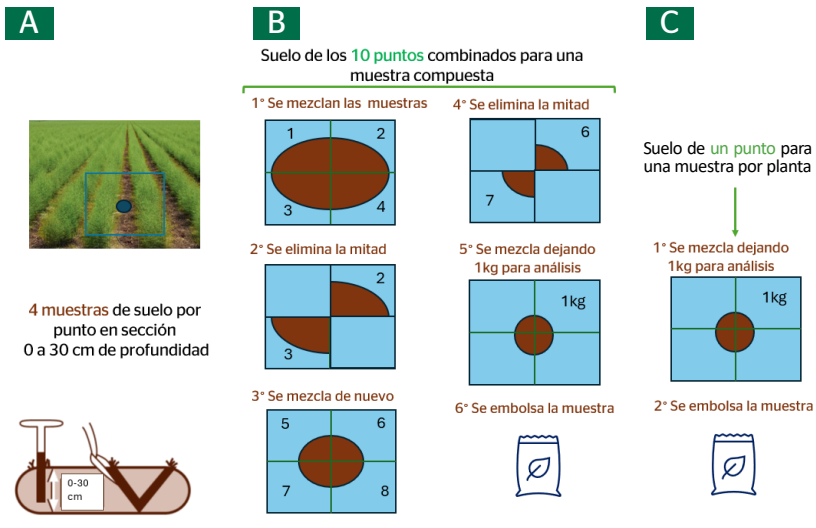


Figura 4. Esquema de toma de muestra de suelo y método para toma de muestra con barreno o con calicata a profundidad de 30 cm (A), método para muestreo compuesto (B) y de una sola muestra (C).

Muestreo de raíces:

En el espárrago, las raíces cuya principal función es absorber agua y nutrientes activamente son las raíces fibrosas o absorbentes, éstas se encuentran principalmente en los primeros 30 cm de profundidad del suelo. Estas raíces delgadas y ramificadas se desarrollan en el ápice de las raíces carnosas o de reserva. Mientras tanto, las raíces carnosas o succulentas (parte de la corona), que se encuentran más profundas (entre 25 y 65 cm e incluso hasta más de 1,5 metros) (ver Figura 5), funcionan principalmente como órganos de almacenamiento, no son de absorción activa. Estas raíces fibrosas también pueden almacenar cadmio por lo que puede ser útil comparar su acumulación de cadmio entre variedades, bajo diferentes condiciones de suelo o entre temporadas.



Figura 5. Raíces carnosas del espárrago.

- Muestra de raíces carnosas (provenientes de la corona) compuesta: Para recolectar una muestra, se deberá excavar el suelo con cuidado para poder sacar 5-10 raíces carnosas en cada sección. Se juntan las raíces carnosas para que quede una muestra compuesta de 50-100 raíces.
- Muestra de raíces carnosas (provenientes de la corona) por sección: Para recolectar una muestra, se deberá excavar el suelo con cuidado para poder sacar 1-2 raíces carnosas por cada punto de muestreo de suelo en una sección homogénea. Se debe extraer la raíz carnosa completa, obteniendo así 10 a 20 raíces carnosas por sección.

Muestreo de agua de riego:

La muestra de agua debe tomarse de la fuente usada para la irrigación, por donde ingresa a la parcela. Este punto de muestreo se define con el responsable o dueño de la parcela o fundo y puede ser del canal de irrigación, del pozo, posterior al tratamiento o antes del ingreso al sistema de irrigación. El lugar de muestreo se debe georreferenciar; esto es útil para poder muestrear posteriormente como parte de la investigación 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 fuente.

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 casos de sistema de irrigación es necesario usar botas de jebe y guantes descartables, y se debe medir el agua en el punto de ingreso al cultivo, siguiendo el manual del equipo.

Para obtener datos de otros parámetros (por ejemplo, sales), se deberá 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 al menos dos veces antes de llenarla. En canales de irrigación, se toma la botella por debajo 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 en el punto de ingreso al cultivo.

Si se detectan niveles altos de cadmio en suelo o turión, se sugiera iniciar un monitoreo mensual de cadmio usando membranas de DGT (*Diffusive Gradients in Thin films*) debido a que este tipo de monitoreo proporciona mayor información de la concentración del cadmio en el agua disponible para la planta durante el desarrollo de los turiones (Thomas et al., 2023).

En todo caso, es importante tener en cuenta que, para una medición de la concentración de cadmio, la muestra se deberá conservar en una botella plástica (no vidrio), adicionando ácido nítrico para enviarla a analizar, y se podrá guardar hasta por un mes desde su toma.

Si el interés es solamente medir el cadmio disponible, y no hay pérdida de cadmio, no es necesaria 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 previamente que existe 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 algún espacio adecuado libre de polvo y directamente del embase original del fabricante. Si solo se va a medir cadmio, se necesitan 100 g de fertilizante o enmienda sólida en una bolsa de plástico (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 tenga la ficha técnica de cada producto. Se recomienda enfocar el muestreo en fuentes de fósforo y micronutrientes. Para fuentes de nitrógeno orgánico se sugiere medir sales.



Recomendaciones para el investigador(a)

La decisión de recolectar muestras compuestas por fondo, o muestras por sección depende de la pregunta que se quiere responder, además del presupuesto y tiempo disponible.

Se pueden recolectar muestras individuales por sección y posteriormente combinarlas en el laboratorio. Por ejemplo, si se quieren investigar diferencias entre variedades, el efecto del estado de desarrollo del turión, almacenamiento en raíces y otros aspectos de bioacumulación de cadmio se sugiere tomar muestras por sección.

