

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



Ciencias del
Agro,
Ingeniería
y Tecnología

Año 17 N° 48
Enero - Abril 2026
Tercera Época
Maracaibo-Venezuela

Niveles de referencia de metales pesados en suelos agrícolas y de bosque en el distrito de Luyando, Perú

José Víctor Quiroz Ramírez *
Jorge Leonardo Jave Nakayo **
Luís Benigno Zúñiga Cernades ***

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo establecer y validar los valores de referencia para los metales pesados estudiados en suelos agrícolas y de bosque, considerando sus niveles de fondo y propiedades fisicoquímicas, mediante un análisis estadístico que incluyó métodos de regresión lineal y cálculo de intervalos de confianza. La investigación es aplicada de nivel evaluativo, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental transeccional del tipo descriptivo - explicativo causal. Los valores de referencia establecidos para suelo agrícola y de bosque son: As (16 y 26 ppm), Cu (31 y 29 ppm), Cd (1.78 y 6 ppm), Pb (26 y 37 ppm), Zn (117 y 143 ppm), Co (17 y 22 ppm), Hg (0,105 y 0,28 ppm), Mo (8 y 10 ppm), Ni (37 y 64 ppm), Cr (96 y 82 ppm), Sr (189 y 461 ppm), Mn (1297 y 1429 ppm), Zr (643 y 633 ppm), Ba (411 y 472 ppm), Ti (7534 y 7773 ppm), y Fe (50910 y 64525 ppm) respectivamente. Se identificaron correlaciones significativas entre los metales pesados y los parámetros fisicoquímicos, reflejando la variabilidad de estos últimos. Concluyendo que, con los valores de referencia propuestos, se busca promover una gestión sostenible del suelo, sugiriendo su inclusión en la normativa peruana para la regulación de la calidad del suelo a nivel nacional.

PALABRAS CLAVE: Valoración, Metal pesado, Gestión ambiental, Suelo, Desarrollo sostenible.

*Docente Investigador de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Departamento Académico de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, Tingo María – Perú. Doctorante de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3217-2045>. E-mail: jose.quiroz@unas.edu.pe

**Investigador Renacyt, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3536-881X>. E-mail: jorge.jave@unmsm.edu.pe

***Docente Investigador de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Departamento Académico de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, Tingo María – Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7621-8910>. E-mail: luis.zuniga@unas.edu.pe

Reference Levels of Heavy Metals in Agricultural and Forest Soils in the Luyando District, Perú

ABSTRACT

The research aimed to establish and validate reference values for heavy metals studied in agricultural and forest soils, considering their background levels and physicochemical properties, through a statistical analysis that included linear regression methods and calculation of confidence intervals. The research is applied at the evaluative level, with a quantitative approach and a non-experimental, cross-sectional, descriptive-explanatory-causal design. The reference values established for agricultural and forest soils are: As (16 and 26 ppm), Cu (31 and 29 ppm), Cd (1.78 and 6 ppm), Pb (26 and 37 ppm), Zn (117 and 143 ppm), Co (17 and 22 ppm), Hg (0.105 and 0.28 ppm), Mo (8 and 10 ppm), Ni (37 and 64 ppm), Cr (96 and 82 ppm), Sr (189 and 461 ppm), Mn (1297 and 1429 ppm), Zr (643 and 633 ppm), Ba (411 and 472 ppm), Ti (7534 and 7773 ppm), and Fe (50910 and 64525 ppm) respectively. Significant correlations were identified between heavy metals and physicochemical parameters, reflecting the variability of the latter. It is concluded that the proposed reference values aim to promote sustainable soil management, suggesting their inclusion in Peruvian regulations for regulating soil quality at the national level.

KEYWORDS: Valuation, Heavy metal, Environmental management, Soil, Sustainable development.

Introducción

En el Perú, la contaminación de los suelos por metales pesados aún no se reconoce en toda su magnitud, pese a que tiene tanto origen antrópico derivado de prácticas agrícolas, uso de agroquímicos y degradación de bosques, como también de origen litogénico, constituyendo un problema ambiental crítico que afecta la salud pública, la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de los ecosistemas (Yáñez et al., 2022; Astonitas et al., 2021). Metales como arsénico, cadmio, plomo, cobalto, mercurio y cromo, entre otros, son considerados contaminantes peligrosos por su toxicidad y capacidad de bioacumulación en la cadena alimentaria (Yáñez et al., 2022), con impactos adversos sobre la biodiversidad y la calidad de los servicios ecosistémicos (Astonitas et al., 2021).

No obstante, la ausencia de límites de referencia globales dificulta la evaluación de la calidad del suelo y la implementación de estrategias de manejo sostenible y remediación. En el ámbito nacional, persisten vacíos de información, como la falta de estudios sobre la

biodisponibilidad de metales en distintos tipos de suelos (Trujillo et al., 2020) y sobre el impacto de actividades agrícolas en su acumulación (Raymundo et al., 2022), lo que limita el diseño de estrategias de vigilancia y gestión ambiental. Ante esta problemática, surge la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los valores de referencia aceptables para los metales pesados As, Cu, Cd, Pb, Zn, Co, Hg, Mo, Ni, Cr, Sr, Mn, Zr, Ba, Ti y Fe; que pueden fortalecer la gestión sostenible del recurso suelo en el distrito de Luyando? La hipótesis que guía este trabajo plantea que establecer valores de referencia para los metales pesados contribuirá a mejorar la gestión sostenible del recurso suelo. En este marco, la presente investigación busca determinar y proponer valores de referencia para 16 metales pesados en suelos agrícolas y de bosque natural del distrito de Luyando, considerando concentraciones medias de fondo e intervalos de variación establecidos en esta investigación; para los metales pesados mencionados. Con ello, se pretende generar información científica que fortalezca la gestión sostenible del suelo a nivel local, regional y nacional (Rodríguez et al., 2019), y que además aporte evidencia relevante para el contexto internacional, en concordancia con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 2 (Hambre cero) y el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres) (López et al., 2023)

1. Materiales y métodos

1.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló específicamente en el distrito de Luyando, en la provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco, en el centro-oriente del Perú (Figura 1). El distrito se encuentra a 3.0 km de Tingo María, en la zona centro-sur de la provincia, con coordenadas de 09° 14'00" latitud Sur y 57° 59'30" latitud Oeste. Con una superficie mayor a 100.32 km², se sitúa al norte de Tingo María a una altitud promedio de 640 m.s.n.m. Su clima es tropical, correspondiente a la selva alta, con una precipitación media anual de 3040 mm, una temperatura media de 25 °C y una humedad relativa del 80%. Según Quiroz (2025), el sistema de Holdridge clasifica en el mapa ecológico como Bosque muy húmedo Subtropical (Bmh – St); además, su fisiografía es variada, con un paisaje montañoso caracterizado por pendientes pronunciadas, laderas, terrazas, depresiones, hondonadas y cerros con numerosos afloramientos rocosos, con pendientes que varían de ligeramente inclinadas a extremadamente empinadas (rango del 2% a más del 75%).



