



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Evaluación de la distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Gonzales Valle, Sendy

ASESORA:

Mg. Sc. Suárez Alvites Haydeé

LINEA DE INVESTIGACIÓN

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

LIMA- PERÚ

2017-II

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don
(a)..... *Sandy Gonzalez Valle*

cuyo título es:

*Evaluación de la distribución del cadmio en
el suelo y en la raíz de la planta de cacao en
Pucayacu, Huancayo, 2017*

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por
el estudiante, otorgándole el calificativo de: *18*. (número)
Dieciocho(letras).

Los Olivos..... *18* de *enero* del 201*8*.. .

[Signature]
.....
PRESIDENTE

[Signature]
.....
SECRETARIO



[Signature]
.....
VOCAL

Representante de la Dirección /

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres que siempre fueron el principal motor para la construcción de mi vida profesional, que fomentaron en mí el espíritu de lucha para lograr mis ideales, bajo valores de la responsabilidad y perseverancia, también lo dedico a mis hermanas, familiares, amigos y personas especiales en mi vida que cada día me brindan su apoyo para alcanzar el final del camino para emprenderme en la vida profesional.

Gracias a Dios por su infinito amor y atención, ya que en momentos que piensas que ya no hay esperanza me ilumina con un rayito de luz.

Sendy Gonzales Valle

Agradecimiento

Este trabajo se hizo realidad gracias a muchas personas que me apoyaron incondicionalmente, con las cuales trabajamos como una sola fuerza. Primero gracias a mis tíos, a mis padres, hermanas, sobrinas, primos y una persona especial en mi vida, los cuales me apoyaron en la travesía para el desarrollo de mi tesis, permitiendo lograr un sueño que anhelaba de niña. Segundo a mi asesora la Ing. Haydeé Suárez Alvites, quien me impartió todo los conocimientos necesarios para la realización de este proyecto, así como su motivación para no rendirme a pesar de los obstáculos que se presentaron; y para finalizar gracias al apoyo de mis amigos.

Muchas gracias y siempre los guardare en mi corazón.

Sendy Gonzales Valle

Declaratoria de autenticidad

Yo Sendy Gonzales Valle con DNI N° 45537438, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideras en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 18 de enero del 2018



Sendy Gonzales Valle

Presentación

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis “**Evaluación de la distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017**”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de **Ingeniera Ambiental**.

La autora

Sendy Gonzales Valle

Índice

Página del jurado	¡Error! Marcador no definido.
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Declaratoria de autenticidad.....	iv
Presentación	vi
Resumen.....	xiii
Abstract	xiv
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Realidad problemática	17
1.2 Trabajos previos.....	18
1.3 Teorías relacionadas al tema	26
1.3.1 Perfil del suelo.....	26
1.3.2 Suelos contaminados.....	27
1.3.3 Metales pesados	28
1.3.3.1 Los metales pesados y su efecto contaminante	28
1.3.3.2 Efectos de los metales pesados a la salud.....	29
1.3.3.3 Efecto de los metales pesados al ambiente	29
1.3.3.4 Movilización de los metales pesados en el suelo	30
1.3.3.5 Absorción y translocación de metales pesados en las plantas.....	32
1.3.4 Cadmio.....	33
1.3.4.1 Características.....	33
1.3.4.2 Origen del cadmio	34
1.3.4.3 Efectos del cadmio a la salud	35
1.3.4.4 Cadmio en los suelos	36
1.3.4.5 Movilidad del cadmio en las plantas	42
1.3.4.6 Espectrometría de absorción atómica en muestras de suelo con cadmio	43
1.3.5 Cacao (Theobroma cacao L.).....	46
1.3.6 Normativa para el cadmio total en el suelo y en las plantas terrestres	48

1.4	Formulación del problema.....	50
1.4.1	Problema general	50
1.4.2	Problemas específicos	50
1.5	Justificación.....	51
1.6	Hipótesis	52
1.7	Objetivos	52
1.7.1	Objetivo general	52
1.7.2	Objetivos específicos.....	53
2.	METODOLOGÍA.....	53
2.1	Diseño de investigación	53
2.1.1	De acuerdo al fin que se persigue:	53
2.1.2	De acuerdo al tipo y nivel de conocimiento que se obtiene	53
2.1.3	De acuerdo al tipo de diseño metodológico	54
2.2	Variables, operacionalización.....	55
2.3	Población y muestra.....	57
2.3.1	Población	57
2.3.2	Muestra	57
2.3.3	Unidad de Análisis	57
2.3.4	Muestreo.....	57
2.4	Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	58
2.4.1	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	58
2.4.2	Determinación de la forma de distribución del cadmio en el perfil del suelo y en la raíz de la planta de cacao en zonas con cadmio, Pucayacu-Huánuco	59
2.4.3	Validación de los instrumentos	75
2.5	Métodos de análisis de datos.....	76
2.6	Aspecto éticos.....	76
3.	RESULTADOS	77

3.1 Características de los perfiles de suelos	77
3.1.1 Características físicas de los perfiles del suelo	77
3.2 Parámetros fisicoquímicos en los perfiles de suelo por zonas	78
3.3 Cadmio total en los perfiles de suelo por zona.....	102
3.4 Cadmio total en las raíces diferenciado por perfiles y zonas	106
3.5 Relación del cadmio total con los parámetros fisicoquímicos evaluados en la zona de estudio.....	107
3.6 Correlación entre Cd en el suelo y Cd en raíces a profundidad de 20cm.....	122
3.7 Prueba de normalidad del contenido del cadmio en el perfil del suelo	125
3.8 Prueba de Chi-cuadrado del contenido del cadmio en el perfil del suelo.....	125
3.8.1. Prueba del chi-cuadrado para el cadmio presente a lo largo del perfil del suelo	126
4. DISCUSIONES.....	129
5. CONCLUSIONES.....	134
6. RECOMENDACIONES	135
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
ANEXOS	145

Índice de Tablas

Tabla N°1. Taxonomía del Theobroma cacao L.....	46
Tabla N° 2. Estándares de calidad ambiental para suelo para parámetros inorgánicos	48
Tabla N° 3. Metales pesados en plantas terrestres	49
Tabla N°4. Variables y Operacionalización.....	55
Tabla N°5. Temperatura en la superficie de suelos en las zonas de estudio y por calicata	77
Tabla N°6. Drenaje en la superficie de suelos en las zonas de estudio y por calicata	78
Tabla N°7. pH de los suelos de cultivo de cacao en la zona 1	79
Tabla N°8. pH de los suelos de cultivo de cacao en la zona 2	80
Tabla N°9. pH de los suelos de cultivo de cacao en la zona 3	82
Tabla N°10. C.E. de los suelos de cultivo de cacao en la zona1	83

Tabla N°11. C.E. de los suelos de cultivo de cacao en la zona 2	85
Tabla N°12. C.E. de los suelos de cultivo de cacao en la zona 3	86
Tabla N°13. Humedad del suelo en los perfiles - zona 1	88
Tabla N°14. Humedad del suelo en los perfiles - zona 2	89
Tabla N°15. Humedad del suelo en los perfiles - zona 3	91
Tabla N°16. Densidad aparente del suelo en los perfiles- zona 1.....	92
Tabla N°17. Densidad aparente del suelo en los perfiles- zona 2.....	94
Tabla N°18. Densidad aparente del suelo en los perfiles- zona 3.....	95
Tabla N°19. Materia orgánica del suelo en los perfiles- zona 1	97
Tabla N°20. Materia orgánica del suelo en los perfiles- zona 2	99
Tabla N°21. Materia orgánica del suelo en los perfiles- zona 3.....	100
Tabla N°22. Cadmio total en perfil de suelos- zona 1	102
Tabla N°23. Cadmio total en perfil de suelos- zona 2.....	103
Tabla N°24. Cadmio total en perfil de suelos- zona 3.....	105
Tabla N°25. Cadmio total en las raíces de plantas de cacao por zonas	106
Tabla N°26. Cadmio total y pH en el suelo	107
Tabla N°27. Correlación de Pearson entre contenido del cadmio total del suelo y el pH.....	108
Tabla N°28. Cadmio total y C.E. en el suelo	110
Tabla N°29. Correlación de Pearson entre contenido del cadmio total del suelo y el Conductividad Eléctrica	110
Tabla N°30. Cadmio total y humedad en el suelo	113
Tabla N°31. Correlación de Pearson del contenido del cadmio total del suelo y el Humedad.....	113
Tabla N°32. Cadmio total y densidad aparente en el suelo	116
Tabla N°33. Correlación de Pearson del contenido del cadmio total del suelo y la densidad aparente.....	116
Tabla N°34. Cadmio total y Materia orgánica en el suelo	119
Tabla N°35. Correlación de Pearson del contenido del cadmio total del suelo y de la materia orgánica.....	119
Tabla N°36. Cadmio total en el suelo y en las raíces diferenciado por calicatas y zonas.....	122
Tabla N°37. Correlación de Pearson del contenido del cadmio total del suelo y el contenido del cadmio total en la raíz	123
Tabla N°38. Prueba de la normalidad	125
Tabla N°39. Cadmio en el perfil del suelo.....	125
Tabla N°40. Prueba de chi-cuadrado P1 -P2.....	126
Tabla N°41. Prueba de chi-cuadrado P2 –P3	127
Tabla N°42. Prueba de chi-cuadrado P3-P4	128

Índice de Figuras

Figura N° 1. Punto de origen para el distanciamiento de cada calicata (Rio Pucayacu), Pucayacu-Huánuco.	61
Figura N° 2. Ubicación de cada calicata a cada 100m de distancia en dirección a los suelos de cultivo de cacao, Pucayacu-Huánuco.	61
Figura N° 3. Delimitación de calicatas por zona	62
Figura N° 4. Medición de las coordenadas de las calicatas	62
Figura N° 5. Medición de las coordenadas de las calicatas	63
Figura N° 6. Apertura y medición de la calicata hasta los 1.5 m de profundidad, y toma muestra de suelos de cultivos de cacao para la determinación del cadmio total Pucayacu-Huánuco	64
Figura N° 7. Identificación de las calicatas y las profundidades establecidas por calicata, Pucayacu- Huánuco	64
Figura N° 8. Medición de parámetros físicos del suelo (temperatura superficial de cada calicata y estructura por profundidad) Pucayacu-Huánuco	65
Figura N° 9. Determinación del drenaje de cada calicata por observación	65
Figura N° 10. Toma de muestra de suelos de cultivo de cacao por profundidad y calicata, pesado, rotulado y etiquetado.	66
Figura N° 11. Toma muestra de raíces de los árboles de cacao	67
Figura N° 12. Pesado, etiquetado y rotulado de las muestras de raíces de plantas de cacao.....	67
Figura N° 13. Cierre de calicata.....	68
Figura N° 14. Midiendo el pH de los suelos de cultivo de cacao en el laboratorio de la UCV	69
Figura N° 15. Determinando la C.E. de los suelos de cultivo de cacao en el laboratorio de la UCV	70
Figura N° 16. Determinación de la humedad de los suelos de cultivo de cacao empleando el método gravimétrico	71
Figura N° 17. Determinación de la densidad aparente de los suelos de cultivo de cacao empleando el método de la para fina.....	72
Figura N° 18. Determinación de la M.O. de los suelos de cultivo de cacao empleando el método de pérdida por ignición.....	73
Figura N° 19. Determinación de color de los suelos de cultivo de cacao empleando el sistema de la tabla de Munsell	73
Figura N° 20. Determinación de la textura de los suelos de cultivo empleando el método de la botella	74
Figura N° 21. Determinación del peso seco de las raíces de las plantas de cacao.	75

Índice de Gráficos

Grafico N° 1. Distribución del pH en el perfil de suelo-Zona 1	79
Grafico N° 2. Distribución del pH en el perfil de suelo-Zona 2	81
Grafico N° 3. Distribución del pH en el perfil de suelo-Zona 3	82
Grafico N° 4. Distribución del C.E. en el perfil de suelo-Zona 1	84
Grafico N° 5. Distribución de la C.E. en el perfil de suelo-Zona 2	85
Grafico N° 6. Distribución de la C.E. en el perfil de suelo-Zona 3	87
Grafico N° 7. Distribución de la humedad en el perfil de suelo-Zona 1	88
Grafico N° 8. Distribución de la humedad en el perfil de suelo-Zona 2	90
Grafico N° 9. Distribución de la humedad en el perfil de suelo-Zona 3	91
Grafico N° 10. Distribución de la densidad aparente en el perfil de suelo-Zona 1 ...	93
Grafico N° 11. Distribución de la densidad aparente en el perfil de suelo-Zona 2 ...	94
Grafico N° 12. Distribución de la densidad aparente en el perfil de suelo-Zona 3 ...	96
Grafico N° 13. Materia Orgánica en el perfil de suelo- zona 1	98
Grafico N° 14. Materia orgánica en perfil de suelos- zona 2	99
Grafico N° 15. Materia orgánica en perfil de suelos- zona 3	101
Grafico N° 16. Cadmio total en perfil de suelos- zona 1	102
Grafico N° 17. Cadmio total en perfil de suelos- zona 2	104
Grafico N° 18. Cadmio total en perfil de suelos- zona 3	105
Grafico N° 19. Relación entre el cadmio total y el pH	109
Gráfico N° 20. Relación entre el cadmio total y la C.E.	112
Grafico N° 21. Relación entre el cadmio total y la humedad	115
Grafico N° 22. Relación entre el cadmio total y la densidad aparente	118
Grafico N° 23. Relación entre el cadmio total y la materia orgánica en el suelo ...	121
Grafico N° 24. Relación entre el cadmio en suelo y el cadmio en raíces	124

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en el distrito de Pucayacu, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco cuyo objetivo fue evaluar la distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao, para ello se identificó 3 zonas diferenciadas por edad de la plantación de cacao y la topografía del terreno. Se abrieron 5 calicatas en cada zona realizando la lectura de esos perfiles y tomas de muestra de suelo a profundidades 0-20,20-40,40-60 y +60cm, y las muestras de raíz fueron tomadas a profundidad de 0-20cm. La determinación del cadmio en el suelo a diferentes profundidades y en raíz de la planta de cacao fue mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica por llama. La zona 1 con pendiente y plantaciones de cacao de 2 años muestra cadmio en perfiles de: 0.99 mg/kg(0-20cm),0.99 mg/kg (20-40cm), 1.11mg/kg(40-60cm) y 1.04mg/kg(+60cm); la zona 2 con pendiente y plantaciones de cacao de 15 años se obtuvo cadmio en perfiles de: 1.65 mg/kg(0-20cm), 1.52 mg/kg(20-40cm), 1.49 mg/kg(40-60cm) y 1.45mg/kg(+60cm); la zona 3 sin pendiente y plantaciones de cacao de 5 años se determinaron cadmio en perfiles de: 1.35 mg/kg(0-20cm), 1.65 mg/kg(20-40cm), 1.57 mg/kg(40-60cm) y 1.59mg/kg(+60cm). El cadmio determinado en la raíz de las plantas de cacao en los diferentes perfiles en la zona 1 muestra valores de: 0.25mg/Kg (perfil 1), 1.00mg/kg (perfil 2),0.50mg/kg (perfil 3),1.00 (perfil 4) y 0.90 (perfil 5); en la zona 2 muestra valores de: 0.50mg/Kg(perfil 1), 0.75mg/kg (perfil 2),1.00mg/kg (perfil 3),0.60 (perfil 4) y 4.48 (perfil 5); en la zona 3 muestra valores de: 3.25mg/Kg (perfil 1), 2.00mg/kg (perfil 2), 2.00mg/kg (perfil 3),8.24mg/kg (perfil 4) y 4.43mg/kg (perfil 5). En conclusión, los valores del cadmio en el suelo superan los ECAS nacionales para la mayoría de las zonas a excepción de la zona 1. Por el contrario el cadmio analizado en la raíz supero el límite permisible en la zona 2(Perfil 5) y en la zona 3(Perfil 4 y 5). Así mismo se estableció una correlación positiva débil entre el contenido del cadmio total en el suelo con el contenido del cadmio total en la raíz de la planta de cacao, y la M.O se correlaciono positivamente y con alta significación estadística con el contenido del cadmio total en el suelo.

Palabras clave: cadmio, distribución, perfil, cacao

ABSTRACT

The study was carried out in the district of Pucayacu, province of Leoncio Prado, Huánuco region, whose objective was to evaluate the distribution of cadmium in the soil and in the root of the cocoa plant, for which 3 zones differentiated by age were identified the cocoa plantation and the topography of the land. Five test pits were opened in each zone, reading those profiles and samples of soil at depths 0-20, 20-40, 40-60 and + 60cm, and the root samples were taken at a depth of 0-20cm. The determination of cadmium in the soil at different depths and in the root of the cocoa plant was by the flame atomic absorption spectrometry technique. Zone 1 with slope and 2-year-old cocoa plantations shows cadmium in profiles of: 0.99 mg / kg (0-20cm), 0.99 mg / kg (20-40cm), 1.11mg / kg (40-60cm) and 1.04mg / kg (+ 60cm); zone 2 with slope and cocoa plantations of 15 years was obtained cadmium in profiles of: 1.65 mg / kg (0-20cm), 1.52 mg / kg (20-40cm), 1.49mg / kg (40-60cm) and 1.45 mg / kg (+ 60cm); zone 3 without slope and cacao plantations of 5 years were determined cadmium in profiles of: 1.35 mg / kg (0-20cm), 1.65 mg / kg (20-40cm), 1.57mg / kg (40-60cm) and 1.59 mg / kg (+ 60cm). The cadmium determined in the root of the cocoa plants in the different profiles in zone 1 shows values of: 0.25mg / Kg (profile 1), 1.00mg / kg (profile 2), 0.50mg / kg (profile 3), 1.00 (profile 4) and 0.90 (profile 5); in zone 2 it shows values of: 0.50mg / Kg (profile 1), 0.75mg / kg (profile 2), 1.00mg / kg (profile 3), 0.60 (profile 4) and 4.48 (profile 5); in zone 3 it shows values of: 3.25mg / Kg (profile 1), 2.00mg / kg (profile 2), 2.00mg / kg (profile 3), 8.24mg / kg (profile 4) and 4.43mg / kg (profile 5). In conclusion, the cadmium values in the soil surpass the national ECAS for most of the zones with the exception of zone 1. In contrast, the cadmium analyzed in the root exceeded the permissible limit in zone 2 (Profile 5) and in Zone 3 (Profile 4 and 5). To itself content of the total cadmium in the soil did not correlate with the content of the total cadmium in the root of the cocoa plant; and M.O. It correlated positively and with high statistical significance with the content of total cadmium in the soil.

Keywords: cadmium, distribution, profile, cocoa

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del cacao (*Theobroma cacao L.*) con 15000 hectáreas cultivadas anualmente en el Perú (Gestión, 2017), posee el 60% de variedades de cacao de todo el mundo (Sierra y Selva exportadora, 2017) constituye una alternativa para frenar el cultivo ilegal de coca y representa la fuente de ingresos de muchas familias peruanas de extrema pobreza, siendo los principales destinos de exportación la Unión Europea y los Estados Unidos. En la actualidad según el diario Gestión se proyecta 120.000 toneladas producidas que representan ingresos de 400 millones de dólares (2017).

El presidente de la Asociación Peruana de productores de Cacao, afirma que la situación que experimenta nuestro país es preocupante con respecto a la exportación de cacao a los principales clientes (Unión Europea y los Estados Unidos), ya que estadísticamente el 80% de todas regiones productoras de cacao tienen cadmio en distintos niveles y que el mayor contenido se enfoca en los frutos (Rivas, 2016, p.1).

Huánuco es un caso muy típico de las regiones productoras del Perú con 6% de la producción nacional. En la Región de Huánuco según reportes MINAG-DRA-, el cultivo de cacao es el de mayor importancia principalmente para la provincia de Leoncio Prado, ya que existen 3800 ha cultivadas de diferentes edades y variedades de cacao, del cual depende miles de familias rurales, siendo su principal mercado el externo conformados principalmente por países como Holanda, Bélgica, Francia, Alemania, Suiza, Estados Unidos entre otros. Pero estos exigen el cumplimiento de ciertos requerimientos para el ingreso y comercialización del cacao, y uno de ellos es la presencia de metales pesados en el producto que se está exportando y que está superando los niveles máximos principalmente del metal llamado cadmio (Cárdenas, 2012, p.10).

En la actualidad la presencia de metales pesados en la naturaleza representa una amenaza, ya que su toxicidad no solo puede afectar al medio ambiente sino también a los seres vivos a través de la cadena trófica. La peligrosidad de los metales pesados radica en que no pueden ser degradados, además tienden a biocumularse y biomagnificarse, es decir que se acumulan en los organismos vivos en mayores

concentraciones en las que alcanzaron en los alimentos o medio ambiente. La presencia de estos metales nocivos se debe principalmente a las actividades antropogénicas como uso de fertilizantes fosforados, quema de combustibles fósiles, vertidos de las industrias, disposición final de los residuos etc. Además afecta al ser humano causando enfermedades muy graves que pueden llegar hasta la muerte; entre los metales más tóxicos para los seres humanos se encuentra el cadmio, plomo y arsénico.

La acción de los metales en el suelo, así como su peligrosidad depende de factores del suelo como su pH, M.O., carbonatos, etc., los cuales dan origen a procesos de adsorción, desorción o complejación, que influye en la biodisponibilidad del metal, que marca la peligrosidad en el medio abiótico: originando de manera directa en los suelos daños sobre la actividad microbiana y de manera indirecta afecta las plantas en su crecimiento o genera daños fisiológicos, o se absorbe el metal hasta la cadena trófica.

En este caso no enfocaremos en el cadmio un metal no esencial para las funciones fisiológicas de las plantas y muy tóxico, cuya presencia en el suelo se incrementa por las actividades antropogénicas, tales como la minería y metalurgia, industria, producción y uso de fertilizantes fosfatados, etc.

Por lo tanto, la preocupación de los peruanos se refleja en un producto exportación bandera, que es el cultivo de cacao, que beneficia 90 000 familias del Perú de bajos recursos económicos, los cuales debe cumplir las exigencias del Mercado Europeo con respecto al cadmio en el cacao a partir del 1 enero del 2019.

La presente investigación tiene como finalidad determinar la forma de distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu-Huánuco, puesto que se pretende brindar información precisa sobre cuál es la posible fuente de la presencia del metal en los suelos y además descartar su posible ingreso a las plantas de cacao para investigaciones futuras en remediación de los suelos, ya que el cultivo es de importancia socioeconómica para la zona estudio por exportaciones que ahora se presentan requisitos más exigentes para el cadmio, ya que dicho metal puede acumularse en el vegetal y entrar a la cadena alimenticia causando daños severos en la salud de las personas.

1.1 Realidad Problemática

En la Región de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, en Tingo María, estudios realizados por el investigador peruano Hugo Huamaní, reveló que sus suelos presenta valores de cadmio de 0.53ppm, el promedio de cadmio foliar fue de 2.84 ppm, que superó al límite crítico de 0.50 ppm y que sus almendras de cacao alcanzo un promedio de cadmio de 1.55ppm(1.55mg/Kg) que supera los límites admitidos por la Unión Europea.

En Pucayacu, muchos productores de cacao indican la presencia de cadmio en sus suelos y plantas de cacao por la roca fosfórica entregada gratuitamente por el gobierno como abono, en donde detectaron niveles bajos de pH de 4.5 a nivel de playa y de 3.71 en altura reportado por el laboratorio de análisis de suelos UNAS en el año 2016, generando la biodisponibilidad del metal pesado, pero el cual controlaron; aunque aún no se realizan estudios sobre concentraciones de cadmio en el suelo ni en la planta.

Según normas alimentarias, las concentraciones más altas de cadmio en muestras de cacao se ubican en América Latina y el Caribe, principalmente en los países de Colombia, Ecuador y Perú con concentraciones 3.15 mg/Kg, 2.25mg/Kg y 1.2 mg/Kg respectivamente. El cacao procedente de África es 0.16 mg/Kg, que presenta la menor concentración (Comisión del Codex Alimentarius, Programa Conjunto FA/OMS 2017).

En el Perú, los principales mercados de destino de cacao en grano son la Unión Europea que para el 2015 representa un 70% de las exportaciones y entre los demás mercados destaca Estados Unidos con un 6.6% en promedio de las exportaciones. En cuanto a las regiones productoras de cacao en el Perú se destaca San Martín con el 43%, Junín con el 18%, Cusco con el 9%, Ucayali con el 8% y Huánuco con el 6%, que en su conjunto representa el 84% de toda producción nacional.

Por lo tanto, en la actualidad las exportaciones al mercado Europeo se ven amenazadas, ya que los niveles máximos de cadmio para los productos derivados de cacao han sido reducidos, y regirán a partir del 1 enero del 2019 que se refleja en el Reglamento(UE) N° 488/2014. La preocupación de la Unión Europea se basa en un

estudio llevado a cabo por el Comité mixto FAO/OMS de expertos de aditivos alimentarios, quién confirmó una ingesta semanal tolerable de $2.5\mu\text{g}/\text{Kg}$ de peso corporal para el cadmio, ya que su efecto a la salud de las personas se refleja con la acumulación de este metal pesado en los riñones y el hígado, además puede generar una disfunción renal tubular, formación de cálculos renales, así como afecta al sistema óseo y respiratorio, y según Villanueva(2016,p.10) adicionalmente se ha detectado que la exposición al cadmio produce cáncer.

1.2 Trabajos previos

Según **ESPINOZA et al. (2011)**, su objetivo fue determinar el contenido de cadmio y plomo tanto en suelos y granos de cacao en diferentes zonas de Honduras, para lo cual se obtuvieron 98 muestras de semilla de cacao secadas, molidas y analizadas en el laboratorio de la FHIA (Fundación Hondureña de investigación Agraria) y 83 muestras de suelos tomadas a 30cm superficiales de los importantes departamentos productores del país. Con respecto a los resultados el 83.7% de las muestras de semillas presentaron valores por debajo del $0.1\text{mg}/\text{Kg}$ de plomo y el 6.1% reportaron valores superiores a $2\text{mg}/\text{kg}$ de dicho metal pesado. El cadmio encontrado en las semillas de cacao reportó que el 42.8% de las muestras tuvieron valores mayores a $0.4\text{mg}/\text{Kg}$, que representan niveles relativamente altos considerados por la Unión Europea. Por otra parte, los niveles de cadmio en el suelo, reportó que 79 muestras están dentro del rango normal de suelo no contaminado ($2\text{mg}/\text{kg}$); y los niveles de plomo analizado en el suelo arrojó que el 92.8% de las muestras tuvieron niveles inferiores a $20\text{mg}/\text{Kg}$. En conclusión, un alto porcentaje de las muestras de semillas de cacao tomadas en los diferentes departamentos Hondureños reportó niveles de cadmio que superan el límite impuesto por la Unión Europea; en cambio con respecto al nivel de plomo encontrado solo un mínimo porcentaje superó el límite de U.E ($1\text{mg}/\text{Kg}$), además que su impacto es menor, ya que la mayor cantidad se encontró en la cascarilla. Los suelos no muestran concentraciones particularmente altas con respecto a los metales estudiados.

PUGA et al. (2006), la presente investigación tiene como objetivo evaluar la contaminación del medio edáfico por metales pesados (Pb, Cd, Zn y As) diferenciado por distancias y profundidades, así como determinar su relación con características fisicoquímicas. El área de estudio se encuentra ubicada en San Francisco del Oro, Chihuahua, México influenciada por la presa de Jales, el cual es un área de confinamiento de desechos industriales, en el cual se tomaron 30 muestras de suelo para análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados a tres profundidades comprendidas en intervalos de: 0-40, 40-60 y 60-80cm en 10 lugares ubicadas a distancias de 300m. La concentración de los metales se determinó mediante el método del ICP y para concentraciones pequeñas mediante absorción atómica. Los resultados revelan que las concentraciones de los metales en estudio son mayores en sitios cercanos a la presa, disminuyendo a medida que se aleja y que todos los elementos en estudio sobrepasan los límites establecidos por las agencias internacionales. Con respecto a la concentración total de As se muestran que en la parte superficial las concentraciones de As sobrepasan los 1000ppm hasta el sitio 5 (1500m de distancia), disminuyendo al alejarse; el Pb localizado hasta el sitio 5, presenta valores superiores a 1000ppm en la parte superficial, además en el sitio 1 se determinaron concentraciones elevadas de plomo en las profundidades 60-80cm y 40-60cm con 4720ppm, y 3000ppm respectivamente, se evidencia que el plomo en lugares cercanos a los Jales aumenta en las profundidades y resto tiende a disminuir conforme se aleja de la presa. El Zn, así como el Pb y el As tienen el mismo comportamiento, ya que en los 2 primeros sitios presenta las concentraciones más elevadas, en el sitio 1 en la profundidad de 60-80 se eleva a 12050ppm siendo el valor más alto; el Cd presentó un comportamiento muy diferente con respecto a otros metales, ya que mostró concentraciones más elevadas a nivel superficial (0-40cm), encontrándose la concentración más alta en el sitio 3 a 900m de los Jales a una concentración de 204ppm, además en sitios a 2100m de la fuente, en las profundidades de 40-60y 60-80cm hubo ausencia de este metal. Por lo tanto se concluye que todos los metales en estudio presentan mayor concentración en los sitios cercanos a la presa de Jales, es decir en los 600m de distancia, en estos dos sitios las concentraciones fueron mayores en las profundidades de 40-60 y 60-80cm

que en la superficie, a excepción del cadmio que presento mayor concentración en la superficie. La concentración de los elementos estudiados sobrepasan los rangos propuestos por las diferentes agencias internacionales por lo que es urgente la remediación del área; la distancia fue la variable más importante para los modelos de predicción, el Cd se correlaciono con el pH, con la distancia y profundidades de forma negativa.

