

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“EL CADMIO EN EL SUELO Y SU EFECTO EN EL
CULTIVO DEL PALTO (*Persea americana* Mill.)”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

LENNY JOHANA BASTIDAS YAUTA

LIMA - PERÚ

2024

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

TSP Lenny Johana Bastidas Yauta revisado por Sady García Bendezú

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	11%	3%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	cgspace.cgiar.org Fuente de Internet	2%
2	agqlabs.pe Fuente de Internet	2%
3	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.sacyta.com.ar Fuente de Internet	1%
7	MJ Mclaughlin. "Review: the behaviour and environmental impact of contaminants in fertilizers", Australian Journal of Soil Research, 1996 Publicación	1%

repositorio.unc.edu.pe

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“EL CADMIO EN EL SUELO Y SU EFECTO EN EL
CULTIVO DEL PALTO (*Persea americana* Mill.)”**

Lenny Johana Bastidas Yauta

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título de

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dra. Marlene Gladys Aguilar Hernández
PRESIDENTE

Ph. D. Sady Javier García Bendezú
ASESOR

Dr. Erick Espinoza Núñez
MIEMBRO

Dr. Oscar Oswaldo Loli Figueroa
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

A mis padres, las personas más
comprometidas con su familia y trabajo.
Gracias por ser mi ejemplo.

AGRADECIMIENTO

A mi novio por su apoyo incondicional, confianza y mucha paciencia en todo este proceso.

A mis hermanos, Karen y Geral por sus consejos e incitar a culminar esta etapa.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMÁTICA	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	3
2.1 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CADMIO Y MOVILIDAD EN EL SUELO	3
2.1.1 Suelos	3
2.2 ORIGEN DEL CADMIO	6
2.2.1 Fuentes naturales	6
2.2.2 Fuente antropogénicas	6
2.3 MOVIMIENTO DEL CADMIO EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO HACIA LA PLANTA	8
2.3.1 Flujo de masa	8
2.3.2 Difusión	8
2.3.3 Intercepción radicular (intercepción directa de la raíz):	8
2.4 ABSORCIÓN DEL CADMIO Y MINERALES POR LA PLANTA	8
2.4.1 Absorción foliar del cadmio	9
2.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y DETECCIÓN DE METALES PESADOS	10
2.5.1 Formas de cadmio en el suelo	11
2.5.2 Especiación secuencial del cadmio en el suelo	12
2.5.3 Extracción de cadmio disponible y cadmio total en el suelo	14
2.5.4 Extracción de cadmio total en tejido	14
III. DESARROLLO DEL TRABAJO	16
3.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA	16
3.1.1 Actividad de la empresa	16
3.1.2 Ubicación de la empresa	16
3.1.3 Datos de la empresa	17
3.1.4 Organigrama	18
3.1.5 Productos de la empresa	20

3.2	EVALUACIÓN DE PRIMER NIVEL.....	21
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1	DIAGNÓSTICO.....	25
4.1.1	Realización del muestreo.....	25
4.1.2	Análisis de las muestras.....	26
4.1.3	Elaboración de Mapas cadmio (Suelo).....	27
4.1.4	Métodos de análisis.....	27
4.2	APLICACIÓN DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES.....	28
4.2.1	Mapas de cadmio en suelo agrícola.....	28
4.2.2	Mapas de cadmio en fruto de aguacate/palto.....	31
V.	CONCLUSIONES.....	33
VI.	RECOMENDACIONES.....	35
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
	ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Concentración de cadmio en algunos fertilizantes (McLaughlin et al. 1996)....	7
Tabla 2: Concentración de cadmio y fósforo en rocas fosfóricas de diferentes lugares ..	7
Tabla 3: Datos de AGQ Labs Perú	17
Tabla 4: Servicios por sectores de AQQ Labs.....	20
Tabla 5: Diferentes técnicas de medición en la detección de cadmio.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Influencia del pH en la concentración metales en la solución del suelo (Kabata-Pendieas, 2000).....	3
Figura 2: Ubicación de AGQ Labs	17
Figura 3: Organigrama de AGQ Labs Internacional	18
Figura 4: Organigrama de AGQ Labs Perú	19
Figura 5: Mapas de suelos y foliares (AGQ Labs Perú).....	21
Figura 6: Fotos del terreno a muestrear (AGQ Labs Perú).....	23
Figura 7: Número de puntos de muestreo GIS (AGQ Labs Perú).....	24
Figura 8: Muestra y submuestras.....	25
Figura 9: Mapa de Diagnóstico (AGQ Labs Perú).....	27
Figura 10: Límite de detección típicos para las principales técnicas espectrométricas. Kastenmayer, (1995).....	28
Figura 11: Mapa de diagnóstico de cadmio total en suelo agrícola mg/kg PS (AGQ Labs Perú).....	29
Figura 12: Mapa de diagnóstico de cadmio en el suelo, raíz y fruto palto (AGQ Labs Perú).....	30
Figura 13: Cadmio en suelo – raíz – fruto (mg/kg)	30
Figura 14: Mapa de diagnóstico de cadmio en pulpa aguacate (AGQ Labs Perú).....	31
Figura 15: Cadmio total en fruto palto (mg/kg pf)	31
Figura 16: Cadmio total en suelo y fruto (mg/kg)	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. CXS 193-1995 - Niveles máximo y niveles de referencia para el Cadmio	44
Anexo 2. DS N°011-2017-MINAM (Aprueban Estándares de Calidad Ambiental ECA para suelo)	48

RESUMEN

El presente estudio abordará la problemática de concentración del cadmio en la fruta de palto. En 1993, la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) catalogó al cadmio como un metal pre cancerígeno, por lo que existe una preocupación creciente por las formas de ingreso en alimentos. Por ello, se han reestablecido los límites máximos permisibles para diferentes productos alimenticios; así como los límites de ingesta semanal entre los que se encuentra el fruto de la palta, para el cual se estableció 0.05 mg kg⁻¹ de fruta fresca, como el nivel máximo de cadmio (FAO, 2016). Con el objetivo de detectar zonas con alto nivel de cadmio en suelos y frutos se presentan herramientas desarrolladas por AGQ Labs que permiten facilitar la interpretación de los datos, manejar el elevado número de datos (grandes extensiones) y elaborar diagnósticos con el historial generado del predio; asimismo, conocer la metodología de análisis que se usa en la cuantificación de cadmio en suelo y fruto; así como mapas de cadmio y con equipo de espectrometría de masas de plasma acoplada inductivamente (ICP – MS). Los resultados muestran que en las zonas de análisis georreferenciado de los suelos de Ica se han encontrado niveles bajos, medios y altos de cadmio por debajo de 1.4 mg/kg según lo establecido por el ECA como medida que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; en estos casos al pasar el rango máximo permitido se considera suelos no aptos para la actividad agrícola. Los hallazgos y resultados servirán como referencia, y puesta en práctica a través de la información generada para evaluar zonas por bloques, identificar zonas problemas, definir y realizar estrategias de corrección por zonas.

Palabras clave: Cadmio, suelo, fruto, espectrometría.

ABSTRACT

The present study will address the problem of cadmium concentration in avocado fruit. In 1993, the International Agency for Research on Cancer (IARC) classified cadmium as a pre-carcinogenic metal, which is why there is growing concern about the ways it enters food. For this reason, the maximum permissible limits for different food products have been reestablished; as well as the weekly intake limits among which is the avocado fruit, for which 0.05 mg kg⁻¹ of fresh fruit was established as the maximum level of cadmium (FAO, 2016). Tools developed by AGQ Labs are presented with the objective of detecting areas with high levels of cadmium in soils and fruits, which facilitate the interpretation of the data, manage the high number of data (large extensions) and prepare diagnoses with the history generated of the property. Likewise, know the analysis methodology used in the quantification of cadmium in soil and fruit; as well as cadmium maps and with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP – MS) equipment. The results show that in the areas of georeferenced analysis of the soils of Ica, low, medium and high levels of cadmium have been found under 1.4 mg/kg as established by the ECA as a measure that does not represent a significant risk to the health of people or the environment, in these cases, when the maximum permitted range is exceeded, soils are considered unsuitable for agricultural activity. The findings and results will serve as a reference and put into practice through the information generated to evaluate zones by blocks, identify problem areas, define and carry out correction strategies by zones.

Keywords: Cadmium, soil, fruit, spectrometry.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMÁTICA

El suelo juega un rol fundamental como soporte de la vida; actúa como transformador, regulador y filtro de agua, nutrientes y otros compuestos disueltos y/o dispersos en la biósfera (Yaalon, 2000). Los elementos trazas son aquellos elementos que, aunque presentes en cantidades pequeñas, algunos elementos en bajas concentraciones pueden interferir con las funciones vitales y otros en exceso pueden ser dañinos para las plantas y seres vivos (Alarcón-Corredor, 2009). Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) y la Comunidad Europea, entre los elementos traza de relevancia para la salud y medio ambiente se encuentran: cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn); estos elementos no son biodegradables y su efecto es acumulativo.

El cadmio es un metal pesado de origen natural, que no tiene una función conocida en los seres humanos. Este elemento se acumula en el cuerpo y afecta principalmente a los riñones, puede causar desmineralización ósea (Sánchez, 2016). La problemática del cadmio radica en la elevada toxicidad, en la larga vida media y en la capacidad para ser acumulado por los seres vivos (Capó, 2007).

Actualmente, existe una preocupación a nivel internacional por la presencia del cadmio en el palto y la aplicación del reglamento (UE) N°488/2014, el cual establece los niveles máximos de cadmio total para diversos alimentos incluido el palto. Los niveles de 0.05 ppm afectan directamente a la producción y exportación del palto con un impacto negativo en los precios de comercialización, por lo tanto, en los ingresos de los productores (agricultores) del palto. El cultivo del palto es una fruta con una tendencia creciente en la producción dado el incremento en la demanda a nivel mundial. Perú exportó más de 100,000 toneladas de palta (aguacate) en 2020 respecto al periodo anterior; por lo que las exportaciones aumentaron en 32% interanual, registrando más de 410,000 toneladas (MINAGRI, 2020).

La preocupación por la presencia de Cd en el palto y la aplicación del reglamento mencionado, se ha elaborado herramientas para la adecuada detección de zonas con alto nivel de cadmio en suelos y frutos, que permita elaborar mejores estrategias y mitigar los niveles altos de cadmio. El centro tecnológico AGQ Labs en Perú, se encuentra desarrollando una metodología de representación de datos que permite visualizarlos mediante mapas georreferenciados en GIS (*Global Information System*) o SIG por sus siglas en español (AGQ Labs, 2016).

En ese sentido, el presente trabajo de suficiencia profesional para optar por el Título de Ingeniero Agrónomo mediante la revisión bibliográfica y experiencia en el sector agrícola presenta una revisión a la problemática del cadmio en la fruta de palta y sus posibles soluciones. Por lo que, la investigación al contar con un gran número de datos con una referencia espacial concreta permitirá tener una visión integral del campo, relacionar concentración de cadmio en suelo - fruto y la distribución espacial. Los hallazgos y resultados servirán como referencia y puesta en práctica con la información generada que ayudará evaluar zonas por bloques, identificar zonas problemas, definir y realizar estrategias de corrección por zonas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

El objetivo principal es dar a conocer la problemática del cadmio en la fruta de palto, así como la metodología y herramienta que se están desarrollando para la representación de datos que permiten ser visualizarlos mediante mapas georreferenciados en GIS.

1.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Detallar el comportamiento y origen del cadmio.
- Describir la metodología de análisis de cadmio en fruta.
- Describir las metodologías de análisis de cadmio en suelo.
- Identificar los niveles de cadmio en suelo y fruto obtenidos en la costa.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CADMIO Y MOVILIDAD EN EL SUELO

El cadmio es un elemento químico ubicado en el grupo 12 de la tabla periódica junto con el mercurio y el zinc. El cadmio, en su forma de metal puro es blando, dúctil y maleable, de color plateado claro. Al ser calentado se combina con oxígeno, azufre, fósforo y halógenos, y es fácilmente disuelto por ácidos. Se conoce la existencia en la naturaleza de ocho isótopos estables de cadmio, y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial (Greenwood & Earnshaw, 2012).

El comportamiento químico del cadmio se asemeja al del zinc, pero es mucho más afín al azufre y más móvil en ambientes ácidos. En el medio natural el cadmio se encuentra con valencia 2^+ , por lo que en solución forma especies químicas tales como CdCl^+ , CdOH^+ , CdHCO_3^+ , CdCl_3^- , CdCl_4^{2-} , $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ y $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$ y quelatos orgánicos (Kabata-Pendias, 2000). La solubilidad de las sales de cadmio en agua es muy variable; los halogenuros, el sulfato y el nitrato son solubles mientras que el óxido, el hidróxido y el carbonato son prácticamente insolubles (Badillo, 1985).

2.1.1 Suelos

La movilidad depende de varios factores tales como el pH, el potencial redox (Eh) y la cantidad de materia orgánica son los que varían según el ambiente local, como se muestra

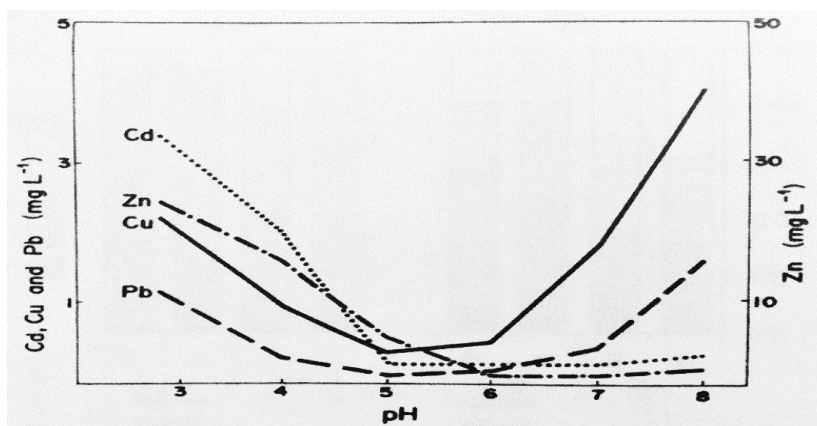


Figura 1: Influencia del pH en la concentración metales en la solución del suelo

Fuente: Tomado de Trace Elements in Soils and Plants, por Kabata-Pendias, A., 2000.

