



Idoneidad del territorio para el cultivo sostenible de cacao (*Theobroma cacao* L.) según presencia de cadmio en suelos de Amazonas

Land Suitability for Sustainable cultivation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) according to the presence of cadmium in soils of Amazonas

Nilton B. Rojas Briceño^{1,2*} , Manuel Oliva-Cruz¹ , Jesús Rascón¹ 

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) se cultiva en múltiples condiciones edáficas, fisiográficas y climáticas; y su zonificación adquiere importancia para la región Amazonas. Sin embargo, actualmente existe gran preocupación en la cadena comercial debido a la presencia de cadmio (Cd) en los productos derivados de cacao y en los suelos donde se cultiva. Por tanto, se revisaron 13 estudios que determinaron la presencia de Cd en suelo en Amazonas. De los cuales, se utilizaron valores de 104 registros georreferenciados de Cd y, mediante interpolación espacial, se generó un mapa de riesgo en Amazonas. Las concentraciones de Cd mostraron amplias variaciones, desde 0,05 a 3,54 mg/kg con una media de 1,56 mg/kg. Se determinó que el 39% del territorio de Amazonas se encuentra por sobre el límite tolerable para suelo agrícola ($\geq 1,4$ mg/kg), según la normatividad peruana (Estándares de Calidad Ambiental del Suelo). El mapa de Cd alerta sobre las zonas de alto riesgo para la zonificación agrícola en Amazonas. También se sugiere futuras investigaciones detalladas y sistemáticas de las concentraciones de Cd en suelos agrícolas de la región Amazonas, y el Perú, con un plan de muestreo acorde a la necesidad para la generación de predicciones mediante interpolaciones espaciales.

Palabras clave: bioacumulación, chocolate, kriging, niveles de cadmio, suelos contaminados.

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is cultivated in multiple edaphic, physiographic and climatic conditions; and its zoning acquires importance for the Amazonas region. However, there is currently great concern in the commercial chain about the presence of cadmium (Cd) in products derived from cocoa and in the soils where it is grown. Therefore, 13 studies that determined the presence of Cd in soil in Amazonas were reviewed. Of which values from 104 georeferenced records of Cd were used and, through spatial interpolation, a risk map was generated in Amazonas. Cd concentrations showed wide variations, from 0.05 to 3.54 mg/kg with a mean of 1.56 mg/kg. It was determined that 39% of the territory of Amazonas is above the tolerable limit for agricultural soil (≥ 1.4 mg/kg), according to Peruvian regulations (Environmental Quality Standards of Soil). The Cd map warns of high-risk areas for agricultural zoning in Amazonas. Future detailed and systematic investigations of Cd concentrations in agricultural soils of the Amazonas and Peru are also suggested, with a sampling plan according to the need to generate predictions through spatial interpolations.

Keywords: bioaccumulation, chocolate, kriging, cadmium levels, soil contamination.

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Chachapoyas, Perú.

²Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Instituto de Investigación en Ingeniería Ambiental, Chachapoyas, Perú.

* Autor de correspondencia. E-mail: nrojas@indes-ces.edu.pe

I. INTRODUCTION

El cacao (*Theobroma cacao* L.) se cultiva desde el nivel del mar hasta los 1200-1400 m.s.n.m., en paisajes que van desde montañas a planicies aluviales y en ambientes secos y pre húmedos (García *et al.*, 2004). Actualmente, la ampliación y modernización de la superficie cacaotera, bajo nuevas estrategias productivas y criterios de competitividad y sostenibilidad, exigen la zonificación de territorio con adecuadas condiciones biofísicas (clima, suelo, orografía) y de infraestructura (accesibilidad, poblaciones próximas, etc.) que faciliten la optimización del cultivo (Reyes *et al.*, 2020).

La zonificación agrícola del cacao, adquiere mayor importancia en Perú, porque es el quinto país en mayor cantidad de hectáreas sembradas de cacao en América Latina y el Caribe (Rosales-Huamani *et al.*, 2020). Es considerado uno de los principales productores y proveedores de cacao fino; fue el segundo país productor mundial de cacao orgánico en 2017, con el 48.6% de las exportaciones de cacao en grano, y donde el 20% contó con certificación orgánica y comercio justo (Sánchez *et al.*, 2019).

Sin embargo, actualmente existe gran preocupación en toda la cadena comercial (productores, exportadores, importadores y consumidores) debido a la presencia de cadmio (Cd) en los granos de cacao y a su transmisión directa a sus derivados para consumo humano (Rosales-Huamani *et al.*, 2020; Zug *et al.*, 2019). El Cd es un metal pesado distribuido de manera natural en el ambiente (Sanchez, 2016); pero su presencia en el suelo ha aumentado como consecuencia de las actividades antrópicas (uso de fertilizantes fosfatados, residuos industriales, minería, fundición y gases de los automóviles) (Covarrubias y Peña, 2017).