DIAZ, ARROQUI Y SARQUIS (2005), cuyo objetivo fue determinar la relación entre los metales pesados y los nutrientes del suelo(Ca, Mg, K), así como su competencia por lugares de adsorción, por lo cual se llevó a cabo una investigación geoquímica de los perfiles del suelo, lo cual incluye determinar metales pesados(Zn, Cu, Pb, y Cd) los cuales se determinaron por absorción atómica y plasma de acoplamiento inductivo, así como sus nutrientes y la CIC por el método de absorción atómica, pH y potencial de oxidación. Las muestras fueron tomadas en el pueblo de Villa Nueva localizada al norte de la cuenca del rio Castaño, departamento de Calingasta, provincia San Juan en Argentina, a 50cm de profundidad, diferenciado por horizontes (O_n , A_n y A). El valor promedio de la CIC encontrada es relativamente alta, encontrándose dentro de un rango de valores de 10-40meq/100g de suelo determinándose suelos poco fértiles; el valor promedio del Na de 1 meq/100g de suelo, determinándose ausencia de problemas de suelos nítricos; el valor promedio del catión Ca^{+2} fue de 43 meq/100g de suelo, cuya importante función es disminuir la acidez de los suelos, observando un suelo alcalino de 7.35 en la zona de estudio; el valor promedio de Mg es de 3.26 meq/100g, el cual es parte de los macronutrientes secundarios. Los promedios de los metales determinados fue: el Cu tiene 28ppm, el cual se encuentra dentro del rango establecido para los suelos de 2 a100 ppm; el Zn un promedio de 117ppm, el cual se encuentra dentro del rango establecido para los suelos de 10 a 300 ppm; con respecto a los otro metales que no participan en la función nutricional de las plantas, el valor promedio del plomo es 14 ppm, debajo de la normativa vigente (375ppm); el cadmio también presenta una concentración promedio de 14ppm, que cuadruplica el valor de la normativa vigente(3 ppm). Los cationes Ca^{+2} y Cd^{+2} en el perfil 1, incrementan con la profundidad con valores de Ca de 44ppm,30 ppm y 57ppm, correspondientes a los horizontes A_1, A_2, A_3

respectivamente; el cadmio con valores de 11ppm, 11ppm y 12ppm respectivamente; en el perfil 2 y 4 se muestra el mismo comportamiento de incremento con las profundidades para el Ca valores de 30ppm y 63ppm con respecto al horizonte O_1 y O_2 , así como 35ppm y 62ppm con respecto al horizonte O_1 y O_2 correspondientes a los perfiles indicados; para el caso del Cd valores 13ppm y 16ppm con respecto al horizonte O_1 y O_2 , así como 17ppm y 18 ppm con respecto al horizonte O_1 y O_2 correspondientes a los perfiles indicados. El perfil 3 muestra un único horizonte determinándose que no se realizar comparaciones con el análisis del resto de los perfiles. Por lo tanto se concluye, que de los metales estudiados, únicamente el Cd^{+2} supera de manera considerable la normativa por la UGAN de 3ppm, con un contenido promedio de 14 ppm en los perfiles de suelos. Por otra parte de los perfiles estudiados del suelo, se determinan potenciales procesos de lixiviación del calcio y cadmio, producto de las arcillas presentes y del agua de riego que deriva del Castaño en zonas cultivadas, ya que se incrementan con las profundidades

INSUASTY, BURBANO Y MENJIVAR (2007), el objetivo de su investigación fue evaluar la fijación y movilidad de cadmio en suelos de cultivo de papa en tres localidades de Colombia; para lo ello se tomaron muestras en cilindros PVC, aplicándose diferentes dosis de cadmio de 0, 50, 100 y 150ppm, se incubaron durante 4 meses en campo a tres diferentes profundidades (0-13, 13-26, 26-39cm). Para analizar en los suelos tanto el cambio total e intercambiable se extrajo los cilindros y se dividieron en tres partes, exponiendo al suelo al aire y sombra para el secado, y luego por el tamiz. Para la extracción del cadmio total se utilizó el peróxido de hidrogeno y ácido nítrico; y para el cadmio intercambiable se utilizó la solución extractora DTPA-Na a pH 7.3, y finalmente se determina el cadmio por método de espectrofotometría de absorción atómica. En conclusión, el cadmio total e intercambiable encontrados naturalmente en los suelos de los lugares de estudio no sobrepasaron los límites establecidos por OMS-FAO de 3ppm, ya que se encontraron valores de cadmio total de 1.12ppm en la localidad de Pasto, 1.2 ppm en la localidad de Túquerres y 0.77 ppm en la localidad de Guachucal. El cadmio intercambiable encontrado de manera natural fue de 0.04ppm, 0.08ppm y 0.01ppm.

Por otra parte, la mayor cantidad del cadmio total se localizó en la parte superficial de los suelos con la aplicación de 150ppm por la alta dosis, es decir en las profundidades de 0-13cm se registró 49.35ppm, 62.85ppm y 59.06 ppm en las localidades de Pasto, Túquerres y Guachucal respectivamente, y en la profundidad de 13-26cm se registró 16.7ppm, 2.9 ppm y 2.77ppm de la localidades estudiadas y así fue disminuyendo con la profundidad de 26-39cm ; lo mismo ocurrió con el cambio intercambiable, ya que la mayor concentración de cadmio se registró en la parte superior de los núcleos del suelo y además que va en aumento de acuerdo a las dosis aplicadas; con lo cual se demuestra la baja movilidad del metal en el perfil del suelo.

La presente investigación de **MITE, CARRILLO Y DURANGO (2010)**, tuvo como objetivo conocer las áreas así como grado de contaminación en los diferentes sistemas de cultivo de cacao por cadmio en el Ecuador. Las muestras de suelos, tejidos y aguas se tomaron a nivel nacional, para los suelos de 142 fincas de cultivo de cacao ubicadas en las regiones del Oriente Litoral y Sierra. El trabajo se realizó en campo y laboratorio; en laboratorio, se calculó el Cd directamente en el mineralizado mediante el método de análisis de Espectrometría de Absorción Atómica por Flama. Los resultados, determinaron que las provincias de el Oro y Santa Elena, presentan elevados concentraciones de Cd a nivel superficial, cuyas concentraciones son de 2.53 y 2.23 mg/Kg respectivamente, que sobrepasan la concentración crítica de 2 mg/Kg del metal pesado reportado por INIAP-PROMSA(2013);y con respecto a las almendras de cacao las máximas concentraciones de Cd que sobrepasan los 2mg/kg, ocurre en seis provincias, cuyo mayor valor encontrado fue de 4.08mg/Kg de Cd; así como los más elevados contenidos de cadmio en las hojas corresponden a las provincias de Oro, Guayas y Zamora Chinchipe, cuyos valores superan los 8mg/Kg de Cd. Por otra parte, con respecto a las contenidos de cadmio elevados encontrados en el agua fue detectado en la provincia de Oro reportándose valores de 3.61 μ /L de Cd". En conclusión, hay zonas con altos contenidos de Cd, en suelos, tejidos de la planta de cacao(almendra de cacao y hoja) que sobrepasan los niveles permisibles, en cuanto

a los tejidos al comparar los contenidos de Cd se detecta mayores contenidos en la cascarilla de la almendra(sin valor económico).

La investigación de **ARÉVALO et al. (2016)**, tiene como objetivo calcular las concentraciones totales de metales pesados como Cd, Ni, Pb, Fe, Cu, Zn, Mn en los suelos de cultivos de cacao en las zonas más importantes de cacao en el Perú: Zona Norte conformada por Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas, Zona central conformada por San Martín, Huánuco y Junín y la Zona Sur por Cuzco. Para dicho estudio se escogieron plantas de cacao de 10 y 15 años de edad además se hizo análisis metales pesados y fisicoquímicos para los suelos en estudio. Los valores promedios de Fe en la zona Norte($2.67 \times 10^4 \mu\text{g/g}$), en la zona sur ($4.28 \times 10^4 \mu\text{g/g}$) y zona central($3.2 \times 10^4 \mu\text{g/g}$); de Cu en la zona Norte($37.54 \mu\text{g/g}$), en la zona sur ($34.46 \mu\text{g/g}$) y zona central($17.7 \mu\text{g/g}$); de Zn en la zona Norte($74.35 \mu\text{g/g}$), en la zona sur ($96.83 \mu\text{g/g}$) y zona central($49.97 \mu\text{g/g}$); de Cd en la zona Norte($0.20 \mu\text{g/g}$), en la zona sur ($0.00 \mu\text{g/g}$) y zona central($0.08 \mu\text{g/g}$); de Pb en la zona Norte($11.20 \mu\text{g/g}$), en la zona sur ($21.81 \mu\text{g/g}$) y zona central($8.66 \mu\text{g/g}$), además los valores de los metales pesados totales determinados a diferentes profundidades(0-5cm,5-10cm,10-20cm,20-40cm,40-60cm y 60-80cm) del suelo en las plantaciones de cacao en las regiones estudiadas son: El fierro ($2.47 \mu\text{g/g}$, $2.47 \mu\text{g/g}$, $2.52 \mu\text{g/g}$, $2.61 \mu\text{g/g}$, $2.61 \mu\text{g/g}$, $2.66 \mu\text{g/g}$, cobre($25.40 \mu\text{g/g}$, $27.88 \mu\text{g/g}$, $27.88 \mu\text{g/g}$, $28.73 \mu\text{g/g}$, $29.38 \mu\text{g/g}$, $29.16 \mu\text{g/g}$), Zn($72.59 \mu\text{g/g}$, $67.49 \mu\text{g/g}$, $66.26 \mu\text{g/g}$, $64.16 \mu\text{g/g}$, $63.52 \mu\text{g/g}$, $63.04 \mu\text{g/g}$), Mn($654.85 \mu\text{g/g}$, $620.01 \mu\text{g/g}$, $599.76 \mu\text{g/g}$, $551.31 \mu\text{g/g}$, $503.10 \mu\text{g/g}$, $501.31 \mu\text{g/g}$, Cd($0.10 \mu\text{g/g}$, $0.07 \mu\text{g/g}$, $0.05 \mu\text{g/g}$, $0.03 \mu\text{g/g}$, $0.03 \mu\text{g/g}$, $0.02 \mu\text{g/g}$), Ni($16.56 \mu\text{g/g}$, $16.32 \mu\text{g/g}$, $16.65 \mu\text{g/g}$, $17.81 \mu\text{g/g}$, $17.72 \mu\text{g/g}$, $18.15 \mu\text{g/g}$), Pb($11.70 \mu\text{g/g}$, $10.96 \mu\text{g/g}$, $10.89 \mu\text{g/g}$, $10.43 \mu\text{g/g}$, $10.24 \mu\text{g/g}$, $10.05 \mu\text{g/g}$) respectivamente por profundidad. Por lo tanto, los promedios de los suelos muestreados de hierro, zinc, manganeso, níquel y plomo fueron elevados en comparación a la zona Sur, por otro lado en la zona norte los promedios de cobre y cadmio fueron altos, además los valores de los metales en estudio se encuentran por debajo de lo tóxico para las plantas; incluso el comportamiento de los metales en profundidad se encuentran diferenciados, ya que Fe y Cu aumentan con las profundidades, el Zn, Mn, Cd y Pb disminuyen a profundidad a excepción del Ni que tienen comportamiento variable; los resultados

confirman que los suelos presentan condiciones fisicoquímicas adecuadas para las plantas de cacao. En resumen, el pH, % de arcilla, y Mg son variables que tuvieron mayor incidencia en el contenido de metales pesados; y se observaron correlaciones positivas entre el pH con el cobre, zinc y cadmio excepto con el plomo que mostro una correlación negativa.

HUAMANÍ et al. (2012), tienen como objetivo evaluar las concentraciones de Cd y Pb presente en los suelos y hojas de cacao en las regiones de Huánuco y Ucayali. Las muestras fueron recolectadas en 22 parcelas con plantas de cacao orgánicos, 17 en Huánuco y 5 en Ucayali, además se hicieron análisis de correlación de Pearson para relacionar las concentraciones de plomo y cadmio presentes en el suelo con variables foliares como P, Mg, Ca, Zn, Cd, Pb y del suelo con la arena, arcilla, K. Los suelos presentan deficiencia de potasio, es decir por debajo del valor recomendado (> 300 kg/ha) para el cultivo de cacao, y en las hojas presentaron deficiencias N, P, K, Mg, y Zn, además los promedios de cadmio y plomo disponible en suelos de cacao fueron de 0.53 y 3.02 ppm y en los tejidos foliares de 0.21 y 0.58 respectivamente. En conclusión los suelos tienen condiciones fisicoquímicas adecuadas excepto en los sitios H-14 y H-15 con clase textural de franco arcilloso, pH de 5.41, M.O. de 3.34%, P de 12.2 ppm, K₂O de 134 Kg/ha, C.I.C. de 9.58 cmol/kg y Sat. Al de 5.22%, y con clase textural Franco, pH de 5.08, M.O. de 2.72%, P de 9.9 ppm, K₂O de 190 Kg/ ha, C.I.C. de 8.57cmol/kg y Sat. Al de 15.17% respectivamente para cada parcela; los valores promedios de cadmio y plomo totales (0.53 y 3.02 ppm respectivamente) son considerados bajos, y se determinó que relaciones de cadmio en suelo con el contenido de las hojas de P, Mg, Ca, y Pb; y de plomo en suelo con el contenido de la hojas de Mg, Zn, y propiedades del suelo (K y arcilla).

CÁRDENAS (2012), cuyo objetivo fue evaluar la presencia de cadmio en los suelos, hojas, almendras y cascarillas del cacao. Para ello se eligió 20 parcelas pertenecientes a la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo en la región de Huánuco. Primero se analizaron los parámetros fisicoquímicos y biológicos de las muestras de suelo, foliar ,almendra y cascarilla, presentando deficiencia de potasio en los suelos de algunas parcelas, mientras que las hojas presentan deficiencias en los contenidos

N, P, K, Cu en mayoría de las parcelas; y las almendras no presentan de deficiencias excepto de Zn y Fe, además con respecto a las características fisicoquímicas determinadas para el caso de pH se evidencian valores máximos de 7.62, 7.61, 7.48 y 7.34 con calificación de ligeramente alcalinos y valores mínimos 4.11 y 4.67 considerados extremadamente ácidos; y con respecto a la M.O. se determinó valores máximos de 5.85%, 4.60% y 4.27% y valores mínimos de 1.31% y 1.64% e incluso se determinaron clases texturales de las cuales 12 parcelas presentan textura franca y el resto texturas que se encuentran son franco arenosas, franco arcillosas, franco limosas y franco arcillo arenosas. Con respecto al cadmio disponible en el suelo el valor promedio fue de 0.66 ppm, y el cadmio total analizados a nivel foliar, almendras y cascarillas sus valores promedios fueron 2.84 ppm, 1.55 ppm y 2.04 ppm respectivamente. Se determinó una densidad promedio de 373.53 ind/m², siendo el orden Hymenóptera el más abundante (49%). Se evaluó la actividad microbiana del suelo siendo el valor promedio de 1.474 mg/100g de suelo. Por lo tanto los suelos presentan adecuadas condiciones fisicoquímicas excepto 17 parcelas que presentan bajos contenidos de K₂O, el valor de cadmio disponible en los suelos (0.66 ppm) no superan los límites permisibles, el valor promedio del cadmio foliar (2.84 ppm) supera el nivel permisible, los valores promedios del cadmio total en las almendras y cascarillas (1.55 y 2.04 ppm) se encuentran por encima del nivel permisible. Por otra parte el contenido de cadmio disponible en el suelo se correlacionó positivamente y con alta significación estadística con contenidos totales de cadmio foliar y de la almendra con 0.57 y 0.737 respectivamente.

La investigación de **SÁNCHEZ Y RENGIFO (2017)**, centran su objetivo en determinar el contenido de plomo y cadmio en el cultivo de cacao; para ello se evaluaron parámetros del suelo, de hojas y de las almendras de cacao en cuatro parcelas de cacao orgánico pertenecientes a la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo. Para los parámetros del suelo se realizó su caracterización fisicoquímica y evaluación de plomo y cadmio, para la hoja un análisis nutricional y de presencia de cadmio y plomo, y para la almendra de cacao los mismos análisis que para la hoja. Con respecto a los resultados, el cadmio en los suelos se encontró por debajo de 1 ppm y con respecto al plomo por debajo de los 8 ppm; a nivel foliar los valores de

cadmio y plomo se encontraron por debajo de los 4ppm y 28 ppm respectivamente; y en las almendras de cacao en algunas muestras se situaron en valores próximos a los 4ppm. En conclusión, los suelos presentan apropiadas condiciones fisicoquímicas y los valores de cadmio y plomo están por debajo de los límites máximos permisibles; con respecto a la evaluación a nivel foliar y almendras de cacao, las parcelas con plantaciones de 5,10 años y la etapa fenológica de plena fructificación presentan valores máximos de cadmio total, siendo las plantaciones de las parcelas de 15, 20 en la misma etapa fenológica las que presentan mayores valores de plomo total.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Perfil del Suelo

Surge como consecuencia de la desintegración de las rocas, las cuales se mezclan con residuos vegetales y animales, originando de esta manera la formación de distintas capas, a las cuales denominamos horizontes, que en su conjunto forman el perfil del suelo (Hernández,2017).

Los principales horizontes del perfil del suelo son:

Horizonte A: Es la capa más importante, ya que alcanza el máximo desarrollo de actividad biológica, es decir por la presencia de microorganismos y pequeños animales, además esta capa presenta un color oscuro por la presencia de abundante materia orgánica, el cual es muy importante porque es responsable del potencial productivo del suelo.

Horizonte B: Es la capa a continuación del horizonte A, vista de arriba hacia abajo, presenta una coloración más clara a la capa anterior por la menor cantidad de materia orgánica, enriquecida generalmente de arcillas y sales que derivan de la infiltración de agua en el perfil.

Horizonte C: Es la capa más baja del perfil del suelo, que presenta un color más claro a las capas anteriores, se compone principalmente de material mineral por la

desintegración de las rocas; y que incorpora materia orgánica para la formación del suelo con el transcurso de muchísimos años.

1.3.2 Suelos contaminados

El suelo contaminado es una parte de terreno, subterráneo o superficial, cuya calidad ha sufrido un cambio por efecto de vertido directo o indirecto de residuos o productos peligrosos (Orosco et al., 2011).

Si bien es cierto, que los fenómenos naturales pueden ser causantes de contaminaciones a los suelos, en el caso de un volcán activo, que aportaría muchos más contaminantes que varias centrales térmicas de carbón. Pero las causas más habituales de contaminación en este medio son por la ingreso de los contaminantes en la atmósfera debido a las actividades humanas, como las que provienen del parque automotor, procesos industriales entre otros. Pero también de la falta de planificación y descuido de las personas en las siguientes procesos como: el almacenamiento inadecuado de productos o residuos en actividades industriales, bidones enterrados, vertidos de residuos incontrolados, uso inadecuado de pesticidas o abonos, alcantarillado en mal estado, etc (Ramírez, 2009).

Los factores influyentes en la contaminación presentan diversos aspectos como:

Vulnerabilidad: El grado de la vulnerabilidad de la contaminación depende de la intensidad que genere, del tiempo que transcurre para ser efecto en las propiedades del suelo y de la velocidad con que se generan los cambios secuenciales en las propiedades del suelo.

Poder de amortiguación: El suelo representa una barrera que protege a otros medios más vulnerables, como los biológicos e hidrológicos, a través de funciones de neutralización, filtración, descomposición, almacenamiento, inactivación, entre otros.

Biodisponibilidad: Se refiere cuando el contaminante en una fuente potencial de contaminación, se encuentra disponible para ser absorbido por un organismo.

Movilidad: Es el factor que controla distribución del contaminante, en conclusión su posible ingreso a otros sistemas.

Persistencia: Controla el tiempo en actúa la sustancia, derivándose de ello su peligrosidad.

1.3.3 Metales pesados

1.3.3.1 Los metales pesados y su efecto contaminante

Según Galán y Romero(2008, p.1), los metales pesados son cualquier elemento químico metálico que presenta pesos atómicos superior al del hierro, es decir mayor a 55.85g/mol, entre los cuales existes metales pesados que son de gran importancia que sirven como micronutrientes esenciales para plantas como el As, Co, Cr, Cu, He, Zn , Mn entre otros, pero también existen aquellos metales pesados que no son esenciales para las plantas como Cd, Pb, Hg, Be entre otros, tomando en cuenta todos metales pesados antes mencionados se encuentra por lo general en la corteza terrestre como elementos traza, es decir en bajas concentraciones, ya que en altas concentraciones son tóxicos o venenosos. Los metales pesados en altas concentraciones en el suelos producido principalmente por las actividades antropogénicas (uso de fertilizantes fosforados, lodos residuales de la depuradoras, combustión de carbón entre otros) presentan alta peligrosidad porque tienden a biocumularse en diferentes cultivos, es decir el aumento de la concentración de este elemento químico en un organismo vivo en un determinado periodo de tiempo. Los metales pesados no solo causan daños morfológicos a las plantas que no lo toleran, sino que se incorpora a la cadena trófica a través de los animales o por los productos de cultivos comercializados que causan efectos adversos a la salud.

1.3.3.2 Efectos de los metales pesados a la salud

Según Londoño-Franco, Londoño-Muñoz y Muñoz (2016, p.147), el riesgo a la salud por contaminación de metales pesados depende de su nivel de acumulación en el organismo, siendo el riesgo mayor si dicho contaminante se encuentra en un tiempo de exposición prolongada. A continuación se mencionan los efectos adversos que causan a la salud algunos metales pesados como:

El arsénico(As) es un inorgánico biodisponible que genera toxicidad aguda y la ingestión alta provoca síntomas gastrointestinales, trastornos en las funciones del sistema nervioso y cardiovascular e incluso la muerte, cuya efecto tóxico es principalmente por ingesta de aguas contaminadas con este metal pesado

El cadmio procedente de los alimentos es la principal fuente de exposición para las personas, el cual principalmente afecta al riñón, aunque por la prolongada inhalación puede generar enfermedades respiratorias, e incluso hay pruebas de que su exposición puede desarrollar cáncer al pulmón.

El Cr(VI), representa un contaminante, que pone en riesgo la salud de las personas, en especial para aquella personas que trabajen en la industria textil y sean fumadores generando irritación y sangrado de la nariz, malestar del estómago, úlceras, daños en los riñones e hígado e incluso cáncer al pulmón.

El plomo tiene efectos adversos en la función reproductora femenina con respecto al embarazo, y en la función productora masculina afecta al número de espermatozoides.

1.3.3.3 Efecto de los metales pesados al ambiente

Según Eróstegui (2009), el problema de contaminación de metales pesados al ambiente, es que su efecto es silencioso, no se ve, y cuando se produce el daño, ya es demasiado tarde.

Por otro parte, Eróstegui (2009) manifiesta que los efectos de los metales pesados según sea el medio son:

En el caso de contaminación de suelos, es decir que sobrepasen los límites máximos permisibles, puede inhibir el crecimiento normal y desarrollo de plantas y cultivos, así como generar la disminución de poblaciones microbianas en el suelo, además a través del suelo también puede quedarse retenidas en el mismo, puede ser introducida a la cadena trófica a través de las plantas e incluso pueden trasladarse a las aguas superficiales y subterráneas contaminándolas.

En el caso de contaminación de agua y sedimentos con metales pesados provenientes de efluentes de minas e industrias, causa acumulación en plantas acuáticas de aguas, así como de sistemas marinos y de estuarios.

En el caso de la contaminación atmosférica, se da principalmente por industria, minería, y al quemar carbón y desechos domésticos, cuyos contaminantes pueden depositarse principalmente en el suelo, agua, especies vegetales e incluso puede ser inhalado por animales y seres humanos generando efectos tóxicos.

1.3.3.4 Movilización de los metales pesados en el suelo

Las concentraciones anormales de los metales pesados en los suelos, se debe principalmente a dos factores: causas naturales como la actividad volcánica, procesos de formación de suelos, erosión de rocas, tsunamis y terremotos; y a causas antropogénicas que por general incrementa la concentración de los metales dispuesto naturalmente en el suelo como la minería, la industria a través de vertidos, emisiones, residuos, la combustión de combustibles fósiles y por algunos pesticidas y fertilizantes (Mejía, 2002).

Los metales pesados una vez en el suelo no se comportan como elementos estáticos no variables sino que una vez incorporados al suelo puede seguir cuatro vías (Prieto et al., 2009):

- Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas
- Transferirse a la atmósfera por volatilización
- Absorberse por las plantas e incorporarse a las cadenas tróficas
- Retenerse los metales pesados en el mismo suelo de distintas maneras: disueltos o fijados, retenidos por adsorción, complejación y precipitación

La movilidad de los metales en el suelo, no solo depende de su especiación química sino de una variedad de parámetros de los suelos como la materia orgánica, pH, carbonatos, minerales de arcilla, textura, CIC, condiciones redox, carbonatos y óxido e hidróxidos de Fe y Mn (Galán y Romero 2008).

pH: La gran mayoría de los metales están más disponibles en pH ácido, aunque existe un grupo de metales pesados como As, Se y Cr que son más móviles en pH alcalinos.

Textura: Los suelos arcillosos contienen mayor cantidad de metales por adsorción; en cambio los suelos arenosos no pueden fijar los metales, generando posibles contaminaciones a nivel freático.

Mineralogía de arcillas: Cuando más amplia es la superficie donde se desarrolla el mineral de la arcilla mayor son las posibilidades de adsorber los metales.

Materia orgánica: La materia orgánica en contacto con los metales reacciona formando quelatos o complejos de cadmio; para el caso del Pb y Zn pueden formar quelatos muy estables, aunque muchos casos forman complejos órgano-metal, lo que genera la solubilidad, disponibilidad y dispersión del metal, lo cual origina una toxicidad constante.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): la energía del intercambio catiónico depende de la clase de minerales de arcilla, MO, así como la valencia y radio iónico del metal hidratado. A mayor tamaño de radio iónico y menor valencia con menos frecuencia quedan retenidos los metales.

Condiciones redox: La capacidad de oxidación-reducción es el causante de que el metal se encuentre reducido u oxidado.

Carbonatos: La presencia de estos compuestos garantiza que los pH se mantengan altos, generando la precipitación de los metales pesados. El Cd y entre otros metales con frecuencia son adsorbidos por los carbonatos.

Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn: Es muy importante porque retienen a los metales y lo inmovilizan.

1.3.3.5 Absorción y translocación de metales pesados en las plantas.

La acumulación de metales pesados no esenciales para las plantas es un serio problema ambiental, ya que la absorción de metales por el medio vegetal, es el proceso más importante para entrar a la cadena alimenticia (Azpilicueta, Pena y Gallego, 2010).

Además Azpilicueta, Pena y Gallego (2010), manifiestan que las plantas incorporan metales pesados junto con el agua y otros nutrientes a través de las raíces, que posteriormente ingresan a las células vegetales, y que se dispersan en los distintos compartimientos subcelulares mediante proteínas transportadoras presentes en las membranas de dichos compartimientos; pero como dichos transportadores no suelen ser específicos para cada metal, generan dos tipos de inconvenientes; por un lado que se incorporen metales nocivos para las plantas y por otro la acumulación de manera excesiva de un metal límite. La absorción de metales pesados por las plantas es normalmente el primer paso de su ingreso a la cadena alimenticia.

