

Artículo Original

Geohelminthos y parámetros fisicoquímicos del suelo como indicadores de calidad ambiental en el distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco

Geohelminths and physicochemical parameters of the soil as indicators of environmental quality in José Crespo y Castillo, Huánuco district

<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.623.004>

Jonatan Estiff León Santa María ¹

<https://orcid.org/0000-0001-8532-4706>

Luis Eduardo Oré Cierito ¹

<https://orcid.org/0000-0003-2836-2436>

Jacinto Joaquin Vertiz-Osores ²

<https://orcid.org/0000-0003-2774-1207>

Gliria Susana Mendez-Ilizarbe ³

<https://orcid.org/0000-0001-9919-2003>

Celia Emperatriz Mercado-Marrufo ³

<https://orcid.org/0000-0002-4187-106X>

Gianmarco Garcia Curo ⁴

<https://orcid.org/0000-0001-6685-3207>

Jorge Rafael Diaz Dumont ³

<https://orcid.org/0000-0003-0921-338X>

Recibido: 28/02/2022

Aceptado: 17/05/2022

RESUMEN

En la investigación se determinaron la presencia de geohelminthos y se evaluó la calidad ambiental del suelo mediante parámetros fisicoquímicos en el distrito de José Crespo y Castillo – Huánuco, Perú. Se detectaron y cuantificaron los geohelminthos, se caracterizó los perfiles modales y propiedades fisicoquímicas en función del Soil Taxonomy, y contraste con el estándar de calidad para el cadmio (Cd) y determinación del índice de calidad ambiental del suelo empleando el análisis de componentes principales. Los perfiles modales son Fluventic Eutrudepts, Lithic Udorthents, Typic Dystrudepts, Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents, Typic Dystrudepts - Typic Endoaquents, Typic Endoaquents, Typic Eutrudepts - Typic Eutrudepts, Typic Udifluvents y Typic Udorthents; los parámetros fisicoquímicos textura, pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo disponible, potasio disponible, cadmio disponible, capacidad de intercambio catiónico efectivo, calcio, magnesio, aluminio, hidrógeno, bases y ácidos cambiabiles y porcentaje de saturación de aluminio, determinando que el cadmio disponible se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental del Perú; y el índice de calidad ambiental del suelo es de 41,48%, teniendo la calificación de un suelo regular de calidad ambiental. Y la contaminación por *Ascaris lumbricoides* fue en 25 de las calicatas (55,56%), presente en los 8 tipos de suelos catalogados, seguida de las unicinarias representadas por *Necator americano* y *Ancylostoma duodenale* en 14 calicatas (31,11%) de pH ligeramente a medianamente ácido, y *Taenias* y *Capilaria*, ambos en el 8,29%; los geohelminthos como riesgo de salud pública, permanecen por largo de tiempo en el suelo, independientemente de la calidad y en amplios rangos de pH, favorecidos por niveles de sustratos orgánicos derivados de la antropogénesis.

Palabras claves: índice de calidad ambiental del suelo, caracterización de los perfiles modales, propiedades fisicoquímicas, análisis de componente principal.

ABSTRACT

In the investigation, the presence of geohelminths was determined and the environmental quality of the soil was evaluated through physicochemical parameters in the district of José Crespo y Castillo - Huánuco, Peru. Geohelminths were detected and quantified and the modal profiles and physicochemical properties were characterized based on the Soil Taxonomy, and contrast with the quality standard for cadmium (Cd) and determination of the environmental quality index of the soil using the main component analysis. Modal profiles are Fluventic Eutrudepts, Lithic Udorthents, Typic Dystrudepts, Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents, Typic Dystrudepts - Typic Endoaquents, Typic Endoaquents, Typic Eutrudepts - Typic Eutrudepts, Typic Udifluvents, and Typic Udorthents; the physicochemical parameters texture, pH, organic matter, nitrogen, available phosphorus, available potassium, available cadmium, effective cation exchange capacity, calcium, magnesium, aluminium, hydrogen, exchangeable bases and acids and percentage of aluminum saturation, determining that cadmium available is within the environmental quality standards of Peru; and the environmental quality index of the soil is 41.48%, having the qualification of a regular soil of environmental quality. And the contamination by *Ascaris lumbricoides* was in 25 of the pits (55.56%), present in the 8 types of cataloged soils, followed by the unicinarias represented by *Necator americano* and *Ancylostoma duodenale* in 14 pits (31.11%) of pH slightly to medium acid, and *Taenias* and *Capilaria*, both at 8.29%; As a public health risk, geohelminths remain in the soil for a long time, regardless of quality and in wide pH ranges, favored by levels of organic substrates derived from anthropogenesis.

Keywords: environmental quality index of the soil, characterization of the modal profiles, physicochemical properties, principal components analysis.

¹ Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú.

² Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, Perú.

³ Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú.

⁴ Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Pampas, Perú.

*Autor de Correspondencia: jorge.diazdu@ciplima.org.pe



Introducción

El distrito de José Crespo y Castillo (JCC) está situado en el noreste de la provincia Leoncio Prado, en la parte central de la selva amazónica peruana, con una extensión superficial de 283.000 hectáreas, gran parte de las cuales están destinadas para el desarrollo agrícola y ganadero (MDJCC, 2017). En esta región han predominado los cultivos de piña, maíz, frijol, arroz, maíz, yuca y plátano, y más recientemente café y cacao, especies vegetales que son indicadoras de suelos ácidos con altas concentraciones de aluminio. Características como la topografía agreste y con baja vegetación, facilitan que los procesos de erosión de los suelos se incrementen, contribuyendo a que el distrito sea considerado como una zona con baja calidad del recurso suelo. Sin embargo, para entender las características intrínsecas del suelo, es necesario tomar en cuenta diversos indicadores, que abarquen sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Navarrete Segueda *et al.*, 2011).

En este sentido, propiedades físicas como la textura, estructura y porosidad del suelo se relacionan en la dinámica de almacenar y proveer agua a la vegetación, condicionando su desarrollo; mientras que los parámetros químicos se relacionan con la calidad del agua y de nutrimentos para las plantas, dentro de los cuales podemos resaltar los niveles de pH y las concentraciones de Cadmio, Fósforo, Nitrógeno y Potasio (Bautista *et al.*, 2004; MINAM, 2017; Rodríguez Vega *et al.*, 2017). Por otra parte, los actores biológicos presentes en el suelo desempeñan un papel fundamental en la fragmentación, transformación y translocación de materiales orgánicos en él; además, aportan considerables cantidades de biomasa y mejoran algunas de sus propiedades físicas (Rodríguez Vega *et al.*, 2017; Calderón-Medina *et al.*, 2018).

Al respecto, Salazar Martínez & De Luca, (2015) señalan que la biodiversidad del suelo es bastante amplia, e incluye especies tanto microbióticas (bacterias, hongos, protozoarios) como mesobióticas (microartrópodos, nematodos), sin embargo, estos últimos son más favorables como indicadores de la calidad ambiental de los suelos, ya que su ciclo de vida (entre días y años) es más largo que el de los microbios metabólicamente activos (de horas a días), por lo que sus poblaciones son más estables y no están sujetas a fluctuaciones temporales por liberaciones efímeras de nutrientes. Dentro de la mesobiota, además, los nematodos se destacan por su intrínseca relación con parámetros del suelo tanto químicos (a mayor disponibilidad de Cadmio mayor presencia de nematodos) como físicos (ciclo reproductivo, encontrando mayor proporción de huevos latentes en condiciones de sequedad que eclosionan posteriormente en condiciones idóneas de humedad y temperatura) (Sánchez-Moreno & Talavera, 2013; Salazar Martínez & De Luca, 2015).

Por otra parte, gracias a su capacidad parasitaria, los nematodos o geohelminos logran perdurar en el suelo al completar su ciclo infectivo, pasando a otros seres vivos mediante los alimentos o por contacto directo; y a su vez, las heces de personas o animales parasitados contienen huevos que pasan a los suelos debido a las prácticas de defecación en exteriores, a la recolección ineficiente de desechos, y a la contaminación con aguas residuales, entre otras causas. Según Mara & Sleight, (2010) las aguas residuales pueden contener hasta 3000 huevos por litro, en áreas donde la geohelminiasis es endémica. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de 1.500 millones de personas en el mundo están infectadas con al menos una especie de geohelminos (OMS, 2015, 2022), en su mayoría lombrices intestinales (*Ascaris lumbricoides* y *Strongyloides stercoralis*), tricocéfalos (*Trichuris trichiura*) y anquilostomas (*Necator americanus* o *Ancylostoma duodenale*) (Strunz *et al.*, 2014). Cifras reportadas por Pullan *et al.*, (2014) dan cuenta de 770-890 millones de personas con ascariasis, 430-508 millones con tricuriasis y 406-480 millones infectadas con anquilostomiasis (Pullan *et al.*, 2014).