Por tanto, este estudio reviso los estudios de Cd en suelo en Amazonas, una de las principales regiones cacaoteras de Perú. Luego, se predijo la distribución espacial de Cd y se alertan de las zonas de riesgo para la zonificación agrícola de cacao.

II. MATERIAL Y MÉTODO

Búsqueda sistemática de estudios

Para identificar los estudios de determinación de Cd en suelos de la región Amazonas, se utilizaron los elementos de la guía para la publicación de revisiones sistemáticas (Yepes-Nuñez *et al.*, 2021). Se realizó una búsqueda sistemática booleana por palabras clave en Google Académico. Se utilizó la sintaxis ("cadmio" AND "suelo" AND ("Amazonas" OR "Bagua" OR "Bongará" OR "Chachapoyas" OR "Condorcanqui" OR "Luya" "Mendoza" OR "Utcubamba") AND "Perú") en español e inglés. Se revisaron los resultados de las búsquedas y se desarrolló una hoja de cálculo de Excel para ingresar datos georreferenciados de Cd en suelos. También se utilizó la sintaxis ("cadmio" AND "suelo" AND ("Cajamarca" OR "San Martín" OR "La Libertad" OR "Loreto" OR "Cajamarca") AND "Perú") para identificar georreferencias de Cd en suelos adyacentes a la región Amazonas. Esto por ser de utilidad para la interpolación (y no extrapolación) espacial (Gallardo, 2006).

Interpolación espacial de Cd en suelos

Para generar mapas continuos de distribución de Cd (con 50 m de resolución espacial) se utilizó la caja de herramientas Geostatistical Analyst en ArcGIS 10.8. El proceso se realizó en cuatro pasos: (i) Análisis exploratorio que incluyó revisar el histograma y la tendencia de los datos, (ii) Muestreo aleatorio dividiendo el 20% de los datos para validación y el 80% para modelamiento (Iliquín *et al.*, 2020), (iii) generación del modelo de interpolación, y (iv) validación de la predicción. Se utilizó la técnica de interpolación espacial Kriging Ordinario. La técnica de interpolación se validó en base a cuatro estadísticos: coeficiente de determinación (R^2), error medio de sesgo (MBE), error absoluto medio de sesgo (MABE) y raíz del error cuadrático medio (RMSE). Para el uso de las fórmulas y la interpretación de los estadísticos se siguió la metodología de Quiñones *et al.* (2019).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudios de Cd en suelos en Amazonas

Se identificaron 13 estudios con reportes georreferenciados de niveles de Cd en el suelo, de los cuales, nueve se colectaron muestras de suelo en Amazonas y los otros cuatro fueron elegidos tener datos georreferenciados próximos a la región Amazonas. Todos los

estudios fueron realizados con fines agropecuarios (Tabla 1). Se colectaron un total de 120 georreferencias de Cd, 104 dentro de la región Amazonas y 16 en regiones adyacentes (San Martín y Cajamarca). Las georreferencias en Amazonas son mayores a la colectadas por Rofner (2021) para un estudio reciente de interpolación de Cd en Perú.

Tabla 1. Estudios de Cd en el suelo de diferentes zonas agrícolas de Amazonas y regiones adyacentes en Perú, utilizadas para la interpolación espacial

Auto(es) (año)	Objetivo del estudio	N° de puntos
En Amazonas		
Oliva-Cruz <i>et al.</i> (2020)	Absorción de Cd en árboles de cacao nativo	29
Astonitas (2018)	Contaminantes en suelos agrícolas periurbanos	20
Arévalo-Gardini <i>et al.</i> (2016, 2019)	Metales pesados en el suelo, hoja y grano de cacao en diferentes regiones del Perú	14
Scaccabarozzi <i>et al.</i> (2020)	Cd en suelos de cultivo de cacao	13
Meléndez (2021)	Transporte y acumulación de Cd en cinco genotipos de cacao nativo	13
Tuesta (2022)	Bioacumulación de Cd en plantaciones de cacao	7
Oliva-Cruz <i>et al.</i> (2019)	Cd en zonas agrícolas de papa	6
Oliva-Cruz <i>et al.</i> (2021)	Cd en dos sistemas de producción de café	1
Llatance <i>et al.</i> (2018)	Prospección de especies vegetales que acumulen Cd	1
En regiones Adyacentes		
Arévalo-Gardini <i>et al.</i> (2016, 2019)	Metales pesados en el suelo, hoja y grano de cacao en diferentes regiones del Perú	8
Santander <i>et al.</i> (2021)	Cd en suelos, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao y chocolate	5
Julca (2020)	Cd en cacao forastero a diferentes edades	1
GRSM (2019)	Cd en parcelas del Proyecto Cacao	1
Vásquez y Celis (2020)	Absorción de plomo y Cd en el cultivo de rábano	1
Total		120