En la Figura 1. Generalmente, el cadmio se une fuertemente a la materia orgánica en el suelo; en esta forma puede ser absorbido por las plantas e incorporarse entrando a las cadenas tróficas (ATSDR, 2012).

De acuerdo con la revisión bibliográfica sobre la movilidad del cadmio en el suelo se puede concluir lo siguiente:

- El cadmio Cd está fuertemente afectada por el pH.
- En suelos ácidos, la materia orgánica y los sesquióxidos controlan la solubilidad del metal.
- En suelos alcalinos, el cadmio no es móvil, porque precipita en forma de carbonatos y fosfatos insolubles.
- La fijación de Cd es mayor en los suelos con contenidos más elevados de materia orgánica, textura más fina, mayor capacidad de intercambio catiónico y menor saturación de aluminio intercambiable.

En los suelos ácidos, el cadmio se intercambia fácilmente; que lo hace disponible para las plantas. Se ha observado que la energía de enlace es mayor en la unión del cadmio con materia orgánica que con arcillas. Asimismo, dada la alta afinidad del cadmio por oxihidróxidos de hierro y silicatos de aluminio como alofana e imogolita, se puede afirmar que en ambientes ácidos la solubilidad del cadmio está modulada por dichos compuestos y por la materia orgánica (Bautista, 1999; Badillo, 1985; Kabata-Pendias, 2000).

Se denomina potencial redox (Eh) (mV) de un suelo a su capacidad reductora u oxidativa controlado por la aireación del sistema suelo (fase sólida, líquida, gaseosa y coloides), y pH. El potencial redox afecta la actividad microbiana y las reacciones posteriores en el suelo. Los altos valores de Eh se asocian a fenómenos oxidantes, y con valores bajos fenómenos reductores, cuando los sulfatos se reducen a sulfuros la tendencia es producir la precipitación de los metales (FeS_2 , HgS , CdS , CuS , MnS y ZnS). La capacidad de intercambio catiónico total (CIC) es indicador de la cantidad de cationes que el suelo puede retener (estima los sitios de carga negativa “variable y permanente” del suelo), estos cationes son potencialmente biodisponibles (Sposito 1981).

Cuando la CIC es alta indica mayores sitios (-) para retener el Cd^{2+} y otros cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+}) (Yong et al. 1990). Sin

embargo, en suelos ácidos tropicales (cargas variables) comúnmente la CIC (extraído con KCl 1N) permanente es estimada por suma de cationes (CIC efectiva) que conlleva a valores bajos que ha sugerido valores menores de CICE como suficientes (Sánchez 1981). Cuando la CIC es baja, la biodisponibilidad de Cd será alta como resultado de menos sitios de unión en la fase sólida del suelo, debido a una mayor concentración de Cd. Por lo tanto, es más probable que los iones de Cd se encuentren en su forma soluble en la solución del suelo, lo que puede conducir a la absorción de las plantas. Al incrementarse la CIC del suelo se redujo la absorción del cadmio en avena (Haghiri 1974) y soja (Miller et al. 1976).

Los suelos con alto contenido de CaCO_3 pueden absorber Cd^{2+} del suelo, reduciendo así la movilidad y la biodisponibilidad de Cd en el suelo (Tang et al. 2016). La presencia de CaCO_3 libre puede reducir solubilidad y biodisponibilidad de los oligoelementos; las reacciones del carbonato de calcio (CaCO_3) elevan el pH del suelo así como la disociación de los iones carbonato, bicarbonato que formarán carbonatos metálicos que pueden precipitarse y son poco solubles.

La afinidad de iones metálicos para la superficie de óxido en los siguientes órdenes: $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Co} > \text{Cd}$, y $\text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Ti}$ (Forbes et al. 1996). Se observa una relación más fuerte para el Cd con el contenido de Fe y Mn del suelo y los óxidos de hierro tienen una capacidad significativa para absorber e inmovilizar Cd (Liu et al. 2009, Holmgren et al. 1993).

El contenido de materia orgánica de los suelos juega un papel importante en la biodisponibilidad del cadmio debido a su capacidad para adsorber el cadmio. La capacidad de la materia orgánica para unirse con el cadmio se debe a su alta CIC, y el incremento de la actividad microbológica, así como su capacidad quelante (Adriano 2001; He et al. 2015). El contenido de materia orgánica puede reducir la biodisponibilidad de cadmio indirectamente al afectar otras propiedades del suelo (Shahid et al. 2016), la aplicación de MO al suelo puede afectar su pH, CIC y actividad microbiana provocando la adsorción del Cd en el suelo y reduciendo la biodisponibilidad del Cd para la planta (Khan et al. 2017). Sin embargo, las sustancias húmicas a veces forman complejos solubles con cadmio y aumentan su movilidad (He y Singh 1993; Khan et al. 2017).

2.2 ORIGEN DEL CADMIO

2.2.1 Fuentes naturales

El cadmio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre en una concentración media de 0.1 mg/kg (Osorio et al., 1997). La abundancia de Cd en rocas sedimentarias e ígneas no excede de 0.3 mg/kg y las concentraciones son parecidas en depósitos arcillosos y en rocas metamórficas (Bautista, 1999). Aunque los niveles altos de Cd en suelos se relacionan principalmente con la contaminación, pueden ser de origen litológico, así como existen hallazgos de cantidades anormalmente altas de cadmio en roca caliza de algunas zonas de Francia, originarias del Jurásico y el Cretácico (Kabata-Pendias, 2000). El cadmio es un constituyente habitual en casi todos los compuestos de zinc, pueden llegar a contener un 0.1-0.3% de cadmio. Asimismo, puede encontrarse en minerales de plomo y cobre, si bien en este caso las concentraciones de cadmio son considerablemente más bajas. Gran parte de la dispersión del cadmio al ambiente tiene como causa del desgaste y erosión de las rocas, y el posterior transporte de grandes cantidades del metal a los océanos cuyo contenido de cadmio es de alrededor de 0.1 µg/kg.

2.2.2 Fuente antropogénicas

El ciclo del Cd en el suelo agrícola es complejo y muchos procesos pueden ser manipulados por el hombre para minimizar la contaminación y acumulación en la planta (McLaughlin y Singh 1999). En las regiones con menor actividad urbana e industrial, el ingreso del Cd al suelo es predominantemente a través de fertilizantes, enmiendas del suelo, estiércol y biosólidos de aguas residuales (McLaughlin et al., 1994). En el manejo del cadmio una de las dificultades que encontramos en el sistema suelo y planta, es la relación que existe, entre la acumulación del cadmio en el suelo y la translocación a las plantas. El impacto de las actividades del hombre sobre el ambiente es llamado influencia antrópica o antropogénica. Esto incluyen industrias metalúrgicas, metalíferas, agricultura, deposición atmosférica (Cu, Cr, As, Cd, Pb y Hg). La concentración de Cd en algunos fertilizantes y la roca fosfórica empleados en la agricultura, podría constituir una importante fuente de contaminación por cadmio como se muestra en la Tabla 1 y 2, y la concentración de cadmio y fósforo en rocas fosfóricas de diferentes lugares (McLaughlin et al. 1996). Otra fuente importante de cadmio puede ser la minería en los sistemas agrícolas, por los relaves, contaminación de agua, entre otros.

Tabla 1: Concentración de cadmio en algunos fertilizantes (McLaughlin et al. 1996)

Material comercial	Concentración de Cd (ppm)	Referencia
Sulfato de amonio	< 0.5	Rayment et al. (1989)
	< 1.0	McLaughlin et al. (unpubl. Data)
Nitrato de potasio	< 0.5	Rayment et al. (1989)
Nitrato de amonio	< 0.5	Rayment et al. (1989)
Urea	< 0.5	Rayment et al. (1989)
	< 2.0	Zarcinas y Nable (1992)
	< 0.1	Stentrom y Vahter (1974)
	0.1	FIFA (per. commum)
Nitrato de calcio	0.05	Anderson (1976)
	0.1	Singh (1991)
Sulfato de potasio	< 0.5	Rayment et al. (1989)
	< 1.0	McLaughlin et al. (unpub. Data)
Cloruro de potasio	< 0.5	Rayment et al. (1989)
	< 1.0	McLaughlin et al. (unpubl. Data)
	< 2.0	Zarcinas y Nable (1992)
	50.2	Zarcinas y Nable (1992)
	0.1	FIFA (per. commum)
Sulfato de zinc	24.9	Rayment et al. (1989)
	1.5	McLaughlin et al. (unpubl. Data)
Óxido de zinc	130	FIFA (per. commun)
Sulfato de cobre	17.2	Rayment et al. (1989)
	5.5	Rayment et al. (1989)

Fuente: Tomado de Producto industrial por la Federación de la Industria de Fertilizantes de Australia, FIFA.

Tabla 2: Concentración de cadmio y fósforo en rocas fosfóricas de diferentes lugares

Roca Fosfórica	Cd (ppm)	P (%)	Cd mg/kg de P
Rusia (Kola)	0.2	17.2	1
Sudáfrica (Phalaborwa)	4	17.2	23
China (Yunan)	5	14.4	35
Australia (Duches)	7	13.9	50
México	8	14	57
Perú (Sechura)	11	13.1	84
Israel (Arad)	12	14.1	85
Israel (Zin)	32	14	228
Carolina den N (USA)	47	15.1	311

Fuente: Tomado de McLaughlin et al., 1996

2.3 MOVIMIENTO DEL CADMIO EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO HACIA LA PLANTA

Las plantas obtienen los nutrientes por absorción en forma iónica por las raíces y hojas (estomas) incluido el cadmio. Las plantas a través de la transpiración absorben grandes cantidades de agua que obtienen del suelo, agua (de la solución del suelo) que contiene nutrientes (minerales) según la disponibilidad que ofrece el suelo. Los nutrientes en la solución del suelo se mueven hacia la zona radicular (rizósfera) para hacer contacto nutriente y raíz y posterior absorción. De acuerdo con Barber (1995), el suministro de los nutrientes hacia las plantas se da por tres mecanismos: flujo de masa, la difusión y la intercepción radicular.

2.3.1 Flujo de masa

Las plantas a mayor evapotranspiración absorben grandes cantidades de agua que obtienen de la solución suelo y nutrientes que éstas tengan disponibles, si se tienen concentraciones altas de cadmio en el suelo existe la posibilidad de absorber cantidades altas de cadmio.

2.3.2 Difusión

Es el desplazamiento de los nutrientes de una zona con mayor concentración a otra menor concentración en la solución del suelo. Cuando las raíces absorben nutrientes se crea un gradiente de concentración de nutrientes entre el suelo y la raíz.

2.3.3 Intercepción radicular (intercepción directa de la raíz):

La extensión (crecimiento) de la raíz puede llevar al contacto nutriente-raíz, a mayor exploración de raíces habrá más volumen de contacto con el cadmio y la absorción será mayor.

2.4 ABSORCIÓN DEL CADMIO Y MINERALES POR LA PLANTA

No se informó sobre la esencialidad del cadmio; sin embargo, es absorbido por las familias de proteínas transportadoras y transportadores específicos (Song et al. 2016). Los elementos minerales (nutrientes) disueltos (biodisponibles) en la solución del suelo, al estar en contacto con la raíz de la planta es absorbido por tres vías (apoplasto, simplasto, transcelular acoplado) que llevan al metal (Cd^{2+}) hasta el xilema y floema que fluye a las ramas, hojas y otros órganos de la planta. Clemens et al. (2002) sugieren el orden en cuatro etapas: (1) absorción por las raíces, (2) carga al xilema, (3) translocación a los brotes, (4) translocación

del floema a las semillas. Barberon y Gelder (2014) sugirieron tres vías de ingreso del cadmio a las plantas.

Kramer (2010) informó que la expresión de los genes pertenecientes a la familia de proteínas transportadoras de zinc y hierro (ZIP) “familia de transportadores metálico ZIP” son responsables de la absorción y/o del transporte del Cd^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} de la solución suelo a la célula de la planta, y los transportadores específicos del calcio (IRT1) y hierro (LCT1) están más relacionados con la absorción del cadmio.

Respecto al consumo de energía relacionado a la vía apoplástica y simplástica la absorción de los elementos minerales por las plantas pueden ocurrir por dos formas como proceso que no consume energía y no depende del metabolismo “transporte pasivo” (vía apoplástica) y como proceso que consume energía si depende del metabolismo “mecanismo activo” (vía simplástica) (Siedlecka 1995, Marschner 1995).

2.4.1 Absorción foliar del cadmio

El cadmio puede ser absorbido directamente por la hoja o a través de la raíz (más importante). El cadmio después de ser absorbido por las raíces llega hasta el xilema por donde se traslada hasta los brotes, hojas y floema para que fluya en toda la planta (arriba y abajo). En cambio, cuando el cadmio hace contacto con la hoja la absorción será foliar; por lo tanto, en una deposición foliar de cadmio sobre la hoja primero habrá un contacto físico con la hoja y el cadmio; y segundo para seguir dos trayectorias de penetración (cutícula y estomas). Luego en su forma soluble será absorbido por las células de la hoja y luego se desplazará en la planta por el floema. En la absorción foliar también intervienen los transportadores específicos. Schreck et al. (2012) sugirieron que las sales nutritivas y el cadmio en las hojas se absorben por dos mecanismos: (1) a través de la cutícula lipofílica, (2) a través de las estomas.

Ambos mecanismos son complejos y siguen una secuencia diferenciada, Chamel et al. (1991) indicaron una secuencia de cuatro pasos de ingreso a través de la cutícula. La siguiente secuencia de ingreso a través de la cutícula fue adaptada de Roemheld y El-Fouly (1999) y los pasos se resume como sigue: (a) contacto del cadmio con la superficie foliar; (b) adherencia y traspaso de la cutícula (la cutícula cubre la epidermis); (c) ingreso a través de la epidermis, (c1) entrada vía apoplasto (ingreso por los espacios intercelular), (c2) absorción vía simplasto (penetra la pared celular por los espacios intracelular); y (d) distribución en toda la hoja.