La sabia bruta, es decir el agua presente en el suelo y los iones inorgánicos se transportan a la raíz mediante células corticales y hasta las hojas mediante una variedad de células tubulares que pertenecen al tejido leñoso llamado xilema. La fuerza que transporta la solución no se enfoca en las células del tejido del xilema, sino en la fuerza del proceso de ósmosis y en otra fuerza menos conocida como succión. Aunque, otro mecanismo de movilización de sustancias tóxicas a la planta se da también directamente a partir de las hojas; la movilización de los metales desde de las hojas hacia los tejidos de almacenamiento usados como alimentos

(semillas, tubérculos y frutos) es a través del floema (Navarro, Aguilar y López 2007).

Por otro lado Azpilicueta, Pena y Gallego (2010), sostienen que la capacidad de movilización del metal, así como su sitio de depósito dentro de la planta, dependerá de la característica del metal, especie vegetal y de la edad de la planta en el momento de exposición. Las plantas pueden absorber grandes cantidades de metales, pero son las raíces que generalmente concentran la mayor parte; y que constantemente, constituyen el sitio de almacenamiento de ellos. Por ejemplo cuando la fuente de contaminación es el suelo, los metales pesados decrecen en ese orden: raíces>tallos>hojas>frutos>semilla.

Con respecto a los mecanismos de resistencia de las plantas frente a los metales presentan una diversidad. A nivel celular, las especies vegetales pueden reducir o inmovilizar el flujo de entrada del metal pesado a través de transportadores de membrana, ya que contiene sustancias quelantes orgánicas que puede ser producido por la misma planta o provenir de otra fuentes; puede darse un bombeo extracelular del metal. Otro mecanismo de defensa ante los metales consiste en quelar al metal formando quelatos que pasan por la vacuola que incluso llegan a bioacumularlo para expulsarlo posteriormente; las plantas presentan tres tipos de moléculas capaces de quelar al metal pesado las cuales son el glutatión, las fitoquelatinas y las metalotioneínas (Truchado 2014).

1.3.4 Cadmio

1.3.4.1 Características

Según Bautista (1999, p.12), el cadmio es un metal que forma parte del grupo II B de la tabla periódica y de forma iónica Cd^{+2} , de comportamiento parecido al Zn, que posee mayor afinidad con el S y es más móvil en ambientes ácidos. El cadmio es un elemento de color blanco plateado y de elevada densidad. Es un elemento muy electronegativo lo que le da carácter reductor y es capaz de formar complejos con

una variedad de ligandos como el S, N, Se; su presencia en la corteza terrestre es poco abundante y se encuentra determinado por la presencia de la roca madre, encontrándose frecuentemente como CdS, además en solución forma CdCl^+ , CdOH , etc y quelatos orgánicos, e incluso en condiciones extremas de oxidación forma minerales como CdO y CdCO_3 , así como se acumula en fosfatos y depósitos biolíticos. Todo tipo de rocas y terrenos, incluso minerales de carbón y abonos minerales contiene algo de cadmio

La presencia excesiva del cadmio en la atmósfera, el agua y en el suelo puede causar serios problemas en todos los organismos vivos. El cadmio es uno de los metales pesados que atrae mayor atención por su potencial tóxico para el hombre, ya que se acumula en el suelo, pasa a las plantas y animales y finalmente a los humanos.

1.3.4.2 Origen del cadmio

Según Sánchez (2016, p.13) el cadmio se puede originar de dos fuentes, las cuales son:

Fuentes naturales

El cadmio se encuentra en la naturaleza distribuido ampliamente en la corteza terrestre, cuya concentración media es de 0.1mg/Kg, aunque su presencia en niveles altos en el suelo es principalmente por la contaminación.

El cadmio es un constituyente muy frecuente en casi todos los compuestos de zinc, los cuales pueden contener de 0.1-0.3% de cadmio, aunque también pueden encontrarse en minerales de plomo y cobre en bajas concentraciones.

Gran cantidad de la dispersión del cadmio al medio ambiente es originada por el desgaste y erosión de las rocas, para luego ser transportados a los océanos en grandes cantidades; sin embargo, la actividad volcánica, así como los vulcanismos

subterráneos es considerada la mayor fuente natural de liberación de cadmio a la atmósfera.

Fuentes antropogénicas

A mediados del siglo XX, la emisión por actividades antropogénicas de cadmio empezó a incrementarse, siendo las principales fuentes de contaminación:

Minería y metalurgia: se centra en actividades mineras de metales no ferrosos, que son la principal fuente de escape de cadmio como subproducto de la obtención del zinc, además la contaminación puede derivarse de otras operaciones mineras como del agua de drenado de la minas, de las aguas servidas por el proceso de minerales, etc.

Industria: Por la fabricación de cables, baterías, colorantes de cadmio, fusibles, soldaduras, etc.

Producción y uso de fertilizantes fosfatados: Por la presencia de cadmio en los fertilizantes, cuyo contenido es variable y depende del origen de las rocas empleadas para su fabricación.

La principal fuente de cadmio en suelos agrícolas es la fertilización fosforada (Alloway, 1990; McLaughlin & Singh, 1999 citado por Bonomelli, Bonilla y Valenzuela, 2003).

Otras fuentes: Disposición final de los residuos sólidos, quema de residuos de plásticos y madera, así como la combustión de combustibles fósiles, etc

El cadmio y sus compuestos se distribuyen y se presentan de modo diferente según las características del medio

1.3.4.3 Efectos del cadmio a la salud

Los efectos del cadmio a la salud son los siguientes (Sánchez 2016):

La ingestión de alimentos con niveles muy altos de cadmio origina una irritación grave en el estómago, además genera vómitos y diarrea, ocasionado en algunas ocasiones hasta la muerte.

El cadmio acumulado a niveles bajos durante periodos prolongados de tiempo, afecta al riñón originando fallas de la función renal.

También la exposición al cadmio para ser humano, puede alterar el metabolismo del calcio y la resorción ósea, generando osteoporosis, fracturas óseas, dolor de articulaciones y formación de cálculos renales.

La inhalación de aerosoles de óxido de cadmio puede generar edema pulmonar y neumonitis aguda.

La Agencia Internacional para la investigación del Cáncer (IARC), califico al cadmio como carcinógeno, debido a su papel en el cáncer al pulmón.

1.3.4.4 Cadmio en los suelos

El cadmio en el suelo puede encontrar disuelto en la solución de los suelos, adsorbido por superficies orgánicas e inorgánicas, formando parte de minerales, precipitado con otros compuestos del suelo o incorporados a estructuras biológicas. El cadmio adicionado a los suelos se redistribuye y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida generando una rápida retención inicial y generando reacciones lentas (Sánchez 2016). Pero el cadmio se pierde del suelo o resulta inaccesible como resultado de la lixiviación, extracción de los cultivos, reacción con los minerales o elementos del suelo especialmente bajo condiciones de suelo calcáreos.

Distribución del cadmio en el suelo

El cadmio liberado de los minerales es rápidamente distribuido entre la solución del suelo y las fases minerales y orgánicas, cuya movilidad dependería de las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Es por ello que dicho metal puede adoptar diversos caminos: disuelto en la solución del suelo, formando complejos con la materia orgánica, como ión intercambiable de los coloides que integran el complejo de cambio, adsorbidos por sulfatos, fosfatos e hidróxicos de Fe, Al, Mn, o formando parte de minerales secundarios presentes en el medio edáfico.

Por lo tanto, el Cd puede presentarse (Sánchez, s.f.):

En la solución del suelo: Ocupando el espacio poroso y alrededor de toda la superficie de las partículas orgánicas e inorgánicas y del sistema de raíces. Encontrándose en dicho medio en forma de catión Cd^{+2} fundamentalmente, presentándose biodisponible para las especies vegetales y la microfauna del suelo. El contenido de Cd en la solución del suelo de manera natural es moderadamente bajo alrededor de $6 \mu\text{g/L}$ y generado por actividades antropogénicas alcanza valores hasta los $400 \mu\text{g/L}$.

Adsorbidos en el complejo de cambio: Las arcillas y materia orgánica de naturaleza coloidal, presentan carga superficial principalmente negativas, generando la atracción de iones con carga positiva a partir de la solución del suelo, formando capas densas con la superficie de los coloides. Dicha asociación entre catión y los coloides es débil ocasionado que los cationes sean fácilmente desplazados o intercambios por otros cationes.

Formando complejos: A diferencia del anterior el catión está unido al ligando a través de enlaces covalentes, generando que las especies asociadas no sean desplazadas como sucedía con el intercambio catiónico.

El catión Cd^{+2} forma complejos con los grupos OH del material mineral (oxihidróxidos de Fe y Mn y arcillas del suelo), este proceso en medios ácidos genera la desorción y liberación del metal a la solución del suelo, mientras que en medios

básicos la retención del metal se ve favorecida. Por otro parte, el cadmio puede formar complejos metálicos con los grupos funcionales de la M.O. como los grupos carboxílicos, fenólicos y alcohólicos, los medios ácidos tienen un papel importante ya cuando el pH disminuye en estos complejos metálicos genera la ruptura del metal-grupo funcional liberando al catión en la solución del suelo.

Precipitado: En condiciones aerobias el cadmio en la solución del suelo puede precipitar como hidróxidos, carbonatos, fosfatos, humatos, fulvatos, etc generando la extracción del catión de manera permanente. Por otra parte en condiciones anaerobias, el metal puede precipitar con el sulfuro de hidrogeno. Además dicho metal puede precipitar en forma de carbonatos y sulfuros metálicos, Por lo tanto el metal en estas condiciones reduce en gran medida la solubilidad y disponibilidad del cadmio.

Fijado a la estructura mineral: El cadmio fijado a la estructura mineral por alteración química genera la liberación del metal a la solución del suelo.

En el suelo, la mayoría de los metales se encuentra en forma complejada, precipitada, o introducida a la estructura cristalina, ya que solo una pequeña parte se encuentra en la solución del suelo. Por lo tanto la mayor parte está asociada a las partículas de los suelos que son trasladados por acción del viento o el agua.

Así mismo las actividades antropogénicas aumentan la concentración de los metales en la solución del suelo generando que los metales ingresen a las aguas superficiales o subterráneas, para el caso del cadmio desarrollado bajo el clima húmedo la migración del de dicho metal a lo largo del perfil esta favorecida por su acumulación; además dicho metal puede ser absorbido por las plantas generándose la transferencia del elemento metálico más tóxico a la cadena alimentaria.

Factores que influyen en la retención y disponibilidad del Cd en el suelo

La movilidad del Cd es muy baja, y se almacena en los primeros centímetros produciendo el lixiviado en el perfil del suelo, cuando la contaminación es generada

por las actividades antropogénicas, las concentraciones tienden a disminuir a profundidad, ello se debe a que la movilidad y biodisponibilidad del cadmio en los suelos no solo es dependiente de la especiación química, sino también de las propiedades del suelo, es por esta razón que los parámetros que inciden en las propiedades de dicho medio son importantes para valorar la sensibilidad de los suelos frente a contaminantes(Sánchez, s.f.)

Según Sánchez (2016, p.7) de muchas investigaciones hechas referentes a la movilidad del cadmio en los suelos los parámetros que influyen en el comportamiento del metal frente a las propiedades del suelo son:

pH: el pH influye fuertemente en la dinámica del Cd. Con un pH elevado se forma con el Cd especies oxoaniónicas, aunque a un pH de 6.5 la disponibilidad es mínima. En pH bajos predomina como ion Cd^{+2} generando una elevada disponibilidad para las plantas. En medio alcalinos el Cd no es móvil, porque precipita en forma de carbonatos como $CdCO_3$ y fosfatos insolubles; en cambio en suelos ácidos, los sesquióxidos y la materia orgánica controlan la solubilidad del metal.

Textura: En cambio los suelos fijan mayor cantidad de Cd en textura de suelo más fina (arcillosa).

Potencial de oxidación- reducción: es el responsable de que el metal se encuentre oxidado o reducido. Con respecto al cadmio en estado de oxidación disminuye la solubilidad en pH básico, en cambio en medio ácido la solubilidad es bastante menor en estados reductores.

El estado reductor influye en la estabilidad de los componentes del suelo; el Fe y Mn en condiciones reductoras en la solución del suelo se dispersa generando el retorno del metal a la solución del suelo. En cambio los suelos en estados fuertemente reductores, reducen los sulfatos generando la precipitación de sulfuros de metálicos como el Cd generando su eliminación de la solución.

Influencia del clima: La migración del Cd en profundidad es más probable en suelos con climas húmedos en comparación con su acumulación en la superficie del suelo.

Materia orgánica: La influencia de la materia orgánica va depender del tipo y de la cantidad del parámetro mencionado. Con respecto al tipo, nos enfocamos en aquellos compuestos de bajo peso molecular como los ácidos fúlvicos que contribuye a la movilización de los quelatos o complejo de cambio a lo largo del perfil de los suelos favoreciendo a su dispersión, en cambio aquellos compuestos de alto peso molecular, es decir los ácidos húmicos favorecen a la retención para luego liberarlo cuando la M.O se mineralice.

Además depende de la cantidad de materia orgánica, ya que si la relación anión/catión es elevada, da como resultado una bajo contenido de cadmio originado el transporte del metal en el suelo. A mayor contenido de humus en suelo mayor CIC por lo que habría menor cadmio en solución, lo que permite menor adsorción.

Interacción con otros elementos: Las especies vegetales extraen sus nutrientes de los suelos compuestos por macro y micro nutrientes, encontrándose al mismo tiempo expuesto a varios contaminantes como el caso del Cd. Con respecto al Zn, el cual es un micronutriente para la planta minimiza la absorción del Cd en las raíces, al igual que el Cu, Mn, Ni, Se, P y Ca del suelo. A mayor contenido de cadmio en el suelo hay mayor absorción de este elemento por la planta.

Salinidad: La salinidad puede aumentar la movilización del cadmio por 2 medios: el primero medio se refiere a los cationes ligados con las sales como Na y K que sustituyen a los metales en lugares de adsorción, el segundo medio los cationes con aniones cloruros forman complejos solubles estables.

Temperatura: A mayor temperatura en el suelo hay mayor absorción porque hay mayor velocidad de reacciones y mayor solubilidad.

Estudios de trabajos de investigación indican la influencia de los parámetros fisicoquímicos del suelo, en la movilidad y disponibilidad del cadmio a continuación:

Lagreid et al. (1999) citado por Bonomelli, Bonilla y Valenzuela (2003) indican que la disponibilidad y movilidad del Cd en el medio edáfico dependen de la materia orgánica, pH, humedad, tipo y cantidad de arcilla.

Según Mite, Carrillo y Durango (2010), enfatizan que sería importante identificar las propiedades físicas del suelo como la textura y densidad aparente, para conocer el transporte del metal en el suelo.

Según Segovia (2014), en su investigación "Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de elementos traza en suelos contaminados y plantas", determinó valores de C.E. 0.92, 2.6 y 0.96 dS/m respectivamente, determinando suelos muy ligeramente salinos y salinos. Por otra parte Guerrero y Pineda, en su estudio, determinó suelos con valores C.E. inferiores a 1dS/m, clasificándolos como no salinos, determinando que esta zona no está propensa a facilitar la movilización y retención de metales pesados.

Estevéz et al. (2000) en su investigación determinaron valores de la densidad aparente de los suelos estudiados (S_1 , S_2 , S_3) determinando valores de 1.37, 1.11, 0.75 Mg/m³ respectivamente de acuerdo a los suelos estudiados. Por otra parte, Salamanca y Sadeghian (2005) determinan variaciones de la DA en las profundidades del suelo en el perfil de 8 unidades de estudio, observando que las densidades son menores (0-5cm) y aumentan con las profundidades.

Rodríguez et al. (2008), manifiesta que el Cd interviene en la entrada, transporte y utilización de nutrientes fundamentales y del agua ocasionando desequilibrios en la planta. Así mismo se determina Beltrán (2001) determina en su estudio humedades entre 37-46% en los suelos de estudio.

1.3.4.5 Movilidad del cadmio en las plantas

El cadmio por no ser un metal no esencial para las plantas no tiene medios de entradas específicos. Debido a ello el cadmio para su transporte a través de la raíz de la planta ingresa por medios de proteínas destinadas para el ingreso de nutrientes (macro y micro nutrientes) como la proteína IRT1 corresponde a la familia de transportadores del Fe y Zn (ZIP) y la proteína LCT1, transportador del calcio a las células de la raíz. Aunque existe otro grupo de transportadores llamados Nramp, ubicada en la membrana de la vacuola, la cual interviene en la movilización del metal, no permitiendo su ingreso a la raíz. El cadmio dentro de las células puede formar ligandos de S como glutatión o fitoquelatinas y ácidos orgánicos como el citrato. Otra forma de quelación del cadmio es cuando se une a pequeñas proteínas ricas en cisteína llamadas metalotioneínas. Por lo tanto una vez que cadmio forma ligandos se transportan al interior de la vacuola o a otras células. Una vez que el cadmio ingresa a la planta preferentemente se acumula en la raíz atrapado en la vacuolas de las células, y que solo una pequeña parte es transportada a la biomasa aérea de la planta concentrándose en orden decreciente, es decir semillas<frutos<hojas<tallos<raíz. Una vez en la raíz, el metal pesado puede pasar al xilema por medio del apoplasto o a través del simplasto formando complejos (Rodríguez et al, 2008).

La absorción de cadmio en las plantas puede generarse por sustancias ácidas producidas en la rizósfera, además los exudados radiculares, en especial los ácidos carboxílicos que aumenta la absorción de cadmio. Entre los factores que puede intervenir en la cantidad de cadmio absorbido por las plantas se destacan: la especie, la edad y desarrollo radicular.

La concentración de Cd es variable en la diversas partes de la planta, por ejemplo los tejidos vegetales generalmente contiene mayores concentraciones de este metal que tejidos de almacenamiento debido a la existencia de una barrera fisiológica entre lo que limita su acumulación.

El cadmio dentro de la plantas se interpone en sus procesos de respiración y fotosíntesis, se mezcla con el azufre que se encuentra en las enzimas que aumentan concentraciones de especies químicas H_2O_2 , iones de peróxido y radicales libres, que originan un proceso de estrés oxidativo causando daño celular en los tejidos.

Aunque la principal manifestación de contaminación de cadmio en las plantas es la reducción de crecimiento de las plantas, aunque depende la sensibilidad de la especie vegetal, también hay aparición de síntomas como las hojas arrugadas, clorosis y hojas de color marrón- rojizo. En cambio para plantas que toleran al Cd, la aparición de estos signos se manifiestan a elevadas concentraciones, lo que puede generar la comercialización de partes de la planta como por ejemplo el fruto con niveles altos de este metal (Herrera 2017).

En un caso de investigación, Peláez, Bustamante y Gómez (2016) determinaron concentraciones de cadmio total en las raíces a nivel superficial en la zona testigo en suelos con cadmio y plomo en el Magdalena Medio Colombiano distribuidas a distancias de 100m, 500m, 2500m, 5000m encontrando valores de 0.02, 0.028, 0.03, 0.034 mg/kg de Cd total de acuerdo a las distancias indicadas, encontrado valores inferiores tolerables para los cultivos agrícolas de 0.05-0.5 mg/kg (Kabata y Pendías, 2004 citado por el autor).

1.3.4.6 Espectrometría de absorción atómica en muestras de suelo con cadmio

Es una técnica para determinar las concentraciones de elementos metálicos a partir de una muestra, logrando analizar más de 62 metales distintos en solución (Pérez, 2014).

Principio en los que se basa

Esta técnica se basa en gran medida en la ley de Beer-Lambert, por lo tanto los electrones de los átomos dentro de atomizador logran ser ascendidos a orbitales muy

altos por un momento a través de la absorción de cantidad de energía. La cantidad de energía o longitud de onda genera la transición de electrones de un elemento en específico, como la cantidad de energía que se somete a la flama es conocida, y cantidad restante de lado opuesto se puede medir (detector), a partir de la ley mencionada con anterioridad se puede calcular cuantas transacciones se realizan, de esta manera obtener una señal que es relativa a la concentración del elemento que se mide.

Instrumentos

Para analizar los componentes atómicos de la muestra es necesario atomizarla, para luego ser iluminada por la luz y finalmente, la luz es transmitida y medida por un detector.

Tipo de atomizadores

Los atomizadores que usualmente se usa es la llama, pero se puede utilizar otros atomizadores como el horno de grafito o plasmas.

Análisis de los líquidos

La muestra en solución en gas atómico debe seguir los siguientes pasos: El líquido solvente se evapora y la muestra se mantiene seca (Desolvación), luego la muestra seca se evapora a gas (vaporización) y finalmente los compuestos que constituyentes de la muestra se fraccionan en átomos libres (Atomización).

según departamento de Medicina legal, toxicología y Psiquiatría la determinación de metales por el método de absorción atómica por llama se fundamenta, en que una cantidad de energía electromagnética es suministrada a un átomo cualquiera en estado fundamental, el cual es absorbido por el átomo de manera que incrementa el radio de giros de sus electrones externos, llevando al átomo a un estado energético llamado estado excitado, pero como dicho estado no es estable el átomo regresa a su estado fundamental, con lo cual se cede una cantidad de energía

cuantitativamente igual a su energía de excitación, emitiendo radiaciones a longitudes de onda determinadas.

Fuente de luz

Las fuentes de luz que se utilizan son: los láseres de diodo y lámparas de cátodo hueco.

Metodología

Equipo:

- Espectrofotómetro de absorción atómica equipado para flama
- Lámpara de cátodo hueco

Materiales:

- Estándares de cadmio en soluciones de ácido clorhídrico 1N con las siguientes:
Concentraciones: 0.05, 0.1 ,0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8 ppm
Concentraciones: 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02ppm
- Solución blanco: solución de ácido clorhídrico 1N
- Soluciones de muestras preparadas de suelo y lixiviados

Condiciones Instrumentales para la lectura de Cadmio:

- Corriente de lámpara: 10.0mA
- Longitud de onda: 228.8nm
- Paso de la luz: 0.5nm
- Flujo de aire: 13.50 l/min
- Flama utilizada= Aire/ Acetileno
- Flujo de acetileno=2.00 l/min

Preparación de la muestra

Para la preparación de la muestra se pesa un 1g de suelo, se carboniza a 500°C luego se añade 1ml de HCl a 37% y 3ml de HNO₃, luego se traslada a una plancha de calentamiento hasta la evaporación, posteriormente se añade 10ml de HCl a 37% evaporándose hasta la sequedad para ser lavado con agua destilada y filtrado, sucesivamente se traslada a un balón de 100ml tomando una alícuota de 1ml y finalmente se diluyen en 50ml HCl de 0.5 de N.

Una vez preparada la muestra se continúa a realizar la preparación de patrones del metal a determinar.

1.3.5 Cacao (*Theobroma cacao* L.)

Tabla N°1. Taxonomía del *Theobroma cacao* L.

TAXONOMÍA DE <i>Theobroma cacao</i>	
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Orden	Malvales
Familia	Malvalceae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>Theobroma cacao</i>

Fuente: Díaz 2013 citado por Araujo 2016

Esta especie vegetal es conocido con diversos nombres en todo el mundo como: cacao, cacaotero, cacaoyer, abacaraá, etc. (Araujo 2016).

Según CONABIO (2010, p.273) la planta de cacao presenta la siguiente descripción:

Forma: Árbol pequeño, perennifolio, que crece de 4 a 7m dependiendo de la variedad de cacao (CONABIO 2010).

Copa/Hojas: Copa ubicada baja altura, pesada y alargada. Hojas de gran tamaño, distanciadas, caídas, de forma elípticas u oblondas que miden de 20 a 35 cm de longitud y el ancho de 4 a 15cm, con puntas alargadas y anchas, de aspecto liso, que cuelgan de un peciolo.

Tronco, Ramas: El tronco crece de manera dimórfica con brotes ortotrópicos. Las ramas en forma de abanico, de las cuales las ramas primarias se forman con divisiones de 3 a 6 ramillas. Con respecto a las flores aparecer en los troncos.

Flor: Las flores se muestran en racimos en la longitud del tronco así como en las ramas, el color de las flores es color púrpura, rosa o blanca, de tamaño pequeño, en forma de estrella. Las inflorescencias de generar flores en muchos años se transforman en tubérculos engrosados conocidos como juanetes florales.

Fruto: Su fruto es una baya muy grande de color amarilla o púrpura llamada mazorca de forma oblonda a ovada, que contiene de 30 a 40 semillas contenidas en una placentación axial.

Semilla: Son de gran tamaño llamadas almendras de coloración chocolate o púrpura de sabor amargo. Las semillas están cubiertas por un mucilago de color blanco de sabor agridulce. El volumen de la semilla se conoce como habas, granos de cacao, las cuales son ricas en materia grasa, proteínas, almidón.

Sexualidad: Hermafrodita.

Raíz: El sistema radical está conformado por una raíz pivotante que en condiciones adecuadas puede llegar hasta 2m de profundidad, favoreciendo al reciclaje de nutrientes (CONABIO 2010). Las plantas de cacao en los primeros meses presentan abundantes raíces laterales a nivel superficial que posteriormente van decreciendo, quedando aquellas de desarrollo formal, que se distribuyen principalmente en los primeros 50cm. Las raíces de las plantas de cacao sembradas en suelos franco arcillosos se desarrollaron mejor que en suelo franco arenosos. Plantas con un 50% de sombra desarrollan una raíz final más profunda y las raíces laterales son más extensas que en comparación con una planta bajo una sombra del 25%(Mejía 2002).

Así mismo, CONABIO (2010) manifiesta las regiones y el hábitad donde se desarrolla la especie vegetal; y las desventajas de dicha especie.

Distribución:

El cacao se cultiva en regiones calientes y de bastante humedad.

Habitad: Crecen en una superficie plana u ondulada, también crece en terrenos que traspasen el 50% de pendiente, por ejemplo crecen a orillas de arroyos.

El clima para su crecimiento debe ser frecuentemente húmedo con promedio de temperatura de 20 y 30°C. Para su desarrollo se exige suelos profundos que como mínimo presenten un metro de profundidad, además que sean fértiles y drenados. El árbol se cultiva bajo sombra de otros árboles, ya que necesita de protección para su desarrollo y protección.

Desventajas

Es vulnerable a heladas y sequías.

Los insectos como la hormiga arriera, gallina ciega entre otros puede causar daños al tallo, madera o flor.

Los virus pueden causar hinchamientos en los brotes.

Es muy sensible al viento.

Los daños causan por los hongos causadas en distintas partes en las plantas causan enfermedades como la mazorca negra, moniliasis, mal del machete, escoba de bruja, etc.

1.3.6 Normativa para el cadmio total en el suelo y en las plantas terrestres

Tabla N° 2. *Estándares de calidad ambiental para suelo para parámetros inorgánicos*

DS N°002-2013-MINAM

N°	Parámetros Inorgánicos	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial/Parques	Suelo Comercial/Industrial/Extractivos	
	Cianuro libre (mg/Kg MS)	0.9	0.9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
	Arsénico total (mg/Kg MS)	50	50	140	EPA3050-B EPA 3051
	Bario total(mg/kg MS)	750	500	2000	EPA3050-B EPA 3051
	Cadmio total(mg/kg MS)	1.4	10	22	EPA3050-B EPA 3051
	Cromo VI(mg/kg MS)	0.4	0.4	1.4	DIN 19734
	Mercurio total(mg/kg MS)	6.6	6.6	24	EPA- 7471-B
	Plomo total(mg/kg MS)	70	140	1200	EPA3050-B EPA 3051

Fuente: MINAM, 2013

Tabla N° 3. Metales pesados en plantas terrestres

Elementos	Plantas Terrestres (mg/kg)
Cadmio (Cd)	0.1-2.4
Cobalto (Co)	<1.0
Cobre (Cu)	-
Cromo (Cr)	0.03-10
Hierro (Fe)	70-700
Mercurio(Hg)	< 0.02
Manganeso	20/700
Níquel (Ni)	-
Plomo(Pb)	-
Selenio (Se)	0.03
Zinc (Zn)	20-400
Arsénico (As)	0.2-7

Fuente: Más y Azcue (1994) citado por Cárdenas (2012).

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema general

¿Cómo se distribuye el cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017?

1.4.2 Problemas específicos

¿Qué concentraciones de cadmio se presentan a diferentes profundidades del suelo en Pucayacu, Huánuco?