Se reportan concentraciones de Cd en el suelo en un amplio rango de altitudes (de 174 a 3024 m.s.n.m.), para cinco provincias en 14 distritos de la región Amazonas (Figura 1). Las concentraciones de Cd en el suelo mostraron amplias variaciones que van desde 0,05 a 3,54 mg/kg y producen una media de 1,56 mg/kg. Estos rangos y media de Cd son similares a los reportados por Oliva-Cruz *et al.* (2020) en suelos de cultivo de cacao nativo en la provincia de Bagua. El 63% (65) de las georreferencias usadas para la interpolación excedieron los niveles máximos permitidos de

1,4 mg/kg, indicado por los Estándares de Calidad Ambiental del Suelo (ECA Suelo) para suelos agrícolas (MINAM, 2017). Los datos indicaron que los suelos del área evaluada están contaminados por Cd, lo que puede ser un riesgo potencial por la disposición de la planta para adsorber el Cd del suelo.

Distribución espacial de Cd en suelos en Amazonas

Las georreferencias de Cd colectadas se concentraron en los distritos de Copallín (22), Cajaruro (21) La Peca (15) e Imaza (13) en las provincias de Bagua y Utcubamba. La predicción de la distribución de Cd (Figura

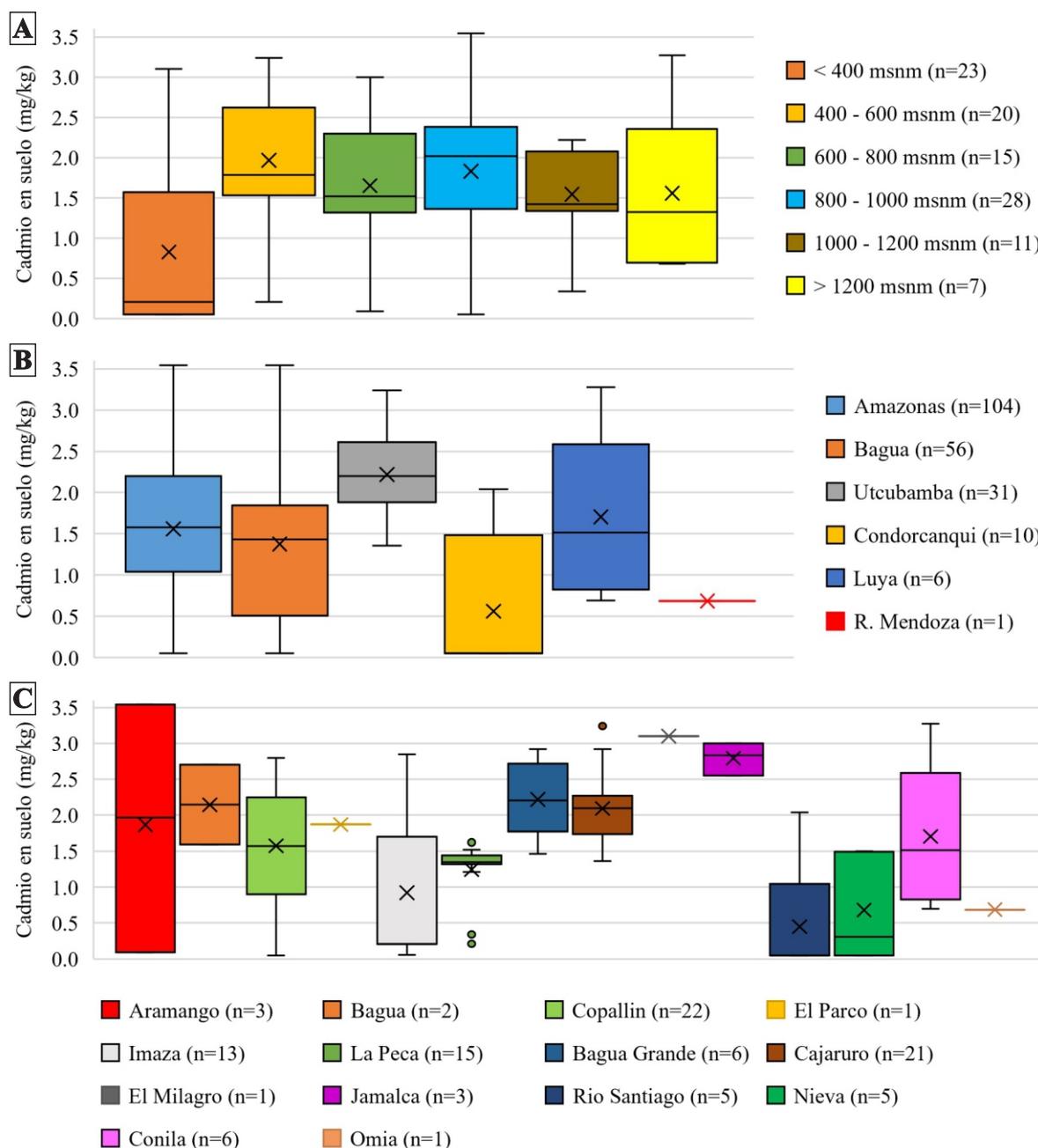


Figura 1. Dispersión de los niveles de cadmio en el suelo de Amazonas por piso altitudinal (A), provincia (B) y distrito (C).

2) presentó R^2 , MBE, MABE y RMSE de 0,557; 0,246; 0,426 y 0,577, respectivamente, calculados con datos independientes al modelado. Los errores estándar propios del modelado muestran los mayores niveles en las fronteras de la región, donde hay ausencia de georreferencias. Los bajos estadísticos de validación se deben a la distribución espacial heterogénea de las georreferencias. A saber, para predicciones por interpolación espacial, se deben distribuir los puntos de muestreo de manera homogénea, de preferencia en

grillas (Rosales-Huamani *et al.*, 2020). Aunque este trabajo es una segunda aproximación a la distribución de Cd, la primera es de Rofner (2021), se hace necesaria una investigación detallada y sistemática de las concentraciones de Cd en suelos agrícolas de la región Amazonas, y el Perú, con un plan de muestreo acorde a la necesidad para la generación de predicciones mediante interpolaciones espaciales.

Se determinó que el 39% del territorio de Amazonas se encuentra por sobre el límite tolerable para suelo agrí-