Después de ingreso del Cd (absorción) a través de la cutícula (sorción, difusión, desorción, absorción) y estomas, el cadmio en la célula continua la penetración a través de la vía simplástica por transportadores específicos relacionados y también por la vía apoplástica. En resumen, este elemento tiene dos trayectorias para penetrar (cutícula y estomas) y el medio de penetración a las células es realizado por mecanismos activo, pasivo y vías simplastos y apoplastos, y movimientos floema – xilema.

Sin embargo, en la actualidad la nutrición foliar es reconocida como un complemento de nutrición y no para substituir la fertilización al suelo, porque la dosis de aplicación foliar es más pequeña que la fertilización radicular. Los procesos de absorción foliar (ingreso del metal) por la cuticular y estoma dependen de la interacción de un grupo de variables (Beckett et al. 2000), como: (a) propiedades fisicoquímicas del compuesto (solución), (b) la cutícula, (c) área de superficie de contacto, (d) morfología foliar, (e) textura de la superficie foliar (rugosidad y pubescencia), (f) hábito de la planta (perenne o caducifolio), tiempo de exposición, transpiración, clima.

El Cd se transporta a través de la corriente de transpiración (xilema) de la planta y se acumula principalmente en las hojas (Sekara et al. 2004), por lo tanto, los frutos y las semillas contienen mucho menos Cd que las hojas, ya que evaporan menos agua. También los minerales disueltos en solución (agua) se transportan desde las raíces hasta las hojas a través de la xilema, en cambio en las semillas generalmente solo se pueden alcanzar a través del floema (Clemens et al. 2013). En general, la concentración de cadmio en tejido de la planta disminuye a partir de las raíces > tallos > hojas > cáscaras de las mazorcas > semillas (Benavides et al. 2005).

2.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y DETECCIÓN DE METALES PESADOS

Los metales pesados o analito de una muestra se pueden determinar de forma directa y sin alterar la muestra “no destructivo” y utilizando extractantes en digestión para luego cuantificar el analito por espectroscopia. Actualmente, existe una gama de técnicas y métodos analíticos para la determinación del cadmio y metales en suelo y muestras orgánicas. Para elegir un método de análisis, Alloway (2010) sugirió conocer los siguientes factores:

- Propósito del estudio
- Disponibilidad de equipos alcance (espectrómetros portátiles de rayos X que mide las concentraciones totales de metales para el análisis de campo)
- Técnica de muestreo
- Conservación y almacenamiento
- Preparación de muestras y característica del analito de interés
- Concentraciones de analitos a medir, disponibilidad de aparatos de laboratorio
- Instrumentación, costo del análisis y tiempo necesario para obtener los resultados

Según JECFA (2011) de la FAO y WHO, las técnicas de espectrometría para la detección del cadmio incluyen:

- Espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS),
- Espectrometría de absorción atómica (ETAAS), electrotérmica (horno de grafito y horno de Zeeman),
- Espectrometría de absorción atómica de inyección de haz (BIF-FAAS),
- Espectrometría de absorción atómica con horno de llama por termorresistencia (TSFF-FAAS),
- Espectrometría de fluorescencia atómica de generación de hidruros (HG-AFS)
- Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)
- Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).
- Los métodos de digestión (extracción) e instrumentos empleados en el análisis del cadmio en los estudios realizados en Perú, que pudimos identificar, son: espectrofotómetro de absorción atómica, ICP (El documento no da más detalles), EPA-3050B, EDTA 0,05 M pH 7, Digestión húmeda, Extracción vía seca, entre otros.

2.5.1 Formas de cadmio en el suelo

El cadmio puede aparecer como especie catiónica: CdCl^+ , CdOH^+ , CdHCO_3^+ , CdHS^+ y como especie aniónica: CdCl_3^- , Cd(OH)_3^- , Cd(OH)_4^{2-} , Cd(HS)_4^{2-} (Kabata – Pendia y Sadurski, 2004). Asimismo, la forma hidróxidos CdOH^+ , Cd(OH)_3^- y Cd(OH)_4^{2+} , cloruros (CdCl^+ , CdCl_3^- , CdCl_2) como iones complejos con grupos amonio y cianuro ($\text{Cd(NH}_3)_6^{4+}$ y Cd(CN)_4^{2-}) y variedad de complejos estables con la materia húmica y con ligandos sintéticos, como EDTA. Sus iones forman compuestos insolubles de color blanco,

normalmente hidratados, con carbonatos, arseniatos, fosfatos, oxalatos y ferrocianuros (Adriano 1986). El Cd está asociado principalmente con minerales de Zn, Pb-Zn y Pb-Cu-Zn, la concentración depende normalmente del contenido de Zn (Thornton 1986). Sposito y Page (1984) señalaron basándose en un modelo, las siguientes especies de Cd en la solución del suelo: en suelo oxic. Cd^{2+} , CdSO_4^0 y CdCl^+ ; en suelo ácido, Cd , CdCl^+ , CdSO_4^0 ; en suelo alcalino, CdHCO_3^+ . En suelos con pH elevado mayor a 7.5 el cadmio formaría dos compuestos principales el CdCO_3 , $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)^2$ (Soon 1981; Matusik et al., 2008); pero en condiciones anaeróbicas, la solución de Cd en el suelo se rige por la precipitación de sulfuros (Christensen y Huang 1999). La apatita tiene capacidad de adsorción del Cd que disminuye en presencia de otros metales (Cu, Zn, Pb), debido a la absorción competitiva del metal (Corami et al., 2007). La forma más común del cadmio es el sulfuro de cadmio (CdS) insoluble en solución cuando no hay oxígeno (atmosfera reductiva) en suelos inundados con déficit de oxígeno. En cambio, en una atmosfera oxidativa (buen suministro de oxígeno) el cadmio se encuentra en la forma de sulfato de cadmio (CdSO_4) muy soluble (biodisponible). De acuerdo a Sanchez (2013) las reacciones más frecuentes del cadmio en el suelo son las siguientes:

- a) Precipitación: $\text{Cd}^{2+}_{(ac)} + \text{CO}_3^{2-}_{(ac)} \rightleftharpoons \text{CdCO}_{3(s)}$
- b) Disolución: $\text{CdCO}_{3(s)} + 2\text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+}_{(ac)} + 3\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_{2(g)}$
- c) Acomplejamiento: $\text{Cd}^{2+}_{(ac)} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{CdSO}_4$
- d) Oxidorreducción: $\text{CdS} + 2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

2.5.2 Especiación secuencial del cadmio en el suelo

La especiación química (identificación y cuantificación de las formas químicas de un mismo elemento en una muestra) permite determinar el nivel de biodisponibilidad del metal dependiendo de la estabilidad de cada especie química en condiciones ambientales (Tessier et al. 1979). Cuando un metal se encuentra enlazado débilmente a una especie química, su índice de disponibilidad es alto porque el metal puede ser solubilizado con ligeros cambios de pH o del potencial redox (Alloway 1990). Cuando los metales se encuentran unidos fuertemente a la especie química su estabilidad es muy alta y para que se conviertan a formas solubles se necesitarían condiciones ambientales muy drásticas, que normalmente no ocurren en la naturaleza (Pérez-Cid et al. 1996).

Por lo tanto, si la mayor concentración de los metales se encuentra en esta fracción, la biodisponibilidad será muy baja con menor riesgo de toxicidad. Esta información sólo es posible obtenerla con un estudio de especiación, y puede ser química o fraccionamiento físico (granulométrico, densimétrico). La especiación es un procedimiento analítico que involucra extracciones químicas secuenciales para separar los metales (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe y Mn) de la fase sólida y solución del suelo. Tessier et al. (1979) separaron cinco fracciones: Cd intercambiable, Cd unido a carbonatos, Cd unido a óxidos de Fe-Mn, Cd unido a materia orgánica y Cd residual (silicatos detríticos, sulfuros resistentes, material orgánico refractario). Brummer et al. (1986) en términos generales propusieron las siguientes categorías:

- Especies en fase de solución del suelo:
 - Ion libre, complejo inorgánico, complejo orgánico, unido a coloides suspendidos (arcilla, materia orgánica, óxidos)
- Especies de suelo en fase sólida:

Intercambiablemente unido a superficies cargadas, complejo o incluido dentro de la materia orgánica, adsorbido u ocluido en óxidos hidratados de hierro y manganeso, adsorbido u ocluido en carbonatos, como precipitado (carbonatos, fosfatos, sulfuros). El cadmio total corresponde a la suma de las cinco fracciones, mientras que el intercambiable es la fracción disponible más importante. Además, en estas cinco fracciones puede encontrarse las distintas formas químicas del metal pesado.

La presente revisión se centra en la discusión de la concentración del cadmio total y disponible (intercambiable + solución). Para conocer los riesgos de biodisponibilidad del cadmio es muy importante conocer la concentración del Cd total y disponible en el suelo (Duplay et al. 2014). El cadmio disponible (biodisponible) incluye al intercambiable más el cadmio en la solución del suelo (soluble en agua-hidrosoluble) mientras que el cadmio total es la suma de todas las formas antes mencionadas. La forma disponible (biodisponible) para la absorción de la planta del suelo incluye al Cd unido a las fases sólidas intercambiables retenidos por fuerzas electrostáticas (Degryse et al. 2012) y puede liberarse fácilmente en la solución del suelo. En la solución del suelo, el Cd está presente principalmente como el ion Cd^{2+} , o como complejos inorgánicos u orgánicos. En la fase sólida, el Cd puede unirse reversiblemente a partículas del suelo, como la materia orgánica o los óxidos de Fe y Mn.

2.5.3 Extracción de cadmio disponible y cadmio total en el suelo

El cadmio biodisponible (Cd intercambiable + Cd en la solución) (Romkens et al. 2009) puede extraerse (determinarse) directamente utilizando varios métodos de extracción y extractantes como Mehlich 3, EDTA, DTPA, bicarbonato de amonio-DTPA, HCl (Chávez et al., 2016, Ramtahal et al. 2015; Argüello et al. 2019), o el método de difusión en películas delgadas (DGT) (Gramlich et al. 2016; Gramlich et al. 2017) y al resultado generalmente le llamaron “cadmio extraíble” con el nombre del extractante utilizado, y se interpreta equivalentemente al cadmio disponible (biodisponible), porque es el más próximo a este valor. Sin embargo, Tipping et al. (2003), Peijnenburg et al. (2007) y Romkens et al. (2009) explicaron la extracción utilizando distintas soluciones tamponadas y sales. Cabe resaltar que, el cadmio disponible se refiere al cadmio biodisponible. La fracción intercambiable, solubles en agua y ácidos generalmente están relacionadas con el Cd disponible o biodisponible (Chávez et al. 2016). Para identificar el Cd disponible, se han propuesto diversas técnicas como el análisis secuencial y extracción individual con resultados confiables. Comúnmente, la extracción de Cd del suelo por sales neutras, como CaCl_2 , NH_4OAc (Acetato de Amonio) y NH_4NO_3 se informa como buenos indicadores de Cd disponible en la planta (Degryse et al., 2003; Zhu et al., 2012).

El estándar de calidad ambiental de suelos (ECA) de Perú (Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM) establece 1.4 ppm de Cd total para suelos agrícolas, y sugiere determinar según USEPA 3050 o 3051. De acuerdo al Método de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, el método 3051 requiere la digestión ácida asistida por microondas (sistema cerrado) y cuantifica el analito con espectrofotómetro de absorción atómica de llama (FLAA), absorción atómica de horno de grafito (GFAA), espectroscopia de emisión de plasma acoplada inductivamente (ICP-ES) y espectrometría de masas de plasma acoplada inductivamente (ICP-MS). El método 3050 se realiza con una digestión de sistema abierto.

2.5.4 Extracción de cadmio total en tejido

El análisis de metales pesados en muestras orgánicas vegetales (biológicas) se puede clasificar en las siguientes técnicas:

- Incineración en seco de sistema abierto (la muestra es calcinada hasta ceniza)
- Digestión vía húmeda (la muestra no requiere calcinarse hasta ceniza)
- Digestión asistida por microondas de sistema cerrado.

La técnica de incineración en seco y digestión vía húmeda puede requerir uno o dos días, la técnica de microondas puede digerir las muestras en una hora (Bertoldi et al. 2016, Chávez et al., 2016; Ramtahal et al., 2015). La calcinación (vía seca) consume mucha energía eléctrica y considerable tiempo, implica el riesgo de pérdida de plomo y cadmio por volatilización durante la calcinación en el sistema abierto. El análisis por vía seca y húmeda emplea extractantes fuertemente tóxicos y corrosivos (ácidos fuertes) individuales o en mezclas, con temperaturas altas (180 °C) y puede tomar horas para extraer completamente el analito, proceso conocido tradicionalmente como “digestión ácida” (Ghrefat et al. 2006; Bettiol et al. 2008). La aplicación de energía como microondas “Extracción Asistida por Microondas” (MAE) emplea ácidos (extractante); sin embargo, logra en menor tiempo el calentamiento de toda la muestra de forma simultánea con una atmósfera de trabajo menos contaminante (Bettiol et al. 2008).

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

3.1.1 Actividad de la empresa

AGQ Labs es un centro tecnológico químico con una consolidada presencia internacional, fundamentado en laboratorios de análisis, ensayos avanzados y asesoría química especializada que ofrece soluciones y servicios de valor dirigidos a los sectores agronómico, alimentario, ambiental, salud, industrial y minero. Combina eficazmente la tecnología (química analítica) y conocimiento especializado sectorial. De esta manera, ofrece un modelo único y diferencial, abordando desde la identificación del problema hasta la implantación de la mejor solución (AGQ Labs, s.f.).