¿Qué concentración de cadmio se presenta en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco?

1.5 Justificación

El ingreso económico de 90000 familias peruanas productoras de cacao pelagra de cerrar sus exportaciones al mercado Europeo (principal cliente), conformadas por familias de zonas rurales y de la Amazonía, entre los cuales se encuentran agricultores que antes se dedican al cultivo de coca. Además dichas exportaciones se incrementado \$41.3 millones en el 2007 a \$238.6 millones en el 2015, colocándose del puesto 16 al 5 en la categoría de exportación agropecuaria no tradicional.

Todo este surgimiento de la exportaciones de cacao que fomenta a la producción sostenible peruana se ponen en riesgo, ya que de acuerdo con Villanueva (2016, p.4) “los avances en salud preventiva, en Europa han determinado que los contenidos, particularmente en productos derivados del cacao, tiene relación con incidencia de cáncer, debido al cual se ha variado los niveles máximos de cadmio, disminuyéndolos”. Por otro lado instituto del estado (INIA) no reporta interés por determinar la presencia de cadmio en los cultivos de cacao a nivel nacional, ni en que niveles se presenta, o cuales son las posibles fuentes, por el contrario en interés se enfoca en esfuerzos aislados, además este problema del cadmio y otros metales no es reciente, ya que estudios internacionales realizados el 2013 revelan que el Perú y Venezuela tienen los más altos índices de concentración de cadmio en los cultivos de cacao, lo cual nos coloca en el ojo de la mira frente al mercado Europeo(principal cliente de las exportaciones de cacao).

Por lo tanto, esta investigación describe el comportamiento del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao, a través la distribución del cadmio en el suelo, y su presencia en la raíz a fin de determinar desde donde absorbe el cadmio, así mismo ya que nos permitirá conocer si dicho metal pesado se transporta de manera ascendente o descendente que contribuye a conocer la naturaleza de la fuente en el suelo, es decir si es de origen natural o antropogénico con precisión para futuros tratamientos de remediación en el suelo. Contribuyendo de esta manera a conocer con mayor detalle el problema del cadmio en los cultivos de cacao en el Perú. Así mismo la investigación, es relevante para la zona de estudio por la importancia

socioeconómica que representa este cultivo para los productores, que dependen del cultivo de cacao.

Además esta investigación permitirá definir la relación cadmio suelo -cadmio planta, a través del análisis de correlación Pearson y con ello proponer que fuentes incrementan el cadmio como el uso de roca fosfórica, agroquímicos o el transporte de fuentes de agua; en vista que en cada zona de estudio se toma en consideración factores externos.

Esta investigación, apertura posibilidades a otras investigaciones relacionadas a la remediación de los suelos, en vista que es un tema importante que pone en peligro la economía de muchas familias.

Con esta investigación se beneficiaran 2000 productores de cacao, cuyas exportaciones se basa productos específicos de chocolate de taza y chocolate tipo sublime a Francia y sus ganancias por Kg de cacao es de S/20; pero también se dedican a importaciones de grano de cacao. Cada productor de cacao de la zona de estudio posee aprox. 5 ha de cultivos, que en su totalidad representa 10000 hectáreas sembradas en todo Pucayacu; e incluso los productores de la zona de estudio en futuro planean exportar granos de cacao a Europa.

1.6 Hipótesis

H₀= El cadmio presente en el suelo es independiente a lo largo del perfil del suelo en Pucayacu- Huánuco

H_a= El cadmio presente en el suelo es dependiente a largo del perfil del suelo en Pucayacu-Huanuco

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar la forma de distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco, 2017

1.7.2 Objetivos específicos

Evaluar las concentraciones de cadmio que se presentan a diferentes profundidades del suelo en Pucayacu, Huánuco.

Evaluar las concentraciones de cadmio que se presentan en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco.

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño de investigación

2.1.1 De acuerdo al fin que se persigue:

Básica: Esta investigación según Marín (2008) tiene la finalidad de formular nuevas teorías, para incrementar los conocimientos científicos, pero sin contrastarlos con un aspecto práctico. Es básica en el sentido de describir la distribución del cadmio en una zona específica, es decir a diferentes profundidades del suelo y en la raíz de la planta de cacao, así mismo conocer la relación que existe entre el contenido de cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao, en el distrito de Pucayacu, lugar en donde aún no se realizan estudios, ya que los estudios en la provincia de Leoncio Prado se enfatizan en su capital de Rupa Rupa (Tingo María). Información no existente y que se revelará con esta investigación.

2.1.2 De acuerdo al tipo y nivel de conocimiento que se obtiene

Investigación explicativa: Centra su interés en explicar porque ocurre el fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por se relacionan dos o más variables (Hernández, Fernández y Baptista 2010). Por lo tanto, mi investigación se enfoca en este tipo de investigación, ya que en el lugar de estudio la presencia del metal pesado en los cultivos de cacao, se basa al testimonio de los productores de cacao por el uso de roca fosfórica y magno cal como abono para el suelo, para lo cual se analizará los resultados de cadmio a diferentes profundidades del suelo. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo determinar la forma de distribución del metal pesado en el suelo y en la raíz de la planta, además analizar si existe relación

entre el contenido del metal en el suelo con el contenido del metal en la planta de cacao a través del análisis de correlación de Pearson.

2.1.3 De acuerdo al tipo de diseño metodológico

Descriptiva: se tratan de tipo de investigación donde no se pueden manipular las variables, porque ya sucedieron al igual que sus efectos; por lo tanto se observan situaciones ya existentes (Hernández, Fernández y Baptista 2010). En conclusión mi investigación se centra este tipo de diseño metodológico, ya que en mi investigación se va centrar a observar la situación del lugar del estudio tal y como sucede en ese momento, donde se tomaran muestras del suelo a diferentes profundidades, así como muestras de la biomasa subterránea(raíz) en zonas con cadmio para determinar la forma de distribución de la concentración de cadmio tanto en el suelo como en la raíz de la planta de cacao para finalmente analizarlos y aportar evidencia en favor o en contra de esta hipótesis.

2.2 Variables, Operacionalización

Tabla N°4. Variables y Operacionalización

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
Distribución del cadmio en el perfil del suelo y cadmio en la raíz de las plantas de cacao	<p>El cadmio en el suelo libre de interferencias humanas, se debe en primer grado de la composición de la roca madre y del desgate y procesos erosivos del mismo que bajo la acción de factores ambientales determinan diferentes concentraciones a diferentes profundidades del perfil edáfico, pero este metal pesado están presente en bajísimas concentraciones en la corteza terrestre además se encuentran más estables.</p> <p>Pero el Cd procedente de fuentes antropogénicas es ambientalmente menos estable que el de origen natural y su destino depende principalmente de su dinámica de retención y su movilidad en el perfil edáfico. Además la distribución de los metales pesados con la profundidad en los perfiles de suelos presenta un movimiento descendente relativamente pequeño (Hernández 2017).</p>	<p>La distribución del cadmio se evaluara a diferentes profundidades del suelo de 0-20, 20-40,40-60 y +60cm, así mismo se evaluara el cd presente en la raíz.</p> <p>Las muestras serán analizadas empleando la metodología de análisis de Espectrometría de Absorción de atómica por Llamas.</p> <p>La determinación del cadmio total será en mg/Kg.</p>	Cadmio a profundidades del suelo	<p>Cantidad de Cd en el suelo (mg/Kg)</p> <p>0-20cm 20-40cm 40-60cm + 60 cm</p>	Cuantitativa continua

<p style="text-align: center;">Distribución del cadmio en el suelo y cadmio en la raíz de las plantas de cacao</p>	<p>El cadmio, junto con el agua y otros nutrientes son incorporados a las plantas a través de la de las raíces; ingresan a las células vegetales se distribuyen en los diferentes compartimentos subcelulares vegetales a través de proteínas transportadoras presentes en las membranas de cada compartimiento (Azpilicueta, Pena y Gallego 2010).</p> <p>Las plantas de cacao formado por una raíz pivotante que en condiciones adecuadas puede llegar a los 2 m de profundidad, favoreciendo al reciclaje de nutrientes (CONABIO 2010).</p>		<p style="text-align: center;">Cadmio en la raíz de las plantas de cacao</p>	<p>Cantidad de Cd en la raíz (mg/Kg)</p> <p>0-20cm</p>	<p style="text-align: center;">Cuantitativa continua</p>
---	--	--	---	--	---

2.3 Población y Muestra

2.3.1 Población

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (Hernández, Fernández y Baptista 2010).

La población de esta investigación contempla a los suelos de cultivo de cacao con una superficie de 10 ha y 10000 árboles de edades de 2, 5, 15 años en Pucayacu-Huánuco.

2.3.2 Muestra

La muestra es en esencia de un subgrupo de la población (Hernández, Fernández y Baptista 2010)

En la presente investigación, la muestra está representada por 1.5 ha de suelos de cultivos de cacao y 15 árboles de cacao de edades de 2, 5 y 15 años de los cuales se obtendrá 60kg de suelo y 450g de muestra de raíces.

2.3.3 Unidad de Análisis

Los suelos de los cultivos de cacao

Las raíces de las plantas de cacao

2.3.4 Muestreo

En el caso de la toma muestras de suelos de cacao a diferentes profundidades se realizó tomando en cuenta los sistemas para muestras en profundidad en este caso la realización de calicatas, así mismo se estableció un patrón de muestreo con distribución heterogénea llamada diagonal simple, para el cual se traza una línea diagonal en el plano estableciendo puntos equidistantes, es decir se eligió 3 zonas de suelos de cultivos con diferentes características la primera y segunda zona presentan suelo de tipo franco arcillo arenosos, franco arenosos y arcillo arenosos,

con pendientes y plantas de cacao de 2 años para la primera zona y 15 años para la segunda zona, la tercera de tipo franco arcillo arenosos y arcillosos que se desarrollan en una superficie plana y poseen plantas de cacao de 5 años. En cada zona se estableció una distancia de 100m por calita, siendo un total de cinco calicatas tomando como punto de origen el río Pucayacu (según la Guía para muestreo de suelos del MINAM) obteniendo por calicata una muestra simple de 1Kg . Para el caso de la toma de muestras de raíces, se tomó en cuenta la profundidades superficiales de cada una calicatas por zona para el análisis de los suelos, en donde para estimar la cantidad de raíces se estudió su número en cuadrados de 100cm² en los horizontes del suelo (Porta, López-Acevedo y Roquero de Laburu, 2003). Pero como la cantidad estimada de raíces por los autores en los horizontes no es suficiente para analizar el cadmio total de las raíces según la Universidad Agraria la Molina, ya que se requirió como mínimo 30g. Por lo cual se tuvo que ampliar los bloques cuadrados del suelo para extraer las raíces a 400cm² obteniendo los 30g de las raíces después de tamizarlos.

2.4 Técnica e Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se empleó para la obtención de la información de esta investigación, se basa en:

La observación directa: Esta observación representa que podemos asignar, así como determinar las propiedades y atributos de los fenómenos empleando directamente los sentidos y apoyándonos en algunos casos en ciertos instrumentos de medición que ofrecen sistemas universales de medida (Juno y Urbano, 2006). Por lo tanto esta técnica de observación directa se realiza en cada una de las etapas de esta investigación.

Fichas de recolección de datos: Para la obtención y registro de datos de la presente investigación se utilizaron los siguientes instrumentos o registros en campo y laboratorio como la ficha de identificación de zonas, ficha de muestreo de suelos por calicata y profundidades, la ficha de concentración de cadmio en las raíces por

zona, cadena de custodia tanto para los suelos por zona de estudio y el registro de datos obtenidos por el laboratorio (entregado por el laboratorio).

Revisión bibliográfica: La información obtenida para el desarrollo de la presente investigación tiene su sustento en teorías fehacientes de revistas científicas, libros, libros electrónicos y tesis, entre otros.

Manual de toma de muestra: Las muestras fueron tomadas de acuerdo a Guía para Muestreo de suelos D.S. N°002-2013-MINAM, Estándares Calidad Ambiental del suelo, Guía de Metodología para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados-DEVIDA, Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis así como del Libro de Edafología: Para la agricultura y medio Ambiente.

Programa estadístico SPSS: Se empleó para el análisis estadístico de las variables de estudio, así como para la prueba de hipótesis que se basa en el empleo del Software versión 22.

Microsoft Excel: Se empleó para los cálculos matemáticos de los datos obtenidos, así como presentar tablas y gráficos de resultados generales.

2.4.2 Determinación de la forma de distribución del cadmio en el perfil del suelo y en la raíz de la planta de cacao en zonas con cadmio, Pucayacu-Huánuco

Localización del estudio

El estudio se desarrolló en el distrito de Pucayacu, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, que se encuentra geográficamente ubicado a una altura 561 msnm con coordenadas UTM 9032683 N y 3762118 E (ver anexo 1).

Según la Agencia de Prensa Ambiental Inforegión, el distrito de Pucayacu ocupa una superficie de 768.35 Km² que cuenta 5 mil pobladores, distribuidos en 17 localidades rurales. Las actividades económicas que predominan en el distrito son la ganadería y

agricultura, destacando el cultivo de arroz, cacao orgánico, café, plátano entre otros productos.

Su clima es cálido húmedo-lluvioso con precipitaciones pluviales frecuentes, con precipitación media anual de 2000 y 3500mm; y con una temperatura máxima de 31°C y una mínima de 19.5°C(Plan de Desarrollo Concertado de José Crespo y Castillo, 2015,p.8)

Etapa de Campo

Materiales y/o instrumentos que se emplearon: pico de acero inoxidable, pala, barreta, pabilo, soguilla de 100m, estacas, cucharón de acero inoxidable, wincha de 30m, bolsas ziploc, rotulador, etiquetas, papel toalla, tamiz de 2mm, caja de madera cuadrada de 20x 20cm, pintura acrílica, botas, costales, termómetro para suelos, balanza gramera digital, lupa de 20x de potencia, GPS, termohigrometro digital libreta de notas, cámara de celular.

Ubicación de las calicatas por zona

Por zona se determinó 5 calicatas, tomando como punto de referencia el río Pucayacu, a partir del cual se tomó distancias de 100m en 100m por calicata distribuidas en una línea diagonal en dirección a los suelos del cultivo de cacao según como se determinó en el mapa de la zona de estudio de Pucayacu (MINAN, 2014).



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 1. Punto de origen para el distanciamiento de cada calicata (Rio Pucayacu), Pucayacu-Huánuco.



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 2. Ubicación de cada calicata a cada 100m de distancia en dirección a los suelos de cultivo de cacao, Pucayacu-Huánuco.

Delimitación y apertura de calicatas por zona:

Ubicadas las 5 calicatas por zona, se procedió a delimitar, medir las coordenadas con el GPS, así mismo limpiar la calicata es decir, extraer los hojarastas, hierbas, arbustos, rastrojos e insectos muertos; para luego aperturar la calicata. Para la apertura de la calicata se demoró entre 2h a 2h y 30 minutos para la zona 1 y 2, por el contrario para la zona 3 se demoró entre 2h y 30 minutos a 3horas.



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 3. *Delimitación de calicatas por zona*



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 4. *Medición de las coordenadas de las calicatas*



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 5. *Medición de las coordenadas de las calicatas*

Toma muestra de suelos de cultivos de cacao

En primer lugar se identificó el número de calicata y la zona a la que corresponde. Luego se estableció 4 diferentes profundidades en cada calicata por zona comprendidas entre los siguientes intervalos de medición: 0-20cm, 20-40cm, 40-60cm y +60cm así mismo se midió in situ algunos parámetros físicos del suelo como la temperatura superficial de la calicata y estructura del suelo por profundidad. Así mismo mediante la observación se determinó el drenaje de cada calicata. Posteriormente se procedió a extraer un 1Kg de muestra simple por profundidad en forma de barrido empezando de la capa más profunda para luego almacenarlas en las bolsas ziploc (Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis, 1993) para su posterior rotulado y etiquetado. Finalmente se procedió a cerrar las calicatas una vez terminada la toma de muestras del suelo y raíces de las plantas, entre otros.



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 6. Apertura y medición de la calicata hasta los 1.5 m de profundidad, y toma muestra de suelos de cultivos de cacao para la determinación del cadmio total Pucayacu-Huánuco



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 7. Identificación de las calicatas y las profundidades establecidas por calicata, Pucayacu- Huánuco



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 8. *Medición de parámetros físicos del suelo (temperatura superficial de cada calicata y estructura por profundidad) Pucayacu-Huánuco*



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 9. *Determinación del drenaje de cada calicata por observación*



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 10. Toma de muestra de suelos de cultivo de cacao por profundidad y calicata, pesado, rotulado y etiquetado.

Toma muestra de raíces de los árboles de cacao

De acuerdo a la metodología establecida según Porta, López-Acevedo y Roquero (2003) para la toma de muestras de raíces se introdujo un cuadrante de madera de dimensiones de 20x20cm en perfil del suelo de cada calicata a nivel superficial por zona en dirección al árbol de cacao más cercano, obteniendo un bloque de suelo de las dimensiones adecuadas para luego pasarlo por un tamiz de 2mm obteniendo los 30g de raíces que indica la Universidad Agraria La Molina para determinación del cadmio total en las raíces, finalmente colocar las muestras de raíces en bolsas de papel debidamente rotuladas y etiquetas.



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 11. Toma muestra de raíces de los árboles de cacao



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 12. Pesado, etiquetado y rotulado de las muestras de raíces de plantas de cacao



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 13. Cierre de calicata

Etapa de laboratorio

Las muestras fueron transportadas hacia laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Agraria La Molina (UNALM) para la determinación del cadmio total tanto en los suelos y raíces de las plantas cacao, los cuales fueron analizados mediante el método de Espectrometría de Absorción Atómica en llama utilizando el equipo de Perkin Elmer, por ser el método más empleado para determinación de metales pesados en dicho laboratorio.

El método de análisis para la determinación de la concentración de cadmio en el suelo fue el de Espectrometría de absorción atómica por llama, el cual posee uno de los mejores límites de detección (FAO, 2013)

El método de análisis para la detección de cadmio en el árbol de cacao (raíces) que se recomienda según DEVIDA es el método de análisis de Espectrometría de absorción atómica por llama.

Según departamento de Medicina legal, toxicología y Psiquiatría la determinación de metales por el método de absorción atómica por llama se fundamenta, en que una

cantidad de energía electromagnética es suministrada a un átomo cualquiera en estado fundamental, el cual es absorbido por el átomo de manera que incrementa el radio de giros de sus electrones externos, llevando al átomo a un estado energético llamado estado excitado, pero como dicho estado no es estable el átomo regresa a su estado fundamental, con lo cual se cede una cantidad de energía cuantitativamente igual a su energía de excitación, emitiendo radiaciones a longitudes de onda determinadas.

Determinación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo y del peso seco de las raíces en el Laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo- Lima Norte

Determinación de pH de los suelos de cultivo de cacao

Para determinación del pH se utilizó la relación de 1:1(suelo-agua) utilizando el pH-metro, ya que las relaciones suelo-agua más comunes para determinar el pH del suelo son 1:1 y 1:2.5 (Espinoza, 1999).



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 14. *Midiendo el pH de los suelos de cultivo de cacao en el laboratorio de la UCV*

Determinación de C.E. de los suelos de cultivo de cacao

Para determinación del C.E se utiliza la relación de 1:1(suelo-agua) que se emplea para medición del pH utilizando el potenciómetro para su medida.



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 15. Determinando la C.E. de los suelos de cultivo de cacao en el laboratorio de la UCV

Determinación de la Humedad de los suelos de cultivo de cacao

La determinación de la humedad se realizó empleando el método gravimétrico, ya que según guía de laboratorio de contaminación y control de suelos de la UCV (2017) se basa en un método directo de medición que consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y posterior a su desecado (105°C por 24h) y que se fundamenta en la siguiente fórmula:

$$W = \frac{(M_h - M_s)}{(M_s - M_r)} * 100 (\%)$$

W= Humedad (%)

M_h= peso recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s= peso recipiente más la muestra de suelo seco (g)

M_r= Peso recipiente (g)



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 16. Determinación de la humedad de los suelos de cultivo de cacao empleando el método gravimétrico

Determinación de la densidad aparente de los suelos de cultivo

El método empleado para determinación de la densidad aparente es el método de la parafina (guía de laboratorio de contaminación y control de suelos de la UCV(2017), que se basa en la medición del volumen del fluido desplazada por una masa conocida de parafina que impermeabiliza a la masa del suelo y se fundamenta en las siguientes fórmulas:

$$Dap.= \text{Peso suelo seco (g) /volumen total (cm}^3 \text{ o ml)}$$

$$Dap.= \text{Masa del terrón/V.desplazado-V.parafina}$$

$$*\text{Volumen de la parafina= Peso de la parafina/densidad de la parafina}$$

$$*\text{Volumen de la parafina= (Peso del terrón cubierto con la parafina –Peso del terrón sin parafina)/densidad de la parafina.}$$



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 17. Determinación de la densidad aparente de los suelos de cultivo de cacao empleando el método de la para fina

Determinación de la materia orgánica de los suelos de cultivo de cacao

Para la determinación de la materia orgánica, se utilizó el método por pérdida de ignición (guía de laboratorio de contaminación y control de suelos de la UCV, 2017), que se fundamenta en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Materia Orgánica: } (W1-W2)/(W1-W) \times 100\%$$

Donde:

W1= Peso del suelo seco y del crisol

W2= Peso del suelo seco después de la ignición y del crisol

W= Peso del crisol solo inicial



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 18. Determinación de la M.O. de los suelos de cultivo de cacao empleando el método de pérdida por ignición

Determinación del color de los suelos de cultivo de cacao

Determinación del color del suelo se hizo mediante sistema de colores Munsell según la guía de laboratorio de contaminación y control de suelos de la UCV (2017), determinado el color del suelo en seco a través de tres coordenadas: matiz (Hue), brillantez, claridad, pureza (Chroma) y saturación o intensidad (Chroma).



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 19. Determinación de color de los suelos de cultivo de cacao empleando el sistema de la tabla de Munsell

Determinación de la textura de los suelos de cultivo de cacao en perfil del suelo a diferentes profundidades

Se empleó el método de la prueba de la botella, para determinar las texturas del suelo en la zona de estudio (FAO, s.f.).



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 20. Determinación de la textura de los suelos de cultivo empleando el método de la botella

Determinación del peso seco de las raíces de plantas cacao

Según el laboratorio de la Universidad Agraria la Molina, se deben lavar las raíces con agua destilada, para luego someterlas al horno durante 24h a una temperatura de 70°C.



Fuente: Archivo fotográfico propio

Figura N° 21. Determinación del peso seco de las raíces de las plantas de cacao

2.4.3 Validación de los instrumentos

Para la validez de los instrumentos de recolección de datos se sometió a juicio de especialista en la materia que a través de sus observaciones aportaron para la mejora del contenido (ver anexo 8) a continuación se menciona a los especialistas que participaron en la validación:

Especialista 1:

Apellidos y Nombres: Ordoñez Gálvez, Juan Julio

Grado Académico: Dr. en Educación/ /Dr. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

CIP: 89972

Especialista 2:

Apellidos y Nombres: Gamarra Gómez, José Isaac

Grado Académico: Ing. Químico

CIP: 13600

Especialista 3:

Apellidos y Nombres: Munive Cerron, Rubén

Grado Académico: Ingeniero Agrónomo

CIP: 38103

2.5 Métodos de análisis de datos

Para los análisis de datos se empleó indicadores estadísticos como el promedio, correlación Pearson, prueba de normalidad con Shapiro Wilk y Chi-Cuadrado. Así mismo para su procesamiento se utilizó el programa estadístico SPSS y la herramienta Microsoft Excel.

2.6 Aspecto Éticos

Las consideraciones éticas que se tomó en la presente investigación son:

No se realizó ninguna copia o plagio de alguna investigación, se realizara citas de fuentes de información mencionando al autor y año de publicación correspondiente.

No se manipulo los resultados, quedando como evidencia los informes asignados por el laboratorio.

Se contó con la fiabilidad de los resultados a través del alfa de cronbach, y mediante la emisión de un informe del laboratorio acreditado y firmado por un representante.

3. RESULTADOS

3.1 Características de los perfiles de suelos

3.1.1 Características físicas de los perfiles del suelo

Temperatura superficial del suelo

Se midió la temperatura del suelo a nivel superficial, obteniéndose los siguientes resultados por zonas y calicatas.

Tabla N°5. *Temperatura en la superficie de suelos en las zonas de estudio y por calicata*

Temperatura Superficial (°C)			
Calicata	Zona 1	Zona 2	Zona 3
1	24.0	26.5	27.0
2	26.0	26.0	30.0
3	23.5	23.5	28.0
4	25.0	28.5	32.5
5	31.0	27.5	23.0
Promedio	25.9	26.4	28.1

Fuente: Elaboración propia (2017)

En la tabla N°5, se observa que la temperatura superficial del suelo es diferente en las 3 zonas. En la zona 1 la temperatura se encuentra entre 23.5 °C y 31 °C, con un promedio de 25.9°C; en la zona 2 los límites de temperatura oscilan entre 23.5 a 28.5°C con un promedio de 26.4°C; en la zona 3 se encuentran las temperaturas entre 23 y 32.5°C obteniéndose un promedio de 28.1 °C. La zona 3 es la que presenta mayor temperatura en la parte superficial del suelo.

Drenaje superficial del suelo

A la apertura de las calicatas, se observó el drenaje del suelo, obteniéndose lo siguiente:

Tabla N°6. Drenaje en la superficie de suelos en las zonas de estudio y por calicata

Drenaje			
Calicata	Zona 1	Zona 2	Zona 3
1	Bueno	Bueno	Bueno
2	Bueno	Bueno	Malo
3	Bueno	Bueno	Bueno
4	Bueno	Bueno	Bueno
5	Bueno	Bueno	Malo

Fuente: Elaboración propia (2017)

<input type="checkbox"/> Bueno	<input type="checkbox"/> Malo
--------------------------------	-------------------------------

En la tabla N°6, se observa que el drenaje superficial del suelo es igual en las 3 zonas excepto en la calicata 2 y 5 de la tercera zona que presenta un mal drenaje.

3.2 Parámetros fisicoquímicos en los perfiles de suelo por zonas

pH del suelo

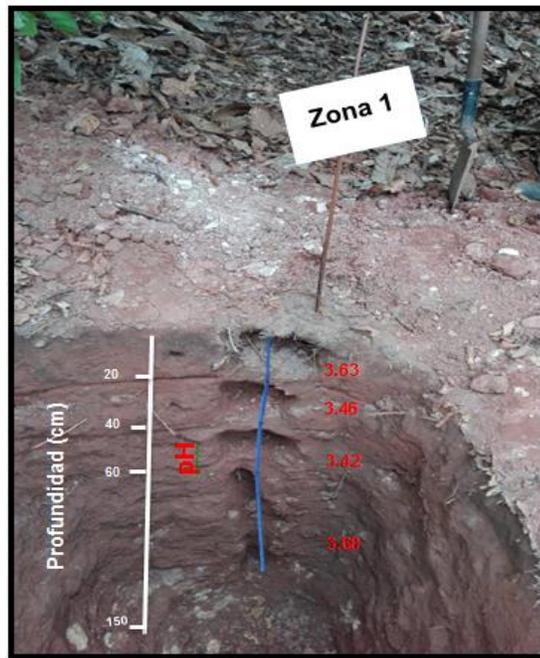
En las muestras de suelo, se determinó el pH para cada horizonte de los perfiles de las 3 zonas de estudio usando el pH-metro del laboratorio, los resultados fueron:

Tabla N°7. pH de los suelos de cultivo de cacao en la zona 1

ZONA 1						
pH						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	4.08	3.33	3.73	3.22	3.81	3.63
20-40	3.90	3.66	3.61	3.60	2.51	3.46
40-60	3.55	3.81	3.89	3.38	2.49	3.42
+ 60	3.60	3.73	3.71	3.75	3.63	3.68

El alfa de cronbach es de 0,49 en base a la profundidad.