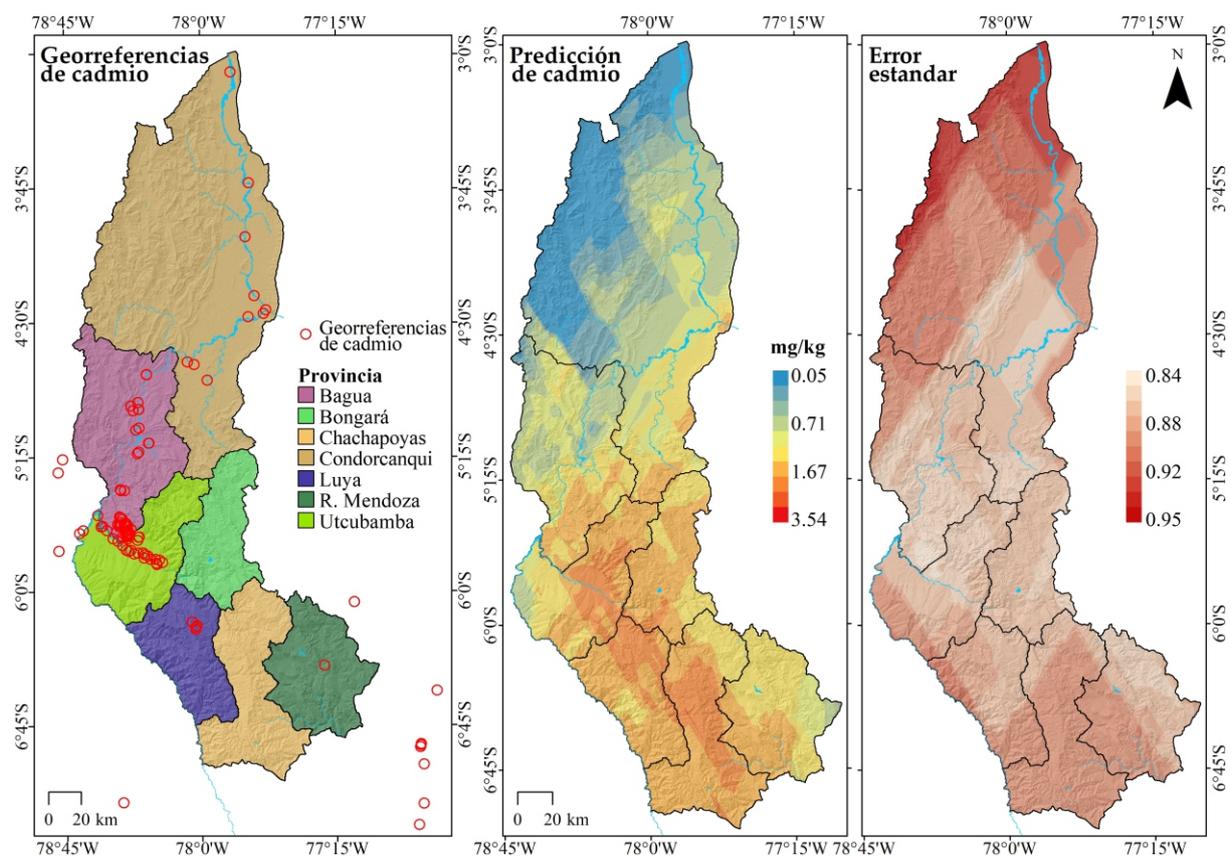


Figura 2. Predicción de la distribución de Cd en la Región Amazonas.

cola ($\geq 1,4$ mg/kg), según lo establece la normatividad peruana, ECA Suelo para suelos agrícolas (MINAM, 2017), y el 19% se acerca, pero no excede (1,0–1,4 mg/kg) (Figura 3, Tabla 2). Se difiere de lo expuesto por Rofner (2021), quién menciona que el 100% del territorio se encuentra por debajo del límite tolerable para suelo agrícola. Al superponer la distribución espacial de Cd con la unión del mapa de superficie agrícola nacional (MIDAGRI, 2020) y el mapa de uso de suelo agropecuario de la Zonificación Ecológica y Económica de Amazonas (GRA y IIAP, 2010), se determinó que el 61% de dicho territorio supera el límite tolerable para suelo agrícola. Además, al superponer la predicción de Cd con el territorio apto para cacao según altitud < 1200 m.s.n.m. (Arvelo *et al.*, 2017; García *et al.*, 2004), el 12% de dicho territorio supera el límite tolerable para suelo agrícola.

No se han reportado estudios sobre el origen del Cd en los suelos de la región Amazonas. Dado que el estudio con mayor georreferencias (Oliva-Cruz *et al.*, 2020) muestreó parcelas manejadas orgánicamente, sin

adición de grandes cantidades de fertilizantes químicos, se puede suponer que gran parte del Cd en los suelos de Bagua es de origen natural. El Cd se encuentra naturalmente en los suelos en diferentes concentraciones según la región y el tipo de suelo (Alloway, 2012). La meteorización de rocas, la deposición atmosférica, el material biogénico y los volcanes son fuentes naturales de Cd en los suelos (Khan *et al.*, 2017). Además, la descomposición de las hojas y los residuos de cultivos dentro de la parcela se identifica como una fuente importante de Cd que se encuentra en la capa superior del suelo (Jiao *et al.*, 2012).

IV. CONCLUSIONES

Se identificaron nueve estudios que incluyeron recolección y análisis de Cd en muestras de suelo en Amazonas, principalmente enfocados en temas agrícolas. De estos estudios, se colectaron 104 georreferencias de concentraciones de Cd en el suelo, que mostraron amplias variaciones, desde 0,05 a 3,54 mg/kg con una media de 1,56 mg/kg. Se generó la predicción de la