AGQ Labs presenta los siguientes pilares:

- **Internacionalidad.** Cuenta con una red de laboratorios y oficinas comerciales alrededor del mundo que brinda soporte a clientes de diversos mercados.
- **Calidad.** Proporciona a los clientes las claves para asegurar la máxima calidad en los productos finales que se fundamentan en procedimientos propios de evaluación y control desarrollados para cada sector (análisis – interpretación – diagnóstico – decisión).
- **Eficiencia.** Contribuye a que los clientes mejoren sus procesos de producción, aportándoles las claves para ser más eficientes y rentables.
- **Seguridad.** Tanto en la información que maneja control de materias primas, de productos, entre otros; como la eliminación de riesgos ambientales y laborales.

3.1.2 Ubicación de la empresa

AGQ Labs cuenta con centros tecnológicos en España, Chile, Perú, Marruecos, USA, México, Colombia y Costa Rica, junto a una extensa red de sucursales técnicas, conectando a clientes en cualquier parte del mundo, lo que le permite colaborar con las empresas agroalimentarias y medioambientales líderes de Europa y América, como se muestra en la

siguiente figura. En el Perú, se encuentra ubicado en Avenida Luis José de Orbegoso 350 · 15022, San Luis – Lima.



EUROPA

AGQ España
agqlabs.es
alkemi.es

AGQ Italia
agqlabs.it

AGQ Portugal
agqlabs.pt

AGQ Alemania y
Austria
agqlabs.de

AMÉRICA DEL NORTE Y CENTRAL

AGQ USA
agqlabs.us.com

AGQ México
agqlabs.mx

AGQ Costa Rica y Caribe
agqlabs.cr

AGQ Guatemala
agq.com.es

AMÉRICA DEL SUR

AGQ Chile
agqlabs.cl

AGQ Perú
agqlabs.pe

AGQ Argentina
agqlabs.com.ar

AGQ Colombia
agqlabs.co

AGQ Ecuador
agqlabs.ec

ÁFRICA

AGQ Marruecos
agqlabs.ma

AGQ Túnez
agqlabs.tn

AGQ Sudáfrica
agqlabs.co.za

AGQ Egipto
agqlabs.com.eg

Figura 2: Ubicación de AGQ Labs

Fuente: Tomado de AGQ Labs., 2022, <https://www.agq.com.es/presencia-internacional>

3.1.3 Datos de la empresa

La empresa AGQ Labs con sede en Perú. presenta los siguientes datos:

Tabla 3: Datos de AGQ Labs Perú

Datos de la empresa	
RUC	20512225986
Razón Social	AGQ PERU S.A.C.
Actividad económica	Ensayos y análisis técnicos
Fecha de inicio de actividades	01/01/2006
Estado – Condición	Activo – Habido
Gerente General	Moisés Francisco Peralta Gargurevich

Fuente: Tomado de Consulta de RUC., SUNAT, <https://e-consultaruc.sunat.gob.pe/cl-ti-itmrconsruc/jcrS00Alias>

3.1.4 Organigrama

AGQ Labs con presencia internacional, cuenta con un presidente, vice presidenta, y dirección general, un equipo de RRHH y HSEQ con áreas especializada. Asimismo, gerencias generales con las filiales, como se muestra en la siguiente figura.

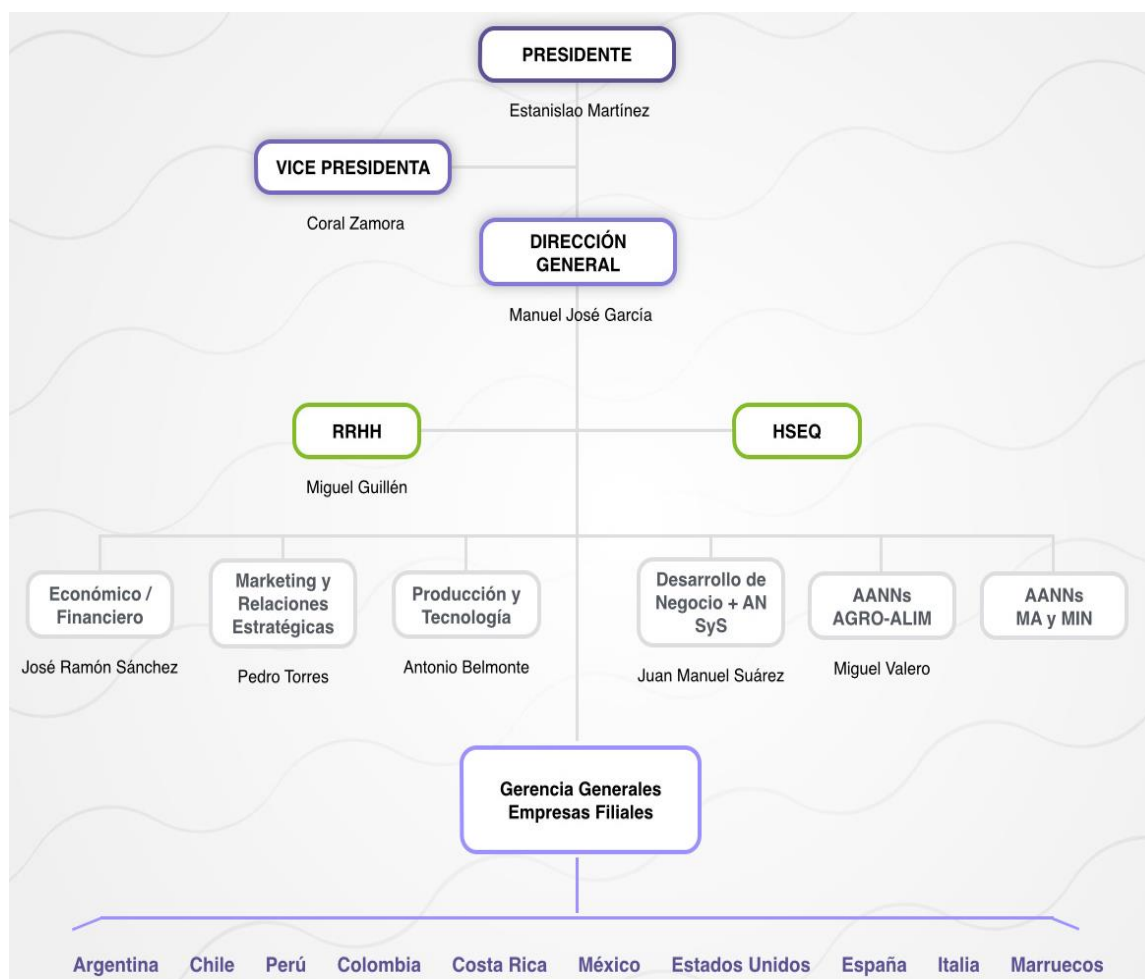


Figura 3: Organigrama de AGQ Labs Internacional

Fuente: Tomado de AGQ Labs., 2022, <https://www.agq.com.es/presencia-internacional>

AGQ Perú SAC es una filial perteneciente al Grupo AGQ Labs Corporate, empresa internacional con presencia en más de veinte países como se detalló. Las operaciones en Perú comenzaron en el año 2004, como consecuencia de la política de expansión comercial en América Latina. En ese sentido, se encuentra integrado por químicos, agrónomos, biólogos, geólogos, ambientalistas, entre otras especialidades de conocimiento que forman un equipo multidisciplinar capaz de proveer a los clientes soluciones de valor a sus problemas (ver Figura 4).

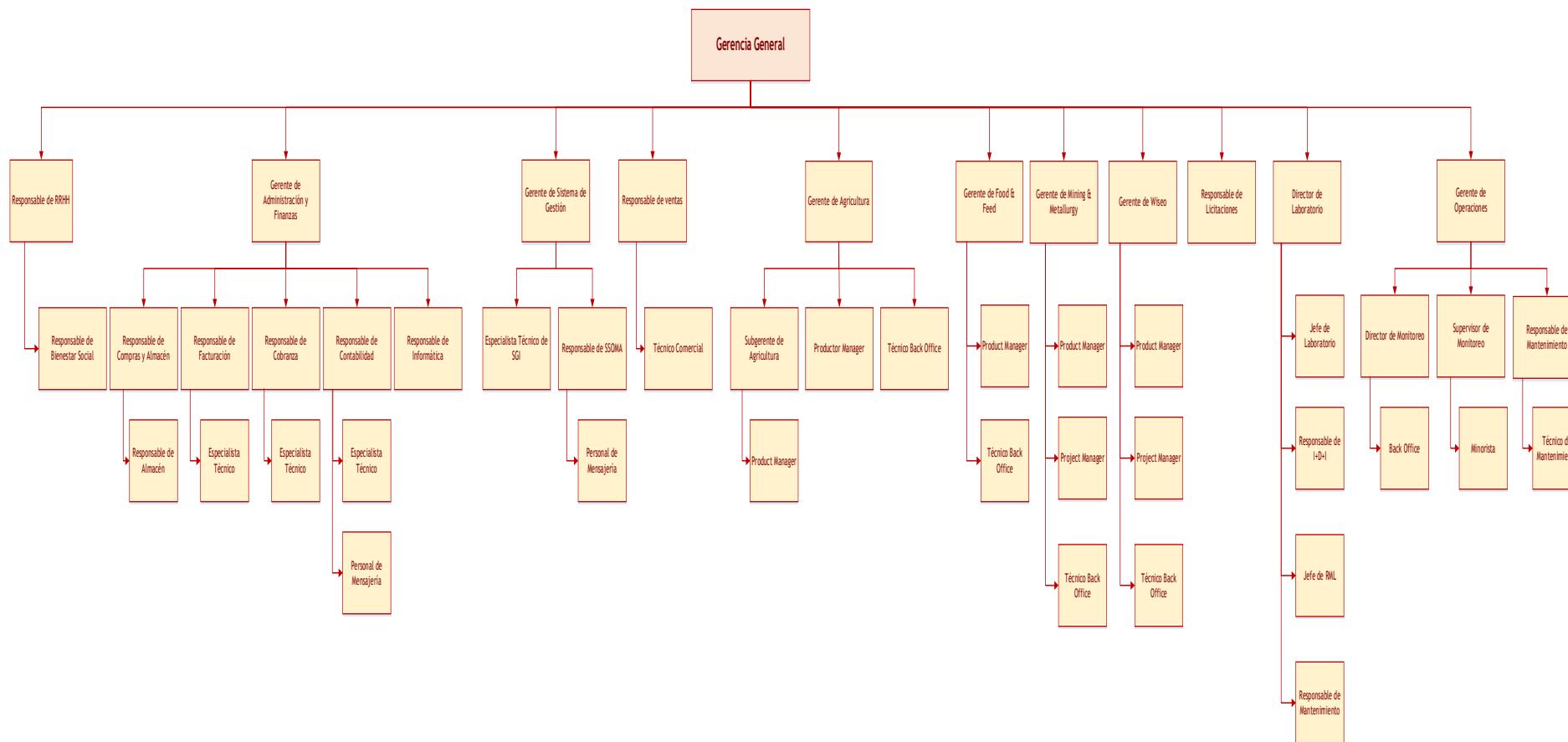


Figura 4: Organigrama de AGQ Labs Perú

Fuente: Tomado de Manual de Sistemas de Gestión Integrado, AGQ Labs Perú, 2023

3.1.5 Productos de la empresa

AGQ Labs presenta servicios y productos fundamentado en laboratorios de análisis, ensayos avanzados e ingeniería química especializada en los sectores de agricultura; alimentación; industria y servicios; energía, gas y oil; ciclo de agua, bienes de consumo; ciencias de la vida; minería y metalurgia, entre otros.

Tabla 4: Servicios por sectores de AQG Labs

Sector	Producto / Servicio
Agricultura	Agricultura Servicios analíticos para agricultura Seguimiento nutricional de cultivos Asesoría agronómica
Seguridad alimentaria	Servicios Analíticos para Seguridad Alimentaria Asesoría alimentaria Control de proveedores de alimentos I+D empresas agroalimentarias Detenciones de la FDA
Ciclo del agua	Ciclo del agua Servicios analíticos ciclo del agua Muestreo Ambiental
Energía, gas y petróleo	Energía, Gas y Petróleo Servicios analíticos sector energético Análisis para el sector termosolar
Minería	Minería y Metalurgia Servicios analíticos minería y metalurgia Geoquímica ambiental Muestreo y preparación de muestras
Salud y seguridad	Buenas Prácticas de Laboratorio BPL Biofarmacia Análisis de juguetes y otros materiales
Industrias y servicios	Industria y Servicios Servicios analíticos industria y servicios Muestreo Ambiental

Fuente: Tomado de AGQ Labs., 2022, <https://www.agq.com.es/presencia-internacional>

3.2 EVALUACIÓN DE PRIMER NIVEL

Ante la preocupación a nivel internacional por la presencia del Cd en frutos de palto y la Norma General para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y codex – CXS 193-1995, que establece niveles máximos de cadmio total para diversos alimentos incluida la palta con niveles menores de 0.05 ppm (ver Anexo 01) se ha elaborado herramientas para la detección de zonas con altos niveles de cadmio para presentar estrategias y mitigar los riesgos. El centro tecnológico AGQ Labs en Perú ha elaborado una metodología de representación de datos que permite visualizarlos mediante mapas georreferenciados llamado “GIS - Global System Information” o SIG en español.

Ante un gran número de datos con una referencia espacial concreta, la metodología permite visualizarlos a través de un mapa. Al mismo tiempo se asocian colores a los valores, de tal modo que se obtiene una representación comparativa muy intuitiva. La utilización de la metodología permite tener una visión integral de la fertilidad del campo, ya que brinda información precisa de distintos parámetros, no sólo de la concentración sino la distribución espacial de la misma en cada variable estudiada en el campo, como se muestra en la Figura 5.