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 1. Distribución del pH en el perfil de suelo-Zona 1

En la zona de estudio N°1, el pH en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 disminuye a profundidad desde 4.08 hasta 3.6 siendo un suelo fuertemente ácido. En el Perfil 2 el pH aumenta a profundidad, en la

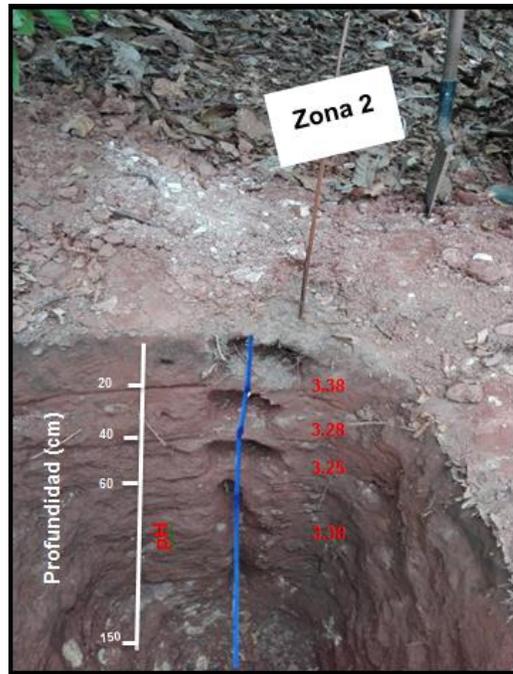
superficie se tiene 3.33 y a + 60 cm de profundidad 3.76, siendo este perfil fuertemente ácido. En el Perfil 3 oscila a profundidad desde 3.73 hasta 3.89 siendo un suelo fuertemente ácido. En el perfil 4 el pH aumenta a profundidad, en la superficie se tiene 3.22 y a + 60 cm de profundidad 3.75 calificando como un suelo fuertemente ácido. En el perfil 5 el pH varía a profundidad desde 3.81 hasta 3.63 siendo un suelo fuertemente ácido; en la zona 1 el promedio del pH varía de 3.63 hasta 3.68 considerando a todos los perfiles a diferentes profundidades como suelos fuertemente ácidos.

Tabla N°8. pH de los suelos de cultivo de cacao en la zona 2

ZONA 2						
pH						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	3.27	3.47	3.36	3.38	3.40	3.38
20-40	3.19	3.43	3.23	3.21	3.36	3.28
40-60	3.23	3.48	3.32	3.12	3.12	3.25
+ 60	3.28	3.61	3.44	3.46	3.10	3.38

El alfa de cronbach es de 0,75 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 2. Distribución del pH en el perfil de suelo-Zona 2

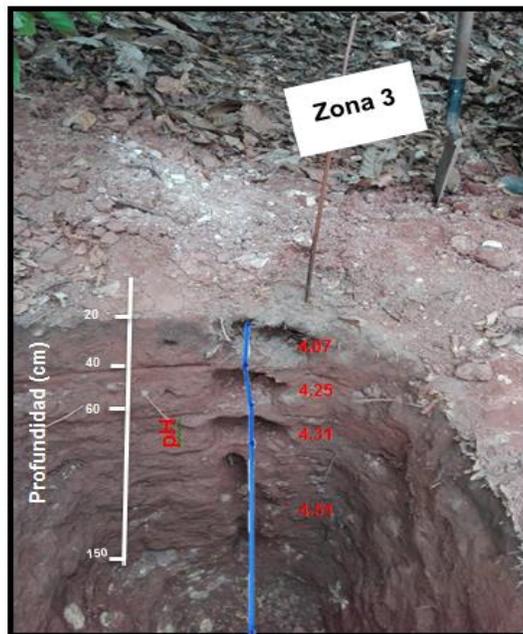
En la zona de estudio N°2, el pH en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 oscila a profundidad desde 3.19 hasta 3.28 siendo un suelo fuertemente ácido. En el Perfil 2 el pH varia a profundidad, en la superficie se tiene 3.47 y a + 60 cm de profundidad 3.61, siendo este perfil fuertemente ácido. En el Perfil 3 oscila a profundidad desde 3.36 hasta 3.44 siendo un suelo fuertemente ácido. En el perfil 4 el pH varia a profundidad, en la superficie se tiene 3.38 y a + 60 cm de profundidad 3.46 calificando como un suelo fuertemente ácido. En el perfil 5 el pH disminuya a profundidad desde 3.40 hasta 3.10 siendo un suelo fuertemente ácido; en la zona 2 el promedio del pH oscila de 3.25 hasta 3.38 considerando a todos los perfiles a diferentes profundidades como suelos fuertemente ácidos.

Tabla N°9. pH de los suelos de cultivo de cacao en la zona 3

ZONA 3						
pH						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	3.94	4.36	3.95	4.01	4.07	4.07
20-40	4.20	4.69	4.64	3.68	4.02	4.25
40-60	4.51	4.99	4.51	3.4	4.13	4.31
+ 60	5.50	4.44	4.73	3.77	4.10	4.51

El alfa de cronbach es de 0,75 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 3. Distribución del pH en el perfil de suelo-Zona 3

En la zona de estudio N°3, el pH en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 aumenta a profundidad desde 3.94 hasta 5.50

siendo un suelo fuertemente ácido. En el Perfil 2 el pH varia a profundidad, en la superficie se tiene 4.36 y a + 60 cm de profundidad 4.99, siendo este perfil fuertemente ácido. En el Perfil 3 oscila a profundidad desde 3.95 hasta 4.73 siendo un suelo fuertemente ácido. En el perfil 4 el pH varia a profundidad, en la superficie se tiene 4.01 y a + 60 cm de profundidad 3.77 calificando como un suelo fuertemente ácido. En el perfil 5 el pH oscila a profundidad desde 4.07 hasta 4.13 siendo un suelo fuertemente ácido; en la zona 3 el promedio del pH aumenta de 4.07 hasta 4.51 considerando a todos los perfiles a diferentes profundidades como suelos fuertemente ácidos.

Conductividad eléctrica del suelo

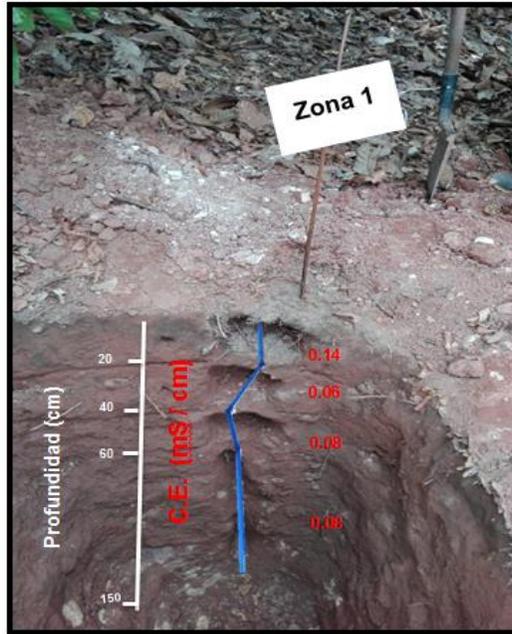
Usando el potenciómetro en el laboratorio, se obtuvieron los datos de conductividad eléctrica.

Tabla N°10. C.E. de los suelos de cultivo de cacao en la zona1

ZONA 1						
Conductividad Eléctrica(mS/cm)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	0.09	0.07	0.28	0.12	0.12	0.14
20-40	0.03	0.04	0.08	0.11	0.05	0.06
40-60	0.15	0.01	0.08	0.08	0.06	0.08
+ 60	0.08	0.02	0.12	0.10	0.08	0.08

El alfa de cronbach es de 0,65 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Gráfico N° 4. Distribución del C.E. en el perfil de suelo-Zona 1

En la zona de estudio N°1, la C.E. en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 varía a profundidad desde 0.09 mS/cm hasta 0.08mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino. En el Perfil 2 la C.E. varía a profundidad, en la superficie se tiene 0.07 mS/cm y a + 60 cm de profundidad 0.02 mS/cm, siendo este perfil muy ligeramente salino. En el Perfil 3 la C.E. oscila a profundidad desde 0.28 mS/cm hasta 0.12 mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino. En el perfil 4 la C.E. varía a profundidad, en la superficie se tiene 0.12 mS/cm y a + 60 cm de profundidad 0.10 mS/cm calificando como un suelo muy ligeramente salino. En el perfil 5 la C.E. oscila a profundidad desde 0.12 mS/cm hasta 0.08 mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino; en la zona 1 el promedio de la C.E varía de 0.14 mS/cm hasta 0.08 mS/cm considerando a todos los perfiles a diferentes profundidades como suelos muy ligeramente salinos.

Tabla N°11. C.E. de los suelos de cultivo de cacao en la zona 2

ZONA 2						
Conductividad Eléctrica(mS/cm)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	0.08	0.12	0.12	0.08	0.08	0.10
20-40	0.06	0.08	0.06	0.05	0.04	0.06
40-60	0.05	0.05	0.04	0.07	0.04	0.05
+ 60	0.04	0.05	0.07	0.08	0.04	0.06

El alfa de cronbach es de 0,48 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Gráfico N° 5. Distribución de la C.E. en el perfil de suelo-Zona 2

En la zona de estudio N°2, la C.E. en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 disminuye a profundidad desde 0.08 mS/cm hasta 0.04mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino. En el Perfil 2 la C.E. disminuye

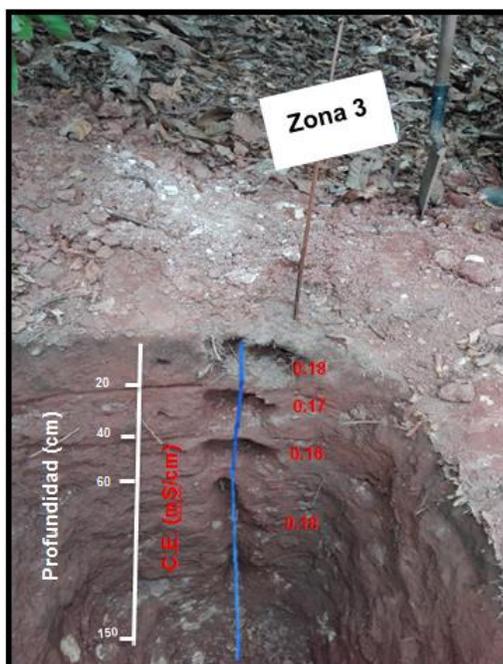
a profundidad, en la superficie se tiene 0.12 mS/cm y a + 60 cm de profundidad 0.05 mS/cm, siendo este perfil muy ligeramente salino. En el Perfil 3 la C.E. oscila a profundidad desde 0.12 mS/cm hasta 0.07 mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino. En el perfil 4 la C.E. varia a profundidad desde 0.08 mS/cm hasta 0.07 mS/cm calificando como un suelo muy ligeramente salino. En el perfil 5 la C.E. disminuye a profundidad desde 0.08 mS/cm hasta 0.04 mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino; en la zona 2 el promedio de la C.E. varía de 0.10 mS/cm hasta 0.06 mS/cm considerando a todos los perfiles a diferentes profundidades como suelos muy ligeramente salinos.

Tabla N°12. C.E. de los suelos de cultivo de cacao en la zona 3

ZONA 3						
Conductividad Eléctrica(mS/cm)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	0.24	0.28	0.25	0.05	0.08	0.18
20-40	0.28	0.27	0.22	0.03	0.05	0.17
40-60	0.27	0.27	0.21	0.03	0.04	0.16
+ 60	0.32	0.29	0.22	0.05	0.03	0.18

El alfa de cronbach es de 0,99 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 6. Distribución de la C.E. en el perfil de suelo-Zona 3

En la zona de estudio N°3, la C.E. en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 varía a profundidad desde 0.24 mS/cm hasta 0.32mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino. En el Perfil 2 la C.E. varía a profundidad, en la superficie se tiene 0.28 mS/cm y a + 60 cm de profundidad 0.29 mS/cm, siendo este perfil muy ligeramente salino. En el Perfil 3 la C.E. oscila a profundidad desde 0.25 mS/cm hasta 0.22 mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino. En el perfil 4 la C.E. varía a profundidad desde 0.05 mS/cm hasta 0.03 mS/cm calificando como un suelo muy ligeramente salino. En el perfil 5 la C.E. disminuye a profundidad desde 0.08 mS/cm hasta 0.03 mS/cm siendo un suelo muy ligeramente salino; en la zona 3 el promedio de la C.E. varía de 0.18 mS/cm hasta 0.16 mS/cm considerando a todos los perfiles a diferentes profundidades como suelos muy ligeramente salinos

Humedad del suelo

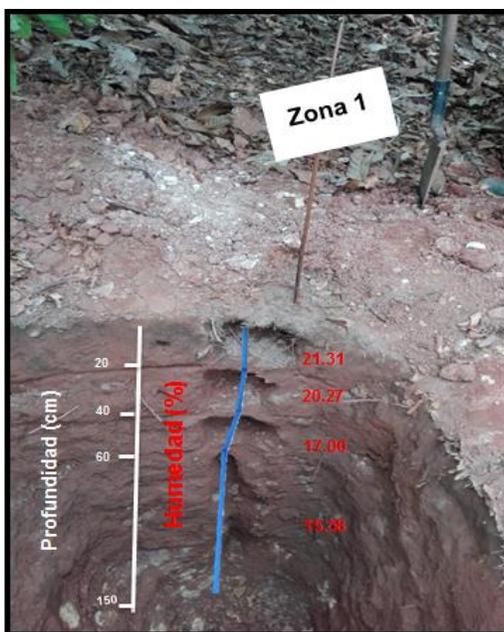
A través del método gravimétrico se realizó el análisis de contenido de humedad del suelo.

Tabla N°13. Humedad del suelo en los perfiles - zona 1

ZONA 1						
Humedad (%)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	14.19	19.49	16.59	25.77	30.52	21.31
20-40	15.38	18.69	15.28	23.9	28.09	20.27
40-60	13.19	15.35	12.08	20.89	23.48	17.00
+ 60	12.15	13.94	12.04	18.40	21.38	15.58

El alfa de cronbach es de 0,98 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 7. Distribución de la humedad en el perfil de suelo-Zona 1

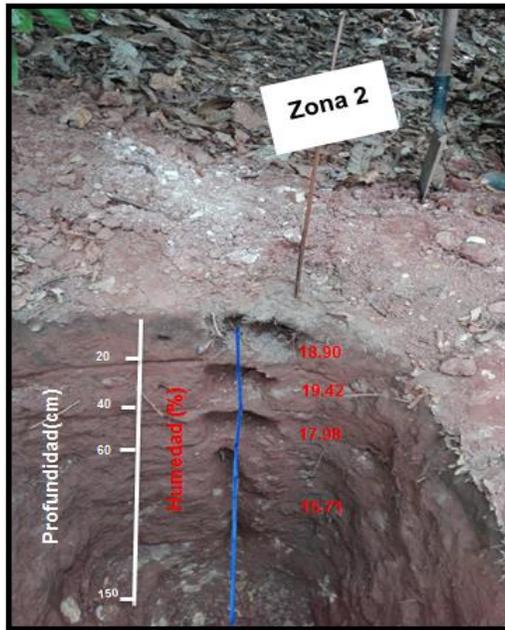
En la zona de estudio N°1, la humedad en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 varia a profundidad desde 14% hasta 12.15% siendo un suelo de humedad baja. En el Perfil 2 la humedad varia a profundidad, en la superficie se tiene 19.49% y a + 60 cm de profundidad 13.94%, siendo este perfil de humedad baja. En el Perfil 3 la humedad disminuye a profundidad desde 16.59% hasta 12.04 % siendo un suelo de baja humedad. En el perfil 4 la humedad varia a profundidad, en la superficie se tiene 25.77% y a + 60 cm de profundidad 18.40% calificando como un suelo de baja humedad. En el perfil 5 la humedad varía a profundidad desde 30.52 % hasta 21.38% siendo un perfil de baja humedad y el que presenta mayor humedad en comparación a los otros perfiles; en la zona 1 el promedio de la humedad varia de 21.31% hasta 15.58% considerando a todos los suelos a diferentes profundidades con baja humedad.

Tabla N°14. Humedad del suelo en los perfiles - zona 2

ZONA 2						
Humedad (%)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	10.18	16.69	20.13	21.71	25.78	18.90
20-40	12.55	20.23	20.03	18.41	25.88	19.42
40-60	14.49	18.19	21.09	16.02	20.11	17.98
+ 60	19.31	13.29	19.06	14.34	12.56	15.71

El alfa de cronbach es de 0,49 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 8. Distribución de la humedad en el perfil de suelo-Zona 2

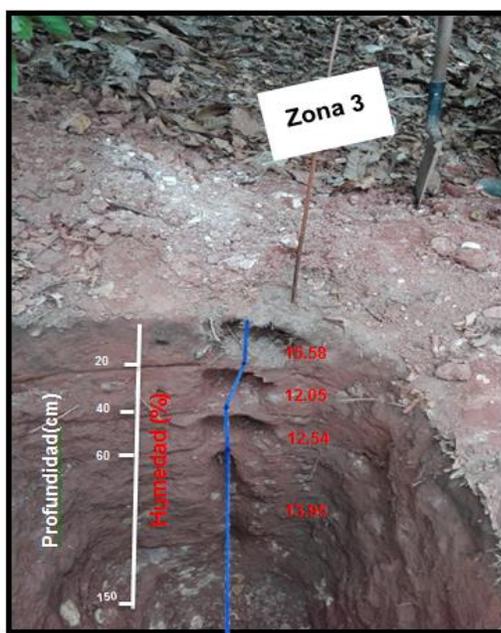
En la zona de estudio N°2, la humedad en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 aumenta a profundidad desde 10.18% hasta 19.31% siendo un suelo de humedad baja. En el Perfil 2 la humedad varia a profundidad, en la superficie se tiene 16.69% y a + 60 cm de profundidad 13.29%, siendo este perfil de humedad baja. En el Perfil 3 la humedad varia a profundidad desde 20.13% hasta 19.06 % siendo un suelo de baja humedad. En el perfil 4 la humedad varia a profundidad, en la superficie se tiene 21.71% y a + 60 cm de profundidad 14.34% calificando como un suelo de baja humedad. En el perfil 5 la humedad varía a profundidad desde 25.78 % hasta 12.56 % siendo un perfil de baja humedad y el que presenta mayor humedad en comparación a los otros perfiles; en la zona 2 el promedio de la humedad varia de 18.90% hasta 15.71% considerando a todos los suelos a diferentes profundidades con baja humedad.

Tabla N°15. Humedad del suelo en los perfiles - zona 3

ZONA 3						
Humedad (%)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	15.57	19.11	12.48	13.86	16.88	15.58
20-40	11.61	11.61	11.17	13.95	11.91	12.05
40-60	12.04	13.07	12.26	13.89	11.42	12.54
+ 60	12.30	17.10	11.93	15.13	13.31	13.95

El alfa de cronbach es de 0,49 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 9. Distribución de la humedad en el perfil de suelo-Zona 3

En la zona de estudio N°3, la humedad en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 aumenta a profundidad desde 15.71% hasta

12.30% siendo un suelo de humedad baja. En el Perfil 2 la humedad varia a profundidad, en la superficie se tiene 19.11% y a + 60 cm de profundidad 17.10%, siendo este perfil de humedad baja. En el Perfil 3 la humedad varia a profundidad desde 12.78% hasta 11.93% siendo un suelo de baja humedad. En el perfil 4 la humedad varia a profundidad, en la superficie se tiene 13.86% y a + 60 cm de profundidad 15.13% calificando como un suelo de baja humedad. En el perfil 5 la humedad varía a profundidad desde 16.88 % hasta 13.31 % siendo un perfil de baja humedad; en la zona 3 el promedio de la humedad varia de 15.58% hasta 13.95% considerando a todos los suelos a diferentes profundidades con baja humedad.

Densidad aparente del suelo

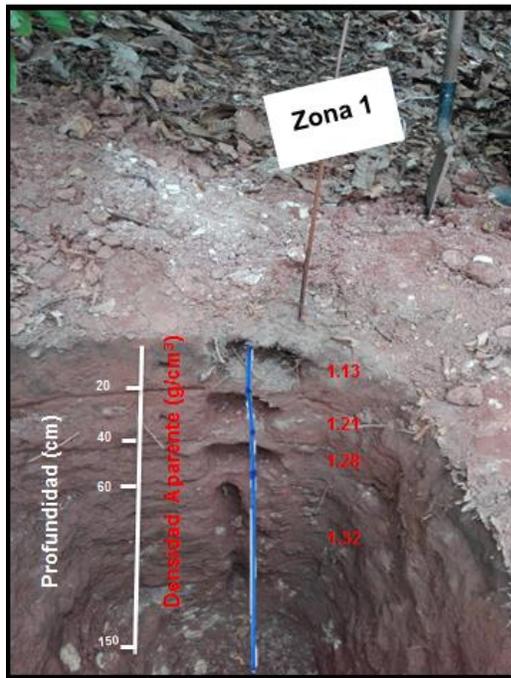
La densidad de los suelos fueron realizado en laboratorio empleando el método de la Parafina.

Tabla N°16. Densidad aparente del suelo en los perfiles- zona 1

ZONA 1						
Densidad aparente(g/cm ³)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	1.22	1.12	1.16	1.00	1,15	1.13
20-40	1.27	1.00	1.28	1.29	1.21	1.21
40-60	1.36	1.18	1.31	1.34	1.22	1.28
+ 60	1.38	1.28	1.37	1.35	1.24	1.32

El alfa de cronbach es de 0.69 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 10. Distribución de la densidad aparente en el perfil de suelo-Zona 1

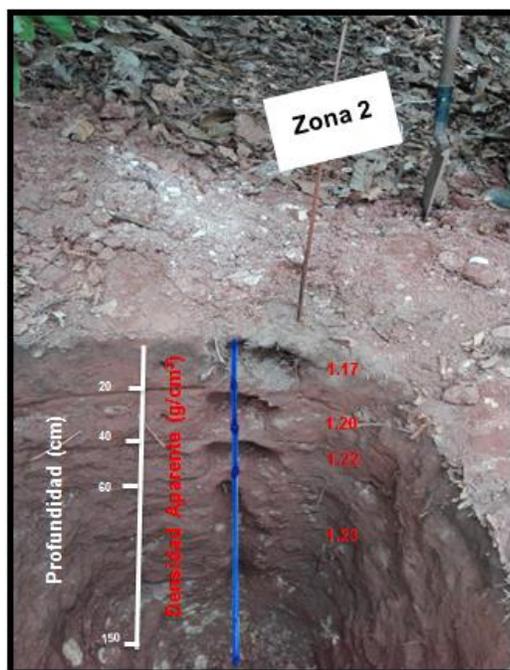
En la zona de estudio N°1, la densidad aparente en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 aumenta a profundidad desde 1.22 g/cm^3 hasta 1.38 g/cm^3 siendo un suelo de baja a alta densidad aparente. En el Perfil 2 la densidad aparente varía a profundidad, en la superficie se tiene 1.12 g/cm^3 y a + 60 cm de profundidad 1.28 g/cm^3 , siendo este suelo de baja densidad aparente. En el Perfil 3 la densidad aparente aumenta a profundidad desde 1.16 g/cm^3 hasta 1.37 g/cm^3 , siendo un perfil de baja a media densidad. En el perfil 4 la densidad aparente aumenta a profundidad, en la superficie se tiene 1.00 g/cm^3 y a + 60 cm de profundidad 1.35 g/cm^3 , siendo un suelo de baja a media densidad aparente. En el perfil 5 la densidad aparente aumenta a profundidad, en la superficie se tiene 1.15 g/cm^3 y a + 60 cm de profundidad 1.24 g/cm^3 , calificando como un suelo de baja densidad aparente; en la zona 1 el promedio de las densidades aparentes aumenta de 1.13 g/cm^3 hasta 1.32 g/cm^3 considerando a todos los perfiles a diferentes profundidades con densidades aparentes que van de baja a media.

Tabla N°17. Densidad aparente del suelo en los perfiles- zona 2

ZONA 2						
Densidad aparente(g/cm ³)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	1.30	1.19	1.28	1.00	1.08	1.17
20-40	1.46	1.26	1.14	1.01	1.15	1.20
40-60	1.16	1.28	1.32	1.12	1.21	1.22
+ 60	1.12	1.32	1.32	1.20	1.21	1.23

El alfa de cronbach es de 0,46 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 11. Distribución de la densidad aparente en el perfil de suelo-Zona 2

En la zona de estudio N°2, la densidad aparente en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 oscila a profundidad desde 1.30 g/cm³ hasta 1.12 g/cm³ siendo un suelo de media a baja densidad aparente. En

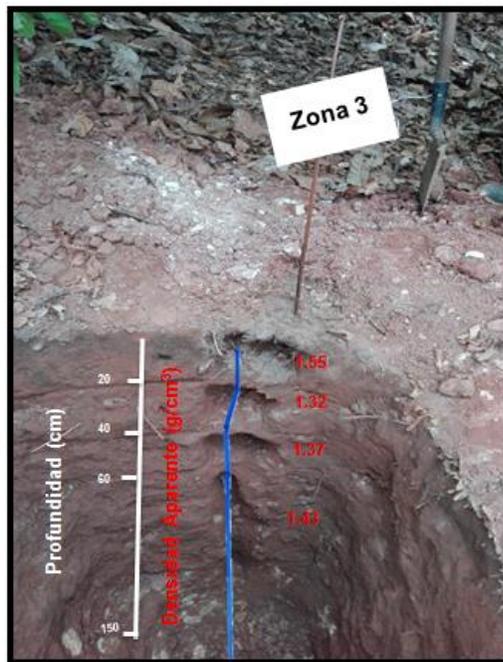
el Perfil 2, la densidad aparente aumenta a profundidad, en la superficie se tiene 1.19 g/cm³ y a + 60 cm de profundidad 1.32 g/cm³, siendo un suelo de baja a media densidad aparente. En el Perfil 3, la densidad aparente varia a profundidad desde 1.28 g/cm³ hasta 1.32 g/cm³, siendo un perfil de baja a media densidad aparente. En el perfil 4, la densidad aparente aumenta a profundidad desde 1.00 g/cm³ hasta 1.20 g/cm³, siendo un suelo de baja densidad aparente. En el perfil 5, la densidad aparente se incrementa a profundidad, en la superficie se tiene 1.08 g/cm³ y a + 60 cm de profundidad 1.21 g/cm³, calificando como un suelo de baja densidad aparente; en la zona 2 el promedio de las densidades aparentes aumenta con las profundidades de 1.17 g/cm³ hasta 1.23 g/cm³ considerando a todos los suelos a diferentes profundidades con densidades aparentes bajas.

Tabla N°18. Densidad aparente del suelo en los perfiles- zona 3

ZONA 3						
Densidad aparente(g/cm³)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	1.46	1.54	1.68	1.55	1.50	1.55
20-40	1.19	1.33	1.50	1.31	1.25	1.32
40-60	1.25	1.43	1.55	1.33	1.30	1.37
+ 60	1.35	1.50	1.60	1.37	1.35	1.43

El alfa de cronbach es de 0,98 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 12. *Distribución de la densidad aparente en el perfil de suelo-Zona 3*

En la zona de estudio N°3, la densidad aparente en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 oscila a profundidad desde 1.46 g/cm³ hasta 1.35 g/cm³ siendo un suelo de alta a media densidad aparente. En el Perfil 2, la densidad aparente varia a profundidad, en la superficie se tiene 1.54 g/cm³ y a + 60 cm de profundidad 1.50 g/cm³, siendo un suelo de alta densidad aparente. En el Perfil 3, la densidad aparente oscila a profundidad desde 1.68 g/cm³ hasta 1.60 g/cm³, siendo un suelo de alta densidad aparente. En el perfil 4, la densidad aparente varia a profundidad, en la superficie se tiene 1.55 g/cm³ y a + 60 cm de profundidad 1.37 g/cm³, siendo un suelo de alta a media densidad aparente. En el perfil 5, la densidad aparente oscila a profundidad desde 1.50 g/cm³ hasta 1.35 g/cm³, siendo un suelo de alta a media densidad aparente; en la zona 3 el promedio de las densidades aparentes varia con las profundidades de 1.55 g/cm³ hasta 1.43

g/cm³ considerando a todos los suelos a diferentes profundidades con densidades aparentes que van de altas a medias.

Materia Orgánica del suelo

La materia orgánica de los suelos fueron realizado en laboratorio empleando el método de calcinación.