Figura 1. Ubicación del distrito de Luyando.

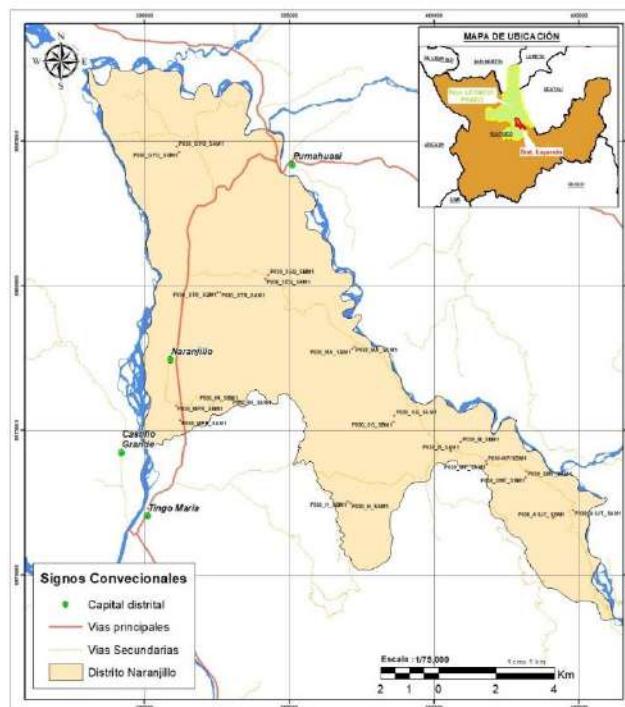


Figura 2. Ubicación de zonas de muestreo.

Tabla 1. Ubicación de puntos de muestreo del suelo agrícola y de bosque en Luyando.

Zona de muestreo	muestras/estrato	Centro poblado	Sistema	Altitud (msnm)	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
Suelos Agrícolas	P030-H/SAMI	Huascar	Cacao	762	397110	8972486
	P030-B/SAMI	Bolaina	Cacao	735	400573	8974317
	P030-MP/SAMI	Mishquipunta	Cacao	774	401815	8973833
	P030-SMT/SAMI	San Miguel de Tulumayo	Cacao	768	403192	8973606
	P030-ASJT/SAMI	Alto San Juan de Tulumayo	Cacao	783	404831	8972250
	P030-SG/SAMI	San Gregorio	Cacao	737	398636	8975527
	P030-MA/SAMI	Marona	Cacao	680	397252	8977906
	P030-3EQ/SAMI	Tres Esquinas	Plátano/Naranja	674	394176	8980241
	P030-STR/SAMI	Santa Rosa		741	392604	8979790
	P030-GYO/SAMI	Guacamayo	Naranja	639	391122	8984826
	P030-IK/SAMI	Inkari	Maíz	645	392997	8976080
	P030-MPR/SAMI	Mapresa	Naranja	665	391249	8975369
	P100-H/SAM2	Huascar	Cacao	761	397110	8972486
	P100-B/SAM2	Bolaina	Cacao	734	400573	8974317
	P100-MP/SAM2	Mishquipunta	Cacao	773	401815	8973833
	P100-SMT/SAM2	San Miguel de Tulumayo	Cacao	767	403192	8973606
	P100-ASJT/SAM2	Alto San Juan de Tulumayo	Cacao	782	404831	8972250
	P100-SG/SAM2	San Gregorio	Cacao	736	398636	8975527
	P100-MA/SAM2	Marona	Cacao	679	397252	8977906
	P100-3EQ/SAM2	Tres Esquinas	Plátano/Naranja	673	394176	8980241
	P100-STR/SAM2	Santa Rosa		740	392604	8979790
	P100-GYO/SAM2	Guacamayo	Naranja	638	391122	8984826
	P100-IK/SAM2	Inkari	Maíz	644	392997	8976080
	P100-MPR/SAM2	Mapresa	Naranja	664	391249	8975369
Suelos de Bosque	P030-H/SBM1	Huascar	Bosque	775	397023	8972542
	P030-B/SBM1	Bolaina	Bosque	741	400923	8974613
	P030-MP/SBM1	Mishquipunta	Bosque	788	401797	8973946
	P030-SMT/SBM1	San Miguel de Tulumayo	Bosque	796	403166	8973369
	P030-ASJT/SBM1	Alto San Juan de Tulumayo	Bosque	820	404125	8971992
	P030-SG/SBM1	San Gregorio	Bosque	777	398613	8975313
	P030-MA/SBM1	Marona	Bosque	698	397176	8977834
	P030-3EQ/SBM1	Tres Esquinas	Bosque	710	394279	8980390
	P030-STR/SBM1	Santa Rosa	Bosque	742	392524	8979801
	P030-GYO/SBM1	Guacamayo	Bosque/Aguajal	652	391195	8984629
	P030-IK/SBM1	Inkari		643	393266	8976017
	P030-MPR/SBM1	Mapresa	Bosque	680	391097	8975853
	P100-H/SBM2	Huascar	Bosque	774	397023	8972542
	P100-B/SBM2	Bolaina	Bosque	740	400923	8974613
	P100-MP/SBM2	Mishquipunta	Bosque	787	401797	8973946
	P100-SMT/SBM2	San Miguel de Tulumayo	Bosque	795	403166	8973369
	P100-ASJT/SBM2	Alto San Juan de Tulumayo	Bosque	819	404125	8971992
	P100-SG/SBM2	San Gregorio	Bosque	776	398613	8975313
	P100-MA/SBM2	Marona	Bosque	697	397176	8977834
	P100-3EQ/SBM2	Tres Esquinas	Bosque	709	394279	8980390
	P100-STR/SBM2	Santa Rosa	Bosque	741	392524	8979801
	P100-GYO/SBM2	Guacamayo	Bosque/Aguajal	651	391195	8984629
	P100-IK/SBM2	Inkari		642	393266	8976017
	P100-MPR/SBM2	Mapresa	Bosque	679	391097	8975853

1.2. Distribución del muestreo de suelos

Las muestras fueron extraídas (Figura 2) con un barreno muestreador de 125 cm de largo (de acero inoxidable). Este muestreo fue al azar, habiéndose obtenido muestras de 2 estratos (Tabla 1), a profundidades para el primer estrato de 0 a 30 cm y el segundo estrato mayor a los 100 cm, llegando hasta los 120 cm; obteniéndose un total de 48 muestras. Además, se realizó el doble cuarteo para la obtención de la muestra y su posterior análisis químico, con un peso máximo de 1 kg. Se realizó muestreo duplicado como parte del control de calidad; dicho muestreo representa entre el 2% y el 3% respecto al total de muestras.

Tabla 2. Ensayos analíticos realizados a muestras de suelo.