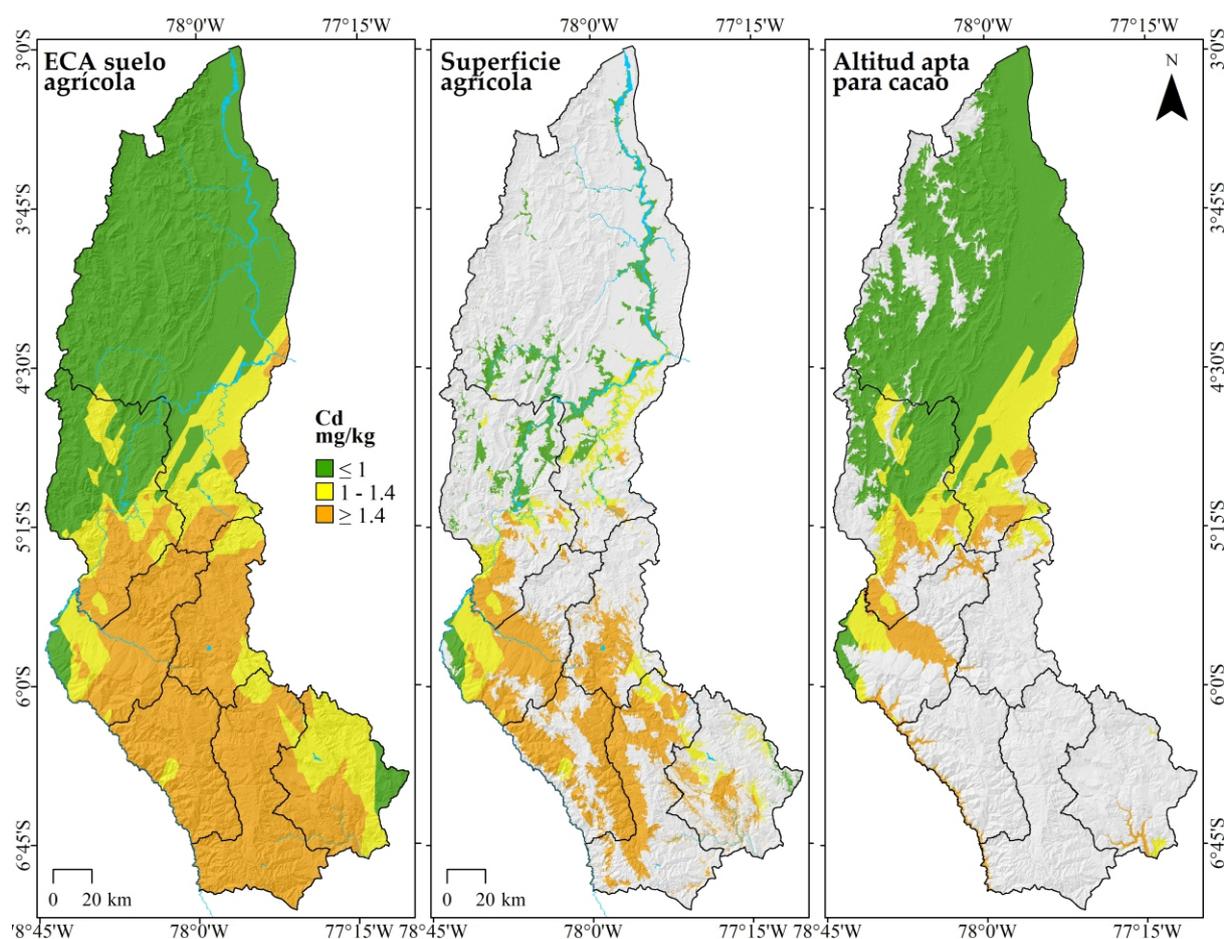


Figura 3. Riesgo de cadmio en la idoneidad del territorio para la agricultura y el cultivo sostenible de cacao en Amazonas.

distribución espacial de Cd en Amazonas y se alertan sobre las zonas de alto riesgo para la zonificación agrícola.

Es necesaria una investigación detallada y sistemática de las concentraciones de Cd en suelos agrícolas de la región Amazonas, y el Perú, con un plan de muestreo acorde a la necesidad para la generación de predicciones mediante interpolaciones espaciales.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) por el financiamiento a través de los Proyectos con Contrato N° 026-2016-FONDECYT (CINCAO) y Contrato N° 366-2019-FONDECYT (FITOCD), ejecutados por el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES CES) e Instituto de Investigación en Ingeniería Ambiental (IIIA).

VI. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

VII. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, B. J. (2012). *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Londres (Reino Unido): Springer Science y Business Media. DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7
- Arévalo-Gardini, E., C. O. Arévalo-Hernández, V. C. Baligar, y Z. L. He. 2019. "Heavy Metal Accumulation in Leaves and Beans of Cacao (*Theobroma Cacao* L.) in Major Cacao Gro-

Tabla 2. Superficie (km²) del territorio de Amazonas según umbral de contenido de Cd en el suelo