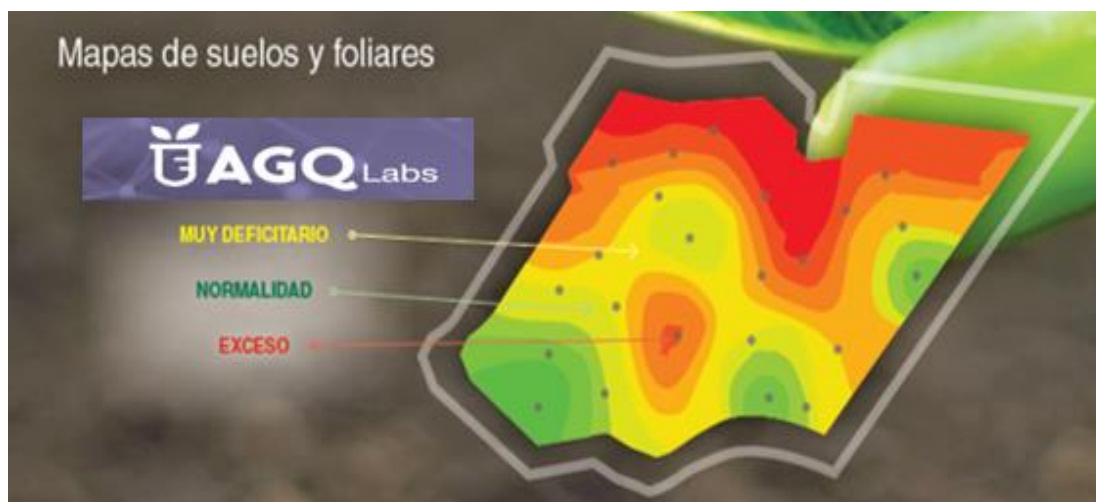


Figura 5: Mapas de suelos y foliares (AGQ Labs Perú)

La información integral que GIS ofrece resulta determinante para la toma de decisiones, en la elaboración de estrategia nutricional y correcciones durante el desarrollo del cultivo, identificando las zonas con más problemas. GIS (sistema de información geográfica), sistema para para recopilar, gestionar y analizar datos referenciados geográficamente. Convertir medidas puntuales (datos análisis) en medidas continuas (datos mapeados).

En este caso para la elaboración de los mapas se usó geoestadística, que analiza patrones espaciales con el fin de conseguir predicciones a partir de datos espaciales concretos.

Además, se utilizó la interpolación que consistió en hallar el dato dentro de un intervalo en el que conocemos los valores en los extremos, y finalmente se usa el método de interpolación geoestadísticos de estimación de puntos Kriging.

La metodología GIS permite representar los indicadores nutricionales y productivos de forma espacial, lo que permite:

- Facilitar la interpretación de los datos (visual)
- Manejar un elevado número de datos (grandes extensiones)
- Elaborar diagnósticos y medidas correctoras delimitadas Espacialmente

La información generada permite:

- a. Evaluar zonas por bloques
 - Definir zonas con problemas.
 - Definir la estrategia de riego para cada zona y/o condición.
- b. Identificar las zonas con bajos, normales o de excesos niveles de cadmio.
 - Elaborar plan de contingencia para mitigar el cadmio
 - Realizar correcciones por zona.
- c. Identificar zonas con determinados problemas
 - Ajustar enmiendas a las características de la finca
- d. Realizar diagnóstico nutricional integral de la finca
 - Correlacionar el estado nutricional vs el rendimiento y calidad.

Entre los beneficios se encuentran:

- Mejorar la planificación del proceso de producción, anticipándonos a posibles problemas nutricionales y dando solución oportuna a cada uno de ellos.
- Desarrollar una estrategia nutricional integral, otorgando lo necesario según la condición de cada zona.
- Optimizar la utilización de recursos.
- Generar un control de la evolución nutricional mediante el monitoreo de cada zona (fruto y/o suelo).

Diseño del muestreo

- Localización y delimitación georreferenciada a través de la plataforma de Google Earth, levantamiento de parcelas en KMZ, distribución de los puntos a muestrear a partir de una grilla ordenada según la densidad de los puntos; supervisando que no caigan en caminos o zonas no cultivables, esto se hace con un programa QGIS.
- Al tener los puntos distribuidos espacialmente los datos son exportadas a Excel con apoyo de un programa para luego transferir al GPS e iniciar con georreferenciación en campo.
- Estudio de variabilidad de la parcela, para indicar la variabilidad de los datos se consideró información de Codex para el caso de alimentos (fruto) y para el caso del suelo los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) dispuesto por el Ministerio del Ambiente - MINAN (ver Anexo 02) colocando parámetros referenciales en coordinación con la agrícola para tener un punto de partida en la elaboración de los mapas.
- Parcela sin cultivo: se realizará mediante fotos del terreno donde los cambios de tonalidades indican diferente tipología de suelo, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6: Fotos del terreno a muestrear (AGQ Labs Perú)

- Determinación de número y la localización de los puntos de muestreo
- El número de puntos dependerá del tamaño de la finca y su variabilidad (ver Figura 7).
- Obtención de la relación de puntos de muestreo con sus coordenadas.

La recomendación sobre la cantidad de puntos a muestrear dependerá mucho de la zona en estudio, lo ideal es muestrear cada 0.5 a 1 ha, tener en cuenta que a mayor cantidad de puntos se tiene un modelo a interpretar más realista. En los ejemplos se muestreó por hectárea 2 puntos.



Figura 7: Número de puntos de muestreo GIS (AGQ Labs Perú)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DIAGNÓSTICO

4.1.1 Realización del muestreo

- Localización de los puntos de muestreo en campo mediante GPS
- Toma de muestras
- Suelo, La muestra está integrada por 5-10 submuestras tomadas en un círculo de 10 m de radio alrededor del punto muestral con el uso de un barreno, como se muestra en la Figura 8.

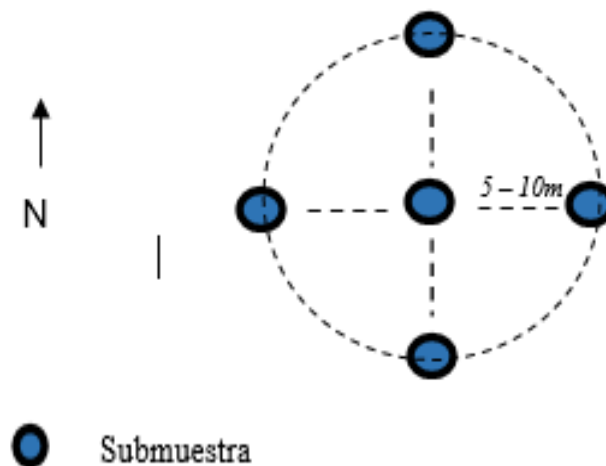


Figura 8: Muestra y submuestras.

- Planta - fruta, La muestra integrada por 5 – 10 submuestras en círculo de 10 m de radio alrededor del punto geo referenciado, se coge los 4 puntos cardinales y la parte media del árbol. Por cada punto cardinal coger una fruta representativa, mezclarla, realizar cuarteo y de cada punto se debe enviar 500 gr a 1 kg de muestra.
- Precauciones: Durante el muestreo se tomarán precauciones para evitar alteraciones que puedan modificar el contenido del metal pesado, afectar a los análisis o a la representatividad de la muestra, se tomará producto en buen estado, limpio y sin

contacto con producto químico in situ e introducir la muestra en recipiente adecuado y de primer uso.

- Todas las muestras deben ser enviadas el mismo día del muestreo al laboratorio, no lavarlas ni cepillarlas. Para su embalaje se utilizarán los sobres de papel de primer uso.

El mapa se genera mediante un modelo matemático que usa ciertos algoritmos estadísticos que dependen de:

- Superficie de la finca
- Número de muestras
- Datos analíticos de cada muestra

4.1.2 Análisis de las muestras

Se analizarán cada una de las muestras (suelo, raíces, hojas, fruto) para el parámetro Cd con equipo de espectrometría de masas de plasma acoplada inductivamente (ICP – MS), para esto se describe la metodología usada:

En suelo, se realizó digestión y posteriormente medición con el equipo ICP- masas.

- Cuarteo
- Secado
- Tamizado
- Pesado
- Solución con ácido.
- Digestión
- Calibración de ICP-MS
- Lectura– ICP MS

En fruta, se realizó digestión y luego medición con ICP -MS.

- Lavado
- Cuarteo
- Triturado
- Pesado
- Solución con ácido.
- Digestión
- Calibración de ICP-MS
- Lectura– ICP MS

4.1.3 Elaboración de Mapas cadmio (Suelo)

Se emitirá mapas de variabilidad y diagnóstico de los parámetros analizados y la interpretación de los mismos, como se muestra en la Figura 9.

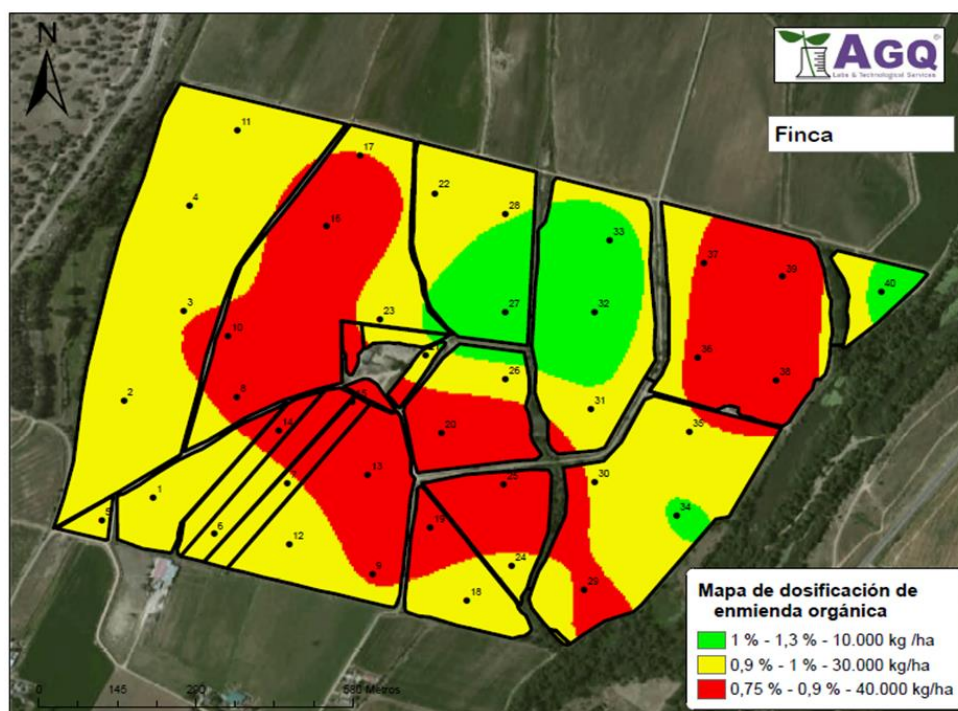


Figura 9: Mapa de Diagnóstico (AGQ Labs Perú)

4.1.4 Métodos de análisis

AGQ Labs usa el método de análisis ICP – MS, los límites de detección de los instrumentos con cuádrupolo para la mayoría de los elementos son mejores que 0.1 µg/L. Ventajas adicionales, van más allá de los excelentes límites de detección que incluyen un rendimiento de muestras extremadamente alto (>100 muestras/día) como se muestra en la Tabla 5 y Figura 10.

Tabla 5: Diferentes técnicas de medición en la detección de cadmio.

Técnica	Límite de detección (µg/L)
F-AAS	0.8 - 1.5
ICP – OES	0.1 - 1.0
GF – AAS	0.002 - 0.02
ICP – MS	0.00001 - 0.001

Fuente: EFSA, 2009

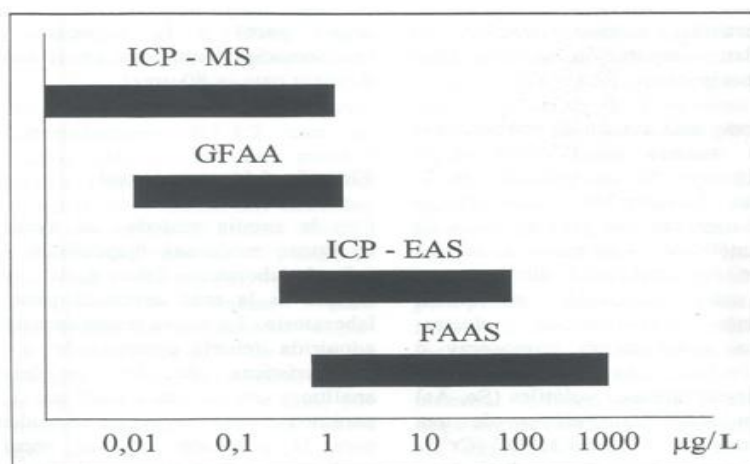


Figura 10: Límite de detección típicos para las principales técnicas espectrométricas.

Fuente: Kastenmayer, (1995)

4.2 APLICACIÓN DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES

4.2.1 Mapas de cadmio en suelo agrícola

Se considera niveles muy altos mayores a 1.4 ppm según la norma establecida por el MINAM, considerándose exceso. En el mapa de diagnóstico en suelo para cadmio, se consideró rangos según pedido del productor, se consideró el rango alto 1.1 ppm – 1.3 ppm, representados con el color naranja y muy alto mayor a 1.4 ppm, representados con el color rojo.

La parcela tiene palto de seis años de antigüedad, anteriormente cultivaban productos como paltos, maíz, usando fuentes de fertilizantes fosfatados y sulfatos sin control, con riegos por gravedad, como se muestra en la Figura 10. Definitivamente el suelo contiene cadmio, la muestra fue tomada a dos profundidades, 40 cm y 80 cm respectivamente, obteniéndose resultados similares en ambas profundidades, hay betas donde existe exceso de cadmio, esas zonas han sido afectadas por los huaycos.