Método/Ensayo	Número de elementos	Elementos	Equipo
*Ensayo de elementos menores en muestras sólidas por digestión multiácida e ICP-OES.	15	Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, Zn, As, Cd, Mo, Fe, Mg, Mn, Ti, Zr.	ICP-OES (RADIAL): marca VARIAN, modelo 735-ES, e ICP-MS: marca PERKIN ELMER, modelo 300D
*Ensayo de elementos menores en muestras sólidas por digestión multiácida e ICP-MS.	1	Hg	AFS: Espectrómetro de Fluorescencia Atómica.
*Ensayo de mercurio en muestras sólidas por digestión regia y AFS.			
*Ensayo de polimetálicos en muestras sólidas por digestión multiácida y AAS	5	Ag, Cu, Pb, Zn, Fe	Absorción atómica: Marca THERMO SCIENTIFIC, modelo ICE 3300
*Ensayo de pérdida de ignición en muestras sólidas.	1	LOI	HORNDE CALENTAMIENTO: marca HINRA PERU, modelo HME- 14L

*métodos acreditados por INGEMMET adaptado de Quiroz, (2025)

1.3. Análisis de laboratorio

1.3.1. Caracterización de suelos

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la EPICSA, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Se realizaron las siguientes pruebas: análisis mecánico textural mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos; medición del pH utilizando un potenciómetro con una relación suelo-agua de 1:1 (método internacional); y determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) utilizando acetato amónico a pH 7 para suelos con un pH superior a 5,5.

1.3.2. Determinación de metales pesados.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de química del INGEMMET (Tabla 2): a. Ensayo multielemental para elementos b. Ensayo de mercurio por vapor frío/AFS. c. Ensayo de polimetálicos en muestras sólidas d. Ensayo LOI (Determinación ensayo de pérdida de ignición en muestras sólidas). El control de calidad en la zona de preparación mecánica de muestras del laboratorio de química del INGEMMET.

1.4. Determinación de valores de referencia del suelo en estudio

En este contexto, se emplearon los siguientes métodos:

- Métodos estadísticos descriptivos que, fundamentados en los valores correspondientes al nivel de fondo, tienen en cuenta la variabilidad de las concentraciones normales del suelo a través de la ecuación:

$$NR = X + nDE \quad (1)$$

Donde: NR: Nivel de Referencia.

n: Número de desviaciones estándar, que típicamente es 2 (representando el 95%) de la población base (Quiroz, 2025; Saldaña, 2020).

X: Valor promedio del nivel de fondo.

DE: Desviación estándar.

- Método de ecuaciones lineales para establecer los valores de referencia (VR) de metales pesados, relacionando las concentraciones con propiedades fisicoquímicas que influyen en su movilidad (Quiroz, 2025; Saldaña, 2020). Estos valores están

determinados por el tipo de suelo y los parámetros fisicoquímicos predominantes en el área de estudio. En los Países Bajos, se consideraron el contenido de materia orgánica (M.O.) y la arcilla como variables dependientes al fijar los niveles de referencia (Quiroz, 2025; Saldaña, 2020; Quiroz, 2012; Pérez, 2000). La ecuación lineal que se propone en este método es:

$$VR = NF + (a * A) + (b * B) + (c * C) + \dots \quad (2)$$

Donde: VR = Valor de referencia; NF = Nivel de fondo; a, b, c = Coeficientes de pendiente del modelo de regresión simple relacionados con características edáficas; A, B, C = Valores promedio de características edáficas que presentan una correlación significativa.

También se calcula el VR, haciendo uso de la Ecuación (1), que queda predeterminada como Ecuación Lineal, al no existir correlación significativa (o no ser significativas) entre la arcilla y/o materia orgánica con los metales pesados (Quiroz, 2025; Saldaña, 2020; Quiroz, 2012).

1.5. Procesamiento de datos y análisis de la información

Los resultados de la evaluación de suelos se trataron estadísticamente utilizando el software IBM SPSS v.25 para evaluar la distribución de las concentraciones de metales (As, Cu, Cd, Pb, Zn, Co, Hg, Mo, Ni, Cr, Sr, Mn, Zr, Ti, Ba y Fe) y los parámetros fisicoquímicos del suelo, como MO%, pH, CIC, Carbonatos (CaCO₃) y Arcilla (Arc%). Se realizaron análisis de correlaciones entre los metales y entre estos y los parámetros fisicoquímicos relevantes para la dinámica de los metales (Hernández y Hernández, 2022). A través de estadísticas descriptivas y del método UCL95 (Software ProUCL), se determinaron los niveles de fondo de los metales pesados. Para evaluar la influencia de los parámetros fisicoquímicos, se llevaron a cabo pruebas de correlación múltiple, análisis factorial y análisis cluster (Quiroz, 2025), lo que permitió establecer las rectas de regresión y definir los valores de referencia propuestos en esta investigación para los metales pesados en los suelos del distrito de Luyando.

2. Resultados y discusión

2.1. Cálculo de los niveles de fondo

Cuando se habla de los niveles de fondo, estos se pueden definir a razón de 2 tipos, siendo el primero correspondiente al tipo de origen natural donde las concentraciones presentes en el ambiente se dan sin la influencia antrópica (USEPA, 2002) como el bosque natural; en cuanto al segundo tipo concierne a la concentración definida como fondo antropogénico que se dan por la composición de las concentraciones naturales y por el aporte antrópico de elementos presentes en el ambiente, a razón de eso se hace posible determinar el nivel de fondo en una zona con influencia antrópica (USEPA, 2002) en nuestro caso suelo agrícola.

Hasta ahora a nivel global no existe criterio único en la definición de los niveles de fondo, (Quiroz, 2025) algunos investigadores definen el nivel de fondo como el rango de concentración alrededor de la media en suelos no contaminados (Saldaña, 2020; Chen et al., 1999). El Establecimiento de los niveles de fondo es necesario (Quiroz, 2025) en la planificación y políticas de salud ambiental; como también serviría de referente documentario (Jiménez et al., 2010), para procedimientos de declaración de suelo contaminado en el ámbito de estudio.

En las tablas 3 y 4, se aprecian las características estadísticas descriptivas de los contenidos totales de metales pesados en suelos estudiados. Se realizó la identificación y descarte de valores discordantes a fin de establecer los niveles de fondo; sabiendo que un valor discordante puede indicar contaminación puntual (Quiroz, 2025); se utilizó el método de diagrama de cajas y bigotes (boxplot) métodos propuestos por ISO/DIS 19258, (2018). Determinar los niveles de fondo de metales pesados en suelos es un aspecto crítico en el estudio de la calidad del suelo (Quiroz, 2025) y la identificación de áreas contaminadas (Astonitas et al., 2021). Por lo tanto, es imprescindible determinar los niveles de fondo de los metales pesados para poder evaluar la contaminación del suelo.