Provincia/Región	Superficie por contenido de Cd						Total km ²
	≤ 1 mg/kg		1 - 1,4 mg/kg		≥ 1,4 mg/kg		
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	
Territorio de Amazonas							
Bagua	2730,48	47	1814,66	31	1277,48	22	5852,52
Bongará	0,83	0	636,96	21	2384,40	79	3022,19
Chachapoyas	0,00	0	311,98	7	4197,72	93	4511,61
Condorcanqui	14267,15	80	2682,11	15	743,54	4	17871,34
Luya	0,01	0	82,02	3	3010,91	97	3099,54
R, Mendoza	229,57	6	1810,74	49	1682,66	45	3722,96
Utcubamba	290,87	7	696,75	18	2960,78	75	3967,98
Amazonas	17518,91	42	8035,22	19	16257,49	39	42048,14
Territorio agrícola de Amazonas							
Bagua	539,22	32	523,11	32	598,29	36	1660,62
Bongará	0,00	0	106,00	11	868,04	89	974,04
Chachapoyas	0,00	0	186,96	10	1656,12	90	1843,07
Condorcanqui	1173,45	58	746,78	37	104,94	5	2025,17
Luya	0,01	0	50,63	3	1800,66	97	1851,30
R, Mendoza	40,56	5	287,21	36	467,30	59	795,07
Utcubamba	228,31	10	645,22	27	1527,72	64	2401,26
Amazonas	1981,55	17	2545,91	22	7023,07	61	11550,53
Territorio con aptitud para cacao de Amazonas							
Bagua	2006,93	48	1380,16	33	797,10	19	4184,19
Bongará	0,00	0	152,75	70	65,95	30	218,70
Chachapoyas	0,00	0	0,00	0	36,69	100	36,69
Condorcanqui	12114,09	79	2547,73	17	576,11	4	15237,93
Luya	0,00	0	6,50	4	141,94	96	148,44
R, Mendoza	0,00	0	56,64	39	88,79	61	145,43
Utcubamba	216,89	15	382,79	27	808,63	57	1408,31
Amazonas	14337,91	67	4526,57	21	2515,21	12	21379,70