Tabla N°19. Materia orgánica del suelo en los perfiles- zona 1

ZONA 1						
M.O. (%)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	0.35	0.28	0.28	0.55	0.28	0.35
20-40	0.26	0.46	0.26	0.45	0.19	0.32
40-60	0.23	0.39	0.25	0.40	0.17	0.29
+ 60	0.22	0.38	0.23	0.39	0.16	0.28

El alfa de cronbach es de 0,92 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 13. *Materia Orgánica en el perfil de suelo- zona 1*

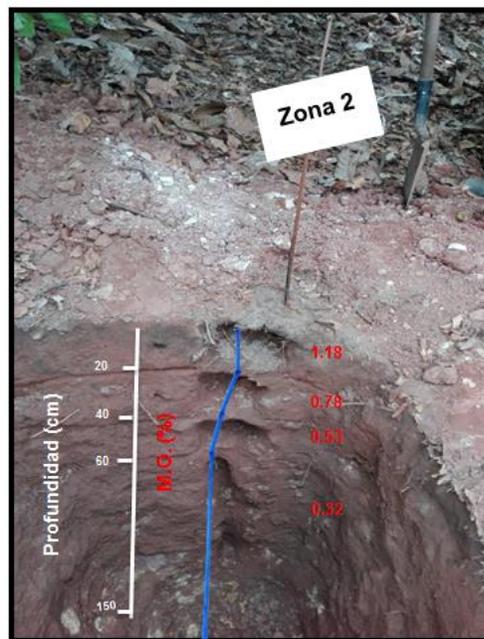
En la zona de estudio N°1, la materia orgánica en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 disminuye a profundidad desde 0.35% hasta 0.22% siendo un suelo de materia orgánica baja. En el Perfil 2 la materia orgánica varía a profundidad, en la superficie se tiene 0.28% y a + 60 cm de profundidad 0.38%, siendo este perfil de materia orgánica baja. En el Perfil 3 la materia orgánica disminuye a profundidad desde 0.28% hasta 0.23% siendo un suelo de baja materia orgánica. En el perfil 4 la materia orgánica desciende a profundidad, en la superficie se tiene 0.55% y a + 60 cm de profundidad 0.39% calificando como un suelo de baja materia orgánica. En el perfil 5 la materia orgánica disminuye a profundidad desde 0.28 % hasta 0.16 % siendo un perfil de baja materia orgánica; en la zona 1 el promedio de la materia orgánica desciende de 0.35% hasta 0.28% considerando a todos los suelos a diferentes profundidades con baja materia orgánica.

Tabla N°20. Materia orgánica del suelo en los perfiles- zona 2

ZONA 2						
M.O. (%)						
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	0.20	0.88	0.58	1.32	2.93	1.18
20-40	0.11	0.55	0.69	0.78	1.76	0.78
40-60	0.26	0.39	0.58	0.72	0.69	0.53
+ 60	0.33	0.25	0.17	0.17	0.66	0.32

El alfa de cronbach es de 0,78 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 14. Materia orgánica en perfil de suelos- zona 2

En la zona de estudio N°2, la materia orgánica en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil varían a profundidad desde

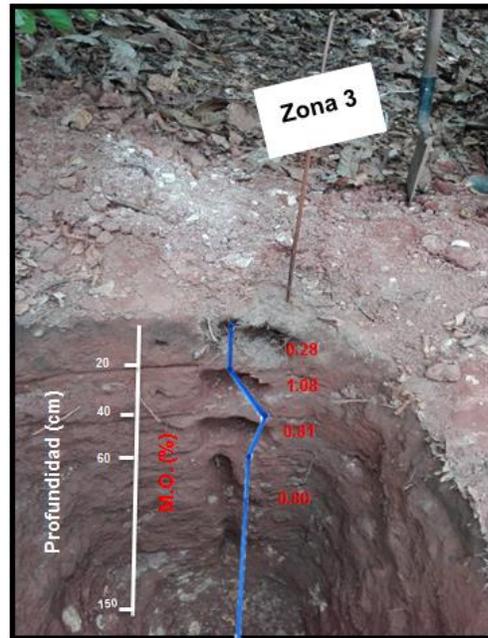
0.11% hasta 0.33% siendo un suelo de materia orgánica baja. En el Perfil 2 la materia orgánica disminuye a profundidad, en la superficie se tiene 0.88% y a + 60 cm de profundidad 0.25%, siendo este perfil de materia orgánica baja. En el Perfil 3 la materia orgánica varía a profundidad desde 0.58% hasta 0.17 % siendo un suelo de materia orgánica baja. En el perfil 4 la materia orgánica disminuye a profundidad, en la superficie se tiene 1.32% y a + 60 cm de profundidad 0.17% calificando como un suelo de baja materia orgánica. En el perfil 5 la materia orgánica desciende a profundidad desde 2.93 % hasta 0.66 % siendo un perfil de media a baja materia orgánica; en la zona 2 el promedio de la materia orgánica disminuye desde 1.18% hasta 0.32% considerando a todos los suelos a diferentes profundidades con baja materia orgánica.

Tabla N°21. Materia orgánica del suelo en los perfiles- zona 3

ZONA 3						
M.O. (%)						
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	0.20	0.11	0.50	0.30	0.31	0.28
20-40	0.74	1.11	1.20	1.18	1.15	1.08
40-60	0.57	0.62	0.89	0.82	1.14	0.81
+ 60	0.55	0.61	0.88	0.81	1.13	0.80

El alfa de cronbach es de 0,88 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 15. Materia orgánica en perfil de suelos- zona 3

En la zona de estudio N°3, la materia orgánica en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 varían a profundidad desde 0.20% hasta 0.74% siendo un suelo de materia orgánica baja. En el Perfil 2 la materia orgánica oscila a profundidad, en la superficie se tiene 0.11% y a + 60 cm de profundidad 0.61%, siendo este perfil de materia orgánica baja. En el Perfil 3 la materia orgánica varía a profundidad desde 0.50% hasta 0.88 % siendo un suelo de baja materia orgánica. En el perfil 4 la materia orgánica oscila a profundidad, en la superficie se tiene 0.30% y a + 60 cm de profundidad 0.81% calificando como un suelo de baja materia orgánica. En el perfil 5 la materia orgánica varía a profundidad desde 0.31 % hasta 1.15 % siendo un perfil de baja materia orgánica; en la zona 3 el promedio de la materia orgánica varía de 0.28% hasta 0.80% considerando a todos los suelos a diferentes profundidades con baja materia orgánica.

3.3 Cadmio total en los perfiles de suelo por zona

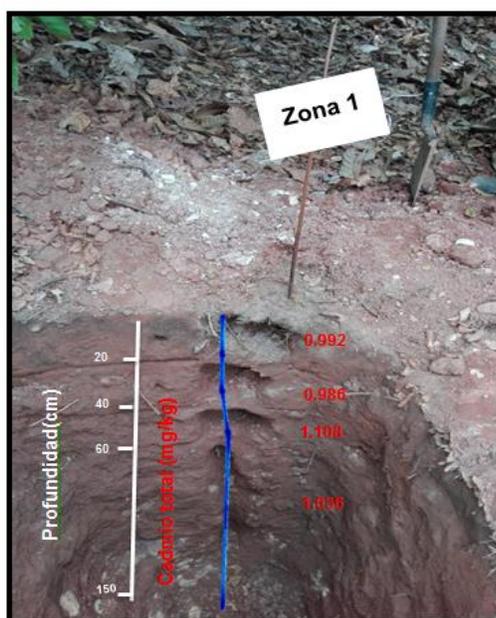
La determinación del contenido de cadmio en las diferentes profundidades de suelo fue determinada en laboratorio mediante la técnica de Espectrometría de absorción atómica. Los resultados para las 3 zonas se presentan a continuación.

Tabla N°22. Cadmio total en perfil de suelos- zona 1

ZONA 1						
Cadmio en el suelo(mg/kg)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	1.08	1.04	1.01	0.93	0.90	0.99
20-40	0.92	0.92	0.88	1.22	0.99	0.99
40-60	1.00	0.89	0.91	1.78	0.96	1.11
+ 60	0.82	1.14	0.93	1.09	1.20	1.04

El alfa de cronbach es de 0,88 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 16. Cadmio total en perfil de suelos- zona 1

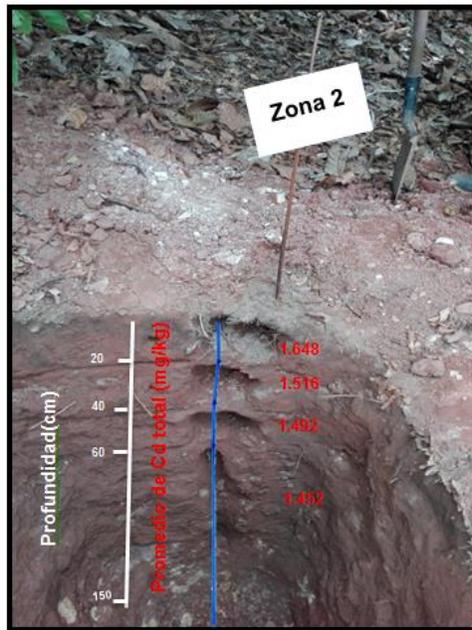
En la zona de estudio N°1, la concentración del cadmio total en las diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 varia a profundidad desde 1.08 mg/kg hasta 0.82mg/kg. En el Perfil 2 el cadmio total varia a profundidad, en la superficie se tiene 1.04mg/Kg y a + 60 cm de profundidad 1.14 mg/kg. En el Perfil 3 la concentración de cadmio total varía a profundidad desde 1.01 mg/kg hasta 0.93 mg/kg. En el perfil 4 el contenido de cadmio total varia a profundidad, en la superficie se tiene 0.93 mg/kg y a + 60 cm de profundidad 1.09 mg/kg. En el perfil 5 la concentración de cadmio total varía a profundidad desde 0.90 mg/Kg hasta 1.20 mg/kg; en la zona 1 los promedios del cadmio total varía con las profundidades, encontrándose los mayores promedios de concentración de cadmio total en las capas más profundas (40-60 y +60cm).

Tabla N°23. Cadmio total en perfil de suelos- zona 2

ZONA 2						
Cadmio en el suelo(mg/kg)						
Profundidades (cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	1.67	1.46	1.69	1.45	1.97	1.65
20-40	1.97	1.42	1.21	1.36	1.62	1.52
40-60	1.47	1.34	1.31	1.56	1.78	1.49
+ 60	1.35	1.66	1.01	1.66	1.58	1.45

El alfa de cronbach es de 0,56 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 17. Cadmio total en perfil de suelos- zona 2

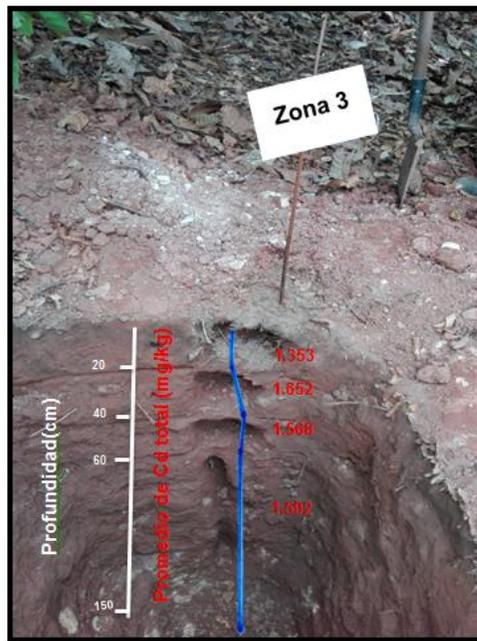
En la zona de estudio N°2, la concentración del cadmio total en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 varía a profundidad desde 1.67 mg/kg hasta 1.35 mg/kg. En el Perfil 2 el cadmio total varía a profundidad, en la superficie se tiene 1.46 mg/Kg y a + 60 cm de profundidad 1.66 mg/kg. En el Perfil 3 la concentración de cadmio total varía a profundidad desde 1.69 mg/kg hasta 1.01 mg/kg. En el perfil 4 el contenido de cadmio total varía a profundidad, en la superficie se tiene 1.45 mg/kg y a + 60 cm de profundidad 1.66 mg/kg. En el perfil 5 la concentración de cadmio total varía a profundidad desde 1.97 mg/Kg hasta 1.58 mg/kg; en la zona 2 los promedios del cadmio total varía con las profundidades encontrándose los mayores promedios de concentración de cadmio total en la capa superficial (0-20cm y 20-40cm) y en la capa profunda (40-60cm).

Tabla N°24. Cadmio total en perfil de suelos- zona 3

ZONA 3						
Cadmio en el suelo(mg/kg)						
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Promedio
0-20	1.35	1.39	1.27	1.49	1.25	1.35
20-40	1.31	1.34	1.30	1.70	2.61	1.65
40-60	1.41	1.30	1.36	1.72	2.06	1.57
+ 60	1.43	1.26	1.48	1.86	1.91	1.59

El alfa de cronbach es de 0,78 en base a la profundidad

Fuente: Elaboración propia (2017)



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 18. Cadmio total en perfil de suelos- zona 3

En la zona de estudio N°3, la concentración del cadmio total en los diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 varía a profundidad desde 1.35 mg/kg hasta 1.43 mg/kg. En el Perfil 2 el cadmio total disminuye a profundidad, en la superficie se tiene 1.39 mg/Kg y a + 60 cm de profundidad 1.26

mg/kg. En el Perfil 3 la concentración de cadmio total aumenta a profundidad desde 1.27 mg/kg hasta 1.48 mg/kg. En el perfil 4 el contenido de cadmio total aumenta a profundidad, en la superficie se tiene 1.49 mg/kg y a + 60 cm de profundidad 1.86 mg/kg. En el perfil 5 la concentración de cadmio total varía a profundidad desde 1.25 mg/Kg hasta 1.91 mg/kg; en la zona 3 los promedios del cadmio total varía con las profundidades encontrándose los mayores promedios de concentración de cadmio total en la capa superficial (20-40cm) y la capa más profunda (+60cm).

3.4 Cadmio total en las raíces diferenciado por perfiles y zonas

Tabla N°25. Cadmio total en las raíces de plantas de cacao por zonas

Zona	0-20 cm	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Cd (mg/kg)	Promedio
1	1	43	34.98	0.25	0.73
1	2	30	17.33	1	
1	3	30	17.39	0.5	
1	4	30	21.07	1	
1	5	30	16.85	0.9	
2	1	63	50.94	0.5	1.47
2	2	69	46.46	0.75	
2	3	32	20.57	1	
2	4	35	27.51	0.6	
2	5	36	21.92	4.48	
3	1	35	30.01	3.25	3.98
3	2	30	26.53	2	
3	3	30	26.39	2	
3	4	32	26.79	8.24	
3	5	37	27.59	4.43	

El alfa de cronbach es de 0,79 en base a los perfiles

Fuente: Elaboración propia (2017)

En la tabla N°25, se observa que en la zona 1 los valores de cadmio en la raíz oscila 0.25mg/kg-1.00mg/Kg. En la zona 2 de 0.50mg/Kg-4.48mg/kg y en la zona 3 de 3.25mg/Kg-8.24mg/Kg. En la zona 1, zona 2 y zona 3 los valores promedios de cadmio total en la raíz son de 0.73mg/Kg, 1.47mg/Kg y 3.98mg/Kg respectivamente,

destacándose el mayor promedio de cadmio total en la raíces de las plantas de cacao en la zona 3.

3.5 Relación del cadmio total con los parámetros fisicoquímicos evaluados en la zona de estudio

Con los datos de pH, C.E., densidad aparente y contenido de humedad, se realizaron pruebas de correlación de Pearson con el contenido de cadmio en las diferentes zonas de estudio, obteniéndose los siguientes resultados.

Relación del cadmio total- pH

Tabla N°26. Cadmio total y pH en el suelo

Zona	Profundidades (cm)	Cadmio total (mg/Kg)	pH
1	0-20	0.99	3.63
	20-40	0.99	3.46
	40-60	1.11	3.42
	+60	1.04	3.68
2	0-20	1.65	3.38
	20-40	1.52	3.28
	40-60	1.49	3.25
	+60	1.45	3.38
3	0-20	1.35	4.07
	20-40	1.65	4.25
	40-60	1.57	4.31
	+60	1.59	4.51

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°27. Correlación de Pearson entre contenido del cadmio total del suelo y el pH

		cd	pH
cd	Correlación de Pearson	1	,321
	Sig. (Bilateral)		,309
	N	12	12
pH	Correlación de Pearson	,321	1
	Sig. (Bilateral)	,309	
	N	12	12

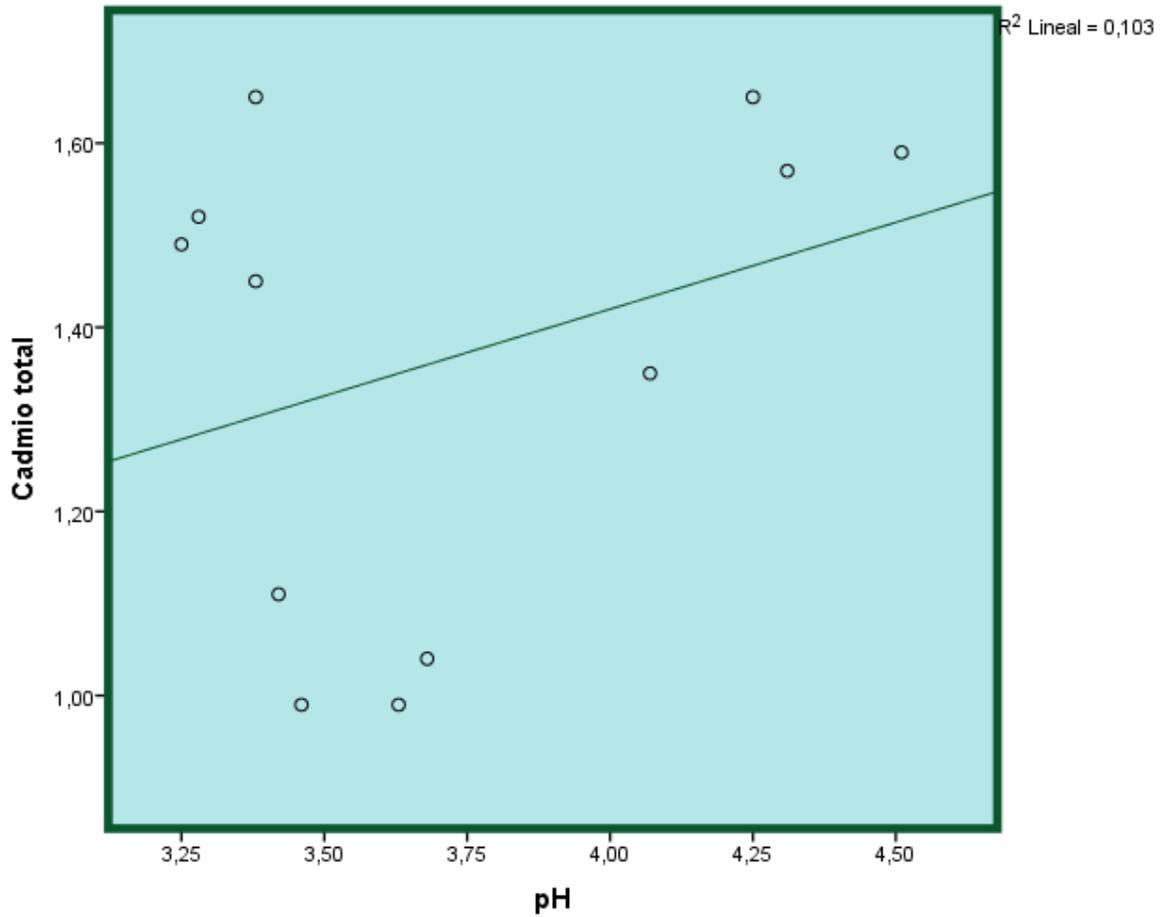
El valor no tuvo significancia estadística

Fuente: Elaboración propia (2017)

R se encuentra en:	
- 1	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe relación alguna entre variables
+ 0.10	Correlación positiva muy débil
+ 0.25	Correlación positiva débil
+ 0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1	Correlación positiva perfecta

Fuente: Universidad César Vallejo, 2012

De acuerdo a la tabla N° 27, se observa que el $R = 0,321$ entre el valor del cadmio total en el suelo con el valor del pH del suelo, determinando que las variables tienen una correlación positiva débil.



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 19. *Relación entre el cadmio total y el pH*

Analizando el R^2 lineal se determinó que el cadmio total en el suelo depende en un 10.3% del pH.

Relación del cadmio total- C.E.

Tabla N°28. Cadmio total y C.E. en el suelo

Zona	Profundidades (cm)	Cadmio total (mg/Kg)	C.E.
1	0-20	0.99	0.14
	20-40	0.99	0.06
	40-60	1.11	0.08
	+60	1.04	0.08
2	0-20	1.65	0.10
	20-40	1.52	0.06
	40-60	1.49	0.05
	+60	1.45	0.06
3	0-20	1.35	0.18
	20-40	1.65	0.17
	40-60	1.57	0.16
	+60	1.59	0.18

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°29. Correlación de Pearson entre contenido del cadmio total del suelo y el Conductividad Eléctrica

		Cd	CE
Cd	Correlación de Pearson	1	,298
	Sig. (Bilateral)		,348
	N	12	12
CE	Correlación de Pearson	,298	1
	Sig. (Bilateral)	,348	
	N	12	12

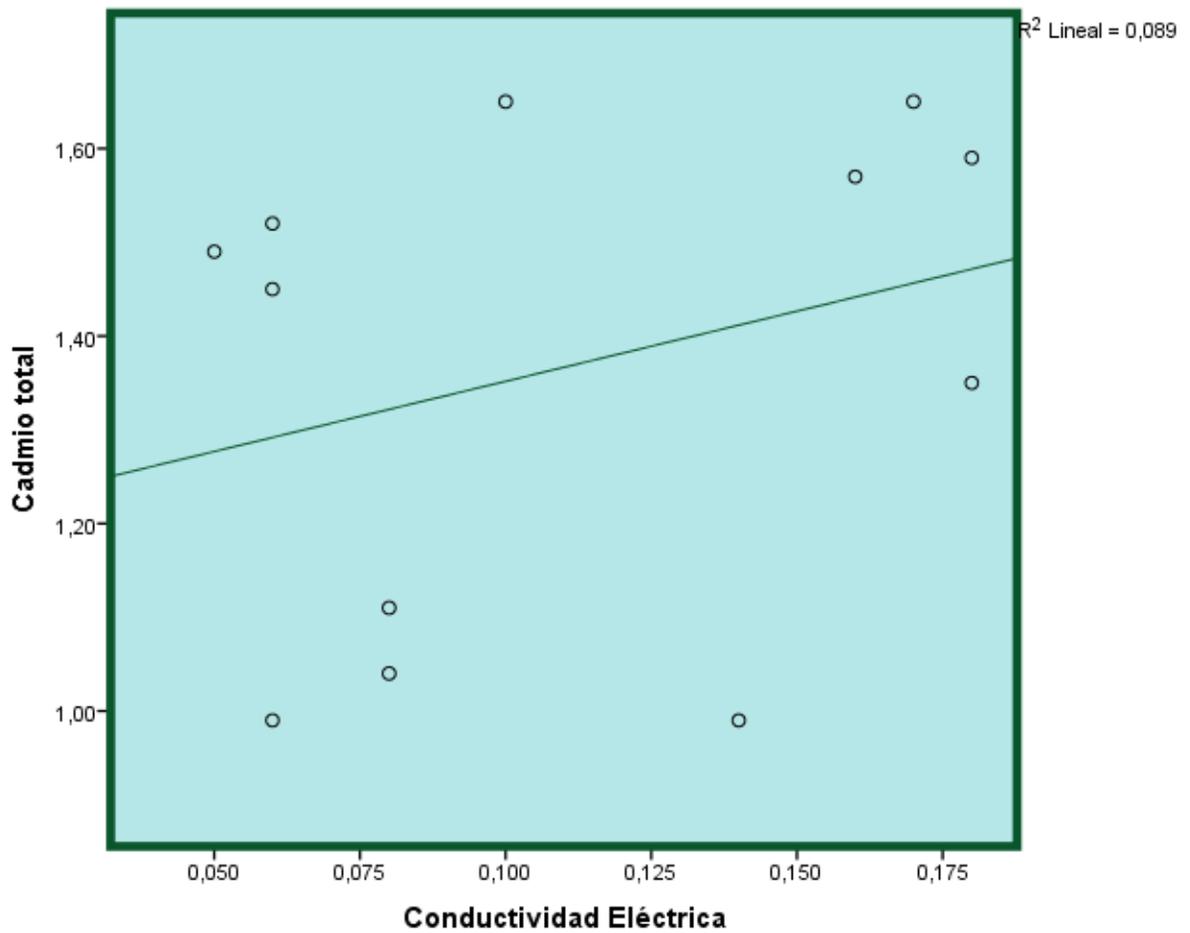
El valor no tuvo significancia estadística

Fuente: Elaboración propia (2017)

R se encuentra en:	
- 1	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe relación alguna entre variables
+ 0.10	Correlación positiva muy débil
+ 0.25	Correlación positiva débil
+ 0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1	Correlación positiva perfecta

Fuente: Universidad César Vallejo, 2012

De acuerdo a la tabla N°29, se observa que el $R = 0,298$ entre el valor del cadmio total en el suelo con el valor de la C.E. del suelo, determinando que las variables tienen una correlación positiva débil.



Fuente: Elaboración propia (2017)

Gráfico N° 20. *Relación entre el cadmio total y la C.E.*

Analizando el R^2 lineal se determinó que el cadmio total en el suelo depende en un 8.9% de la C.E.

Relación del cadmio total- humedad

Tabla N°30. Cadmio total y humedad en el suelo

Zona	Profundidades (cm)	Cadmio total (mg/Kg)	Humedad (%)
1	0-20	0.99	21.31
	20-40	0.99	20.27
	40-60	1.11	17.00
	+60	1.04	15.58
2	0-20	1.65	18.90
	20-40	1.52	19.42
	40-60	1.49	17.98
	+60	1.45	15.71
3	0-20	1.35	15.52
	20-40	1.65	12.05
	40-60	1.57	12.54
	+60	1.59	13.95

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°31. Correlación de Pearson del contenido del cadmio total del suelo y el Humedad

		Cd	Humedad
Cd	Correlación de Pearson	1	-,516
	Sig. (Bilateral)		,086
	N	12	12
Humeda d	Correlación de Pearson	-,516	1
	Sig. (Bilateral)	,086	
	N	12	12

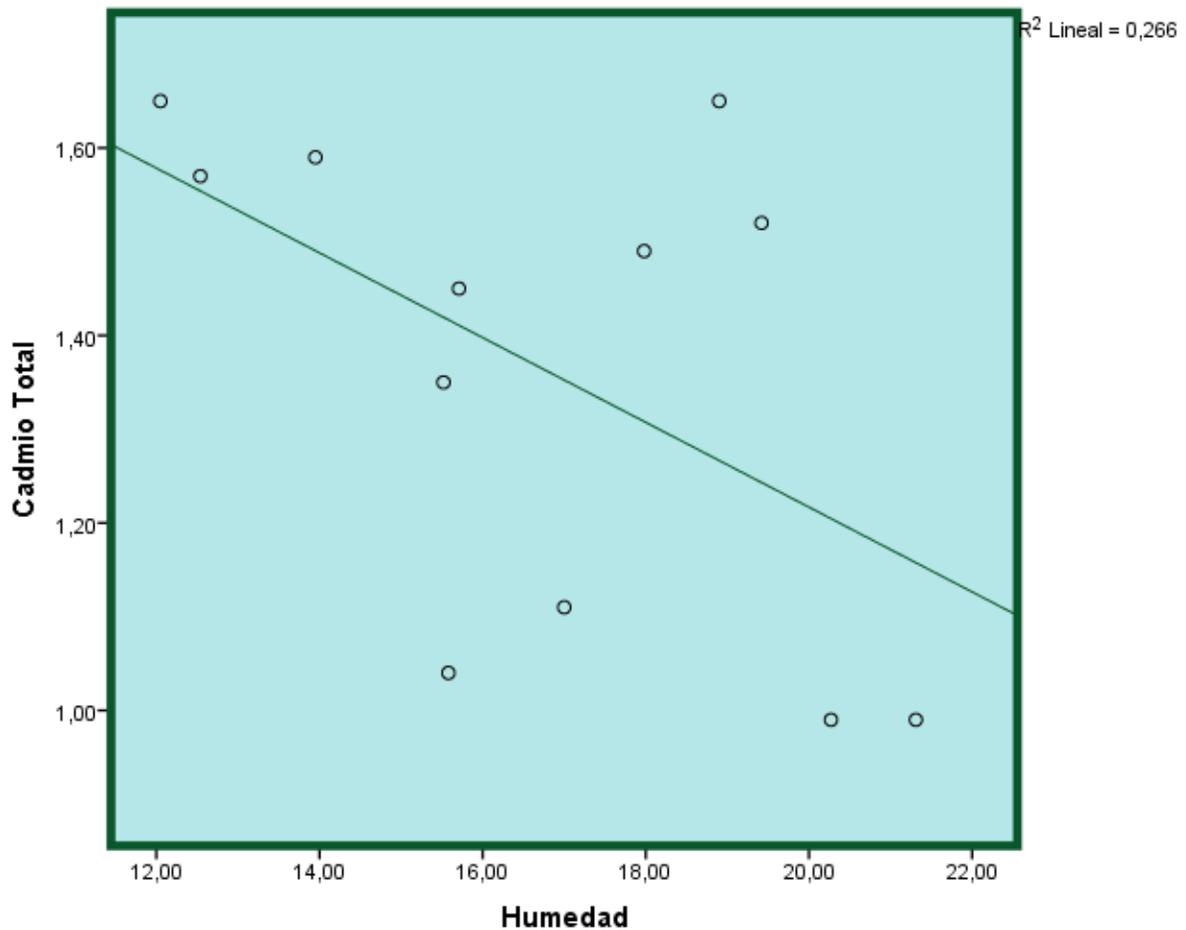
El valor no tuvo significancia estadística

Fuente: Elaboración propia (2017)

R se encuentra en:	
- 1	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe relación alguna entre variables
+ 0.10	Correlación positiva muy débil
+ 0.25	Correlación positiva débil
+ 0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1	Correlación positiva perfecta

Fuente: Universidad César Vallejo,2012

De acuerdo a la tabla N°31, se observa que el $R = -0,516$ entre el valor del cadmio total en el suelo con el valor de la humedad del suelo, determinando que las variables tienen una correlación negativa media.