Conocer las concentraciones de metales pesados en los suelos, nos permitirá entender la razón de las concentraciones presentes en los cultivos, volviéndose esta información crucial para la seguridad alimentaria (Quezada, 2023). La investigación tuvo en cuenta que la presencia de los metales estudiados puede deberse al tipo de origen natural (bosque) o antropogénico (agrícola), entendiéndose que originalmente los niveles de fondo (Salminen y Gregoriuskiene, 2000) representan contenidos de metales pesados procedentes del material originario (Kabata Pendías y Pendías, 2010). Por lo tanto; es necesario realizar el monitoreo

de los niveles de fondo (Hernández y Hernández, 2022) luego de establecerlos, a razón de posibles incrementos por actividades antrópicas, (Quiroz, 2025) con el propósito de prevenir el almacenamiento de metales pesados en las plantas y/o cultivos agrícolas de interés y así asegurar la salud pública y alimentaria de la población (Rodríguez et al., 2019). Por tanto, la identificación de los niveles de fondo, se vuelve una herramienta fundamental para determinar los niveles de referencia (Quiroz, 2012; De Miguel et al., 2002; Pérez, 2000, IHObE, 1998).

Para determinarse los niveles de fondo, se siguió un proceso estadístico extenso (Quiroz, 2025) desde; la identificación y descarte de valores discordantes por método de diagrama de cajas y bigotes (ISO/DIS 19258, 2018); análisis de Normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilkinson (Luzuriaga et al., 2023) ($n < 50$); análisis de los coeficientes de correlación; las correlaciones significativas indicarían la competencia de los metales por ocupar las posiciones de cambio en las partículas coloidales del suelo (Saldaña, 2020); análisis factorial (análisis de componentes principales “ACP”, identificando el % de varianza que se logran explicar con cinco factores (C1, C2, C3, C4, C5) para ambos casos (suelo agrícola y de bosque natural), análisis clúster de cada Dendograma (De la Fuente, 2011), observándose la conformación de 4 cluster de pertenencia (Cuadras, 2014); el primer cluster mostró una asociación primigenia del As, Cu, Cd, Pb, Zn, Co, Hg, Mo, Ni, Cr, Mn, Ti y Fe, el segundo cluster al Sr, el tercer cluster al Zr y el cuarto cluster distinguiendo al Ba, formando clústers independientes, estos tres metales (Sr, Zr y Ba) se pueden incluir dentro de un grupo que se constituiría como el denominado factor antropogénico. Existiendo una similitud entre ambos grupos analizados de los contenidos de metales pesados en suelos agrícolas y de bosque natural.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los contenidos totales de metales pesados en suelos agrícolas.

Parámetro	*As	*Cu	Cd	*Pb	*Zn	Co	*Hg	Mo	*Ni	*Cr	*Sr	*Mn	*Zr	*Ba	*Ti	*Fe
N	12	24	2	21	22	24	23	7	23	21	22	21	23	23	20	23
Media	9,0	12,6	2,0	16,6	63,5	9,3	0,1	4,3	25,5	50,0	68,6	500,0	381,1	218,7	5435,0	33173,9
D.E	3,5	4,5	0,0	4,3	26,7	3,9	0,0	2,1	10,3	10,7	42,0	398,8	130,9	95,9	1066,9	10454,9
Mínimo	5,0	5,0	2,0	10,0	28,0	2,0	0,0	2,0	8,0	31,0	10,0	100,0	139,0	55,0	3100,0	18100,0
Máximo	16,0	21,0	2,0	25,0	125,0	16,0	0,2	6,0	46,0	72,0	158,0	1400,0	662,0	391,0	7500,0	54900,0

*Distribución normal. valores expresados en ppm.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de los contenidos totales de metales pesados en suelos de bosque.

Parámetro	As	*Cu	*Cd	*Pb	*Zn	*Co	*Hg	*Mo	*Ni	*Cr	*Sr	*Mn	*Zr	*Ba	*Ti	*Fe
N	13	24	4	21	20	22	24	12	22	19	22	22	23	22	24	23
Media	6,0	14,6	2,8	19,2	71,1	8,8	0,1	4,5	30,4	55,2	147,8	450,0	387,7	247,3	5779,2	38547,8
D.E	9,8	7,4	1,7	8,9	35,8	4,1	0,1	2,7	16,8	13,2	156,7	489,7	122,9	112,6	996,9	12473,6
Mínimo	6,0	3,0	1,0	8,0	9,0	3,0	0,0	2,0	9,0	32,0	19,0	100,0	233,0	33,0	4000,0	7500,0
Máximo	37,0	34,0	5,0	43,0	146,0	16,0	0,3	10,0	68,0	95,0	625,0	1500,0	663,0	443,0	7300,0	62100,0

*Distribución normal, valores expresados en ppm.

De lo observado en la tabla 3, las concentraciones totales de los metales pesados están dadas de mayor a menor como sigue: Fe>Ti>Mn>Zr>Ba>Sr>Zn>Cr>Ni>Pb>Cu>Co>As>Mo>Cd>Hg, respecto a la media de cada metal. Se observa en la tabla 4, que las concentraciones totales de los metales pesados están dadas de mayor a menor como sigue: Fe>Ti>Mn>Zr>Ba>Sr>Zn>Cr>Ni>Pb>Cu>As>Co>Mo>Cd>Hg, respecto a la media de cada metal.

Del método estadísticos descriptivos, cabe resaltar que, para la identificación del nivel de fondo, dentro de los intervalos de contenidos presentes en los suelos de estudio, dicho valor depende de la distribución de la población de datos (IHOBE, 1998), si presentan distribución Normal se utiliza la media aritmética; y la mediana si presentasen distribución No normal (Quiroz, 2025; Micó, 2005) este test de normalidad es utilizado para ambos métodos. Micó, (2005) en su investigación para suelos agrícolas encontró distribuciones normales para Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn y solo el Cd distribución no normal. Por su parte Saldaña, (2020) determinó distribuciones normales para el Cr, Mn, Pb, Zn, Al y Cu; siendo solo para el Ba distribución no normal, claro esta que esta variabilidad se da por la diferencia de los suelos, por su origen litogenico y ubicación geográfica en comparación con nuestra investigación. En las tablas 5 y 6; se muestran los niveles de fondo determinados por los métodos estadísticos descriptivos y UCL95 para los suelos agrícolas y de bosque natural respectivamente, para el del distrito de Luyando.

En cuanto al método de cálculo UCL95, se utilizó el software estadístico libre ProUCL Versión 5.2, USEPA (USEPA, 2022) el método sugiere un UCL95 que más se ajuste para cada uno de los metales pesados analizados considerando la distribución de datos. Por tanto, al realizar el cálculo del UCL95 sin haberse considerado los valores discordantes, se obtuvieron valores más ajustados y menores con respecto al UCL95 calculado considerando los valores discordantes, para ambas condiciones de suelos estudiados. A excepción del Hg en suelos agrícolas, y el Fe en suelos de bosque natural. En su investigación Saldaña, (2020) considera el valor de Calculado con ProUCL el más apropiado para definir el nivel de fondo por ser un valor estadístico más robusto (USEPA, 2022); y por ajustarse al tipo de distribución de los metales pesados estudiados. En nuestro estudio también se determinó que los datos calculados con el método el UCL95 serían los más adecuados estadísticamente por mostrar mayor robustes y ajustarse al tipo de distribución de datos.