En conjunto, al considerar factores como: la mayor longevidad de los geohelminos frente a otros actores biológicos que se encuentran en los suelos, la relación de los geohelminos con diversos parámetros fisicoquímicos del suelo, la alta prevalencia global de geohelminiasis que garantiza la continuidad del ciclo parasitario entre los suelos y los seres vivos, y el uso de sistemas de riego que emplean aguas residuales posiblemente contaminadas, especialmente en regiones agrícolas como JCC, se entiende la importancia de emplear la presencia de geohelminos como un indicador de calidad ambiental del suelo, a la par de indicadores tradicionales como los fisicoquímicos.

Por ello, el presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar la presencia de geohelminos y los parámetros fisicoquímicos como indicadores de la calidad ambiental del suelo en el distrito JCC del departamento de Huánuco, aplicando metodologías de colección y análisis desarrolladas en las facultades de agronomía y de recursos naturales renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, con sede en la provincia Leoncio Prado, a fin de posibilitar la toma de decisiones correctas y concretas para el buen funcionamiento y aprovechamiento de los recursos de esta región.

Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, con un área de 149,264.16 Ha., y un perímetro de 339,759.01 metros lineales, con el objetivo de estimar la presencia de geohelminos y los parámetros fisicoquímicos del suelo como indicadores de calidad ambiental. En los sucesivos se desarrolla la investigación de la siguiente manera:

Caracterización de los perfiles modales de las unidades de suelo en función del Soil Taxonomy

Se procedió a realizar el reconocimiento de la zona, identificando la topografía del terreno en el ámbito del área de estudio, se trabajará en función del mapa de suelos y del mapa fisiográfico del distrito de José Crespo y Castillo de acuerdo a la zonificación económica y ecológica del Gobierno Regional de Huánuco (ZEE-GRH, 2017) (Tabla 1).

Los sectores y/o puntos para realizar las calicatas se ubicaron estratificadamente; y la escogencia de la calicata por soil taxonomy (ZEE-GRH, 2017) (Tabla 1).; realizando un muestreo aleatorio simple en 45 puntos (Tabla 3), esto es con la finalidad de homogenizar los resultados.

Tabla 1. Ubicación geográfica de los puntos donde se realizaron las calicatas

ID	Sector	Este (m.)	Norte (m.)	Altitud (m.s.n.m.)
1	Alta Corvina	371583	9002325	663
2	Alto Unión S1	370050	9027220	547
3	La Primavera	372616	9014440	600
4	Monte de los Olivos	365286	8995818	768
5	Nueva Aspuzana S1	369208	9029698	544
6	Nueva Aspuzana S2	370643	9028550	540
7	Nueva Colina	374436	9006458	584
8	Nuevo Horizonte	364707	8992950	647
9	Santa Isabela	374696	9024957	545
10	Las Mercedes	376077	9017554	555
11	San Isidro de Languermack	375187	9011032	566
12	Bolognesi	370122	9007423	597
13	Alto Chimbote	381130	9016520	638
14	La Colpa	387345	9013092	802
15	Mantaro	368360	9014435	571
16	Cotomonillo	376174	9020648	550
17	Alto Unión S2	380519	9023981	776
18	Túpac Amaru	383332	9008957	675
19	La Victoria	379121	9018417	581
20	Pavayacu	369213	9022170	546

Tabla 2. Suelos de acuerdo al Soil Taxonomy del distrito de Crespo y Castillo

ID	Descripción	Área (Ha)	Área relativa (%)
1	Cuerpos de agua	1.338,35	0,90%
2	Dystric Eutrudepts - Lithic Udorthents	0,57	0,00%
3	Fluventic Eutrudepts	3.813,44	2,56%
4	Lithic Eutrudepts - Lithic Udorthents	11.726,18	7,87%
5	Lithic Udorthents	5.401,02	3,62%
6	Lithic Udorthents - Typic Dystrudepts	48.280,47	32,39%
7	Misceláneo	210,63	0,14%
8	Typic Dystrudepts	13.273,03	8,90%
9	Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents	43.367,04	29,09%
10	Typic Dystrudepts - Typic Endoaquents	1.416,47	0,95%
11	Typic Dystrudepts - Typic Udorthents	891,73	0,60%
12	Typic Endoaquents	6.942,60	4,66%
13	Typic Eutrudepts - Lithic Udorthents	3.943,44	2,65%
14	Typic Eutrudepts - Typic Eutrudepts	6.864,04	4,61%
15	Typic Udifluvents	412,21	0,28%
16	Typic Udorthents	1.172,80	0,79%
Total general		149,054.02	100,00%

Propiedades fisicoquímicas del suelo en función del Soil Taxonomy y contraste con el ECA suelo para el Cadmio (Cd)

Los análisis de los parámetros físicos y químicos, se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía y laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; empleando las metodologías desarrolladas en esta unidad desde 1999.

Para los análisis físicos, se empleó de un hidrómetro se estimaron los parámetros porcentuales de arena, arcilla y limo; y la textura con el triángulo textural, para definir la clase. Igualmente, se desarrollaron métodos para los parámetros químicos pH (Potenciómetro), materia orgánica (Walkley y Black), Nitrógeno (Micro Kjeldahl), Fosforo (Tolsen modificado) y Potasio (Acetato de amonio). La interpretación de la calidad se muestra en la tabla 4, según los estándares del Laboratorio de Análisis de Suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), Facultad de Agronomía de Tingo María. Para Cadmio (ppm) se utilizó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) (MINAM, 2017), siendo 1,4; 10 y 22 ppm para Suelo Agrícola, Suelo Residencial/ Parque y Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivo respectivamente. Y

finalmente, se utilizó la escala para la Interpretación del pH de los resultados de análisis de suelos, Según Blume *et al.*, (2016).

Tabla 3. Ubicación geográfica de los puntos para muestrear suelos

ID	Sectores	Este (m)	Norte (m)
1	Alto Belén	385966	9012787
2	La Colpa	386942	9013917
3	Alto Sangapilla	378236	9012509
4	Túpac Amaru	383313	9009036
5	Cristo Rey	381773	9019870
6	Nuevo Progreso	379723	9014304
7	Puerto Alegre de Mohena	377767	9005088
8	Cerro Alegre	373876	9010450
9	Mantaro	367283	9012548
10	Bolognesi	370235	9007287
11	Alto Victoria	380240	9021675
12	Sucre	367769	9019794
13	La Victoria	379136	9017606
14	Sant. María de Magd.-Sant. Rosa	365575	9028299
15	Cotomonillo	376118	9020994
16	UTC Bambú	375923	9009315
17	La Primavera	372033	9014184
18	San Isidro de Languermack	375100	9010541
19	Encanto Salvador - Alto Corvina	375458	9002218
20	Víctor Languemack	375072	9013712
21	San Francisco	379571	9008506
22	Nuevo Copal	379596	9009942
23	Santa Isabel	372537	9022092
24	Bijao de Magdalena	372068	9016153
25	Nueva Colina	374876	9008497
26	Alto Unión S2	379145	9026159
27	Alto Montaña Verde	381952	9023042
28	Pavayacu	368761	9023086
29	Río Frio	379585	9007506
30	San Martín de Pucate	373500	9014986
31	San José de Pucate	372129	9020335
32	Nueva Aspuzana - 7 de Octubre	369797	9023678
33	Alto Yacusisa	383554	9014833
34	Chimbote Bajo	381410	9016486
35	Las Mercedes - Yacusisa	380638	9014014
36	Alto Chimbote	382358	9016744
37	Aspuzana S1	369208	9029698
38	Alto Unión S1	370050	9027220
39	La Primavera	372616	9014440
40	Santa Isabela	374696	9024957
41	Aspuzana S2	370643	9028550
42	Nuevo Horizonte	364707	8992950
43	Nueva Colina	374436	9006458
44	Alta Corvina	371583	9002325
45	Monte de los Olivos	365286	8995818

Tabla 4. Escala para la Interpretación de elementos químicos de los resultados de análisis de suelos

Elemento químico	Calidad del suelo		
	Bajo	Medio	Alto
M.O. (%)	< 2	2 - 4	> 4
N (%)	< 0,1	0,1 - 0,2	> 0,2
P (ppm)	< 7	7 - 14	> 14
K (ppm)	< 100	100 - 240	> 240

Índice de calidad ambiental del suelo en el distrito de José Crespo y Castillo

Para el cálculo del índice de calidad del suelo (ICS) se utilizó la clasificación mencionada por Marcelo, (2017), en donde se realizaron la selección de indicadores de calidad de suelo y obtención del conjunto mínimo de indicadores (CMD) mediante el análisis de componentes principales (ACP), para posteriormente aplicar la fórmula de ICS (Tabla 5). El Índice de calidad normalizada (Normalized quality index-QIN) se realizó en función de los coeficientes de puntuación, valores que se obtienen calculando la variación (%) del total de datos explicado por cada componente principal, dividiendo por el total (%) de la varianza acumulada (%) explicada de todos los componentes principales, multiplicando por los valores promedios de cada indicador que conforman el CMD.

$$\text{Índice de calidad normalizada (Q/N)=QIN= } (\sum W_i * C_s) \dots (1)$$

Donde:

W_i= Indicador seleccionado.