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 21. Relación entre el cadmio total y la humedad

Analizando el R^2 lineal se determinó que el cadmio total en el suelo depende en un 26.6% de la humedad.

Relación del cadmio total- densidad aparente

Tabla N°32. Cadmio total y densidad aparente en el suelo

Zona	Profundidades (cm)	Cadmio total (mg/Kg)	Densidad aparente(g/cm ³)
1	0-20	0.99	1.13
	20-40	0.99	1.21
	40-60	1.11	1.28
	+60	1.04	1.32
2	0-20	1.65	1.17
	20-40	1.52	1.20
	40-60	1.49	1.22
	+60	1.45	1.23
3	0-20	1.35	1.55
	20-40	1.65	1.32
	40-60	1.57	1.37
	+60	1.59	1.43

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°33. Correlación de Pearson del contenido del cadmio total del suelo y la densidad aparente

		Cd	DA
Cd	Correlación de Pearson	1	,213
	Sig. (Bilateral)		,507
	N	12	12
DA	Pearson Correlation	,213	1
	Sig. (Bilateral)	,507	
	N	12	12

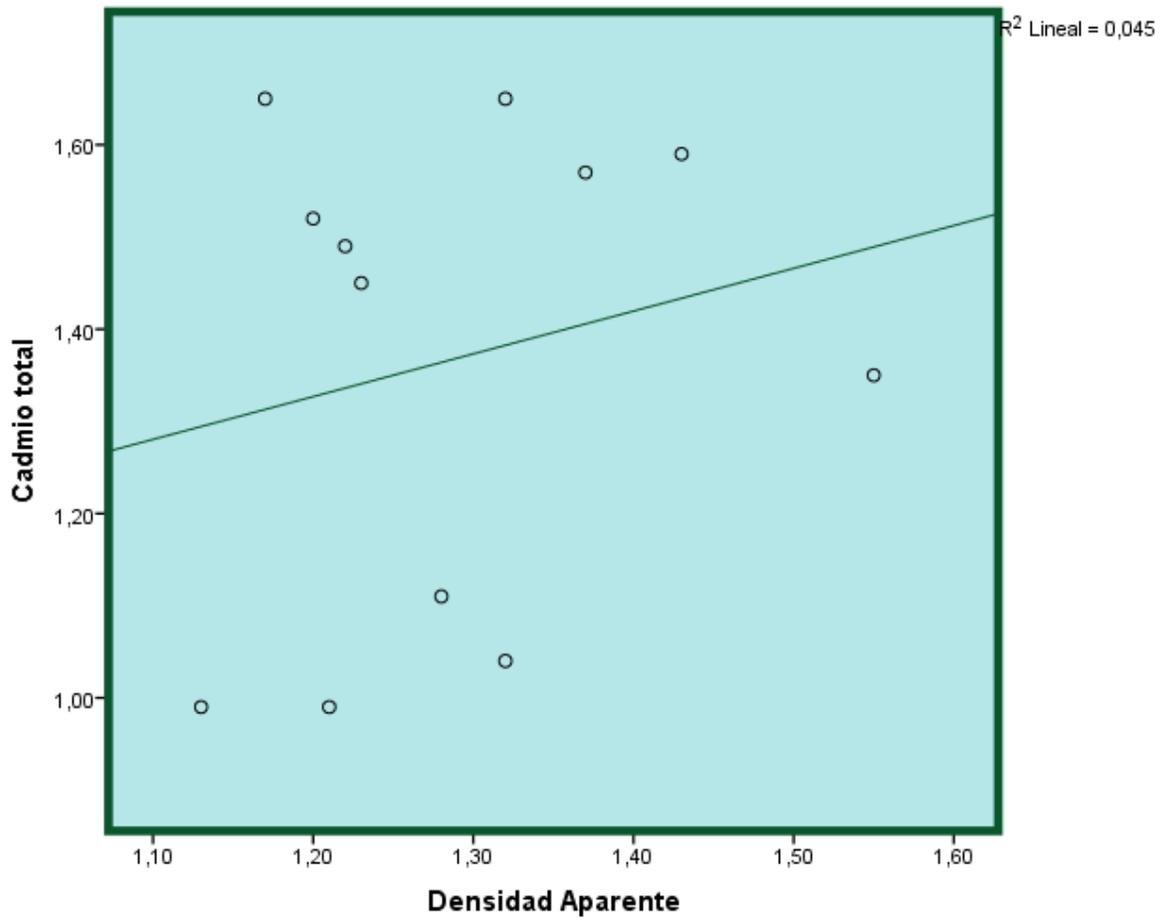
El valor no tuvo significancia estadística

Fuente: Elaboración propia (2017)

R se encuentra en:	
- 1	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe relación alguna entre variables
+ 0.10	Correlación positiva muy débil
+ 0.25	Correlación positiva débil
+ 0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1	Correlación positiva perfecta

Fuente: Universidad César Vallejo, 2012

De acuerdo a la tabla N°33, se observa que el $R = 0,213$ entre el valor del cadmio total en el suelo con el valor de la densidad aparente del suelo, determinando que las variables tienen una correlación positiva muy débil.



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 22. *Relación entre el cadmio total y la densidad aparente*

Analizando el R² lineal se determinó que el cadmio total en el suelo depende en un 4.5% de la densidad aparente.

Relación del cadmio total- materia orgánica

Tabla N°34. Cadmio total y Materia orgánica en el suelo

Zona	Profundidades (cm)	Cadmio total (mg/Kg)	Materia orgánica(%)
1	0-20	0.99	0.35
	20-40	0.99	0.32
	40-60	1.11	0.29
	+60	1.04	0.28
2	0-20	1.65	1.18
	20-40	1.52	0.78
	40-60	1.49	0.53
	+60	1.45	0.32
3	0-20	1.35	0.28
	20-40	1.65	1.08
	40-60	1.57	0.81
	+60	1.59	0.80

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°35. Correlación de Pearson del contenido del cadmio total del suelo y de la materia orgánica

		Cd	MO
Cd	Correlación de Pearson	1	,810**
	Sig. (Bilateral)		,001
	N	12	12
MO	Correlación de Pearson	,810**	1
	Sig. (Bilateral)	,001	
	N	12	12

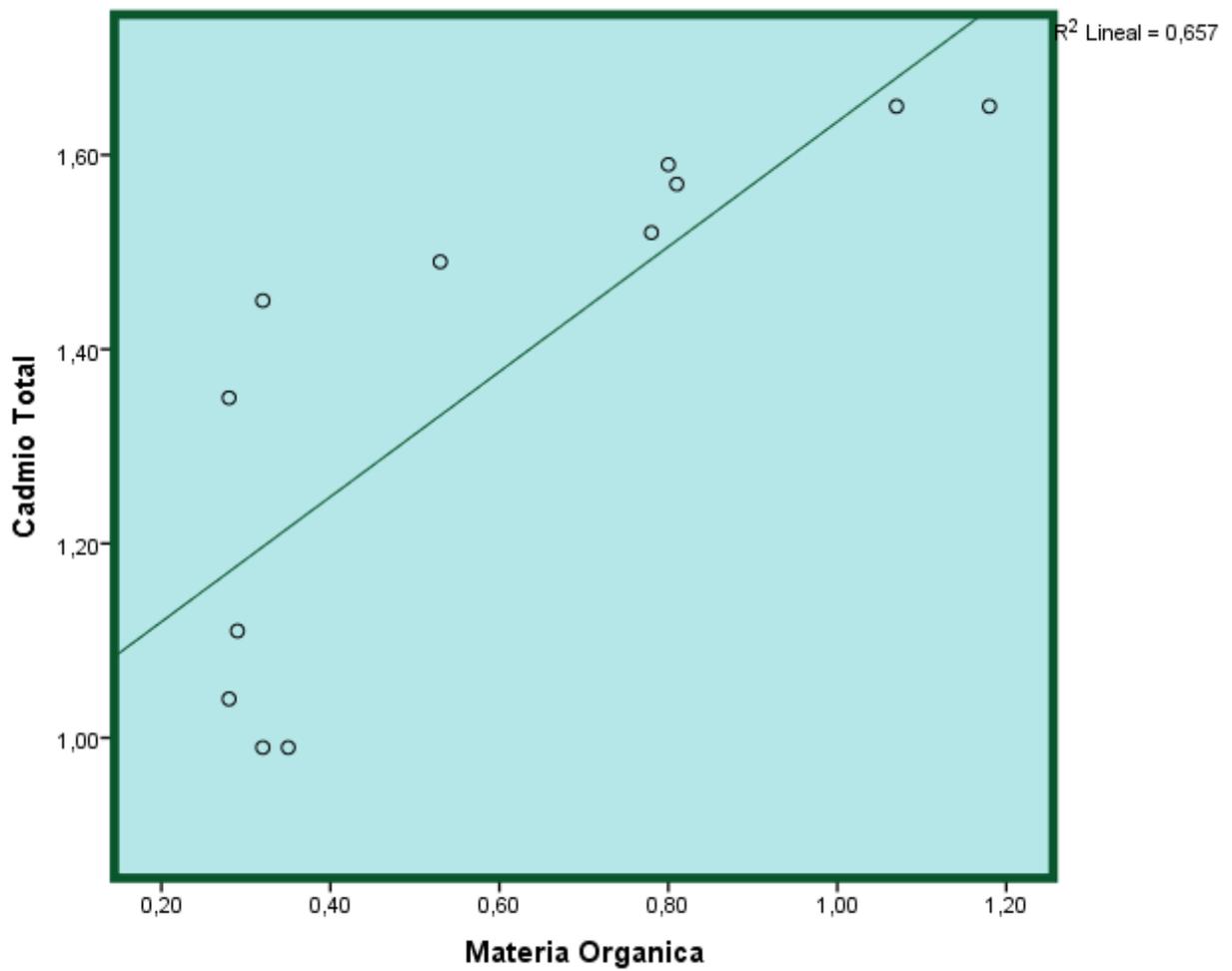
**Altamente significativa (p<0.01)

Fuente: Elaboración propia (2017)

R se encuentra en:	
- 1	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe relación alguna entre variables
+ 0.10	Correlación positiva muy débil
+ 0.25	Correlación positiva débil
+ 0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1	Correlación positiva perfecta

Fuente: Universidad César Vallejo,2012

De acuerdo a la tabla N°35, se observa que el $R= 0,810$ entre el valor del cadmio total en el suelo con el valor de la materia orgánica del suelo, determinando que las variables tienen una correlación positiva considerable y altamente significativa.



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 23. *Relación entre el cadmio total y la materia orgánica en el suelo*

Analizando el R^2 lineal se determinó que el cadmio total en el suelo depende en un 65.7% de la materia orgánica.

3.6 Correlación entre Cd en el suelo y Cd en raíces a profundidad de 20cm

Tabla N°36. Cadmio total en el suelo y en las raíces diferenciado por calicatas y zonas

Zona	Calicata	Cd en el suelo (mg/kg)	Cd en raíz (mg/kg)
1	1	1.08	0.25
1	2	1.04	1.00
1	3	1.01	0.50
1	4	0.93	1.00
1	5	0.90	0.90
2	1	1.67	0.50
2	2	1.46	0.75
2	3	1.69	1.00
2	4	1.45	0.60
2	5	1.97	4.48
3	1	1.35	3.25
3	2	1.39	2.00
3	3	1.27	2.00
3	4	1.49	8.24
3	5	1.25	4.43

Fuente: Elaboración propia (2017)

Tabla N°37. Correlación de Pearson del contenido del cadmio total del suelo y el contenido del cadmio total en la raíz

		Cdsuelo	Cdraiz
Cdsuelo	Correlación de Pearson	1	,318
	Sig. (Bilateral)		,248
	N	15	15
Cdraiz	Correlación de Pearson	,318	1
	Sig. (Bilateral)	,248	
	N	15	15

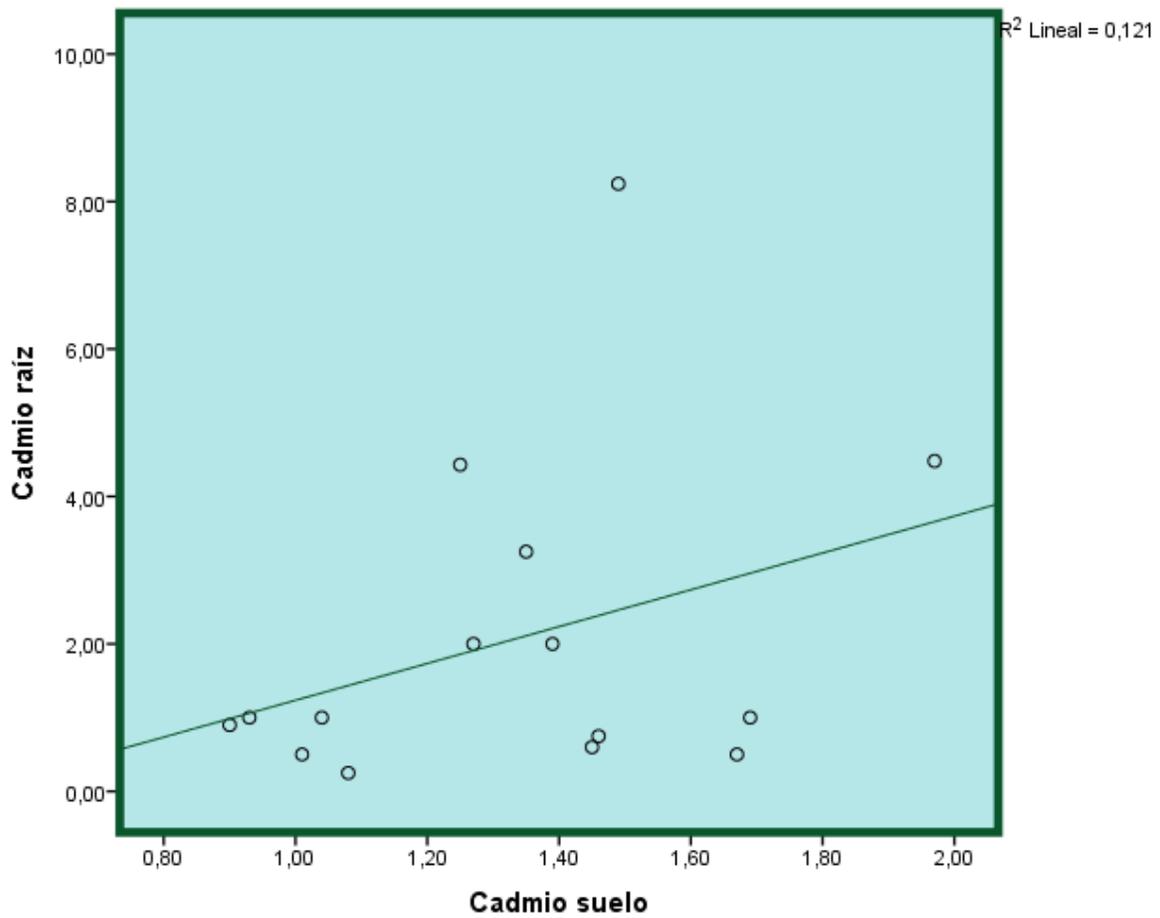
El valor no tuvo significancia estadística

Fuente: Elaboración propia (2017)

R se encuentra en:	
- 1	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe relación alguna entre variables
+ 0.10	Correlación positiva muy débil
+ 0.25	Correlación positiva débil
+ 0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1	Correlación positiva perfecta

Fuente: Universidad César Vallejo,2012

De acuerdo a la tabla N°37, se observa que el $R= 0,318$ entre el valor del cadmio total en el suelo con el valor de la densidad aparente del suelo, determinando que las variables tienen una correlación positiva débil.



Fuente: Elaboración propia (2017)

Grafico N° 24. *Relación entre el cadmio en suelo y el cadmio en raíces*

Analizando el R^2 lineal se determinó que el cadmio total en el raíz depende en un 12.1% del cadmio total del suelo.

3.7 Prueba de normalidad del contenido del cadmio en el perfil del suelo

Tabla N°38. Prueba de la normalidad

H₀=Las variables siguen una distribución normal

H₁= Las variables no siguen una distribución normal

Prueba de Normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
P1	,275	5	,200*	,913	5	,485
P2	,322	5	,098	,784	5	,060
P3	,298	5	,169	,813	5	,102
P4	,301	5	,157	,817	5	,112

Si $p > 0.05$ distribución normal
Si $p \leq 0.05$ no distribución normal

Fuente: Elaboración propia (2017)

En la tabla, se analiza la prueba de normalidad de Shapiro –Wilk , ya que tamaño de las muestras no superan los 50 datos, concluyendo que la variables P1,P2,P3y P4 siguen una distribución normal, ya que p-valor>0,05

3.8 Prueba de Chi-cuadrado del contenido del cadmio en el perfil del suelo

Tabla N°39. Cadmio en el perfil del suelo

Profundidades (cm)				
Cd en el suelo (mg/kg)	P 1 (0-20)	P 2 (20-40)	P 3 (40-60)	P 4 (+60)
Cd - A	1.26	1.18	1.27	1.23
Cd - B	1.27	1.20	1.16	1.25
Cd - C	1.18	1.16	1.21	1.30
Cd - D	1.30	1.54	1.74	1.60
Cd - E	1.13	2.07	1.69	1.67

Fuente: Elaboración propia (2017)

En Pucayacu-Huánuco los promedios de la concentración del cadmio total en las diferentes perfiles y profundidades varían, encontrándose que en el Perfil 1 (Cd-A) varía a profundidad desde 1.26 mg/kg hasta 1.23mg/kg. En el Perfil 2(Cd-B) el cadmio total varia a profundidad, en la superficie se tiene 1.27mg/Kg y a + 60 cm de profundidad 1.25 mg/kg. En el Perfil 3(Cd-C) la concentración de cadmio total varia a profundidad desde 1.18 mg/kg hasta 1.30 mg/kg. En el perfil 4 (Cd-D) el contenido de cadmio total varia a profundidad, en la superficie se tiene 1.30 mg/kg y a + 60 cm de profundidad 1.60 mg/kg. En el perfil 5 (Cd-E) la concentración de cadmio total varía a profundidad desde 1.13 mg/Kg hasta 1.67 mg/kg.

3.8.1. Prueba del chi-cuadrado para el cadmio presente a lo largo del perfil del suelo

Tabla N°40. Prueba de chi-cuadrado P1 -P2

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	20,000 ^a	16	,220
Razón de verosimilitudes	16,094	16	,446
Asociación lineal por lineal	1,168	1	,280
N de casos válidos	5		

Fuente: Elaboración propia(2017)

Prueba de chi-cuadrado
$P \geq \alpha$ = Se acepta H_0 = Las variables son independientes
$P < \alpha$ = Se acepta H_1 = Las variables son dependientes

En la tabla N°40 se observa que como $p=0,22 > \alpha=0,05$ se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto el cadmio presente en la P1 y P2 son independientes en Pucayacu-Húanuco.

Tabla N°41. Prueba de chi-cuadrado P2 –P3

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	20,000 ^a	16	,220
Razón de verosimilitudes	16,094	16	,446
Asociación lineal por lineal	2,778	1	,096
N de casos válidos	5		

Fuente: Elaboración propia(2017)

Prueba de chi-cuadrado
$P \geq \alpha =$ Se acepta $H_0 =$ Las variables son independientes
$P < \alpha$ Se acepta $H_1 =$ Las variables son dependientes

En la tabla N°41 se observa que como $p=0,22 > \alpha=0,05$ se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto el cadmio presente en la P2 y P3 son independientes en Pucayacu-Húanuco.

Tabla N°42. Prueba de chi-cuadrado P3-P4

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	20,000 ^a	16	,220
Razón de verosimilitudes	16,094	16	,446
Asociación lineal por lineal	3,690	1	,055
N de casos válidos	5		

Fuente: Elaboración propia

Prueba de chi-cuadrado
$P \geq \alpha$ Se acepta H_0 =Las variables son independientes
$P < \alpha$ Se acepta H_1 = Las variables son dependientes

En la tabla N° 42 se observa que como $p=0,22 > \alpha=0,05$ se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto el cadmio presente en la P3 y P4 son independientes en Pucayacu-Húanuco.

4. DISCUSIONES

En la presente investigación, las zonas de estudio que evidencia contaminación de sus suelos por cadmio son la zona 2 ubicada a nivel de altura y zona 3 ubicada a nivel playa pertenecientes al fundo “San Juan” en Pucayacu-Huánuco, ya que superan el ECA de 1.4 mg/Kg de cadmio total propuesto en el DS N°002-2013-MINAN para suelos agrícolas con valores de 1.65mg/Kg, 1.52 mg/Kg, 1.49 mg/Kg y 1.45 de Cd-total en las profundidades 0-20 , 20-40 , 40-60, +60cm respectivamente, pertenecientes a la zona 2; así mismo se registran valores de 1.65mg/kg, 1.57 mg/Kg y 1.59 mg/Kg del metal en estudio en las profundidades de 20-40, 40-60 y +60cm respectivamente, que corresponden a la zona 3. Es importante recalcar que la contaminación de dicho metal en los suelos de cultivo de cacao es por las actividades antropogénicas como el uso de fertilizantes fosforados como la roca fosfórica, entregada gratuitamente por el estado; así como por la naturaleza de la roca madre.

En el estudio de los diferentes perfiles de suelos de las tres zonas en Pucayacu-Huánuco se determinó un pH de fuertemente ácido. Ello se corrobora con el estudio realizado según Cárdenas (2012), ya que se encontraron valores mínimos de 4.11 y 4,67 que corresponden a pH extremadamente ácidos en algunas parcelas de cacao orgánico pertenecientes a la “Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo” en Tingo María - Huánuco al evaluar la presencia del cadmio. Por otro lado, en el estudio realizado en los cultivos de cacao en Honduras se observó que en suelos ácidos la absorción del cadmio es mayor, lo cual coincide con lo observado en este estudio (Hernán et al., 2011), además estudios realizados en Estados Unidos muestran que el factor que más contribuye a la concentración de cadmio en los cultivos es el pH del suelo (Page et al. ,1987 citado por Hernán et al., 2011). Según Barbaro, Karlanian y Mata(s.f.) el pH en los cultivos son importantes ya que regulan las reacciones químicas que determinan si los nutrientes van a estar o no disponibles para su absorción.

En la presente investigación, en las tres zonas de estudio en Pucayacu se observó conductividades eléctricas bajas, la cuales representa suelos con calificaciones de muy ligeramente salinos, lo cual se evidencia con el estudio de Segovio(2014), en donde se determinó conductividades eléctricas bajas de los tres suelos contaminados con metales con valores promedios de 0.92 dS/m, 2.6 dS/m y 0.96 dS/m, indicando un bajo contenido de sales disueltas. Además Guerrero y Acevedo (2016), mostraron valores menores de 1dS/cm de conductividad eléctrica, clasificándolo a sus suelos muestreados como no salinos al igual que la clasificación obtenida por nuestros valores en el presente estudio. Según Intagri (s.f.), la conductividad eléctrica es importante en los cultivos porque mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo influyendo en su calidad y fertilidad.

La humedad determinada en los diferentes perfiles de los suelos de las tres zonas de estudio en Pucayacu- Huánuco evidencia humedades promedios entre 12.05% a 21.31% determinando suelos con bajas humedades, lo que se corrobora con lo defendido por Béltran (2001), cuyos valores se encuentran en intervalo de 37-46% de contenido de humedad. Por otro lado Rodríguez et al. (2008) manifiesta que en general el cadmio interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales y del agua provocando desequilibrios nutricionales e hídricos de la planta. La humedad en los cultivos es importante para que la fotosíntesis sea posible, ya que es una función esencial para el desarrollo de la plantas (Uribe 2008).

La densidad aparente determinada en las tres zonas de estudio en Pucayacu muestras valores promedios que varían entre 0.98mS/cm a 1.55mS/cm calificándose como suelos de densidad aparente baja a media, corroborándose con el estudio de Estevéz, Andrade y Montero, en donde los valores promedios determinados son de 1.37/m, 1.11, 0.75 en S1, S2 y S3 respectivamente al estudiar la fijación y movilidad del Cd y Zn en suelos ácidos en España. Así mismo, según Salamanca y Sadeghian observan variaciones de la densidad aparente al profundizar en el perfil registrándose los valores más bajos en la superficie e incrementándose con la profundidad, lo cual sucede en las tres zonas de estudio. Según Globalcesped la densidad aparente es importante para los cultivos, ya que influye en el desarrollo

radicular de las planta, disponibilidad de agua e incluso en la actividad de los microorganismos en el suelo.

En el presente estudio en las diferentes zonas de Pucayacu predominan bajos contenidos de M.O. en los diferentes perfiles y profundidades. Esto se corrobora con el estudio realizado por Cárdenas (2012) en suelos donde crecían plantas de cacao donde indican valores mínimos de 1.31%(parcela Tranpolín y Bella) y 1.64%(parcela de Tulumayo). La materia orgánica incluso en bajas concentraciones en suelos agrícolas le confieren sitios para la absorción de los metales, ya que su contribución de intercambio catiónico es significativa e incluso por su capacidad quelante (Kabata-pendías, 2004 citado por Cárdenas, 2012). Según Agricultureros la M.O. es importante para los cultivos, ya que mejora la estructura coloidal del suelo, mejora el drenaje, mejora la capacidad de no variar el pH, favorece la vida microbiológica, reduce el encharcamiento del suelo, el agua se aprovecha mejor, etc.

Díaz, Arroqui y Sarquis (2005) en el "Estudio de Niveles de cadmio en perfiles de suelos en la localidad de Villa Nueva" identifican que el perfil 2 y 4 en zonas cultivadas, presentan concentraciones Cd total que incrementan con la profundidad(0-50cm) diferenciado por horizontes(O₁ y O₂), con valores 13mg/kg - 16mg/Kg y 17mg/kg -18 mg/kg respectivamente, ello se corrobora en la zona de estudio N°3, ya que a profundidades en intervalos de 0-20 y 20-40 cm aumenta con la profundidad con valores promedios de 1.35 mg/kg y 1.65mg/kg de cadmio total respectivamente. Por otro parte, la zona de estudio 2, muestran un distinto comportamiento, ya que los valores promedios de cadmio total 1.65mg/Kg,1.52mg/kg,1.49mg/kg en las profundidades 0-20, 20-40, 40-60 y +60cm disminuyen, ello se confirma con el estudio realizado por Puga et al. (2006) donde a profundidades de 0-40cm ,40-60cm y 60-80cm distanciadas en intervalos 300cm de la presa de jales disminuyen a profundidad, también este comportamiento del cadmio total a diferentes profundidades de los suelos en plantaciones de cacao se verifica con estudio de Arévalo et al.(2016) donde se determinaron valores promedio de cadmio total en suelos de cultivo de cacao de 0.10mg/kg,0.07mg/kg,0.05mg/kg,0.03mg/kg,0.03mg/kg y 0.02mg/kg a profundidades

de 0-5,5-10,10-20,20-40,40-60 y 60-80cm respectivamente. Así mismo con respecto a zona 1 su comportamiento se relaciona más con la zona 2, ya que a niveles superficiales (0-20 y 20-40cm) el cadmio total se mantiene constante y en lo más profundo disminuye.