Tabla 5. Niveles de fondo de metales pesados en suelos agrícolas

Metal	Distribución	Población de fondo	Estadístico Descriptivo*	Método UCL95*
As	Normal (n=12)	[5-16]	9	11
Cu	Normal (n=24)	[5-21]	13	14
Cd	No Normal (n=2)	[2-2]	2	-
Pb	Normal (n=21)	[10-25]	17	18
Zn	Normal (n=22)	[28-125]	64	73
Co	Normal (n=24)	[2-16]	9	11
Hg	Normal (n=23)	[0,031-0,208]	0,09	0,12
Mo	No Normal (n=7)	[2-6]	4	6
Ni	Normal (n=23)	[8-46]	26	29
Cr	Normal (n=21)	[31-72]	50	54
Sr	Normal (n=22)	[10-158]	69	84
Mn	Normal (n=21)	[100-1400]	500	650
Zr	Normal (n=23)	[139-662]	381	428
Ba	Normal (n=23)	[55-391]	219	253
Ti	No Normal (n=20)	[3100-7500]	5400	5850
Fe	Normal (n=23)	[18100-54900]	30000	36920

Nota: *Ambos valores de niveles de fondo expresados en ppm.

Tabla 6. Niveles de fondo de metales pesados en suelos de bosque

Metal	Distribución	Población de fondo	Estadístico Descriptivo*	Método UCL95*
As	No Normal (n=13)	[6-37]	6	19
Cu	Normal (n=24)	[3-34]	15	17
Cd	Normal (n=4)	[1-5]	3	5
Pb	Normal (n=21)	[8-43]	19	23
Zn	Normal (n=20)	[9-146]	71	85
Co	Normal (n=22)	[3-16]	9	10
Hg	Normal (n=24)	[0,0-0,3]	0,12	0,16
Mo	Normal (n=12)	[2-10]	5	6
Ni	Normal (n=22)	[9-68]	30	38
Cr	Normal (n=19)	[32-95]	55	61
Sr	Normal (n=22)	[19-625]	148	222
Mn	Normal (n=22)	[100-1500]	450	716
Zr	Normal (n=23)	[233-663]	388	432
Ba	Normal (n=22)	[33-443]	247	289
Ti	Normal (n=24)	[4000-7000]	5780	6130
Fe	Normal (n=23)	[8000-62000]	38548	42030

Nota: *Ambos valores de niveles de fondo expresados en ppm.

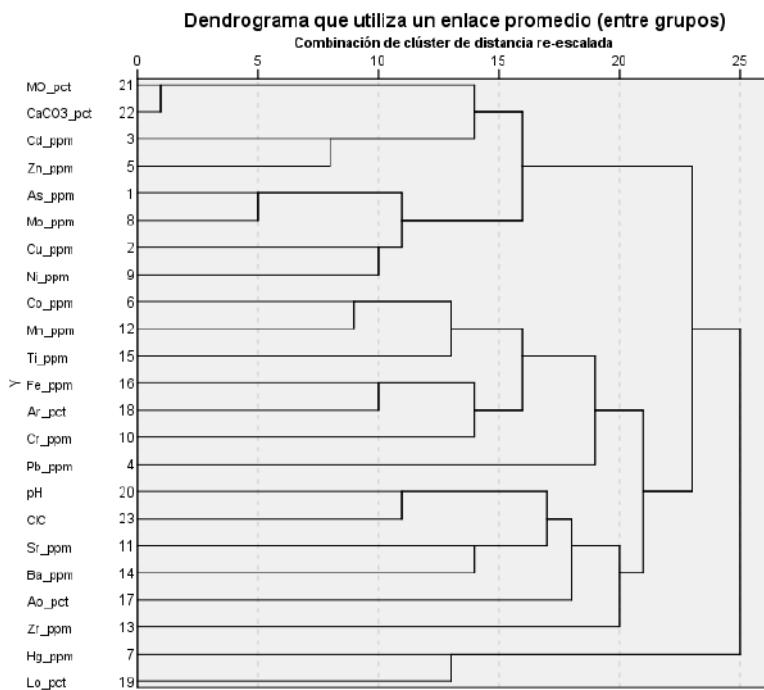


Figura 3. Dendrograma del análisis clúster de los contenidos de metales y propiedades fisicoquímicas en suelos agrícolas.

Del análisis cluster (Figura 4), se observa la conformación de 4 cluster, siendo para el primer Cluster de pertenencia; una asociación primigenia del As, Mo, Sr, Hg, Cu, Ni, Cd y MO y CaCO₃, características fisicoquímicas relacionadas con la capacidad de adsorción de metales. El segundo cluster conformado por los metales Zn, Mn, Pb, y se agrupan las variables %Arena y pH; relacionados con la movilidad de los metales, si disminuye el pH influenciaría en la desorción y la arena en las formas móviles del metal (García y Dorronsoro, 2002). El tercer clúster muestra una asociación primigenia del Ba, Fe y la variable Arcilla, seguida del Co y la variable CIC; variables que también guardan relación con la movilidad y capacidad de absorción de los metales. Por último, el cuarto clúster asocia los metales Zr, Ti y la variable %Limo variable relacionada con la capacidad de absorción media de metales y la capacidad de movilidad. Es preciso resaltar que para los 4 clústers se considera que los metales se relacionan a razón de su origen natural litogénico (Quiroz, 2025), ya que las muestras tomadas son de suelos de bosques; con estos resultados de análisis clúster, se corrobora lo expresado en el análisis factorial entre los metales y variables fisicoquímicos del suelo; que existe variabilidad, para el análisis de ambos casos (suelos agrícola y de bosque); por su parte Astonitas et al., (2021); Saldaña, (2020); Micó, (2005), entre otros también encontraron

heterogeneidad en los parámetros fisicoquímicos de los suelos analizados, con concentraciones de metales que varían significativamente.

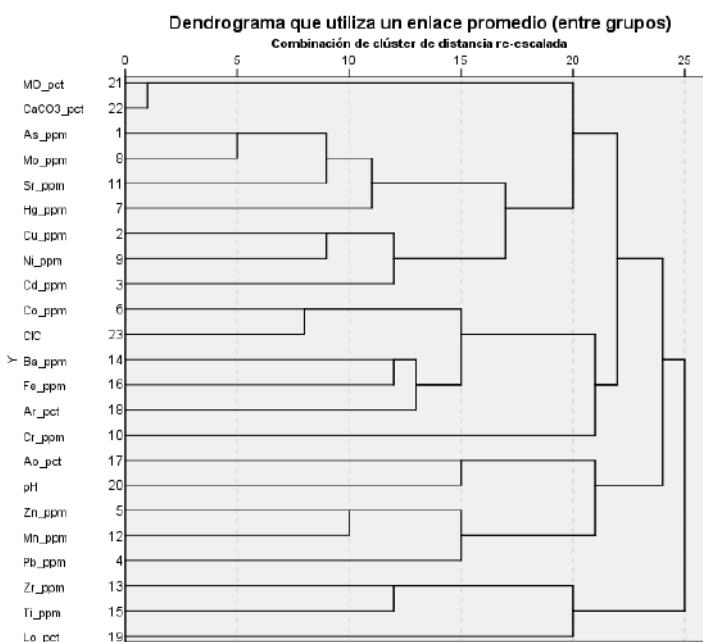


Figura 4. Dendrograma del análisis clúster de los contenidos de metales pesados y propiedades fisicoquímicas en suelos de bosque.