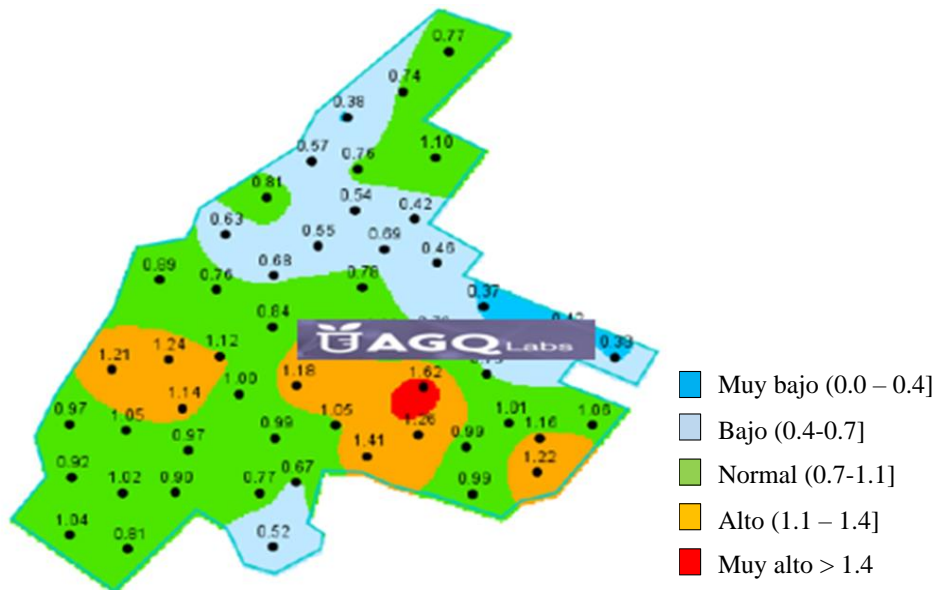


Figura 11: Mapa de diagnóstico de cadmio total en suelo agrícola mg/kg PS (AGQ Labs Perú)

Como se muestra en la Figura 10, el mapeo se realizó en una finca de 25 has, considerando el muestreo 2 puntos por ha, se ha relacionado los reportes de cadmio en raíz y fruto relacionándolos con los niveles de cadmio en el suelo, resultando que el órgano que extrae más cadmio son las raíces, definitivamente que la concentración de cadmio en la fruta tiene una relación directa con la cantidad de cadmio en el suelo, identificando para este caso que los niveles de cadmio en fruta con mayor concentración se ha obtenido de los puntos con niveles de cadmio por encima de 0.6ppm. El objetivo es conocer las zonas de alto contenido de Cd para realizar tratamientos específicos, el 60% de la fruta pasan los límites de tolerancia para el cadmio, teniendo un problema en la exportación de este producto, conociendo las zonas problemáticas se puede identificar los posibles mercados por sectores, como se detalla en la Figura 12.

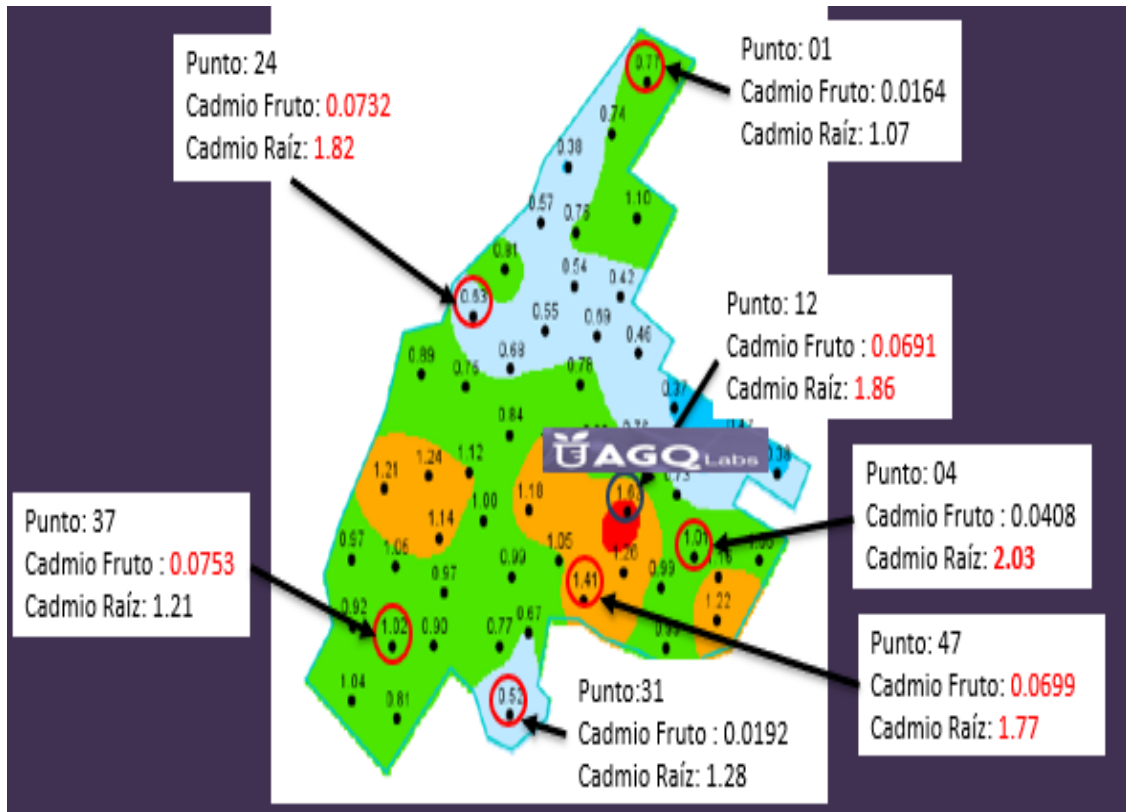


Figura 12: Mapa de diagnóstico de cadmio en el suelo, raíz y fruto palto (AGQ Labs Perú)

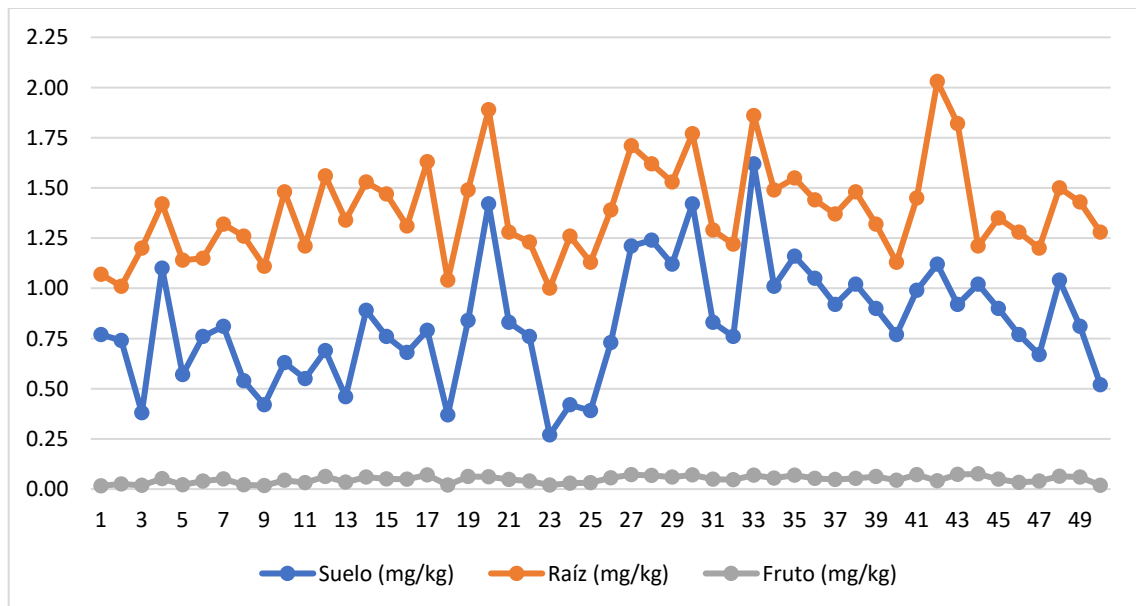


Figura 13: Cadmio en suelo – raíz – fruto (mg/kg)

Para realizar un mejor diagnóstico y buscar relación con el contenido de cadmio en el suelo se realizó un mapeo con los mismo puntos georeferenciados para la fruta, obteniéndose como resultados niveles de cadmio por encima de 0.6 ppm. Definitivamente está muy relacionada a los niveles obtenidos de cadmio en el suelo confirmando que los niveles por encima de 0.6ppm de cadmio en el suelo, en la cosecha del cultivo se tendrá una fruta con niveles por encima del contenido permitido por norma, como se muestra en la Figura 16.

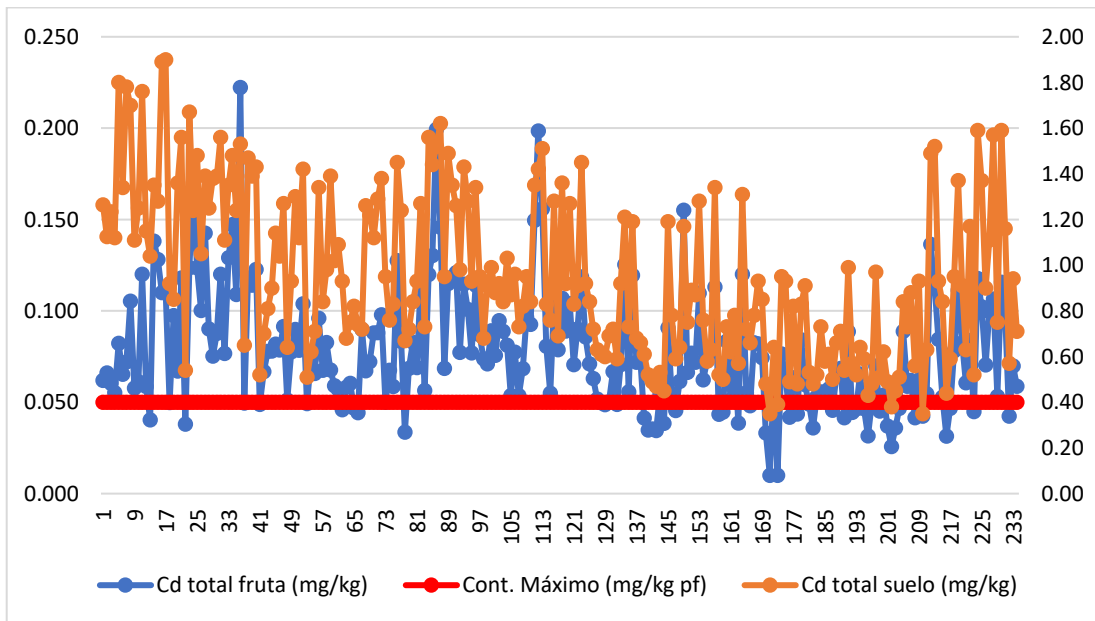


Figura 16: Cadmio total en suelo y fruto (mg/kg)

V. CONCLUSIONES

La presente investigación concluye que:

- El cadmio puede acumularse en los suelos por causas naturales, normalmente bajo estas condiciones el cadmio presente en los suelos es poco soluble y por tanto su escasa movilidad. Por otro lado, el cadmio se puede acumular en los suelos debido al ingreso artificial de diferentes acciones humanas que hacen sobre el ecosistema; cuando el origen es artificial, el cadmio normalmente está en formas químicas de mayor solubilidad y con mayor poder de movilidad lo que se reflejará en mayores tasas de absorción de este elemento por las plantas. Los suelos analizados y presentados en esta investigación han sido con cultivo instalado (Palto).
- Identificadas las causas de los altos niveles de cadmio, es importante comprender qué factores afectan la disponibilidad del cadmio en el suelo, para que éste sea tomado por las raíces de las plantas y transportados así a los tejidos superiores. Las formas que pueden estar en esa condición son el cadmio como catión divalente, cadmio en forma de quelatos y el cadmio molecular, siendo el más importante el cadmio divalente por su mayor proporción. Es muy importante tener en cuenta, el comportamiento de cadmio como catión divalente es muy similar a la del Ca^{2+} , Mg^{2+} y Zn^{2+} .
- En el suelo, el Cd^{2+} , tiene una alta movilidad y por ello se desplaza obedeciendo a los gradientes de concentración y como parte de la difusión del suelo, cuyo flujo hacia las raíces está asociado a la transpiración de las plantas (difusión y flujo de masa). El cadmio es transportado a los órganos superiores de las plantas, las biodisponibilidades de los elementos están regulados por pH del suelo, estado redox (disponibilidad de oxígeno), contenido de materia orgánica, tipo de minerales secundarios.