wing Regions in Peru". *Science of the Total Environment* 605–606 (2017): 792–800. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.122.

- Arévalo-Gardini, E., M. E. Obando-Cerpa, L. B. Zúñiga-Cernades, C. O. Arévalo-Hernández, V. Baligar, y Z. He. 2016. "Metales Pesados En Suelos de Plantaciones de Cacao (Theobroma Cacao L.) En Tres Regiones Del Perú." *Ecología Aplicada* 15 (2): 81. DOI: 10.21704/rea.v15i2.747.
- Arvelo, S. M. Angel, D. González L., S. Maroto A., T. Delgado L., y P. Montoya L. 2017. *Manual Técnico del Cultivo de Cacao Buenas Prácticas para América Latina*. San José (Costa Rica): Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

- Astonitas, C. L. J. 2018. *Evaluación de Contaminantes en Suelos Agrícolas Periurbanos de la Provincia de Utcubamba, Amazonas, Perú*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas (Perú).
- Covarrubias, S. A., y J. J. P. Cabriales. 2017. "Contaminación Ambiental por Metales Pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33 (esp01): 7–21. DOI: 10.20937/RICA.2017.33.esp01.01.
- Gallardo, A. 2006. "Geostadística." *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 15 (3): 5.
- García, L. J., M. Romero C., y L. Astrid Ortiz. 2004.

- Caracterización y Zonificación de Áreas Potenciales Para El Cultivo de Cacao En Colombia*. Bogotá (Colombia): CORPOICA.
- GRA (Gobierno Regional de Amazonas), y IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana). 2010. *Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) del Departamento de Amazonas*. (Iquitos) Perú: GRA y IIAP.
- GRSM (Gobierno Regional de San Martín). 2019. *Intervención Del Proyecto Cacao En El Departamento de San Martín-2019*. Mapa Temático. Tarapoto (Perú)
- Iliquín, D., R. Salas L., N. B. Rojas B., J. O. Silva L., D. Gómez F., M. Oliva, L. Quiñones H., R. E. Terrones M., E. Barboza C., y M. Á. Barrena G. 2020. "Land Suitability Analysis for Potato Crop in the Jucusbamba and Tincas Microwatersheds (Amazonas, NW Peru): AHP and RS-GIS Approach." *Agronomy* 10 (12): 1898. DOI: 10.3390/agronomy10121898.
- Jiao, W., W. Chen, A. C. Chang, y A. L. Page. 2012. "Environmental Risks of Trace Elements Associated with Long-Term Phosphate Fertilizers Applications: A Review." *Environmental Pollution* 168: 44–53. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.03.052.
- Julca, G. K.. 2020. *Determinación de Cadmio en Almendras de Cacao Forastero (Theobroma cacao L.) en Plantaciones de Tres Edades Diferentes en Balsahuayco, Distrito de Jaén*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Jaén. Jaén (Perú).
- Khan, M. A., S. Khan, A. Khan, y M. Alam. 2017. "Soil Contamination with Cadmium, Consequences and Remediation Using Organic Amendments." *Science of the Total Environment* 601–602: 1591–1605. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.030.
- Llatance, W. O., C. J. Gonza Saavedra, W. G. Castillo, y E. Pariente Mondragón. 2018. "Bioacumulación de Cadmio en el Cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú." *Revista Forestal del Perú* 33 (1): 63. DOI: 10.21704/rfp.v33i1.1156.
- Meléndez, M. J. B. 2021. *Transporte y Acumulación de Cadmio (Cd) en Cinco Genotipos de Cacao Nativo de la Región Amazonas*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas (Perú)
- MIDAGRI. 2020. "Resolución Ministerial N° 0322-2020-MIDAGRI. Oficializar el Mapa Nacional de Superficie Agrícola del Perú, Detallado por Departamentos, Provincias y Distritos." Lima (Perú)
- MINAM. 2017. "Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Para Suelo." Lima (Perú).
- Oliva-Cruz, M., D. E. Camas, X. J. Valqui, J. B. Meléndez, y S. Leiva. 2019. "Quantitative Determination of Cadmium (Cd) in Soil-Plant System in Potato Cropping (*Solanum tuberosum* Var. *Huayro*)." *Advances in Agriculture* 2019: 9862543. DOI: 10.1155/2019/9862543
- Oliva-Cruz, M., A. García Pérez, I. Isidro, C. Ventura, K. Rubio, y S. Leiva. 2021. "Concentraciones de Cadmio en el Sistema Suelo-Planta en los Cultivos de Café en Dos Sistemas de Producción." *Revista Científica Dékamu Agropec* 2 (1): 45–53.
- Oliva-Cruz, M., K. Rubio, M. Epquin, G. Marlo, y S. Leiva. 2020. "Cadmium Uptake in Native Cacao Trees in Agricultural Lands of Bagua, Peru." *Agronomy* 10 (10): 1551. DOI: 10.3390/agronomy10101551.
- Quiñones, L., M. Barrena, W. Gosgot, R. Salas, y M. Milla. 2019. "Estimación de La Radiación Solar Diaria Para La Ciudad de Bagua, Región Amazonas, Perú." *Selecciones Matemáticas* 6 (2): 320–28. DOI: 10.17268/sel.mat.2019.02.18.
- Reyes, T. D, S. B. Salera, W. U. Llegunas, y J. P. Cabelin. 2020. "Comparative Analysis of Two Methods for Site Suitability Assessment of