2.2. Propuesta de los valores de referencia (VR)

En la determinación de los valores de referencia de metales pesados para suelos agrícolas y de bosque, considerando los parámetros fisicoquímicos de estos suelos, se utilizaron ecuaciones lineales; metodología que ha venido siendo utilizada por muchos investigadores a nivel internacional, (Zevallos et al., 2024; González, 2022; Castro et al., 2023), su procedimiento es práctico consiste en establecer fórmulas que relacionen las características fisicoquímicas del suelo que muestren mayor efecto en la dinámica (movilidad) de los metales pesados en los suelos de estudio, esto se basa en el análisis estadístico de correlación existente entre los metales pesados y las características físicas y químicas de mayor relevancia (Quiroz, 2025), que interviene en la capacidad de absorción y/o movilidad de los metales en el suelo (González, 2022); en concreto la distribución y disponibilidad de metales pesados en el suelo están controladas por características intrínsecas del metal y propiedades del suelo (Mendoza et al., 2021), lo que es crucial para establecer valores de referencia (Pérez et al., 2023); entre las propiedades más estudiados

están el contenido de arcilla (%Arc) y el porcentajes de materia orgánica (%MO). Otros investigadores consideraron la CIC, el contenido en carbonatos (Micó, 2005), el pH, y óxidos los de hierro entre los principales. En concreto las características principales en la determinación de ecuaciones lineales, siempre han sido él %Arc y %MO, (Soto et al., 2020; Saldaña, 2020, Micó, 2005; IHOBE, 1998), además del contenido de carbonatos (CaCO_3) y el pH. En tanto para las Ecuaciones Lineales, las variables consideradas en ellas pueden mostrar variación (Quiroz, 2025) dependiendo de las condiciones ambientales de cada ámbito geográfico de estudio (Micó, 2005; Saldaña, 2020). Para las rectas de regresión lineal, se tuvieron en cuenta los coeficientes de regresión (R) y coeficiente de determinación (R^2); demostrando así que los características físicas y químicas del suelo revelan el comportamiento de los metales pesados en base al grado de correlación (Quiroz, 2025; Saldaña, 2020; Rueda Saa et al., 2011).

En esta investigación los parámetros fisicoquímicos con participación en las rectas de regresión lineal son el %Arc; el %MO, el pH, la CIC (cm^3/kg) y contenido de carbonatos (% CaCO_3) en orden decreciente. Del análisis de regresión (Tabla 7), se observa correlaciones significativas entre las variables fisicoquímicas y los contenidos de metales pesados para suelos agrícolas; la arcilla (%Arc) con correlación significativa ($P<0,01$) interviene en las ecuaciones lineales de los metales Co y Cr; el %MO interviene en ecuaciones lineales del Cd y Ni. El pH interviene en las ecuaciones lineales del Cu, Cr y Sr. Por último, la CIC, interviene con una correlación significativa ($P<0,01$) en la ecuación lineal del Co y con correlación significativa ($P<0,05$) en la ecuación lineal del Hg.

Del análisis de regresión para suelos de bosque natural (Tabla 8), se observa correlaciones significativas, entre las variables fisicoquímicas y los contenidos de metales pesados, los parámetros físicos y químicos con mayor participación en las rectas de regresión lineal son la arcilla que interviene en las ecuaciones lineales del Co y Fe con correlaciones significativas positivas ($P<0,05$). El pH interviene en la ecuación lineal de Fe; por su parte la C.I.C. interviene en las ecuaciones del Co, Hg y Fe.

Tabla 7. Rectas de regresión lineal simple entre los contenidos totales de metales y propiedades fisicoquímicas de suelos agrícolas

Metal	Arcilla %		Materia Orgánica		pH		CIC	
	(r)	Recta	(r)	Recta	(r)	Recta	(r)	Recta
Cobre	0,057	-	0,106	-	0,501*	0,81+2,06 pH	0,262	-
Cadmio	0,072	-	0,405*	-0,680+0,101 MO	0,036	-	-0,153	-
Cobalto	0,441*	4,08+0,11 Arc	-0,039	-	0,093	-	0,466*	5,43+0,31 CIC
Mercurio	0,145	-	-0,020	-	-0,338	-	-0,580**	0,14+-0,005 CIC
Níquel	0,097	-	0,445*	5,81+2,22 MO	-0,264	-	-0,125	-
Cromo	0,481*	15,04+0,63 Arc	0,138	-	0,406*	2,10+7,27 pH	0,123	-
Estroncio	0,002	-	-0,109	-	0,454*	-42,96+18,49 pH	0,237	-

Nota. para los metales As, Pb, Zn, Mo, Mn, Zr, Ba, Ti y Fe no se determinan ecuaciones lineales. *Correlación significativa (<0,05);

**Correlación significativa (<0,01).

Tabla 8. Rectas de regresión lineal simple entre los contenidos totales de metales y propiedades fisicoquímicas de suelos de bosque

Metal	Arcilla %		pH		CIC	
	(r)	Recta	(r)	Recta	(r)	Recta
Cobalto	0,540**	-0,47+0,19 Arc%	0,070	-	0,647**	1,41+0,71 CIC
Mercurio	-0,042	-	0,218	-	0,540**	0,22-0,010 CIC
Hierro	0,477*	13647,51+ 508,33Arc%	0,429*	-7381,20+7657,55 pH	0,510*	20765,33+1746,83 CIC

Nota: para los metales As, Cu, Cd, Pb, Zn, Mo, Ni, Cr, Sr, Mn, Zr, Ba y Ti no se determinan ecuaciones lineales. *Correlación significativa (<0,05); **Correlación significativa (<0,01).

2.2.1. Valores de referencia de metales pesados

Para el cálculo de los valores de referencia “VR” de metales en los suelos agrícolas y de bosque natural, se utilizó el método de ecuaciones lineales. De los suelos agrícolas los metales que no mostraron correlación estadísticamente significativa con las propiedades fisicoquímicas fueron As, Pb, Zn, Mo, Mn, Zr, Ba, Ti y Fe (Tabla 7) por tanto el cálculo del VR para estos metales fue según método estadístico descriptivo (Quiroz, 2025; Saldaña, 2020; IHOBE, 1998; Brizuela y Jiménez 2012), se utilizó la Ecuación (1); y para el caso de los metales Cu, Cd, Co, Hg, Ni, Cr y Sr; que mostraron correlación significativa (Tabla 7) se utilizaron las ecuaciones lineales determinadas (Tabla 9) utilizando los valores medios de las propiedades fisicoquímicas de suelo estándar como 46,8 % para arcilla; 8,4% para M.O.; 5.7 para el pH y 12,5 cml+/kg para la C.I.C.

Tabla 9. Propuesta de valores de referencia para metales pesados en suelos agrícolas.