No es obligatorio tomar todos los tipos de muestras indicadas, y además puede ser oportuno regresar a 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 analizará, 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 sección (10 muestras por fundo)*</i>
<i>Suelo</i>	<i>1 kg</i>	<i>1 kg</i>
<i>Agua</i>	<i>100 a 500 mL</i>	<i>N/A</i>
<i>Fertilizantes</i>	<i>50 g, 100 mL</i>	<i>N/A</i>
<i>Turión</i>	<i>50-100 turiones</i>	<i>10-20 turiones</i>
<i>Raíz carnosa</i>	<i>50-100 raíces</i>	<i>10-20 raíces</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. Si se está usando un laboratorio comercial para el análisis, este es responsable del proceso (Tabla 3).

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

<i>Tipo de muestra</i>	<i>Descripción</i>
<i>Suelo</i>	<i>Se debe secar en aire. Luego se muele toda la muestra y pasa por un tamiz de 2 mm.</i>
<i>Agua de riego</i>	<i>No hay preparación de la muestra.</i>
<i>Fertilizantes</i>	<i>No hay preparación de la muestra.</i>
<i>Turión (medición en fresco)</i>	<i>Usando toda la parte comestible, se corta en trozos, se licua toda la muestra y se analiza usando la tecnología que no requiera otra preparación de la muestra.</i>
<i>Turión (medición en seco)</i>	<i>Usando toda la parte comestible, se corta en trozos y se pesa en una balanza con precisión de 0,01 g (peso fresco), luego se seca 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.</i>
<i>Raíz</i>	<i>Se deben lavar con abundante agua corriente y posteriormente con agua destilada o desionizada. Luego secar a 60 °C por un tiempo mínimo de 24 h 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 muele toda la muestra y pasa por un tamiz de 2 mm.</i>

Análisis en laboratorio

Las muestras de turión y raíces deben ser analizadas usando métodos que cumplan con la norma europea 333/2007 (Comisión Europea, 2007). Se recomienda que, si se va a utilizar laboratorios comerciales, se debe verificar que cuente con certificación de INACAL u otra entidad acreditada; y que para la medición de Cd utilice ICP MS o una metodología con precisión equivalente, por ejemplo, tecnología XRF (Dekeyrel et al., 2024). Para medir cadmio disponible se deberá utilizar la digestión Mehlich 3 (MH3) ya que proporciona una estimación más representativa del cadmio 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 para medir en cada tipo de muestra.

<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>Turión y raíz</i>	<i>Cd, Mn, Zn</i>	<i>Cd</i>

**Se sugiere utilizar membranas DGT (Batley y Gardner, 1977) para la estimación de cadmio, cuando se ha detectado que las plantas lo están acumulando.*

7. Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a los miembros del Grupo de Trabajo Sectorial (GTS) “Mesa Técnica para el Abordaje Estratégico de la Problemática del 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 del Gobierno del Perú.

9. Bibliografía

- 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. <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/1980>
- 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/>
- 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. <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>
- Valenzuela-Romero, C. J. M., Robles-Parra, J. M., Tafolla-Arellano, J. C., Camarena-Gómez, B., y Preciado-Rodríguez, M. (2023). Condiciones de mercado para el espárrago en el Noroeste de México. *Revista Agraria*, 19(1), 1-14. <https://doi.org/10.59741/agraria.v19i1.19>

Anexo 1: Límites máximos de cadmio permitidos en diferentes medios

Medición y regulación	Límite de cadmio
Suelo apto para uso agrícola Resolución ministerial Nº 307/2012 MINAM (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012)	1,4 mg/kg *
Fertilizantes Reglamento para poner disponible productos de fertilización en el mercado europeo (EU 2019/1009) (Unión Europea, 2019)	Enmienda en encalado y mejoramiento orgánico de suelo: 2 mg/kg Fertilizante fuente de fósforo (>5% P ₂ O ₅): < 60 mg de Cd por kg de P ₂ O ₅ Fertilizante fuente de fósforo (<5% P ₂ O ₅): 3 mg Cd por kg de producto seco Fertilizante inorgánico micronutriente 200 mg de Cd por kg de contenido total de micronutrientes Fertilizante orgánico, media para propagación, biostimulante, mejoramiento inorgánico de suelo: 1,5 mg/kg
Agua para riego de cultivos en el Perú Decreto Supremo Nº 004-2017-MINAM-ECA AGUA (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017)	0,01 mg/L *
Espárrago exportación a UE Reglamento 2023/915 (Comisión Europea, 2023), Corea del Sur y Japón	0,03 mg/kg en tirón fresco
Espárrago exportación a UE Reglamento 2023/915 (Comisión Europea, 2023), Corea del Sur y Japón	0,05 mg/kg en espárrago fresco, solo la parte comestible

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

Anexo 2: Ejemplo de consentimiento informado para explicar al productor o dueño del fundo la razón 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, lo que significa que usted puede optar por no responder alguna pregunta o retirarse en cualquier momento, sin que esto 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.*

Laboratorio de Investigación Tecnológica en Cambio Climático para el Sector Agrario



D. : Av. La Molina 1981, La Molina
T. : (511) 240-2400
www.gob.pe/inia

ISBN: 978-9972-44-280-3



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

inia Instituto
Nacional de
Innovación
Agraria



INIAPeru