- La técnica analítica de medición de cadmio es variable, una de la problemática más importante en la detección del cadmio es la analítica usada. Los resultados de las diferentes investigaciones no son comparables debido a que las técnicas de medición que se emplean son diferentes, la más usada es la de absorción atómica; sin embargo, no es la más precisa ni sencilla. Actualmente la técnica más recomendable es usar la espectrometría de masas (ICP -MS), como se muestra en la Tabla 3.
- El diseño y elaboración de mapas de cadmio permite tener una visión integral y global sobre la variabilidad de cadmio. Esta herramienta permite identificar las zonas de una finca y emprender estrategias dirigidas de acuerdo al reporte obtenido, maximizando la eficacia de los insumos. Así correlacionar diferentes zonas con la cantidad y la calidad del producto, tener un plan estratégico para la oferta del producto a los mercados donde aún no se tiene un reglamento tan severo.
- Según los resultados obtenidos de los mapas mostrados, se observa que las raíces acumulan mayor cantidad de cadmio. La contaminación por cadmio es considerada como una de las problemáticas ambientales más severas, especialmente en áreas intensamente cultivadas e industrializadas. La detección del cadmio en el suelo es natural, pues todos los suelos contienen cadmio; el problema se origina cuando son lo suficientemente altos como para convertirse en problemas salud o ambientales.
- En los suelos de Ica se han encontrado niveles bajos, medios y altos de cadmio por debajo de 1.4 mg/kg. Según lo establecido por el ECA indica 1.4 mg/kg como medida que establece el nivel de concentración máximo presente en el suelo que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; en estos casos al pasar el rango máximo permitido se considera suelos no aptos para la actividad agrícola. En los análisis realizados a las raíces del palto en la zona sur, se ha encontrado información variable de 0.7 ppm a 1.8 ppm; en los frutos los resultados 0.01 a 1 ppm, convirtiéndose en un problema para los productores del cultivo para que puedan exportar su producto.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar esta herramienta como una alternativa para la interpretación de la distribución de cadmio a lo largo de la finca y verificar el impacto en la concentración de la fruta. Los mapeos de cadmio en el suelo y fruto deben realizarse periódicamente para observar los resultados de las estrategias realizadas en bajar los niveles.
- Se recomienda como estrategia ecológicamente más oportuna, la inoculación de las raíces de las plantas con microorganismos que promueven el crecimiento de éstas, tales como los hongos micorrízico o las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetativo. Al tener mayor crecimiento radicular se esperaría tener menor concentración de cadmio en la fruta, porque la raíz sería el primer filtro.
- Es importante considerar el magnesio cuando se evalúa la disponibilidad de cadmio en el suelo, hasta el momento se han encontrado asociaciones de cadmio como cloruros de cadmio y sulfatos de cadmio disponibles en el suelo y las concentraciones de calcio y zinc, es importante la atención en que tanto el zinc, el calcio, magnesio y el cadmio son todos cationes divalentes.
- Existen básicamente dos aproximaciones para evitar la absorción y acumulación de cadmio en los tejidos de las plantas, o bien se afecta la disponibilidad del elemento en el suelo o se lleva a mínimo su absorción y translocación dentro de la planta; dado que la disponibilidad de cadmio en el suelo se ve afectada por factores como pH del suelo, potencial redox, la presencia de arcillas y materia orgánica, es claro que al modificar algunas o varias de éstas variables se altera también la disponibilidad del cadmio en el suelo evitando su absorción. Por otro lado, se podría usar el fitomejoramiento para producir plantas con genotipos que tengan bajas tasas de absorción o que acumulen el cadmio en las raíces de preferencia sobre otros órganos de la planta. En el caso del palto el objetivo es evitar que el cadmio se acumule en el fruto.

- Otra opción es, el uso de plantas ajenas a sistemas agro productivos que tienen la capacidad de retener el cadmio en su propia biomasa, esta aproximación se reconoce como fitorremediación. Existen varias especies que tienen la capacidad de absorción del cadmio bastante elevada como la espinaca, lechuga, remolacha, ajo, zanahoria, col, entre otros. La hipótesis de trabajo es que, si estas especies se siembran junto antes de colocar palto o en terrenos específicos al inicio podrían competir favorablemente por la toma del metal, lo que disminuiría las tasas de absorción del cadmio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D. (2001). Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. Springer-Verlag, New York. 867 pp.
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). (2012). Public Health Statement for Cadmium, 2012.
- AGQ Labs Perú. (2020). Mapeo de cadmio en suelo y aguacate. <https://agqlabs.pe/2016/09/07/agq-labs-realiza-los-primeros-mapas-gis-norte-peru/>
- AGQ Labs Perú. (2022, febrero). <https://agqlabs.pe/>
- AGQ Labs Perú. (2023). Manual de Sistemas de Gestión Integrado.
- Alarcón-Corredor, O. (2009). Los elementos traza. Revista Médica de la Extensión Portuguesa, 4(3), 107-124.
- Alloway, B. (2010). Heavy Metals in Soils. London, New York. Third Edition. 614 p.
- Argüello, D., Chavez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. Science of the Total Environment, 649, 120–127.
- Badillo Germán, J. F. (1985). Curso básico de toxicología ambiental. p. 205-29. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Metepec; ECO; 1985. Tab.
- Barber, S. A. (1995). Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. 2nd Ed. John Wiley, New York, USA, 414 p.
- Barberon, M., and Geldner, N. (2014). Radial transport of nutrients: the plant root as a polarized epithelium. Plant Physiol. 166, 528–537.

- Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales Vol.1. UADY, 1999.
- Beckett, KP. FreerSmith, PH. Taylor, G. (2000). The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites, *Arboricult. J.* 24 (2000) 209–230.
- Benavides, P., Gallego, S., Tomaro, M. (2005). Cadmium Toxicity in Plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 21–34.
- 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.
- Bettiol, C. (2008). Evaluation of microwaves-assisted extraction procedures for the determination of metal content and potential bioavailability in sediments. *Applied Geochemistry*, 23: 1140-1151
- Brummer, G.W., (1986). Heavy metal species, mobility and availability in soils. In: Bernhard, M.; Brinckman, F.E.; Sadler, P.J. 1986. The importance of chemical ‘speciation’ in environmental processes; Springer Verlag, Berlin. pp. 169–192.
- Capó, M. (2007). Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Editorial Tebar, 2007.
- Chávez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R., Li, Y., & Baligar, V. C. (2016). Evaluation of soil amendments as a remediation alternative for cadmium-contaminated soils under cacao plantations. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(17), 17571–17580.
- Chamel, A. Pineri, M. Escoubes, M. (1991). Quantitative determination of water sorption by plant cuticles, *Plant Cell Environ.* 14. 87–95.
- Clemens, S., Aarts, M. G. M., Thomine, S., & Verbruggen, N. (2013). Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. *Trends in Plant Science*, 18(2), 92–99.
- Christensen, T. H., & Haung, P. M. (1999). Solid phase cadmium and the reactions of aqueous cadmium with soil surfaces. In M. J. McLaughlin & B. R. Singh (Eds.), *Cadmium in Soils and Plants* (pp. 65–96).

- Codex Alimentarius Commission. (2017). Subject request for comments at step 3 on proposed draft maximum levels for cadmium in chocolate and cocoa-derived products deadline 25 March 2017. Codex, 150(2017/24). https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-11%252FWD%252Fc117_24e.pdf.aspx
- Corami, A., Mignardi, S., Ferrini, V. (2007). Copper and zinc decontamination from single and binary-metal solutions using hydroxyapatite; *J. Hazard. Mater.* 146, 164–170.
- Degryse, F., Broos, K., Smolders, E., Merckx, R. (2003). Soil solution concentration of Cd and Zn can be predicted with a CaCl₂ soil extract. *Eur. J. Soil Sci.* 54, 149-158.
- Degryse F, Shahbazi A, Verheyen L, Smolders E. (2012). Diffusion limitations in root uptake of cadmium and zinc, but not nickel, and resulting bias in the Michaelis constant. *Plant Physiol* 160:1097–1109.
- Duplay J, Semhi K, Errais E, Imfeld G, Babcsanyi I, Perrone T (2014) Copper, zinc, lead and cadmium bioavailability and retention in vineyard soils (Rouffach, France): the impact of cultural practices. *Geoderma*, 230–231:318–328
- European Food Safety Authority (EFSA). (2009). Guidelines on submission of a dossier for safety evaluation by the EFSA of active or intelligent substances present in active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. *EFSA Journal*, 7(8), 1208.
- Environmental Protection Agency. (2015). Method 3050B - Acid digestion of sediments, sludges and soils. <http://www.greenrivertech.com.tw/stand-method-pdf/rohs/EPA3050b.pdf>
- Eckhard, G., Marschner, H., Jakobsen, I. (1995). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 15, no 3-4, p. 257-270.
- Ghrefat, H., Yusuf, N. (2006) Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*, 65: 2114-2121

- Greenwood N., Earnshaw A. (2002). *Chemistry of the Elements* 2nd ed. Elsevier Science.
- Haghir, F. (1974). Plant Uptake of Cadmium as Influenced by Cation Exchange Capacity, Organic Matter, Zinc, and Soil Temperature. *N/A: Journal of Environmental Quality*.
- He, B., Singh, R. (1993). Effect of organic matter on the distribution, extractability and uptake of cadmium in soils. *Journal of soil science*, 44(4), 641-650.
- Holmgren GGS., Meyer MW., Chaney R., Daniels RB. (1993). Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J Environ. Qual.* 22:335–348
- Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd ed., CRC Press.
- Kastenmayer, P. (1995). Análisis de minerales y elementos traza en alimentos. Producción y manejo de datos y disposición química de alimentos en nutrición. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura FAO. <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/ah833s22.htm>.
- Khan, M.A., Khan, S., Khan, A., Alam, M. (2017). Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. *Sci. Total Environ.* 601, 1591–1605.
- Kramer, U. (2010). Metal hyperaccumulation in plants. *Annual Review of Plant Biology* 61, 517–534.
- Liu C., Li F., Luo C., Liu L., Wang S., Liu T., Li X. (2009). Foliar application of two silica sols reduced cadmium accumulation in rice grains. *J Hazard Mater* 161:1466–1472.
- Matusik, J., Bajda, T., Manecki, M. (2008). Immobilization of aqueous cadmium by addition of phosphates. *J. Hazard. Mater.* 125:1332–1339.
- McLaughlin, J.; Tiller, G., Naidu, R., Stevens, P. (1996). Review: the behaviour and environmental impact of contaminants in fertilizers. *Aust. J. Soil Res.* 34, 1–54
- McLaughlin, M.; Singh, R. (1999). *Cadmium in Soils and Plants*. Springer Science Business Media. 282 p. DOI 10.1007/978-94-011-4473-5.

- Miller, J.; Hassett, J.; Koeppe, D. (1976). Uptake of Cadmium by Soybeans as Influenced by Soil Cation Exchange Capacity, pH, and Available Phosphorus N/A: *Journal of Environmental Quality*.
- Ministerio de Agricultura. (2020). Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2019. <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=noticias/anuario-estadistico-de-produccion-agricola>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013- MINAM. Estándares para Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, Perú. 2015. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/GUIA-ERSA-ALTA.compressed.pdf>
- Osorio, L.; Tovar, A.; Fortoul, T. (1997). Introducción a la toxicología ambiental. En: Albert Palacios, Lilia América. Capítulo 13 p. 211-26. Metepec; ECO; 1997.
- Pan, Y.; Koopmans, F.; Bonten, C.; Song, J.; Luo, Y.; Temminghoff, J.; Comans, N. (2016). Temporal variability in trace metal solubility in a paddy soil not reflected in uptake by rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Geochemistry and Health*, 38(6), 1355–1372.
- Page, A.; Chang, A.; El-Amamy, M. (1987). Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment. En Hutchinson TC Meema KM (Eds.), pp. 119-146. SCOPE 31. John Willey, Chichester.
- Peijnenburg, W.; Zablotskaja, M.; Vijver, M. (2007). Monitoring metals in terrestrial environments within a bioavailability framework and a focus on soil extraction. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67(2), 163–179. doi:10.1016/j.ecoenv.2007.02.008.
- Pérez-Cid, B.; Lavilla I.; Bendicho, C. (1996). Analytical assessment of two sequential extraction schemes for metal partitioning in sewage sludge. *Analyst* 121, 681–688.
- Ramtahal, G.; Yen, C.; Ahmad, N.; Bekele, I.; Bekele, F.; Maharaj, K.; Harrynanan, L. (2015). Prediction of Soil Cadmium Bioavailability to Cacao (*Theobroma cacao* L.) using Single-Step.

- Reglamento (UE) N° 488/2014 de la Comisión (mayo, 2014). Reglamento que modifica el Reglamento (CE) N° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. <https://www.boe.es/doue/2014/138/L00075-00079.pdf>.
- Roemheld, V.; El-Fouly, M. (1999). Foliar nutrient application challenge and limits in crop production. Proceedings of the 2nd International Workshop on Foliar Fertilization, Bangkok, Thailand, 4-10.
- Romkens, A.; Guo, Y.; Chu, L.; Liu, S.; Chiang, F.; Koopmans, F. (2009). Characterization of soil heavy metal pools in paddy fields in Taiwan: Chemical extraction and solid-solution partitioning. *Journal of Soils and Sediments*, 9(3), 216–228. doi:10.1007/s11368-009-0075-z.
- Sánchez, A.; Camacho, E. (1981). Suelos del trópico: características y manejo. IICA Biblioteca Venezuela.
- Sánchez, G. (2016). Ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>
- Schreck, E.; Bonnard, R.; Laplanche, C.; Leveque, L.; Foucault, Y.; Dumat, C. (2012). DECA: A new model for assessing the foliar uptake of atmospheric lead by vegetation using *Lactuca sativa* as an example, *J. Environ. Manage.* 112 (2012) 233–239.
- Sekara, A.; Poniedzialek, M.; Ciura, J.; Jedrszczyk, E. (2004). Cadmium and lead accumulation and distribution in the organs of nine crops: implications for phytoremediation. *Pol. J. Environ. Stud.* 14, 509-516.
- Shahid, M.; Dumat, C.; Khalid, S.; Niazi, K.; Antunes, M. (2016). Cadmium Bioavailability, Uptake, Toxicity and Detoxification in Soil-Plant System. In P. de Voogt (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 241* (pp. 73–137).
- Siedlecka, A. (1995). Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients. *Acta Soc Bot Pol* 64:265–272.

- Soon, K. (1981). Solubility and sorption of cadmium in soils amended with sewage sludge, *J. Soil Sci.*, 32,85.
- Sposito, G. (1981). *The thermodynamics of soil solutions*. London, New York. Oxford University Press. 231 p.
- Tang, X.; Li, Q.; Wu, M.; Lin, L.; Scholz, M. (2016). Review of remediation practices regarding cadmium-enriched farmland soil with particular reference to China. *J. Environ. Manag.* 181, 646–662.
- Tessier, A.; Campbell, G.; Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51, 844e851.
- Tipping, E.; Rieuwerts, J.; Pan, G.; Ashmore, R.; Lofts, S.; Hill, T. (2003). The solid-solution partitioning of heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in upland soils of England and Wales. *Environmental Pollution*, 125(2), 213–225. doi:10.1016/S0269-7491(03)00058-7.
- World Health Organization. (1992). *Environmental Health Criteria 134: Cadmium*, International Programme on Chemical Safety (IPCS), Geneva, Switzerland. 1992.
- Yaalon, D. (2000). Down to earth. Why soil – and soil science – matters. *Natura*, 407:321
- Yong, N.; Warkentin, P.; Phadungchewit, Y.; Gálvez, R. (1990). Buffer capacity and lead retention in some clay. *Water, Air, and Soil Pollution*. 53: 53-67.
- Zhu, Q., Huang, D., Liu, S., Luo, Z., Zhu, H., Zhou, B., Lei, M., Rao, Z., Cao, X., (2012). Assessment of single extraction methods for evaluating the immobilization effect of amendments on cadmium in contaminated acidic paddy soil. *Plant Soil Environ.* 58, 98e103

ANEXOS

Anexo 1. CXS 193-1995 - Niveles máximo y niveles de referencia para el Cadmio

CODEX ALIMENTARIUS

NORMAS INTERNACIONALES DE LOS ALIMENTOS



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Organización
Mundial de la Salud

E-mail: codex@fao.org - www.codexalimentarius.org

NORMA GENERAL PARA LOS CONTAMINANTES Y LAS TOXINAS PRESENTES EN LOS ALIMENTOS Y PIENSOS

CXS 193-1995

Adoptada en 1995

Revisada en 1997, 2006, 2008, 2009

Enmendada en 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019.