Metal	Ecuación Lineal*	Valor de Referencia (ppm)
As	9+2DE	16
Cu	14+0,010 Arc + 0,46 MO + 2,17 pH + 0,043 CIC	31
Cd	0+0,002 Arc + 0,101 MO + 0,108 pH + 0,016 CIC	1,78
Pb	17+2DE	25,6
Zn	64+2DE	117
Co	11+0,092 Arc + 0,005 MO - 0,438 pH + 0,307 CIC	17
Hg	0,12+0,001 Arc -0,005 MO - 0,003 pH	0,105
Mo	4+2DE	8,2
Ni	29+0,029 Arc + 2,050 MO - 2,093 pH + 0,118 CIC	37
Cr	54+0,660 Arc + 1,389 MO	96
Sr	84+0,025 Arc - 0,129 MO + 18,070 pH + 0,145 CIC	189
Mn	500+2DE	1297
Zr	381+2DE	643
Ba	219+2DE	411
Ti	5400+2DE	7534
Fe	30000+2DE	50910

Nota: Arc=contenido en arcilla; CIC=capacidad de intercambio catiónico; pH=cationes hidrógenos. Valores expresados en (ppm).

De los suelos de bosque natural, los metales que no mostraron correlación estadística significativa con las propiedades fisicoquímicas evaluadas fueron los metales As, Cu, Cd, Pb, Zn, Mo, Ni, Cr, Sr, Mn, Zr, Ba y Ti; por tanto, el cálculo del VR fue con la Ecuación (1); y para

los que mostraron correlación significativa se utilizó ecuaciones lineales determinadas para los metales Co, Hg y Fe (Tabla 8).

Tabla 10. Propuesta de valores de referencia para metales pesados en suelos de bosque

Metal	Ecuación Lineal*	Valor de Referencia (ppm)
As	6+2DE	26
Cu	15+2DE	29
Cd	2,75+2DE	6
Pb	19+2DE	37
Zn	71+2DE	143
Co	10+0,132 Arc + 0,590 CIC	22
Hg	0,12-0,10 CIC	0,81
Mo	4,5+2DE	10
Ni	30+2DE	64
Cr	55+2DE	82
Sr	148+2DE	461
Mn	450+2DE	1429
Zr	388+2DE	633
Ba	247+2DE	472
Ti	5779+2DE	7773
Fe	42000+ 490,67Arc	64525

Nota: Arc=contenido en arcilla; CIC=capacidad de intercambio catiónico; pH=cationes hidrógenos. Valores expresados en (ppm).

En tanto los VR fueron calculados utilizando los valores medios de los parámetros fisicoquímicos de suelo de bosque estándar como 46% para arcilla; 9% para M.O.; 5.8 para el pH y 9,3 cml+/kg para la C.I.C (Tabla 10). Con respecto a los valores medios de suelo estándar utilizados para el cálculo de los VR de metales pesados en los suelos agrícolas y de bosque, está claro que son diferentes para ambos grupos de metales presentes en estos suelos, como también de otros estudios; como el de Saldaña, (2020) que considero para suelo estándar contenidos medios 5% de M.O., 5 de pH y 24 meq/100g de C.I.C. (Micó, 2005) para suelos agrícolas considero un suelo estándar con contenidos de 2 % de M.O., 30 % de arcilla y 50 % de carbonatos. IHOBÉ, (1998) para suelos estándar contenidos de 5% de M.O y 30% Arcilla; en Holanda se consideró valores para suelo estándar 25% de arcilla y 10% de M.O (Iribarren et al., 2008). En tanto las concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas (Mendoza et al., 2021) están influenciadas por actividades antrópicas, (Astonitas et al., 2021) resaltando

la necesidad de definir los VR que servirán para la gestión sostenible del recurso suelo en el distrito.

Conclusiones

Los niveles de fondo de los metales estudiados fueron determinados utilizando métodos estadísticos descriptivos y el cálculo del UCL95; tanto para suelos agrícolas y de bosque, referidos niveles se encuentran dentro de los rangos aceptables, esto indica que, a pesar de la presencia de estos contaminantes, no se han alcanzado niveles críticos que amenacen la calidad del suelo del distrito de Luyando.

Los hallazgos de esta investigación demuestran correlaciones estadísticamente significativas entre los metales pesados (As, Cu, Cd, Pb, Zn, Co, Hg, Mo, Ni, Cr, Sr, Mn, Zr, Ba, Ti y Fe) y los parámetros fisicoquímicos (% arcilla, % M.O., pH y C.I.C.) del suelo, evidenciando la variabilidad en las concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas y de bosque en el distrito de Luyando.

Con el fin de fortalecer la gestión sostenible del recurso suelo en el distrito de Luyando, se propone los valores de referencia de los metales pesados para suelos agrícolas y de bosque respectivamente como sigue para: As (16 y 26 ppm), Cu (31 y 29 ppm), Cd (1.78 y 6 ppm), Pb (26 y 37 ppm), Zn (117 y 143 ppm), Co (17 y 22 ppm), Hg (0,105 y 0,81 ppm), Mo (8,2 y 10 ppm), Ni (37 y 64 ppm), Cr (96 y 82 ppm), Sr (189 y 461 ppm), Mn (1297 y 1429 ppm), Zr (643 y 633 ppm), Ti (411 y 472 ppm), Be (7534 y 7773 ppm), y Fe (50910 y 64525 ppm).

Referencias

- Astonitas Carrasco, L. J., Pariente Mondragón, E., & Milla Pino, M. E. (2021). Evaluación del contenido de metales pesados en suelos periurbanos a partir de parámetros fisicoquímicos. *Revista de la Universidad del Zulia*, 12(33), 50–69. <https://doi.org/10.46925/rdluz.33.05>
- Brizuela, J., & Jiménez, Y. (2012). Metodologías aplicadas para el establecimiento de los niveles de referencia para metales pesados en la evaluación de la contaminación en suelos. *Avances en Química*, 7, 101–109. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93323436001>
- Castro-González, N., Sánchez, F., & Marroquín, G. (2023). Análisis espacial de metales pesados en suelos agrícolas de la subcuenca Atoyac-Zahuapan y riesgos de salud pública. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 21(1), 1–24. <https://doi.org/10.22231/asyd.v2l1.1593>

Chen, M., Ma, L. Q., & Harris, W. G. (1999). Background concentrations of 15 trace metals in Florida soils. *Journal of Environmental Quality*, 28(4), 1173–1181. <https://doi.org/10.2134/jeq1999.00472425002800040019x>

Cuadras, C. M. (2014). Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC Editions. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r16lr/w24899w/Semana5/METODOS_S5.pdf

De la Fuente, S. (2011). Análisis de conglomerados. Universidad Autónoma de Madrid. http://www.estadistica.net/Master-Econometria/Analisis_Cluster.pdf

De Miguel, E., Callaba, A., Arranz, J. C., Cala, V., Chacón, E., Gallego, E., Alberruche, E., Alonso, C., Fdez-Canteli, P., Iribarren, I., & Palacios, H. (2002). Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid (Serie Medio Ambiente, Terrenos contaminados nº 2). Instituto Geológico y Minero de España. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000107&pid=S0120-2812201100030000100016&lng=