C_s= Coeficiente de puntuación.

Tabla 5. Niveles de ICS en sus diferentes calificaciones

Calificación	Rango de valores de ICS
Excelente	0,91 a 1,0
Muy buena	0,71 a 0,9
Buena	0,51 a 0,7
Regular	0,26 a 0,5
Deficiente	0 a 0,25

Fuente: Marcelo (2017)

Detección y cuantificación de geohelminthos en muestras ambientales

La detección y cuantificación en muestras ambientales implican la recuperación de huevos de formas parasitarias de la matriz de la muestra y la cuantificación de huevos o larvas mediante microscopía. En esta investigación se utilizó los métodos convencionales con la aplicación de técnicas de elución de la muestra, seguida de filtración, centrifugación y flotación con sulfato de Zinc, sucesivamente la extracción antes de observarlos bajo un microscopio según el Protocolo NOM-004 para la determinación de huevos de helminthos en suelos y biosólidos (Secretaría de Gobierno, 2002). En cada punto de muestreo de las calicatas, previamente se tomaron entre 10 y 50 g de suelo seco, de una capa entre 0 a 5 cm.

Resultados

Índice de calidad ambiental del suelo en el distrito de José Crespo y Castillo

En la Tabla 6 se presenta la información descriptiva de las 45 muestras de suelo, los datos procesados muestran el valor mínimo y máximo, la media y su respectiva desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos. Por otra parte, se identificaron 9 de los 16 tipos del distrito de Crespo y Castillo según la clasificación natural del suelo (Soil Taxonomy) como indicador de naturaleza cualitativa con escala nominal (3 Fluventic Eutrudepts, 5 Lithic Udorthents, 8 Typic Dystrudepts, 9 Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents, 10 Typic Dystrudepts - Typic Endoaquents, 12 Typic Endoaquents, 14 Typic Eutrudepts - Typic Eutrudepts, 15 Typic Udifluents y 16 Typic Udorthents).

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos del suelo

Parámetros	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Arena (%)	21,0000	85,0000	41,2667	14,4826
Arcilla (%)	10,0000	52,0000	28,0444	11,4375
Limo (%)	5,0000	53,0000	30,6889	10,5396
pH (1:1)	4,3300	7,9800	5,1349	0,9255
M.O. (%)	0,7100	4,2300	1,4627	0,8196
N (%)	0,0300	0,1900	0,0684	0,0361
P disponible ppm	1,1200	23,2100	7,0636	4,4236
K disponible ppm	38,9800	178,3800	74,6904	28,6813
Cd disponible ppm	0,0900	0,2100	0,1283	0,0245
CIC (meq/100g.)	4,3500	17,7700	10,8209	1,9112
Ca Cmol(+)/Kg	3,1600	15,0900	5,5669	2,6153
Mg Cmol(+)/Kg	0,5600	2,4100	1,1060	0,4646
K Cmol(+)/Kg	0,0700	0,5500	0,2691	0,0868
Na Cmol(+)/Kg	0,0900	0,5500	0,2427	0,0656
Al Cmol(+)/Kg	0,4000	7,9000	3,3874	1,7654
H Cmol(+)/Kg	0,1000	1,2000	0,3800	0,2319
ClCe (Cmol(+)/Kg)	5,3200	14,1700	9,2626	1,9298
Bas. Camb. (%)	7,9400	100,0000	69,6742	23,5046
Ac. Camb. (%)	0,0000	61,9800	28,7480	21,5698
Sat. Al (%)	0,0000	56,9900	25,7878	19,9071

La textura a su vez está muy relacionada con el pH del suelo; se ha encontrado de acuerdo a la clasificación natural de suelos (Soil Taxonomy) para Fluventic Eutrudepts de 4,81 a 6,72; Lithic Udorthents de 6,72; Typic Dystrudepts de 4,37 a 6,24; Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents de 4,33 a 5,90; Typic Dystrudepts - Typic Endoaquents de 4,45 a 7,93; Typic Endoaquents de 4,87 a 5,6; Typic Udifluents de 7,98; y Typic Udorthents de 4,51 a 6,88; como puede notarse de acuerdo a los resultados no existe una relación entre pH y clasificación natural de suelos; mientras que si existe con la clase textural; por lo que la clase textural arcilloso de 4,33 a 5,02 estando en la escala de ácido a medianamente ácido; clase textural franco de 5,14 a 7,98 de ligeramente ácido a ligeramente alcalino. Para las variantes de la textura el subgrupo Typic Dystrudepts con textura franco con pH 4,04 a 5,98, y textura franco arcillosa de 4,04 a 5,52; y subgrupo Lithic Udorthents con textura franco limosa de 6,51 a 6,6, franca a franco arcillo arenosa y arcilloso de 4,88 a 5,45.

El cadmio disponible (Cd), materia orgánica (%), nitrógeno (%), fósforo disponible (ppm) y potasio disponible (ppm) a su vez tiene una relación con el pH del suelo; se ha encontrado de acuerdo a la clasificación natural de suelos (Soil Taxonomy) para Fluventic Eutrudepts con 0,14 a 0,21ppm; Lithic Udorthents de 0,09ppm; Typic Dystrudepts de 0,11 a 0,16ppm; Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents de 0,10 a 0,16ppm; Typic Dystrudepts - Typic Endoaquents de 0,10 a 0,16ppm; Typic Endoaquents de 0,11 a 0,16ppm; Typic Udifluents de 0,18 ppm; y Typic Udorthents de 0,10 a 0,12ppm; como puede notarse de acuerdo a los resultados no existe una relación entre Cadmio disponible y clasificación natural de suelos; mientras que si existe una relación con el pH; de 4,33 a 5,02 estando en la escala de ácido a

medianamente ácido, tiene una concentración de Cd de 0,10 a 0,12ppm; y de 5,1 a 7,98 estando en la escala de ligeramente ácido a ligeramente alcalino, tiene una concentración de 0,14 a 0,18ppm.

Así también el pH de 4,33 a 5,02, tiene una concentración de materia orgánica de 0,71 a 4,23%; mientras que de 5,10 a 7,98, es de 0,78 a 3,62%. Para el nitrógeno, en pH de 4,33 a 5,02, tiene una concentración de nitrógeno de 0,03 a 0,19%; y de 5,10 a 7,98, de 0,04 a 0,16%. Para Fosforo, pH de 4,33 a 5,02, tiene una concentración de fosforo disponible de 1,12 a 23,21ppm; de 5,1 a 7,98, de 3,09 a 19,37ppm. Y pH de 4,33 a 5,02, tiene una concentración de potasio disponible de 38,98 a 152,6ppm; de 5,1 a 7,98, tiene una concentración de potasio disponible de 61,97 a 178,38ppm.

Correlación de Pearson

Como los parámetros fisicoquímicos son indicadores de naturaleza cuantitativa de escala continua, se ha determinado una matriz la correlación de Pearson, esto es con el fin de conocer la fuerza de asociación y dirección de la relación entre todos los parámetros fisicoquímicos; se puede apreciar en la tabla 7, que los parámetros nitrógeno y materia orgánica, cadmio disponible y pH, magnesio y calcio, capacidad de intercambio catiónico efectivo y aluminio, bases cambiables y pH, bases cambiables y cadmio disponible, ácidos cambiables y bases cambiables, saturación de aluminio y bases cambiables, y saturación de aluminio con ácidos cambiables tiene una relación y/o asociación alta a muy alta directa e inversa; mientras que las demás asociaciones tienen una relación baja o débil a media.