CADMIO

Referencia al JECFA: 16 (1972), 33 (1988), 41 (1993), 55 (2000), 61 (2003), 64 (2005), 73 (2010)

Orientación toxicológica: Dada la larga semivida del cadmio, la ingesta diaria en los alimentos tiene un pequeño efecto o casi insignificante en la exposición general. Para estimar los riesgos a corto o largo plazo para la salud debido a la exposición al cadmio, la ingesta diaria debe evaluarse durante meses y la ingesta tolerable se debe calcular durante un período mínimo de 1 mes. A fin de corroborar este punto de vista, en su 73.ª reunión (2010), el JECFA decidió expresar la ingesta tolerable como un valor mensual en forma de una ingesta mensual tolerable provisional (IMTP) y estableció una IMTP de 25 µg/kg pc.

Definición del contaminante: Total de cadmio

Sinónimos: Cd

Código de prácticas correspondiente: *Código de prácticas sobre medidas aplicables en el origen para reducir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas (CXC 49-2001)*

Nombre del producto básico/producto	Nivel máximo (NM) mg/kg	Parte del producto básico/producto a que se aplica el nivel máximo (NM)	Notas/observaciones
Hortalizas brasicáceas	0,05	Coles arrepolladas y colinabos: todo el producto que se comercializa, después de eliminar las hojas claramente descompuestas o marchitas. Coliflor y brécoles: repollos (inflorescencia inmadura solo). Coles de Bruselas: "capullos" solo.	El NM no es aplicable a las hortalizas brasicáceas de hoja.
Hortalizas de bulbo	0,05	Cebollas bulbo/secas y ajo: todo el producto después de eliminar las raíces y el suelo adherente y toda la piel apergaminada que se suelte fácilmente.	
Hortalizas de frutos	0,05	Todo el producto después de eliminar los tallos Maíz dulce y maíz fresco: granos más mazorca sin la cáscara.	El NM no es aplicable a los tomates y hongos comestibles.

Nombre del producto básico/producto	Nivel máximo (NM) mg/kg	Parte del producto básico/producto a que se aplica el nivel máximo (NM)	Notas/observaciones
Hortalizas de hoja	0,2	Todo el producto que se comercializa normalmente, después de eliminar las hojas claramente descompuestas o marchitas.	El NM también es aplicable a las hortalizas de hoja brasicáceas.
Hortalizas leguminosas	0,1	Producto entero que se consume. Las formas frescas se pueden consumir como vainas enteras o como el producto sin vaina.	
Legumbres	0,1	Todo el producto.	El NM no es aplicable a la soja (seca).
Raíces y tubérculos	0,1	Todo el producto después de eliminar las puntas. Eliminar el suelo adherente (p.ej., enjuagándolo con agua corriente o cepillando suavemente el producto seco). Patatas (papas): patatas peladas.	El NM no es aplicable al apionabo.
Hortalizas de tallos y brotes	0,1	Todo el producto que se comercializa después de eliminar las partes claramente descompuestas o marchitas. Ruibarbo: brotes de hojas solo. Alcachofa: la cabeza solamente. Apio y espárragos: eliminar el suelo adherente.	
Cereales en grano	0,1	Todo el producto	El NM no es aplicable al trigo sarraceno, cañihua, quinoa, trigo y arroz.
Arroz, pulido	0,4	Todo el producto	

Nombre del producto básico/producto	Nivel máximo (NM) mg/kg	Parte del producto básico/producto a que se aplica el nivel máximo (NM)	Notas/observaciones
Trigo	0,2	Todo el producto	El NM se aplica al trigo blando, trigo duro, espelta y escanda.
Moluscos marinos bivalvos	2	Todo el producto después de eliminar el caparazón.	El NM es aplicable a almejas, berberechos y mejillones, pero no a las ostras y vieiras.
Cefalópodos	2	Todo el producto después de eliminar el caparazón.	El NM es aplicable a sepia, pulpo y calamares sin vísceras
Aguas minerales naturales	0,003		La norma correspondiente del Codex para productos es CXS 108-1981. El NM se expresa en mg/l.
Sal, calidad alimentaria	0,5		La norma correspondiente del Codex para productos es CXS 150-1985.
Chocolate que contiene o declara $\geq 50\%$ al $< 70\%$ del total de sólidos de cacao sobre la base de materia seca	0,8	Producto entero tal como se prepara para la distribución al por mayor o al por menor	Incluidos el chocolate dulce, chocolate gianduja, chocolate semiamargo para mesa, <i>vermicelli</i> /hojuelas de chocolate y chocolate amargo de mesa
Chocolate que contiene o declara $\geq 70\%$ del total de sólidos de cacao sobre la base de materia seca	0,9	Producto entero tal como se prepara para la distribución al por mayor o al por menor	Incluidos el chocolate dulce, chocolate gianduja, chocolate semiamargo para mesa, <i>vermicelli</i> /hojuelas de chocolate y chocolate amargo de mesa

Anexo 2. DS N°011-2017-MINAM (Aprueban Estándares de Calidad Ambiental ECA para suelo)

12

NORMAS LEGALES

Sábado 2 de diciembre de 2017  El Peruano

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, y el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM; corresponde disponer la publicación de la propuesta de metodología en el Diario Oficial El Peruano, antes de la fecha prevista para su entrada en vigencia, con la finalidad de permitir a las personas interesadas formular los comentarios y aportes respectivos;

Con los vistos de la Secretaría General, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica, y en uso de las facultades conferidas en la Ley de Recursos Hídricos, el Reglamento de Organización y Funciones de esta autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 06-2010-AG, y modificado por Decreto Supremo N° 012-2016-MINAGRI;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Dispóngase la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano y del documento denominado "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua: www.ana.gob.pe, por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias a la dirección electrónica siguiente: IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe.

Artículo 2.- Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la recepción y análisis de los aportes y comentarios que se presenten respecto al documento citado en el artículo precedente.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA
Jefe
Autoridad Nacional del Agua

1593024-1

AMBIENTE

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

DECRETO SUPREMO
N° 011-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, según lo dispuesto en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante decreto supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, esta entidad tiene como función específica elaborar los ECA, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprueban los ECA para Suelo y, a través del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM se aprueban las disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM se dictan las reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado

DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO


El Peruano

**REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE
NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS**

Se comunica a las entidades que conforman el Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Poder Judicial, Organismos constitucionales autónomos, Organismos Públicos, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, que para efectos de la publicación de sus disposiciones en general (normas legales, reglamentos jurídicos o administrativos, resoluciones administrativas, actos de administración, actos administrativos, etc) con o sin anexos, que contengan más de una página, se adjuntará un CD o USB en formato Word con su contenido o éste podrá ser remitido al correo electrónico normaslegales@editoraperu.com.pe.

LA DIRECCIÓN

de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, siendo una de sus funciones específicas, analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental del país;

Que, en mérito a la evaluación técnica realizada por el citado Grupo de Trabajo, se identificó la necesidad de actualizar los ECA para Suelo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 182-2017-MINAM, el Ministerio del Ambiente dispuso la prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los ECA para Suelo, en cumplimiento del artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente; y la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente;

DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, que como Anexo forman parte integrante del presente decreto supremo.

Artículo 2.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio

Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

Artículo 3.- De la superación de los ECA para Suelo

De superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente.

Lo indicado en el párrafo anterior no aplica cuando la superación de los ECA para Suelo sea inferior a los niveles de fondo, los cuales proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de las sustancias químicas presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio en evaluación.

Artículo 4.- Refrendo

El presente decreto supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, la Ministra de Energía y Minas, el Ministro de Salud, el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el Ministro de la Producción, el Ministro de Transportes y Comunicaciones, y el Ministro de Agricultura y Riego.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Criterios para la gestión de sitios contaminados

Mediante decreto supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente y en coordinación con los sectores competentes, se aprobarán los criterios para la gestión de sitios contaminados, los mismos que regulan las acciones señaladas en el artículo 3 del presente decreto supremo.

Segunda.- Aplicación del ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Suelo se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial correspondiente.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental en trámite ante la Autoridad Competente

Los/as titulares que, antes de la entrada en vigencia de la presente norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Suelo vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los/as titulares deberán considerar lo establecido en la Segunda Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Suelo aprobados mediante el presente decreto supremo.

Segunda.- De los procedimientos en trámite para la adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los ECA

Los procedimientos de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los estándares de calidad ambiental (ECA), iniciados con anterioridad a la vigencia del presente decreto supremo, se resuelven conforme a las disposiciones normativas vigentes al momento de su inicio.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

Única.- Derogación

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, y el Decreto Supremo N° 003-2014-MINAM, que aprueba la Directiva que establece el procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, al primer día del mes de diciembre del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

CAYETANA ALJOVÍN GAZZANI
Ministra de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ CALDERÓN
Ministro de la Producción

FERNANDO ANTONIO D'ALESSIO IPINZA
Ministro de Salud

BRUNO GIUFFRÀ MONTEVERDE
Ministro de Transportes y Comunicaciones

CARLOS RICARDO BRUCE MONTES DE OCA
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS ⁽¹⁾	Usos del Suelo ⁽³⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽²⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁸⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹²⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹³⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹³⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

Notas:

[**] Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) **Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) **PS:** Peso seco.

(3) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) **Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados** y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA

- correspondiente al parámetro bajo análisis.
- (8) Para aquellos parámetros respecto de los cuales no se especifican los métodos de ensayo empleados para la determinación de las muestras, se deben utilizar métodos que cumplan con las condiciones señaladas en la nota (7).
- (9) EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés).
- (10) Este parámetro comprende la suma de Xilenos: o-xileno, m-xileno y p-xileno. En el respectivo informe de ensayo se debe reportar la suma de los Xilenos, así como las concentraciones y límites de cuantificación de los tres (3) isómeros de manera individual.
- (11) **Fracción de hidrocarburos F1 o fracción ligera:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen entre seis y diez átomos de carbono (C6 a C10). Los hidrocarburos de fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, solventes, gasolinas, gas nafta, entre otros.
- (12) **Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono (>C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros.
- (13) **Fracción de hidrocarburos F3 o fracción pesada:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono (>C28 a C40). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, parafinas, petrolatos, aceites del petróleo, entre otros.
- (14) Suma de siete PCB indicadores: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180.
- (15) De acuerdo con la metodología de Alberta Environment (2009): *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN No. 978-0-7785-7691-4. En el caso de sitios con presencia de baritina se podrán aplicar los valores establecidos para Bario total real en la Tabla 1. Un sitio con presencia de baritina se determina cuando todas las muestras de suelo cumplen con los valores establecidos para Bario extraíble, de acuerdo con lo indicado en la tabla 1.

- aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.
- (f) Se determina mediante la medición en solución extractora 0,1 M CaCl₂, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN N° 978-0-7785-7691-4.
- (g) Valores aplicables en sitios que cumplen con las concentraciones de Bario extraíble. La concentración del Bario total real se determina mediante las técnicas de fusión XRF o por fusión ICP, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN N° 978 0 7785-7691-4.
- (h) Suelo comercial.
- (i) Suelo industrial/extractivo.
- (16) DIN: Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung, por sus siglas en alemán).

1593392-5

Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados

DECRETO SUPREMO
N° 012-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú, establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, señala que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, en virtud del numeral 16.2 del artículo 16 de la Ley, los instrumentos de gestión ambiental constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales que rigen en el país;

Que, asimismo, según lo dispuesto por el numeral 17.2 del artículo 17 de la Ley, los planes de remediación constituyen un tipo de instrumento de gestión ambiental;

Que, el numeral 30.1 del artículo 30 de la Ley, referido a los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales, señala que estos están dirigidos a remediar impactos ambientales originados por uno o varios proyectos de inversión o actividades, pasados o presentes; asimismo, precisa que los citados planes deben considerar el financiamiento y las responsabilidades que correspondan a los titulares de las actividades contaminantes, incluyendo la compensación por los daños generados, bajo el principio de responsabilidad ambiental;

Que, de conformidad con el numeral 30.2 del artículo 30 de la Ley, las entidades con competencias ambientales promueven y establecen planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados, y la Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para su elaboración;

Tabla 1. Valores para bario en sitios con presencia de baritina^(a)

Parámetros en mg/kg PS	Uso del suelo		
	Suelo Agrícola ^(b)	Suelo Residencial/Parques ^(c)	Suelo Comercial ^(d) / Industrial/ Extractivo ^(e)
Bario extraíble ^(f) (Extractable Barium)	250	250	450
Bario total real en sitios con presencia de baritina ^(g) (True total Barium at Barite Sites)	10 000	10 000	15 000 ^(h) 140 000 ⁽ⁱ⁾

Notas:

- (a) A efectos de aplicar los valores establecidos para el Bario total, Bario extraíble o Bario total real en sitios con presencia de baritina, corresponde utilizar el procedimiento detallado por Alberta Environment (2009). *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN N° 978-0-7785-7691-4.
- (b) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.
- (c) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.
- (d) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.
- (e) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o