- Cacao (*Theobroma cacao* L.) in Bohol, Central Visayas, Philippines.” *Ecosystems and Development Journal* 10 (10): 56–67.
- Rofner, N. F. 2021. “Cadmium in Soil and Cacao Beans of Peruvian and South American Origin.” *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 74 (2): 9499–9515. DOI: 10.15446/rfnam.v74n2.91107
- Rosales-Huamani, J. A., J. L. Breña-Ore, S. Sespedes-Varkarsel, L. Huamanchumo de la Cuba, L. Centeno-Rojas, A. Otiniano-Zavala, J. Andrade-Choque, S. Valverde-Espinoza, y J. L. Castillo-Sequera. 2020. “Study to Determine Levels of Cadmium in Cocoa Crops Applied to Inland Areas of Peru: 'The Case of the Campo Verde-Honorita Tournavista Corridor.’” *Agronomy* 10 (10): 1576. DOI: 10.3390/agronomy10101576.
- Sanchez, B. G. 2016. *Ecotoxicología del Cadmio: Riesgo para la Salud de la Utilización de Suelos Ricos en Cadmio.* Tesis de Grado. Universidad Complutense de Madrid. Madrid (España)
- Sánchez, V., J. Zambrano, y C. Iglesias. 2019. *La Cadena de Valor Del Cacao En América Latina y El Caribe.* Quito (Ecuador): INIAP.
- Santander, R. W., M. R. Garay, G. C. Verde, y T. O. Mendieta. 2021. “Determinación del Contenido de Cadmio en Suelos, Frutos, Granos Fermentados y Secos, Licor de Cacao y Chocolate en Zonas Productoras de La Región San Martín.” *Revista de La Sociedad Química Del Perú* 87 (1): 39–49. DOI: 10.37761/rsqp.v87i1.321.
- Scaccabarozzi, D., L. Castillo, A. Aromatizi, L. Milne, A. Búllon Castillo, y M. Muñoz-Rojas. 2020. “Soil, Site, y Management Factors Affecting Cadmium Concentrations in Cacao-Growing Soils.” *Agronomy* 10 (6): 806. DOI: 10.3390/agronomy10060806.
- Tuesta, G. F. A. 2022. *Bioacumulación de Cadmio (Cd) en Plantaciones de Cacao (Theobroma cacao L.) Asociadas a la Cooperativa APROCAMen la Región Amazonas.* Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas (Perú).
- Vásquez, R. L. O., y L. J. N. Celis. 2020. *Capacidad de Absorción de Plomo y Cadmio en el Cultivo de Raphanus Sativus, Cajamarca-2019.* Tesis de Grado. Universidad Privada del Norte. Trujillo (Perú).
- Yepes-Nuñez, J. J., G. Urrútia, M. Romero-García, y S. Alonso-Fernández. 2021. “The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews.” *Revista Española de Cardiología* 74 (9): 790–99. DOI: 10.1016/j.recresp.2021.06.016.
- Zug, K. L. M., H. A. Huamaní Yupanqui, F. Meyberg, J. Susanne Cierjacks, y A. Cierjacks. 2019. “Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation.” *Water, Air, & Soil Pollution* 230 (3): 72. DOI: 10.1007/s11270-019-4109-x.