Tabla 7. Matriz de correlación de Pearson de los parámetros analizados

Parámetros	Clasificación natural de Suelos	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	pH (1:1)	M.O. (%)	N (%)	P disp. (ppm)	K disponible ppm	Cd disponible ppm	Ce Cmol(+)/Kg	Ca Cmol(+)/Kg	Mg Cmol(+)/Kg	K Cmol(+)/Kg	Na Cmol(+)/Kg	Al Cmol(+)/Kg	H Cmol(+)/Kg	Cte Cmol(+)/Kg	Bas. Camb. (%)	Ac. Camb. (%)	Sat. Al (%)
Clasificación natural de Suelos	1	0.2611	-0.0739	-0.2785	0.0367	0.0914	0.0862	-0.0224	0.2006	-0.1635	-0.1414	-0.1482	0.1241	0.0877	-0.1864	0.0491	0.1529	0.0789	-0.0207	0.0732	0.0604
Arena (%)	0.2611	1	-0.6927	-0.6224	-0.0098	-0.2386	-0.2703	0.1455	-0.1696	-0.0840	-0.1244	-0.2107	-0.1036	0.0941	-0.0923	-0.0331	-0.0249	-0.1452	-0.0577	0.0436	0.0423
Arcilla (%)	-0.0739	-0.6927	1	-0.1334	-0.3882	0.2514	0.2973	-0.3635	0.1198	-0.3536	0.1246	-0.0878	-0.2230	-0.0498	0.0848	0.0207	0.1325	0.1472	-0.2167	0.3019	0.2821
Limo (%)	-0.2785	-0.6224	-0.1334	1	0.4347	0.0489	0.1946	0.1031	0.4992	0.0358	0.3848	0.3844	-0.0754	-0.0348	0.0132	-0.1095	0.0397	0.3145	-0.3875	-0.3643	-0.3643
pH (1:1)	0.0367	-0.0098	-0.3882	0.4347	1	0.1054	0.2735	0.4088	0.8308	-0.2728	0.4239	0.6570	0.2923	-0.1884	-0.1345	-0.0598	-0.0809	0.7098	-0.7739	-0.7580	-0.7580
M.O. (%)	0.0914	-0.2386	0.2514	0.0550	0.1110	1	0.9940	0.1299	0.1220	0.3513	0.4072	0.3410	-0.2775	0.0680	0.0886	0.0924	0.1076	0.1637	-0.1161	-0.1195	-0.1195
N (%)	0.0862	-0.2703	0.2973	0.0489	0.1054	0.9940	1	-0.1206	0.0142	0.1220	0.3316	0.3867	0.3270	-0.2486	0.0462	0.0752	0.0887	0.0955	0.1594	-0.1147	-0.1194
P disp. (ppm)	-0.0224	0.1455	-0.3635	0.1946	0.2735	-0.0952	-0.1206	1	-0.1302	0.2032	0.1545	0.3134	0.3283	-0.0727	0.1781	0.2798	0.1484	0.2348	0.1206	-0.1402	-0.1244
K disponible ppm	0.2006	-0.1696	0.1198	0.1031	0.4088	-0.0353	0.0142	-0.1302	1	0.2432	-0.3874	-0.1464	0.1209	0.4675	-0.3569	-0.0851	-0.2264	-0.1670	0.2365	-0.2389	-0.2157
Cd disponible ppm	-0.1635	-0.0840	-0.3536	0.4992	0.8308	0.1299	0.1220	0.2032	0.2432	1	-0.1192	0.5058	0.6867	0.1883	-0.1239	-0.3048	-0.1904	-0.1993	0.7873	-0.8192	-0.8031
Ce Cmol(+)/Kg	-0.1414	-0.1244	0.1246	0.0358	-0.2728	0.3513	0.3316	0.1545	-0.3874	-0.1192	1	0.6728	0.3493	-0.5171	0.6575	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ca Cmol(+)/Kg	-0.1482	-0.2107	-0.0878	0.3848	0.4239	0.4072	0.3867	0.3134	-0.1464	0.5058	0.6728	1	0.8107	-0.4436	0.4408	-0.0788	-0.0203	0.0912	0.5876	-0.6029	-0.5921
Mg Cmol(+)/Kg	0.1241	-0.1036	-0.2230	0.3844	0.6570	0.3410	0.3270	0.3283	0.1209	0.6867	0.3493	0.8107	1	-0.1650	0.1657	-0.0394	0.0187	0.6388	-0.6775	-0.6631	-0.6631
K Cmol(+)/Kg	0.0877	0.0941	-0.0498	-0.0754	0.2923	-0.2775	-0.2486	-0.0727	0.4675	0.1883	-0.6171	-0.4436	-0.1650	1	-0.4404	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na Cmol(+)/Kg	-0.1864	-0.0923	0.0848	0.0348	-0.1884	0.0680	0.0462	0.1781	-0.3569	-0.1239	0.6575	0.4408	0.1657	-0.4404	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Al Cmol(+)/Kg	0.0491	-0.0331	0.0297	0.0132	-0.1345	0.0886	0.0752	0.2798	-0.0851	-0.3048	0.0000	-0.0788	-0.0394	0.0000	0.0000	1	0.5097	0.8597	-0.4756	0.6067	0.6300
H Cmol(+)/Kg	0.1529	-0.0249	0.1325	-0.1095	-0.0598	0.0924	0.0887	0.1484	-0.2264	-0.1904	0.0000	-0.0203	0.0187	0.0000	0.0000	0.5097	1	0.5637	-0.2297	0.3407	0.2730
Cte Cmol(+)/Kg	0.0789	-0.1452	0.1472	0.0397	-0.0809	0.1076	0.0955	0.2348	-0.1670	-0.1993	0.0000	0.0912	0.0907	0.0000	0.0000	0.8597	0.5637	1	-0.3171	0.4469	0.4548
Bas. Camb. (%)	-0.0207	-0.0577	-0.2167	0.3145	0.7098	0.1637	0.1594	0.1206	0.2365	0.7873	0.0000	0.5876	0.6388	0.0000	0.0000	-0.4756	-0.2297	-0.3171	1	-0.8932	-0.8916
Ac. Camb. (%)	0.0732	0.0436	0.3019	-0.3875	-0.7739	-0.1161	-0.1147	-0.1402	-0.2389	-0.8192	0.0000	-0.6029	-0.6775	0.0000	0.0000	0.6067	0.3407	0.4469	-0.8932	1	0.9950
Sat. Al (%)	0.0604	0.0423	0.2821	-0.3643	-0.7580	-0.1195	-0.1194	-0.1244	-0.2157	-0.8031	0.0000	-0.5921	-0.6631	0.0000	0.0000	0.6300	0.2730	0.4548	-0.8916	0.9950	1

Análisis de componente principal (ACP)

En la Figura 1, se puede observar que en total se ha generado 20 factores de acuerdo al análisis de componentes principales (ACP), y se ha optado utilizar solo seis factores, con el fin de evitar complejidades; estos factores seleccionados hacen una variabilidad acumulada del 82,56%, así como se puede apreciar en la Tabla 8.

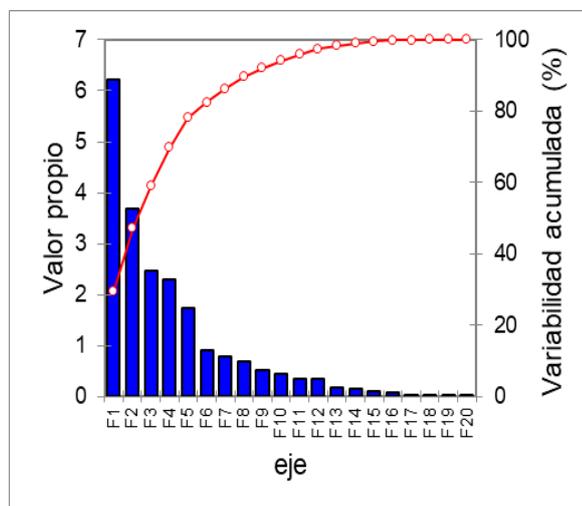


Figura 1. Análisis de los 20 factores con respecto a su valor y variabilidad acumulada



Tabla 8. Valores propios y vectores propios de F1 al F6

Valores propios						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	6,2301	3,6833	2,4589	2,2991	1,7461	0,9196
Variabilidad (%)	29,6671	17,5395	11,7091	10,9479	8,3146	4,3791
% acumulado	29,6671	47,2066	58,9156	69,8635	78,1781	82,5572
Vectores propios						
Parámetros	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Clasificación natural de Suelos (Soil Taxonomy)	0,0349	-0,0668	0,1548	0,0248	-0,4928	0,5199
Arena (%)	0,0500	-0,1905	-0,0274	-0,4260	-0,4589	-0,1547
Arcilla (%)	0,1222	0,1695	-0,0916	0,4694	0,1396	0,3253
Limo (%)	-0,2014	0,0779	0,1371	0,0759	0,4791	-0,1405
pH (1:1)	-0,3260	-0,1235	0,2745	0,0021	-0,0132	-0,0233
M.O. (%)	-0,0967	0,3165	0,0484	0,3127	-0,3479	-0,3168
N (%)	-0,0940	0,3060	0,0462	0,3464	-0,3389	-0,2921
P disponible ppm	-0,0867	0,0910	0,2465	-0,3863	0,0961	0,0840
K disponible ppm	-0,0960	-0,2368	0,1517	0,3252	-0,0101	0,3882
Cd disponible ppm	-0,3540	-0,0825	0,1335	0,0005	0,0701	-0,1698
CIC (meq/100g.)	-0,0457	0,4148	-0,2334	-0,1425	-0,0308	0,1661
Ca Cmol(+)/Kg	-0,2845	0,3246	0,0008	-0,1100	0,0127	0,1074
Mg Cmol(+)/Kg	-0,3166	0,1754	0,1786	-0,0721	-0,0986	0,2021
K Cmol(+)/Kg	0,0158	-0,3480	0,2422	0,1442	0,0319	0,0523
Na Cmol(+)/Kg	-0,0209	0,3038	-0,2280	-0,2221	0,1245	0,3252
Al Cmol(+)/Kg	0,1869	0,1875	0,4600	-0,0799	0,0642	-0,0628
H Cmol(+)/Kg	0,1167	0,1599	0,3551	-0,0516	-0,0702	0,0779
CiCe (Cmol+)/Kg	0,1358	0,2176	0,4699	-0,0433	0,0786	0,0306
Bas. Camb. (%)	-0,3595	-0,0480	-0,0169	0,0187	-0,0557	0,0728
Ac. Camb. (%)	0,3860	0,0795	0,0720	0,0096	0,0195	-0,0305
Sat. Al (%)	0,3809	0,0771	0,0759	0,0054	0,0342	-0,0400