García, I., & Dorronsoro, C. (2002). Contaminación por metales pesados. Departamento de Edafología y Química Agrícola, España. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema00/progr.htm>

González Muñoz, I. E., Jordán Vidal, M. M., & Sanfeliu Montolio, T. F. (2022). Mineralogía y geoquímica de metales pesados contaminantes presentes en suelos mineros del sur de Chile. *Revista Espaço e Geografia*, 5(1), 249–266. <https://doi.org/10.26512/2236-56562002e39711>

Hernández, M., & Hernández, O. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: Una revisión. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 12(2), 15–28. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15197>

IHOBE, S. A., Aurrekoetxea, J. L., Iturroundobeitia, J. K., & Castillo, J. J. (1998). Lurzoruen kalitatea: Erreferentzi maila (EBA-A). Eusko Jaurlaritzako Lurralte Antolamendu, Etxebizitza eta Ingurugiro Saila. <https://www.miteco.gob.es/en/ceneam/recursos/pag-web/gestion-ambiental/ihobe.html>

Iribarren, I., Álvaro, A., & Pinilla, P. (2008). Determinación de niveles de fondo y niveles genéricos de referencia para metales en suelos de la Comunidad Autónoma de Aragón (Proyecto Nº 406). Instituto Geológico y Minero de España. <https://info.igme.es/consultasid/presentacion.asp?Id=130253>

International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 19258:2018: Soil quality Guidance on the determination of background values. ISO. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0060664>

Jiménez, R. P., Conde, J., Martín, J., & García, R. (2010). Niveles de fondo geoquímico e influencia del marco geológico en las concentraciones edafogegeoquímicas de base de suelos seleccionados de Castilla-La Mancha. *Estudios Geológicos*, 66(1), 123–130. <https://doi.org/10.3989/egeol.06601.080>

Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2010). Trace elements in soils and plants (3rd ed.). CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/b10158>

López-Rodríguez, C., Urrego, C., & Tunjuelo, A. (2023). Propuesta metodológica para la adopción de buenas prácticas en agricultura sostenible dirigida a productores colombianos. *Producción + Limpia*, 18(1), 99–117. <https://doi.org/10.22507/pml.v18nla7>

Luzuriaga, J. H. A., Espinosa, P. C. A., Haro, S. A. F., & Ortiz, R. H. D. (2023). Histograma y distribución normal: Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov aplicado en SPSS. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(4), 596–607. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i4.1242>

Mendoza, B. J., Torres, D., Marcó, L. M., Gómez, C., Estanga-Barrios, M., & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, 24(51), e1738. <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>

Micó, C. (2005). Estudio de metales pesados en suelos con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]. <http://roderic.uv.es/handle/10550/15038>

Pérez, M. (2000). Valoración de la calidad de un suelo en función del contenido y disponibilidad de metales pesados. *Edafología*, 7(3), 113–120. <https://produccioncientifica.ucm.es/documentos/619ca89da08dbdlb8fa0813f>

Pérez-Campana, B., Camacho, J., & Pérez, G. (2023). Materia orgánica y pH en el suelo agrícola próximo al botadero de Quitasol, Abancay, Apurímac, Perú. *Paideia*, 13(1), 103–112. <https://doi.org/10.31381/paideia.v13i1.5700>

Quezada, U. (2023). Concentración de metales pesados en cultivares de *Persea americana*, Luricocha, Huanta. *Revista Alfa*, 7(20), 376–386. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.222>

Quiroz Ramírez, J. V. (2012). Valoración ambiental de la calidad del suelo en la microcuenca Picuroyacu en el distrito de Rupa Rupa, Leoncio Prado, Huánuco (Perú) [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/891>

Quiroz Ramírez, J. V. (2025). Valoración de la calidad del suelo: Una herramienta para la gestión ambiental del suelo en Luyando. *Tecnohumanismo*, 4(4), 1–436. <https://tecnohumanismo.online/index.php/tecnohumanismo/article/view/382>

Raymundo, M., Morales, F., Oliver, J., & Echevarría, L. (2022). Metales pesados en hortalizas y suelos agrícolas irrigados con aguas superficiales: Una revisión sistemática. *Idesia* (Arica), 40(3), 33–41. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292022000300033>

Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: Una realidad oculta. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i9183es>

Rueda Saa, G., Rodríguez Victoria, J. A., & Madriñán Molina, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para

Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 203–217.
<https://www.redalyc.org/toc.oa?id=1699&numero=22438>

Saldaña, H., & Melgarejo, R. (2020). Niveles de referencia para metales pesados en el suelo - Cerro de Pasco [Tesis de ingeniería ambiental]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6571378>

Salminen, R., & Gregoriuskienè, V. (2000). Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology. *Applied Geochemistry*, 15(5), 647–653. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(99\)00077-3](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00077-3)

Soto-Benavente, M., Achata, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., & Garate, J. (2020). Health risks due to the presence of heavy metals in agricultural products cultivated in areas abandoned by gold mining in the Peruvian Amazon. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49–59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>

Trujillo, A. T., Manchola, L. V. C., & Santofimio, E. M. J. (2020). Metales en suelos productores de arroz del distrito Juncal, Huila – Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 50(1–2), 1–12. [https://doi.org/10.47864/se\(50\)2020p1-12_121](https://doi.org/10.47864/se(50)2020p1-12_121)

USEPA. ProUCL: Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations. Version 5.2. <https://www.epa.gov/land-research/proucl-software>, 2022.

USEPA Washington, D.C. (2002). Calculating upper confidence limits for exposure point concentrations at hazardous waste sites. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-03/documents/upper-conf-limits.pdf>

Yáñez, M. I., Marmolejo, M. J. G., & Cantú, S. I. (2022). Efectos en la diversidad de micromicetos por cambios de uso de suelo en Vertisol. *Scientia Fungorum*, 53, e1415. <https://doi.org/10.33885/sf.2022.53.1415>

Zevallos, M., Paucarmayta, A., Paucarmayta, M., Ochoa, G., & Cabello, G. (2024). Contaminación por metales pesados de microcuenca del río Alto Huallaga y suelos agrícolas. *Revista Alfa*, 8(22), 41–48. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.246>

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) por el apoyo parcial financiero otorgado a través del Fondo de Fomento de la Investigación Formativa (FIF), así como al Laboratorio de Suelos (EPICSA-UNAS) y al equipo técnico de la Dirección de Laboratorios-INGEMMET por las facilidades brindadas en la caracterización y análisis de suelos. Asimismo, reconocemos a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por su contribución académica y a las comunidades del distrito de Luyando por su colaboración en esta investigación.

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

Los autores declaran que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

La *Revista de la Universidad del Zulia* declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista

Licencia Creative Commons

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional



REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA, Fundada el 31 de mayo de 1947

UNIVERSIDAD DEL ZULIA, Fundada el 11 de septiembre de 1891