Nivel de relación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados por los factores F1 y F2

En la Figura 2a se observa el nivel de relación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados en los factores F1 y F2 con 47,21% de variabilidad acumulada, donde se puede apreciar que el porcentaje de saturación de aluminio tiene una relación directa con el porcentaje de ácidos cambiabes, a la vez estos dos parámetros tienen una relación inversa con el cadmio disponible, porcentaje de bases cambiabes y pH, así como una relación directa entre estos tres parámetros.

En la Figura 2b se observa el nivel de relación de los puntos de muestreo (45 muestras de suelo del punto 28 al 63) y parámetros fisicoquímicos seleccionados por los factores F1 y F2; los puntos de muestreo u observaciones, son los sectores del distrito de José Crespo Castillo; por lo que puede apreciarse que los sectores 33 (Sucre), 51 (San Martín de Pucate), 53 (Nueva Aspuzana - 7 de Octubre), 41 (Víctor Languemack), 27 (Nuevo Progreso) y 28 (Puerto Alegre de Mohena) guardan una relación de media a alta y directa con los parámetros cadmio disponible, Mg, pH, % bases cambiabes.

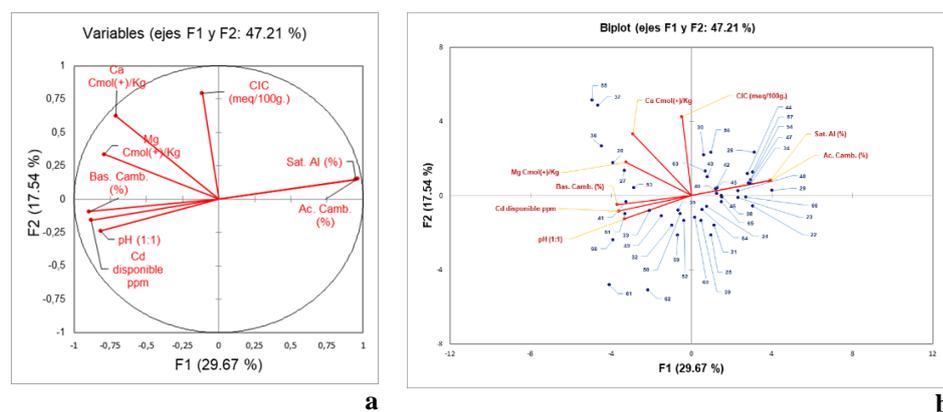


Figura 2. Nivel de relación (a) y distribución espacial de los sectores y parámetros fisicoquímicos (b) seleccionados por los factores F1 y F2

Índice de calidad ambiental del suelo

En la tabla 9 se observa el valor del índice de calidad ambiental del suelo, siendo este de 41,48. Tomando en cuenta los rangos de índice de calidad de suelo definidos por Marcelo, (2017) reflejados en la tabla 5, y según los resultados obtenidos en la presente investigación, El ICS se encuentra en la calificación de Regular; una posible interpretación de acuerdo a los resultados, podría ser entonces que los proyectos productivos y/o ambientales

(recuperación de suelos degradados, instalación de especies forestales, agroforestales, etc.) pueden no estar teniendo éxitos en los diferentes sistemas de producción de las plantaciones de la población.

Tabla 9. Índice de calidad ambiental del suelo de José Crespo Castillo

Factores	Indicador seleccionado	Coficiente de puntuación	Media del Parámetro	Wi*Cs	QIN
F1	pH (1:1)	0,359	5,135	1,845	41,48
	Cd disponible ppm		0,128	0,046	
	Ca Cmol(+)/Kg		5,567	2,000	
	Mg Cmol(+)/Kg		1,106	0,397	
	Sat. Al (%)		25,788	9,267	
	M.O. (%)		1,463	0,311	
F2	N (%)	0,212	0,068	0,015	
	CIC (meq/100g.)		10,821	2,299	
	K Cmol(+)/Kg		0,269	0,057	
	Na Cmol(+)/Kg		0,243	0,052	
	Al Cmol(+)/Kg		3,387	0,480	
F3	H Cmol(+)/Kg	0,142	0,380	0,054	
	CiCe (Cmol+)/Kg)		9,263	1,314	
	Arena (%)		41,267	5,472	
F4	Arcilla (%)	0,133	28,044	3,719	
	P disponible ppm		7,064	0,937	
F5	K disponible ppm	0,101	74,690	9,905	
	Limo (%)		30,689	3,091	
F6	Clasificación natural de Suelos (Soil Taxonomy)	0,053	4,133	0,219	

Detección y cuantificación de geohelminthos en muestras ambientales

En la figura 3, se muestra la frecuencia de ocurrencia de los geohelminthos, podemos observar *Ascaris lumbricoides* es la especie más abundante encontrada en 25 de las calicatas de las 45 muestreadas (55,56%), presente en los 8 tipos de suelos catalogados. En segundo orden, están la uncinarias representadas por *Necator americano* y *Ancylostoma duodenale* en 14 calicatas (31,11%) de pH ligeramente a medianamente ácido, y los menos encontrados géneros de *Taenias* y *Capilaria*, ambos en el 8,29%. Y en la tabla 10, se aprecia la presencia de formas parasitarias de distintas especies de helmintos en los 9 tipos de suelos, es decir, que la superficie muestrear está expuesta a estos patógenos y pueden lograr sobrevivir.

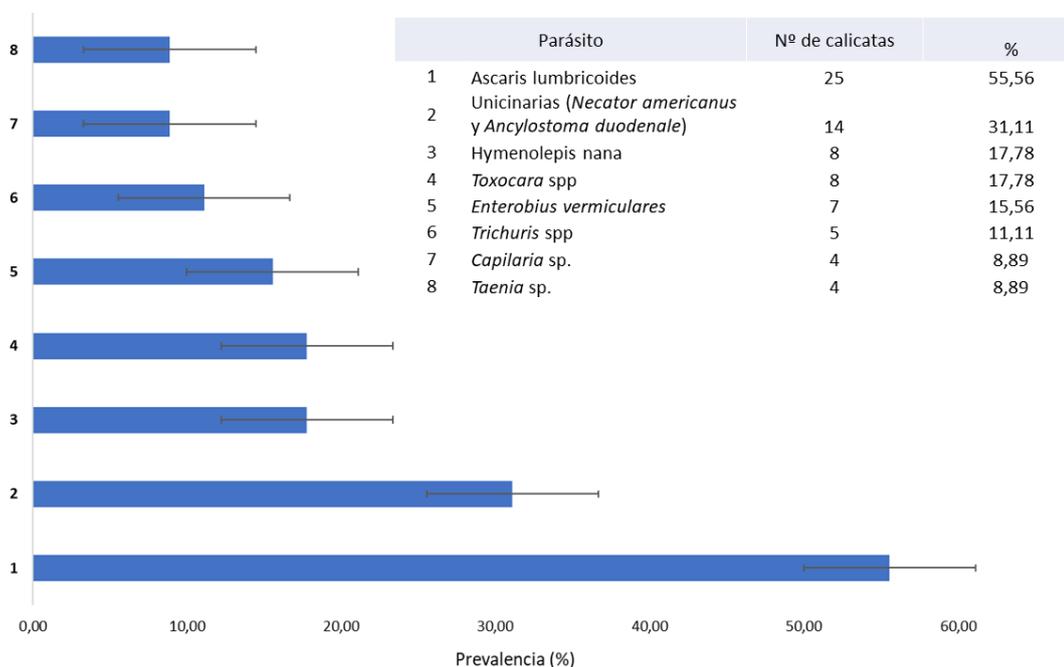


Figura 3. Prevalencia de geohelminthos en muestras de suelo de distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco

En referencia a la cuantificación de número total de huevos de helminto por 4 gramo de peso fresco o seco (Suelo) tuvo una concentración menor a 0,4 excepto en los sectores Sucre, San Martín de Pucate, Nueva Aspuzana - 7 de octubre y Puerto Alegre de Mohena que fue inferior a 0,2. No obstante. Se infiere el riesgo de infección al humano, porque en la totalidad de la superficie muestrear se identificaron huevos viables, cuya concentración fue de 0,1 de huevos viables de helminto por 4 g de peso fresco de suelo, al compararlo con las normas y directrices internacionales de la OMS de 2006 y 2018.

Tabla 10. Presencia de geohelminths según tipo de suelo de distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco

Tipo de suelo	Nº	Parásito							
		<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Toxocara</i> spp.	<i>Trichuris</i> spp.	<i>Tenia</i> sp.	Unicinarias	<i>Hymenolepis nana</i>	<i>Enterobius vermiculares</i>	<i>Capilaria</i> sp.
3 Fluventic Eutrudepts	5	2				2	1	1	
5 Lithic Udorthents	4	2	2		1		1	2	
8 Typic Dystrudepts	3			1		3	2		1
9 Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents	5	4	4	1	1	2		2	
10 Typic Dystrudepts - Typic Endoaquents	4	2				1	2	1	1
12 Typic Endoaquents	2	2			1	2		1	
14 Typic Eutrudepts - Typic Eutrudepts	7	4	1	2	1	4			2
15 Typic Udifluvents	9	5		1					
16 Typic Udorthents	6	4	1						
	45	25	8	5	4	14	8	7	4

Discusión

Cada vez con mayor frecuencia la calidad del suelo y sus repercusiones en el ecosistema se afectan por los problemas de contaminación ligados a la presencia de metales pesados como el Cadmio, donde las características físico-químicas del suelo, el contenido de materia orgánica, el contenido de arcilla y el pH, juegan un papel preponderante en la solubilidad y por tanto en la biodisponibilidad de tóxicos (Lacarta *et al.*, 2012). Igualmente, el contenido de metales pesados y la capacidad de retención, debido a la alteración de la composición química y condicionando su estructura física del suelo, es provocada por los microorganismos y la macrofauna, que intervienen en las reacciones que tienen lugar en la matriz del suelo alterando de forma directa.

Hace dos décadas, Astier-Calderón *et al.*, (2002) señalan que la calidad del suelo y sus parámetros de referencia configuran el concepto de funcionalidad del ecosistema, por la integración interconexión de los componentes y procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo, en una situación determinada. De esta manera emerge la perspectiva ecológica, que refleja la capacidad específica del suelo para sostener o mejorar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat. Así Samboni Ruiz *et al.*, (2007) ratifican que los índices de calidad son básicamente una representación de los parámetros físicoquímicos y biológicos, que a su vez permiten valorar los recursos naturales, estos pueden representarse en rangos, formas, etc.

En la zona de estudio se ha encontrado los perfiles modales de acuerdo a la clasificación natural de suelos (ZEE-GRH, 2017) para Fluventic Eutrudepts con clase textural franco y sus variantes; Lithic Udorthents con clase textural arcillosa; Typic Dystrudepts con clase textural franco y sus variantes; Typic Dystrudepts – Lithic Udorthents con clase textural arcilloso y sus variantes a excepción del sector Túpac Amaru, La Colpa y Alta Victoria con clase textural franco y sus variantes; Typic Dystrudepts - Typic Endoaquents con clase textural franco y sus variantes a excepción el sector Alto Sangapilla con clase textural arcilloso; Typic Endoaquents con clase textural franco y sus variantes; Typic Udifluvents con clase textural franco; y Typic Udorthents con su clase textural arcilloso para el sector Nuevo Horizonte y clase textural franco arenoso para el sector Bolognesi; como puede notarse de acuerdo a los resultados hay algunos sectores que no guardan relación con la clasificación natural de suelos (aproximadamente el 10% de los sectores). No obstante, esta fracción se caracteriza como subgrupo Typic Dystrudepts con textura franco y con presencia de fragmentos rocosos (gravas medias) en un 5% a 10%, y textura franco arcillosa; y subgrupo Lithic Udorthents con textura franco limosa, franca a franco arcillo arenosa y arcilloso, por lo que corrobora con los resultados obtenidos, como lo reportan MINAM, (2015) y Valenzuela *et al.*, (2021).

Aun cuando los perfiles modales no arrojaron relación entre pH y clasificación natural de suelos; si existe con la clase textural, es decir, con el tamaño de las partículas que forman el suelo en concordancia a los reportes de Eteva *et al.*, (2016); a su vez está muy relacionada con la capacidad de intercambio catiónico e intercambio catiónico efectivo del suelo; se ha encontrado de acuerdo a la clasificación natural de suelos (ZEE-GRH, 2017). Al respecto, Dicta, (2016) menciona que los factores de más importancia que causa acidez en los suelos, es la alta precipitación, así como ocurre en el distrito ya que el lugar tiene precipitación anual mayores de 3,000 mm, donde el peso de una capa de agua dejada por una precipitación fuerte, hace este que infiltre o percole el suelo hasta los estratos profundos con el fin de, sedimentar en algún acuífero subterráneo; esta capa de agua lleva consigo micro y macronutrientes, especialmente nutrientes catiónicos como el calcio, magnesio y potasio; y estos son ocupados por hidrógeno (que también tiene carga positiva, H+) en los espacios dejados por los nutrientes, posiblemente provienen directamente de la reacción química o la del agua, y esta se dan en el interior del suelo; entonces este hidrógeno que queda, lentamente vuelve al suelo ácido, y también sucede que cuando hay bastante hidrógeno, algunos de ellos entran a la parte sólida de las arcillas, a su estructura, donde desalojan y cambian al aluminio, componente estructural de las arcillas, es por ello que los suelos encontrados en la mayoría de los sectores del distrito son de clase textural arcilloso y sus variantes.

Al final, todo este concentrado de aluminio reemplazado, se junta con el agua del suelo, y esta es absorbido por la vegetación, mientras que la otra parte se juntan a los espacios con carga negativa de los coloides (el aluminio tiene carga positiva, Al^{+3}), dejados por los nutrientes catiónicos lavados por el agua; de acuerdo a los resultados se ha observado que estos procesos probablemente ocurren a partir de 30 a 40 cm de profundidad, por lo general se dan en los subgrupos: Lithic Udorthents, Typic Dystrudepts, Typic Dystrudepts - Lithic Udorthents, Typic Dystrudepts – Typic Endoaquents, Typic Endoaquents y Typic Udorthents.

Así mismo Dicta, (2016) indica que la descomposición de la materia orgánica es por los organismos que están en los suelos; realmente, la materia orgánica es el alimento de los microorganismos y este proceso metabólico hacen que degraden la materia orgánica hasta tener componentes primarios, los cuales pasan directamente al agua del suelo para ser utilizados nuevamente por la vegetación, y también algunos quedan fijados por un corto periodo, para formar parte de sus cuerpos para luego, cuando mueren, pasar al suelo; de acuerdo a los resultados todos los sectores del distrito presentaron materia orgánica menores al 2%, esto es porque las muestras fueron obtenidas de suelo desnudos y/o degradadas, excavales y suelos agrícolas, por lo general estos suelos tienen poca vegetación, entonces no teniendo los microorganismos alimentos, estas se ven limitadas en el proceso de descomposición.

Desde la teoría de Hewitt del año 2004, que ratificó que la productividad del suelo está influenciada por características del subsuelo, García *et al.*, (2012) y García, (2014) recomienda desarrollar la productividad en el sistema sin perder las propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible) del suelo, disminuir el uso de los contaminantes ambientales y los patógenos que se encuentran dentro del medio ambiente, y favorecer la salud de la vegetación, los animales y los humanos; para el desarrollo eficiente de este concepto se tiene que tener en cuenta que el suelo es el sustrato básico para las plantas; este capta, retiene y emite agua, y es, además, un filtro ambiental efectivo.

Sánchez *et al.* (2015), indica que el índice de calidad de suelo normalizado es capaz de reflejar relativamente la calidad de los suelos, ya que incluye parámetros físicos, químicos y biológicos, además es estadísticamente confiable, uno de los factores limitantes son los tipos de suelos, ya que estos pueden estar relacionados a las diferentes funciones de esta. Es por ello que cuando se procesaron los datos incluyendo la clasificación natural del suelo (Soil Taxonomy) de los 9 tipos catalogados, no reflejaron ninguna fuerza de asociación con los parámetros fisicoquímicos del suelo; esto último debido a la heterogeneidad y la degradación del suelo, como lo reporta por Vasú *et al.*, (2016) para los diferentes estratos.

Además, Barrezueta *et al.*, (2017) menciona que el análisis de componentes principales (ACP) conforma un conjunto mínimo de datos, que representa las condiciones de los parámetros en factores; de acuerdo a los resultados el índice de calidad ambiental del suelo (ICS) no reflejó diferencias significativas estadísticamente, y se trabajó normalmente con seis factores presentando una variabilidad del F1 de 29.7%, F2 de 17.5%, F3 de 11.7%, F4 de 10.9%, F5 de 8.3% y F6 de 4.4%, brindando este un nivel de confianza aceptable para posteriores interpretaciones. Así mismo Qi *et al.*, (2009) menciona que el índice de calidad ambiental del suelo estandarizado es un producto de indicadores de suelo seleccionadas y garantiza la selección de parámetros más apropiadas, que tienen influencia dominante en funciones de la calidad del suelo. En el análisis de componentes principales, los vectores propios, así como las cargas factoriales eran aceptables hasta el factor seis, ya que realizaron una adecuada selección de los parámetros fisicoquímicos, considerando el nivel de correlación entre ellos; entonces de acuerdo a los resultados se han obtenido para el F1 siete parámetros fisicoquímicos (pH, Cd disponible, Ca, Mg, % de bases cambiables, % de ácidos cambiables y % de saturación de aluminio), F2 cinco parámetros fisicoquímicos (materia orgánica, N, CIC, K y Na), F3 tres parámetros fisicoquímicos (Al, H y capacidad de intercambio catiónico efectivo), F4 cuatro parámetros fisicoquímicos (% de arena, % de arcilla, P disponible y K disponible), F5 un parámetro físico (% de limo) y F6 un parámetro físico (clasificación natural de suelos). No obstante, no se observó asociación significativa de los minerales con la presencia de geohelminths, aun cuando es conocido que metales pesados como el Cadmio son ecotóxicos y disminuyen la calidad del suelo y sus compuestos pueden moverse a través del suelo, pero su movilidad depende de varios factores tales como el pH y la cantidad de materia orgánica, los que varían según el ambiente local. Generalmente, el cadmio se adhiere fuertemente a la materia orgánica en la cual permanece inmóvil en el suelo y puede ser incorporado por plantas, entrando así a la cadena alimentaria (ATSDR, 1999).

La presencia de *A. lumbricoides*, *N. americano* y *A. duodenale* en suelo de pH ligeramente a medianamente ácido, es similar a lo señalado por Eteva *et al.*, (2016) asociando principalmente *Toxocara* spp. y protozoos especialmente quistes de *Balantidium coli*, sin embargo, el pH registro un rango de 4,32 a 7,93 que clasificando los suelos desde moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos no arroja efecto sobre la fauna de nematodos de riesgo de salud pública, concordando con Castilla-Díaz *et al.*, (2017) esta variación del pH (5,0 hasta 7,6), no tiene efecto sobre las poblaciones de nematodos fitoparásitos por ende no hay inferencia alguna sobre esta propiedad del suelo frente a la diversidad de nematodos identificados.

En este estudio no se encontró asociación significativa con la clase textural, estando presentes huevos de helmintos al menos 4 especies, excepto en el tipo Typic Udorthents, lo cual es opuesto a lo señalado por estos autores, quienes señalan una diferencia por la textura o los componentes del suelo deben proporcionar un tipo de suelo abierto y ligero para los anquilostomas, promoviendo la eclosión de los huevos y el desarrollo de las larvas, mientras que *Ascaris*, *Trichuris* y *Toxocara* exigen suelos coloidales pesados, ya que el suelo está compuesto principalmente por arena. no

retiene bien el agua y, por lo tanto, es letal para los huevos de *Toxocara*. Además como lo señalan Amoah *et al.*, (2017) el tipo y la textura del suelo es un factor importante que influyen en la recuperación de los huevos de helmintos del suelo.

Aun cuando no hay asociación directa con la textura del suelo, es directamente proporcional entre humedad, pH y componente orgánico, estos hallazgos como lo citan Crompton, (2001), Eteya *et al.*, (2016) y Yaro *et al.*, (2021) para el desarrollo de los huevos en el suelo depende de una serie de factores que incluyen la temperatura (desarrollo óptimo entre 20 y 30 °C) y sombra y humedad adecuadas. Además, para Eteya *et al.*, (2016) la humedad del suelo favoreció la supervivencia de los anquilostomas, las larvas permanecen inactivas en las películas de humedad hasta que entran en contacto con un huésped adecuado; y las larvas tienen la capacidad migratoria en respuesta a las condiciones cambiantes de humedad del suelo (higrotropismo). Y para Campos *et al.*, (2016) el género *Ascaris* es el indicador más adecuado para la inactivación y la eliminación de parásitos en el lodo y las aguas residuales, ya que sus huevos pueden permanecer en los suelos por períodos de hasta siete años bajo condiciones ambientales adversas y conservan su viabilidad durante meses, siendo más numerosos en el suelo de las zonas rurales, especialmente en las estaciones de primavera y verano, principalmente en la contaminación de las orillas de los canales por geohelmintos.

Actualmente 4 especies de helmintos son comunes en las infecciones al humano por medio del contacto con el suelo, estas son la Ascáride (*Á. lumbricoides*), el Tricocéfalo (*T. trichiura*) y el Anquilostoma (*N. americanus* y *A. duodenale*) pudiendo sobrevivir en el suelo cálido y húmedo de los países tropicales y subtropicales; como se demostró en este estudio en diferentes tipos de suelo del distrito de José Crespo y Castillo en Huánuco. Asimismo, lo reporta Melo *et al.*, (2018) y Leta *et al.*, (2020) estos últimos durante el mapeo nacional de geohelmintiasis y esquistosomas en Etiopía incrimina a estas 4 especies de helmintos transmitidos por el suelo como los más prevalentes; mientras Yaro *et al.*, (2021) en el este de Nigeria, atribuye es comportamiento de este grupo de parásitos, a la influencia significativa ejercida de 5 factores en la distribución geoespacial de huevos de geohelmintos con 5 factores principalmente, como lo son la Temperatura (rango de temperatura media diurna, rango de temperatura anual y temperatura máxima del mes más cálido, precipitación (precipitación del trimestre más húmedo) y contenido de arcilla del suelo. De allí que los helmintos transmitidos por el suelo son principalmente un grupo de nematodos parásitos que causan infección en humanos a través del contacto con sus huevos o larvas, principalmente en verano (Melo *et al.*, 2020).

Para Amoah *et al.*, (2017) la helmintiasis siempre ha sido problema de salud global, actualmente se estima que alrededor de 1.5 millones de personas están infectadas por helmintos, con una estimación de infección del 24% de la población mundial, debido que posee huevos fecundados proveniente de heces de personas infectadas con helmintos gastrointestinales, gran distribución a nivel mundial, tanto en zonas tropicales como subtropicales, teniendo mayor incidencia en el África subsahariana, América, China y Asia oriental. En América, la helmintiasis está presente en toda la región y se estima que una de cada tres personas está infectada por helmintos.

Para Keraita & Amoah, (2011) y Stolk *et al.*, (2016) las infecciones por geohelmintos son causadas principalmente por la exposición a agua, suelo o alimentos contaminados con heces (Se informa que la reutilización de aguas residuales y lodos contribuye significativamente al alto riesgo de infecciones. Los resultados de este estudio muestran que, si bien el índice de contaminación ambiental por parásitos de interés para la salud pública fue moderado, aún existe riesgo de infección en las áreas evaluadas. Y aunque el conteo de huevos fu bajo, los consumidores de productos agrícolas también están en riesgo de infección.

Finalmente, se puede concluir que los geohelmintos de riesgo de salud pública, pueden permanecer por largos periodos de tiempo en el rango de pH y calidad de suelo, siendo favorecidos por los mayores niveles de sustratos orgánicos; condiciones favorecidas por la actividad antrópica. El uso de aguas residuales entre los agricultores (Amoah *et al.*, 2017; OMS, 2022) fundamentalmente en cultivos de consumo crudo. Por otra parte, el organismo mundial de salud, nos exhorta al cumplimiento de las buenas prácticas de higiene, como el lavado de manos y aseo personal son medidas que previenen la infección. Además, en los lugares de riesgo, el uso de calzado es importante para que los niños no se infecten por la tierra contaminada.

Conflicto de intereses

No reportado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al equipo de trabajo.

Referencias

Amoah, I. D., Singh, G., Stenström, T. A., & Reddy, P. (2017). Detection and quantification of soil-transmitted helminths in environmental samples: A review of current state-of-the-art and future perspectives. *Acta tropica*, 169, 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.02.014>

- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., & Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-620. Disponible en: <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/download/214/214> (Acceso mayo 2021).
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R. F., Gutiérrez, C. (2004). La Calidad del Suelo y sus Indicadores. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, Ecosistemas*, 13(2), 90-97. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572> (Acceso abril 2021).
- Barrezueta, S. A., Paz, A., & Chabla, C. (2017). Determinación de Indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro-Ecuador. *Cumbres*, 3(1), 17-24. Disponible en: <http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/view/52> (Acceso mayo 2021).
- Blume, H.-P., Brümmner, G.W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M. (2016). *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*. Editor Springer. 1era edición. Nueva York, Estados Unid. 618P.
- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *ORINOQUIA*, 22(2), 141-157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Campos, M.C., Beltrán, M., Fuente, N. & Moreno, G. (2018). Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos. *Biomedica* 38(1), 42-43. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352>
- Castilla-Díaz, E., Millán-Romero, E., Mercado-Ordóñez, J., Millán-Páramo, C. (2017). Relación de parámetros edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nematodos de vida libre. *Tecnología en Marcha*. 30(3), 24-34. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i3.3270>
- DICTA. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras. Tegucigalpa, Honduras. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Disponible en: <https://repositorio.ica.int/handle/11324/3108> (Acceso marzo 2021).
- Etewa, S. E., Abdel-Rahman, S. A., Abd El-Aal, N. F., Fathy, G. M., El-Shafey, M. A., & Ewis, A. M. (2016). Geohelminths distribution as affected by soil properties, physicochemical factors and climate in Sharkyia governorate Egypt. *Journal of parasitic diseases: official organ of the Indian Society for Parasitology*, 40(2), 496–504. <https://doi.org/10.1007/s12639-014-0532-5>
- García, L. (2014). Determinación de la influencia del abono orgánico (tropimax) en las propiedades del suelo y en el crecimiento del pino chuncho (*Schizolobium amazonicum*). [Tesis de titulación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001 (Acceso marzo 2021).
- Keraita, B. & Amoah, P. (2011). Fecal Exposure Pathways in Accra: A Literature Review with Specific Focus on IWMI's Work on Wastewater Irrigated Agriculture (IWMI). Literature Review Report submitted to the Centre for Global Safe Water, Emory University. Disponible en: <https://publications.iwmi.org/pdf/h044338.pdf> (Acceso abril 2021).
- Lacarta, J., Navarro, E., Jiménez, J., & Muñoz, S. (2012). Respuesta fisiológica de la comunidad bacteriana en suelos contaminados por cadmio y el papel de la lombriz (*A. caliginosa*) como posible biorremediador. Tesis, Universidad de Zaragoza. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Disponible en: <https://invenio2.unizar.es/record/8043/files/TAZ-TFM-2012-156.pdf> (Acceso mayo 2021).
- Leon, I. F., Strothmann, A. L., Islabão, C. L., Jeske, S., & Villela, M. M. (2020). Geohelminths in the soil of the Laguna dos Patos in Rio Grande do Sul state, Brazil. *Brazilian journal of biology = Revista brasileira de biologia*, 80(4), 839–843. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.222590>
- Leta, G. T., Mekete, K., Wuletaw, Y., Gebretsadik, A., Sime, H., Mekasha, S., Woyessa, A., Shafi, O., Vercruyssen, J., Grimes, J., Gardiner, I., French, M., Levecke, B., Drake, L., Harrison, W., & Fenwick, A. (2020). National mapping of soil-transmitted helminth and schistosome infections in Ethiopia. *Parasites & vectors*, 13(1), 437. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04317-6>
- Mara, D., & Sleight, A. (2010). Estimation of Ascaris infection risks in children under 15 from the consumption of wastewater-irrigated carrots. *Journal of Water and Health*, 8(1), 35-38. <https://doi.org/10.2166/wh.2009.136>
- Mello, C., Nizoli, L. Q., Ferraz, A., Chagas, B. C., Azario, W., & Villela, M. M. (2020). Helminth eggs with zoonotic potential in the vicinity of public schools in southern Brazil. *Revista brasileira de parasitologia veterinaria =*

- Brazilian journal of veterinary parasitology: Orgao Oficial do Colegio Brasileiro de Parasitologia Veterinaria, 29(1), e016419. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612019102>
- Municipalidad Distrital de José Crespo y Castillo, MDJCC. (2017). Geografía de José Crespo y Castillo. Disponible en: <http://muniaucayacu.gob.pe/index.php/municipalidad/acerca-de-nosotros/geografia> (Acceso abril 2021).
- Ministerio de Ambiente del Perú, MINAM. (2015). Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto “Mejoras a la Seguridad Energética del País y Desarrollo del Gasoducto Sur Peruano - Componentes Auxiliares”- Suelo. WALSH. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20-%20hidrocarburos/EIA/MODI-%20EIA-2015/5.1.1.5%20Suelos.pdf> (Acceso mayo 2021).
- Ministerio de Ambiente del Perú, MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0> (Acceso mayo 2021).
- Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., López Blanco, J., & Rodríguez Gamino, M. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. ContactoS, 80, 29-37. Disponible en: <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf> (Acceso abril 2021).
- OMS. (2006). Quimioterapia preventiva para las helmintiasis humanas. Disponible en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2011/Helmintiasis-WHO-quimioterapia-Manual-PCT-OMS-Spa.pdf> (Acceso abril 2021).
- OMS. (2015). Investing to overcome the global impact of neglected tropical diseases: third WHO report on neglected tropical diseases 2015 (Vol. 3). World Health Organization. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/152781> (Acceso abril 2021).
- OMS. (2018). Directrices: Quimioterapia preventiva para controlar las geohelmintiasis en grupos de población en riesgo. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/49073> (Acceso abril 2021).
- OMS. (2022). Geohelmintiasis. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/geohelmintiasis> (Acceso abril 2021).
- Pullan, R. L., Smith, J. L., Jarasaria, R., & Brooker, S. J. (2014). Global numbers of infection and disease burden of soil transmitted helminth infections in 2010. Parasites & vectors, 7(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-37>
- Rodríguez Vega, J. L., Rioja Su, E. F., Reyes Farje, F., & Zamora Romero, P. (2017). Calidad de suelos para la agricultura en los distritos de Luya Viejo, Conila, Cohechan, San Cristobal del Olto de la provincia de Luya. TZHOECOEN, 9(2). <https://doi.org/10.26495/rtzh179.222620>
- Salazar Martínez, A. E., & De Luca, L. (2015). Micro y Mesobiota en suelos con manejo agroecológico y convencional. In V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA, La Plata. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52500> (Acceso abril 2021).
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e investigación, 27(3), 172-181. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0120-56092007000300019 (Acceso mayo 2021).
- Sánchez-Moreno, S., & Talavera, M. (2013). Los nematodos como indicadores ambientales en agroecosistemas. Ecosistemas, 22(1), 50-55. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/765/693> (Acceso abril 2021).
- Sánchez, A., Gil, J., Delgado, M., Marín, P., Blanco, A., Ortiz, R. (2015). El Sevier (CATENA). Mauricia, España. 131, 35-45. Disponible en: <https://www.journals.elsevier.com/catena> (Acceso abril 2021).
- Secretaría de Gobierno. (2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario Oficial, 18-60. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0 (Acceso abril 2021).
- Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ATSDR. (1999). Resumen de Salud Pública Cadmio CAS#: 1306-19-0. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.pdf https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.pdf (Acceso abril 2021).
- Stolk, W.A., Kulik, M.C., le Rutte, E.A., Jacobson, J., Richardus, J.H., de Vlas, S.J. & Houweling, T.A.J. (2016) Desigualdades entre países en la carga de enfermedades tropicales desatendidas en 1990 y 2010, con proyecciones para 2020. PLOS Neglected Tropical Diseases, 10(5): e0004560. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004560>

- Strunz, E. C., Addiss, D. G., Stocks, M. E., Ogden, S., Utzinger, J., & Freeman, M. C. (2014). Water, sanitation, hygiene, and soil-transmitted helminth infection: a systematic review and meta-analysis. *PLoS medicine*, 11(3), e1001620. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001620>
- Valenzuela, I., Galindo, L., Mantilla, D., Moncada, D. S., Orjuela, E., Romano, K., & Rincón, J. (2021). Técnicas de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con fines de uso en el municipio de tiburú, norte de santander. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1), 107-118. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8234914> (Acceso mayo 2021).
- Vasú, D., Kumar, S., Kuma, S., Duraisami, V., Tiwary, P., Nimkar, A., Anantwar, S. (2016). Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid. *Geoderma. Deccan plateau, India. Geoderma*, 282 (1), 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.010>
- Yaro, C. A., Kogi, E., Luka, S. A., Nassan, M. A., Kabir, J., Opara, K. N., Hetta, H. F., & Batiha, G. E. (2021). Edaphic and climatic factors influence on the distribution of soil transmitted helminths in Kogi East, Nigeria. *Scientific reports*, 11(1), 8490. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88020-1>
- ZEE-GRH. (2017). Meso zonificación ecológica y económica de las provincias de Huánuco. Marañón, Pachitea, Leoncio Prado y Puerto Inca del departamento de Huánuco. Oficio N°077-2017-MINAM/DVMDERN/DGOT