Las raíces de plantas de cacao en las 3 zonas de estudio en Pucayacu-Húanuco manifestaron valores promedios de cadmio total de 0.73mg/kg,1.47 mg/kg y 3.98 mg/kg respectivamente. Esto se corrobora con el estudio realizado por Peláez, Bustamante y Gómez (2016) que determinaron la acumulación de cadmio total en las raíces especies de *Brachiaria* encontrando valores promedios de 0.02 mg/kg ,0.028 mg/kg, 0.03 mg/kg y 0.034de cadmio total a distancias de 100m,500m,2500m y 5000m. Con respecto a los valores promedios de cadmio total encontrados en las raíces en las diversas zonas de estudio es la zona 3 que sobrepasa los niveles permisibles de cadmio foliar(0.1-2.4mg/kg)según Más y Azcue (1993) citado por Cárdenas.

Las correlaciones de Pearson demostraron que la concentración de cadmio total en el suelo presento correlaciones positivas débiles pH($r=0.321$), la C.E. ($r=0.298$), la densidad aparente($r=0.213$), y con respecto a la humedad($r=-0.516$) se observó una correlación positiva media; por el contrario se presentó con la materia orgánica una correlación positiva fuerte ($p<0.01$) $r=0.810$. Ello se demuestra con el estudio de Cárdenas (2012) quien determina correlaciones positiva no significativas con propiedades fisicoquímicas del suelo como el pH, CaCO_2 , arcilla y fosforo. Además según KABATA-PENDIAS (2004) citado por Cárdenas (2012) incluso a bajas concentraciones de materia orgánica en suelos agrícolas se puede retener metales por su capacidad de cambio y quelante.

Cd-total del suelo frente al Cd-total de la raíz a través de la correlación de Pearson demostró que existe correlación positiva débil entre las variables. Según Barragán (2008) manifiesta que al incrementar el contenido de Cd unido a óxidos de Fe y Mn, así como la M.O. existe la tendencia de disminuir la cantidad de cadmio absorbido por la planta.

La prueba estadística chi-cuadrado demostró que el cadmio presente en las diferentes profundidades (P1, P2, P3 y P4) no están relacionados o son independientes, entonces se cumple la hipótesis general que el cadmio presente en el suelo es igual a lo largo del perfil en Pucayacu-Huanuco.

5. CONCLUSIONES

Los suelos en estudio en general no presentan adecuadas condiciones fisicoquímicas para el desarrollo de cultivos de cacao, ya que se presenta pH fuertemente ácidos, baja humedad y escasa materia orgánica; con respecto densidad aparente en la mayoría de la zonas presentan valores bajos a excepción de la zona 3 y la conductividad eléctrica manifiesta bajas concentraciones de sales.

Los valores promedios de cadmio total en la zona 1 no sobrepasan los ECAS para el suelo, caso en las zonas 2 y 3 presentan valores promedios más altos que sobrepasan los niveles permisibles. Además se observa que en las diferentes profundidades el cadmio total se acentúa tanto a nivel superficial como en la profundidad.

Los valores promedios de Cd total en las raíces son altos en la zona 2 y zona 3, y bajos en la zona 1; en la zona 3 se superan los niveles permisibles de Cd total para las plantas con un promedio de 3.98mg/kg. Por lo tanto los arboles de cacao de 5 años edad perteneciente a la zona 3 son más vulnerable a la absorción de los metales, y por ende puede ingresar a la parte aérea de la planta, entre ellos las semillas de cacao de importancia socioeconómica para los agricultores de Pucayacu.

Se observó que el pH, C.E, humedad y densidad aparente del suelo no presentaron valores estadísticos significativos, presentando correlaciones positivas débiles a excepción de la humedad que presento correlación negativa media. Por el contrario la materia orgánica se correlaciono positivamente. Así mismo el Cd-suelo y Cd- Raíz presento una correlación positiva débil.

Se acepta la hipótesis nula con una significancia ($P > 0,05$), el cadmio presente en el suelo es independiente a lo largo del perfil en la zona de estudio, por lo tanto no existe factor que impulse que el metal nocivo viaje del nivel superficial a profundidad.

6. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones más profundas en la zona 3 de Pucayacu-Huánuco, ya que se evidencian niveles altos y que sobrepasan los niveles permisibles de Cd total en los suelos, así como en las raíces de plantas de cacao de 5 años.

Aplicar medidas de remediación en los suelos de cultivo de cacao de la zona de estudio tanto a nivel superficial como en profundidad, ya que tanto en la zona 2 y zona 3 se encontraron valores que superaron los ECAS para suelos agrícolas en nuestro país.

Estudiar la distribución en profundidades de otros metales pesados como el plomo que afecta a cultivos de cacao en otras regiones en la zona de estudio.

Aplicar cal para la corrección de pH, ya que no solo disminuye significativamente la concentración de cadmio sino también brindará el pH óptimo para el crecimiento de las plantas de cacao.

Realizar estudios de cadmio total y del cadmio disponible en los suelos en estudio, ya que este último se relaciona directamente con las especies vegetales sensibles al metal.

Estudiar otros parámetros que influyen en la movilidad y disponibilidad del contaminante en el suelo como la CIC y cantidad de arcillas, así como los nutrientes que está en competencia directa con el cadmio para el ingreso en las raíces de la planta.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGRARIA.PE.2016. Peligra Exportación de cacao peruano a Europa si no se reducen índices de cadmio en cultivos. [Consulta 20 de abril 2016]. Disponible en: <http://agraria.pe/noticia.php?url=peligra-exportacion-de-cacao-peruano-a&id=11481>
2. ARAUJO Abad, Lourdes. Verificación del Método Analítico de Espectroscopia de Absorción Atómica con Horno de Grafito para la cuantificación de cadmio en la almendra de cacao (*Theobroma cacao*). Tesis (Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales). Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2016. 114p. [Consulta: 23 de abril 2017].
Disponible en: <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13242/1/UPS-QT10804.pdf>
3. ASPILICUETA, Claudia, PENA, Liliana y GALLEGO, Susana. Los metales y las plantas: entre la nutrición y toxicidad. *NDSU Agriculture Communication* [en línea]. Abril-Mayo 2010, vol. 20, no. 116. [Fecha de Consulta: 4 Mayo 2017].
Disponible en: <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy116/Metalesplantas.pdf>
4. BARBARO, Lorena, KARLANIAN, Monica y MATA, Diego. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para las plantas. *Revista INTA* [en línea]. [Fecha de consulta: 8 de diciembre de 2017].
Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf
5. BARUETA, Sayet. Guía de Metodología para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados-DEVIDA [en línea]. Lima: DEVIDA, 2015 [fecha de consulta: 24 de mayo de 2017].
Disponible en: <https://es.slideshare.net/RIICCHPeru/gua-metodolgica-muestreo-y-deteccin-de-cadmio>

6. BAUTISTA Zúñiga, Francisco. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados [en línea]. México: Universidad Autónoma de Yucatán, 1999. [Fecha de consulta: 7 Junio 2017].
 Disponible en:
[https://books.google.com.pe/books?id=yE2Jq3z7ex4C&printsec=frontcover&dq=bibliogroup:"Introducción+al+estudio+de+la+contaminación+del+suelo+por+metales+pesados"&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjz1LWu0P_UAhVKSyYKHZLNAeMQ6AEIJTAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=yE2Jq3z7ex4C&printsec=frontcover&dq=bibliogroup:)
7. BELTRÁN Villavicencio, Margarita. Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles. Tesis (Maestra en ciencias e Ingeniería ambiental). D.F., México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2001. 176 pp. [Consulta: 16 de noviembre 2017]. Disponible en:
<http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/185/Fitoextraccion%20en%20suelos%20contaminados.pdf?sequence=1>
8. BONOMELLI, Claudia, BONILLA Carlos, VALENZUELA Adriana. Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *Pesq. Agrop.Brasileira* [en línea].Julio 2003, vol. 38, no.10. [Fecha de Consulta: 15 Noviembre 2017].
 Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2003001000007&script=sci_abstract&tlng=es
9. CÁRDENAS Morales, Álvaro. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico en la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo-Tingo María - Perú. Tesis (Ingeniero Agrónomo). Tingo María-Perú. Universidad Agraria Selva, 2012. 113 p. [Consulta: 15 de septiembre 2017].
 Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/153/AGR-596.pdf?sequence=1>
10. Centro poblado de Pucayacu en el Alto Huallaga celebra un nuevo aniversario de creación. Info región. PE. 19 de agosto de 2010. [fecha de consulta: 15 de Noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.inforegion.pe/67325/centro->

poblado-de-pucayacu-en-el-alto-huallaga-celebra-un-nuevo-aniversario-de-creacion/

11. Clasificación de la investigación [Mensaje en un blog]. Marín, Alba, [7 de marzo de 2008]. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2017]. Recuperado de <https://metinvestigacion.wordpress.com/>
12. La Conductividad Eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. *Revista Intagri* [en línea]. [Fecha de consulta: 8 de diciembre de 2017].
Disponibile en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
13. COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS, PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS. 2017. Petición de Observaciones en el trámite 3 sobre los anteproyectos de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao. [Consulta 20 de abril 2016]. Disponible en: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-11%252FWD%252Fcl17_24s.aspx
14. CONFERENCIA de Contaminación de Suelos por Metales Pesados (10°: 2008: Sevilla, España). Trabajos. Sevilla, España: Sociedad Española de Mineralogía, 2008, 13 p. [fecha de consulta: 2 mayo 2017].
Disponibile en: http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
15. CONGRESO Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo de Avances del monitoreo de presencia de Cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador (12°: 2010: Ecuador). Trabajo, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación experimental Tropical Pichilingue. Departamento Nacional de Manejo de suelos y Aguas, 2010. 21p. [Fecha de consulta: 7 mayo 2017].
Disponibile en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6.-Francisco-Mite.-Cadmio.-INIAP.pdf>

16. CONTAMINACIÓN ambiental por Orosco Carmen [et al.]. Madrid: Paraninfo, 2011. 665pp.
ISBN: 9788497321785
17. CONTAMINACIÓN por metales pesados en el suelo provocada por la industria minera por Puga S. [et al.]. *Ecología aplicada* [en línea]. Agosto 2006, vol.5, no.1.2 [fecha de consulta: 15 noviembre 20017].
Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf>
18. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales provenientes de suelos y agua por Prieto Méndez Judith [et al.]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*[en línea]. Octubre 2009, vol. 10. [Fecha de Consulta: 2 Mayo 2017].
Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
19. Densidad aparente del suelo y su importancia en la aireación y humedad del suelo [en línea]. *Global Césped*. 11 de diciembre 2015. [Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2017].
Disponible en: <http://globalcesped.org/noticias-mainmenu-2/los-suelos/942-densidad-aparente-del-suelo-i>
20. DETERMINACIÓN del contenido de metales pesados tóxicos (Cadmio y Plomo) en granos de cacao. En: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola [en línea]. Programa de Cacao y Agroforestería: Informe Técnico, marzo 59-62, 2012. La Lima, Cortés: FHIA, 2012 [fecha de consulta: 18 septiembre 2017]. Disponible en: http://www.fhia.org.hn/downloads/informes_tecnicos/Inf_Tec_Cacao2011.pdf
21. DIAZ, Andrea, ARROQUI, Agustín, SARQUIS, Pedro. Estudio de niveles de cadmio en perfiles de suelo en la localidad de Villa Nueva. *Minería y Geología* [en línea]. Enero- Marzo 2005, vol.21, no.1. [Fecha de consulta: 10 Noviembre 2017].
Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223516048002>

22. ERÓSTEGUI, Revilla Carlos. Contaminación por metales pesados. Revista *Científica Ciencia médica* [en línea].2009, vol. 12, no1. [Fecha de consulta: 4 Mayo 2017].
Disponibile en: http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1_a13.pdf
23. Espectrometría de absorción atómica [Mensaje en un blog].Guillermo Pérez (14 de Julio 2014). [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2017].
Recuperado de https://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcin_atmica
24. FIJACIÓN y movilidad de cadmio y zinc en tres tipos de suelos ácidos de Galicia, España por Estevéz, J. [et al]. *Ciencia del suelo* [en línea]. Enero 2000, vol. 18, no.1. [Fecha de consulta: 12 Noviembre 2017]. Disponible en: http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_18n1/estevez_28-35.pdf
25. GARRIDO, Soledad. Interpretación de Análisis de Suelos: Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis. *Getafe* [en línea].Mayo 1993, vol.93, no.5. [Fecha de consulta: 10 Noviembre 2017].
Disponibile en: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
26. GUERRERO, María y PINEDA Vanessa. Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá bajo (Tausa). Modelo conceptual. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea].Mayo 2015, vol. 26, no.1. [Fecha de Consulta: 12 Noviembre 2017].
Disponibile en: <file:///C:/Users/Sendy/Downloads/91145342005.pdf>
27. GUÍA para muestreo de suelos: En el marco del decreto Supremo n° 002-2013- MINAN, Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo[en línea].Lima: MINAN,2014.[Fecha de consulta:30 de mayo de 2017].
Disponibile en: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
28. HERNANDEZ Picazo, Fernando José. Determinación de Cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de Alfalfa *Medicago sativa* irrigado con aguas residuales. Tesis (Ingeniero en procesos ambientales). Coahuila,

México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2014.37p. [Consulta: 30 de Noviembre 2017].

Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/101>

29. HERNÁNDEZ Ramírez, Edith. Biorremediación de Suelos Agrícolas en México. Tesis (Ingeniera en Agrobiología). Coahila, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Botánica, 2017,69p. [Fecha de consulta: 9 mayo 2017].

Disponible en:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42137/K%2064708%20%20EDITH%20HERNANDEZ%20RAMIREZ.pdf?sequence=1>

30. HERNÁNDEZ Roberto, FERNÁNDEZ Carlos y BAPTISTA María del Pilar. Metodología de la Investigación [en línea]. 5.^a ed. México: McGRAW-HILL,2010[Fecha de consulta: 8 de mayo 2017].

Disponible

en:

https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

ISBN: 9786071502919

31. INSUASTY, Liliana, BURBANO, Hernán, y MENJIVAR, Juan. Dinámica del cadmio en suelos cultivados con papa en Nariño, Colombia. *UNAL* [en línea]. Octubre –Diciembre 2007, vol.57, no.1. [Fecha de consulta: 17 Mayo 2017].

Disponible en:

https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/1054/1565

32. Laboratorio de contaminación y control de suelos. 2 de octubre de 2017.

Disponible en: <https://trilce.ucv.edu.pe/default.aspx>

33. La importancia de la materia orgánica en el suelo [en línea]. *AGRICULTURERS*.19 de noviembre de 2017. [Fecha de consulta: 5 de diciembre de 2017].

Disponible

en:

https://www.ucv.edu.pe/datafiles/FONDO%20EDITORIAL/Manual_ISO.pdf

34. LONDOÑO, Luis, LONDOÑO, Paula y MUÑOZ, Fabian. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector*

Agropecuaria y Agroindustrial [en línea]. Julio-Diciembre 2016, vol.14, no.2. [Fecha de consulta: 4 Mayo 2017].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

35. MEDIO AMBIENTE y espacios verdes [en línea] por Escolástico León Consuelo [et al]. Madrid: Editorial UNED, 2015. [fecha de consulta: 15 Mayo 2015].

Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=LVzzCAAQBAJ&pg=PT316&dq=suelos+contaminados+con+cadmio+definici%C3%B3n&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwis5N7KrJnVAhUCOT4KHbmACCEQ6AEIJDA#v=onepage&q=suelos%20contaminados%20con%20cadmio%20definici%C3%B3n&f=false>

ISBN 8436270347

36. MEJIA, Ulises. Estudio del sistema radicular del árbol del cacao (*Theobroma cacao* L.) Tesis (Especialista en Cacao), Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 2002. 50 p. [fecha de consulta: 6 Junio 2017].

Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/1826>

37. METALES PESADOS en suelos de plantaciones de cacao en tres regiones del Perú por Arévalo Gardini Enrique [et al]. *Ecología Aplicada* [en línea]. Julio-Diciembre 2016, vol.15, no.2. [Fecha de consulta: 21 Abril 2017].

Disponible en: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/eau/article/view/747/768>

38. MINAM (Perú). Estándares de Calidad Ambiental para suelo [en línea]. Lima: peruano, 25 de marzo de 2013. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2017].

Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>

39. NAVARRO, J., AGUILAR, I. y LÓPEZ. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas* [en línea]. 2007, vol.16, no.2. [Fecha de consulta: 15 Mayo].

Disponible en:

<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/112/122>

40. URIBE, Fazla. Planta- Humedad del suelo. *Revista Hortalizas* [en línea]. Noviembre 2008. [Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2017].
Disponible en: <http://www.hortalizas.com/cultivos/planta-humedad-del-suelo/>
41. PORTA, Jaime, LOPÉZ-ACEVEDO, Marta y ROQUERO DE LABURU, Carlos. Edafología para la agricultura y Medio Ambiente. 3.^a ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2003. 929pp.
42. PRESENCIA de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico por Huamaní Yupanqui Hugo [et al.]. *UNAL* [en línea]. Febrero 2012, vol.61, no.4. [Fecha de consulta: 6 mayo 2017].
Disponibile _____ en:
http://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/38134/40307
43. RAMÍREZ Camacho, Jaime. La contaminación del suelo [en línea]. Madrid: Ingeniería y Ciencias Ambientales, 2009 [fecha de consulta: 15 mayo 2017].
Disponibile en: <http://app.ute.edu.ec/content/3248-302-20-1-6-21/31865833-La-Contaminacion-Del-Suelo.pdf>
Disponibile en: <http://app.ute.edu.ec/content/3248-302-20-1-6-21/31865833-La-Contaminacion-Del-Suelo.pdf>
44. Sánchez León, Karen. Papel del suelo en la toxicidad del cadmio. Tesis (Ingeniera Farmacéutica). Madrid, España: Universidad Complutense, Junio. 18p. [Consulta: 13 de Noviembre 2017]. Disponible en:
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ELENA%20SANCHEZ%20LEON.pdf>
45. SANCHEZ y RENGIFO. Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga, San Martín y Huánuco (Perú). *APS* [en línea]. 2017, no.1. [Fecha de consulta: 12 mayo 2017].

Disponible en:
file:///C:/Users/Sendy/Desktop/articulo%20de%20investigaci%C3%B3n%20para%20tesis%20de%20cacao.pdf

46. SALAMANCA, J. y SADEGHIAN, S. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé* [en línea].2005, vol.56, no.4. [Fecha de consulta: 12 Noviembre 2017].

Disponible en

[http://www.cenicafe.org/es/publications/arc056\(04\)381-397.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc056(04)381-397.pdf)

47. SEGOVIA Caqueo, Matías. Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de elementos traza en suelos contaminados y plantas. Tesis (Magister en Química).Santiago, Chile: Universidad de Chile, 2014. 88 p. [Consulta: 11 de Noviembre 2017].

Disponible en:

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138279/Bioaccesibilidad-y-biodisponibilidad-de-elementos-traza-en-suelos-contaminados-y-plantas.pdf?sequence=1>

48. THEOBROMA cacao. En: *Base de datos Gobierno Mexicano. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad* [en línea].Gobierno de México, 2010[fecha de consulta: 6 Junio 2017].

Disponible

en:

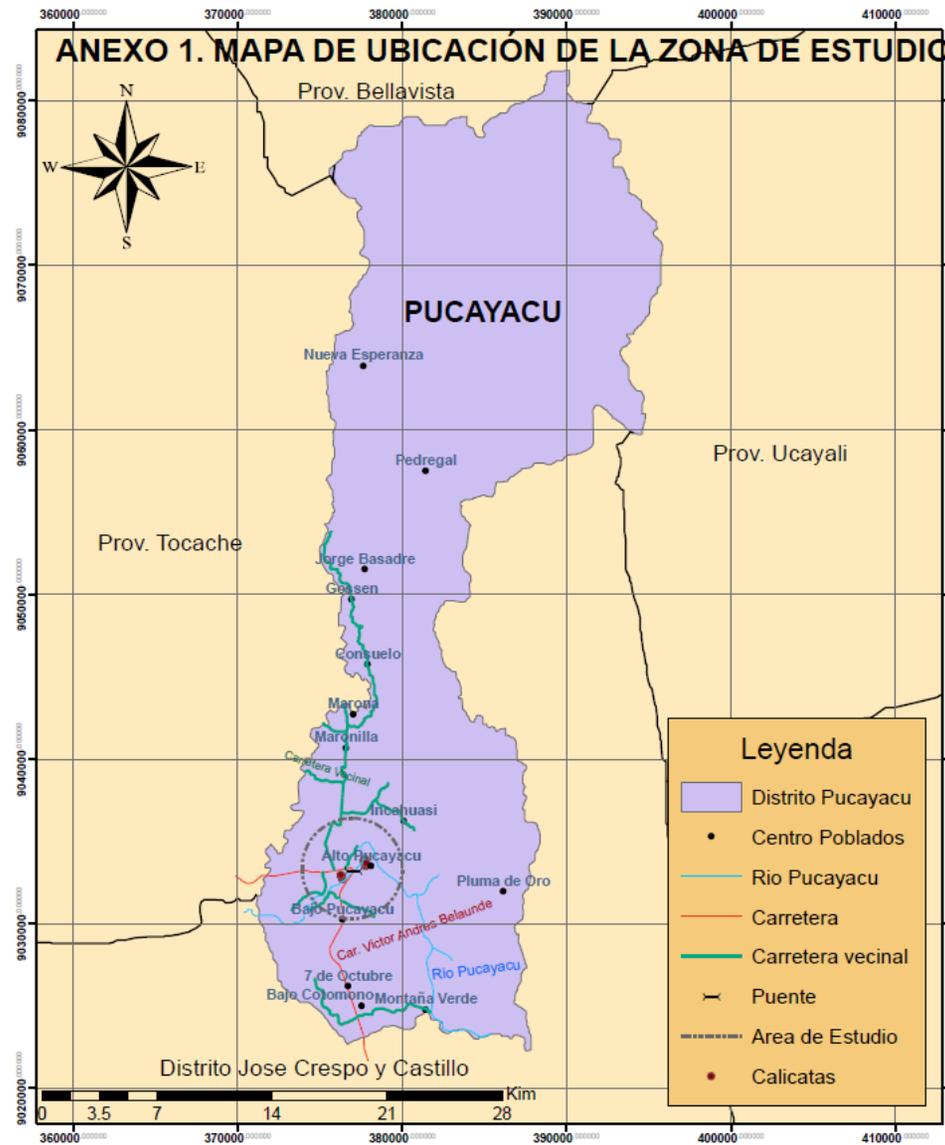
http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf

49. TOXICIDAD del Cadmio en Plantas por Rodríguez Serrano M. Científica y Técnica de Ecología y Medio ambiente [en línea].Septiembre 2008, vol.17, no.3. [Fecha de consulta: 6 mayo 2017].

Disponible en: file:///C:/Users/Rodrigo/Downloads/409-785-1-SM%20(10).pdf

ANEXOS

ANEXO 1. MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



Leyenda

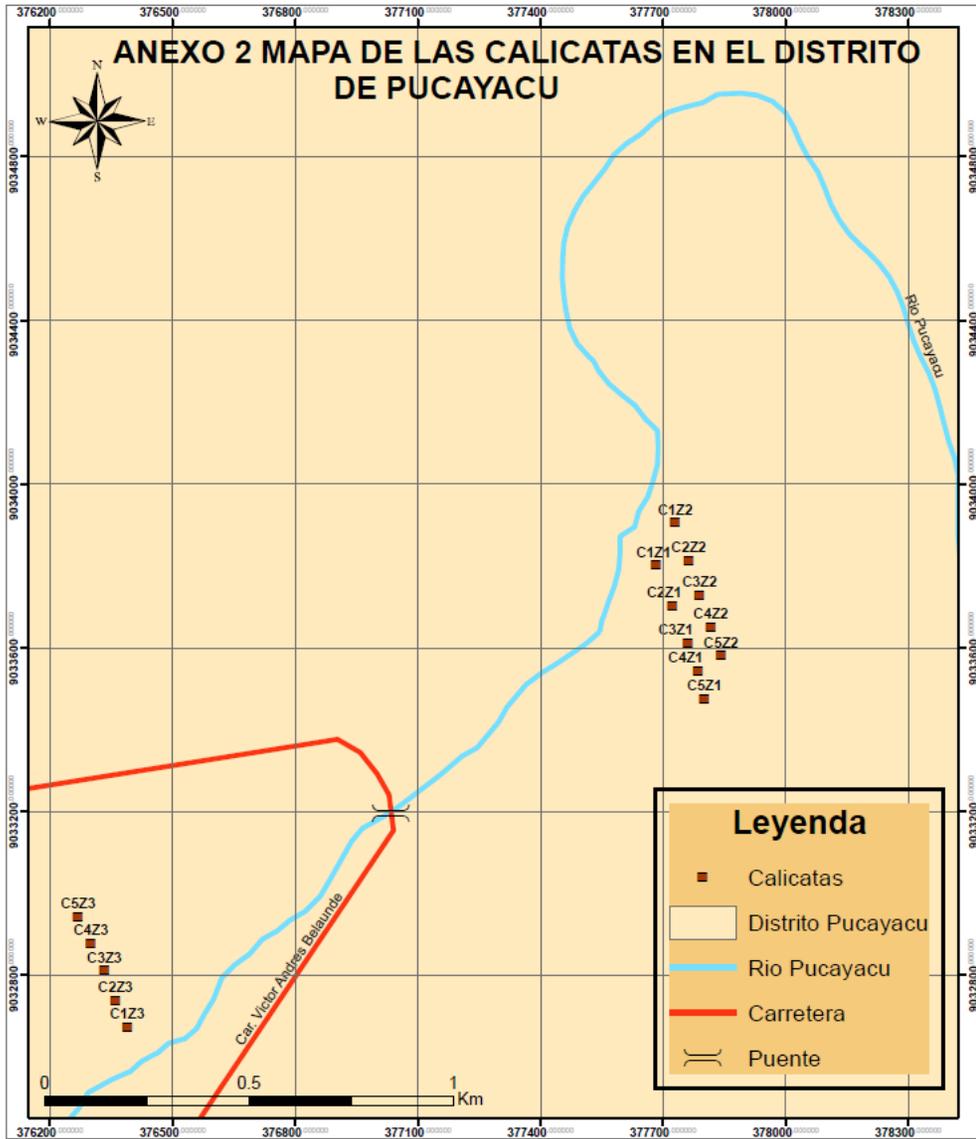
- Distrito Pucayacu
- Centro Poblados
- Rio Pucayacu
- Carretera
- Carretera vecinal
- Puente
- Area de Estudio
- Calicatas



PROYECTO: Evaluación de la distribución del cadmio en el perfil del suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017

MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

ESCALA: 1/250000	Departamento: Huánuco	Provincia: Leoncio Prado	Distrito: Pucayacu	A-0
FECHA: Noviembre 2017	Elaborado por: Sendy Gonzales Valle	Revisado por: Ing. Haydeé Suárez Alvites	Fuente: Municipalidad Distrital de Pucayacu	



PROYECTO: Evaluación de la distribución del cadmio en el perfil del suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017				
MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE CALICATAS EN LA ZONA DE ESTUDIO				
ESCALA: 1/10000	Departamento: Huánuco	Provincia: Leoncio Prado	Distrito: Pucayacu	A-0
FECHA: Noviembre 2017	Elaborado por: Sendy Gonzales Valle	Revisado por: Ing. Haydeé Suárez Almes	Fuente: Municipalidad Distrital de Pucayacu	

ANEXO 3. Color del suelo en los perfiles diferenciado por zonas

ZONA 1					
Color					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro
20-40cm	Marrón rojizo oscuro				
40-60cm	Marrón rojizo oscuro				
+ 60cm	Marrón rojizo oscuro				

Fuente: Elaboración propia

ZONA 2					
Color					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Marrón muy pálido	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro
20-40cm	Marrón amarillento claro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro
40-60cm	Amarillo pardusco	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro
+ 60cm	Marrón pálido	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro

Fuente: Elaboración propia

ZONA 3					
Color					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Marrón oscuro	Marrón amarillento
20-40cm	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón
40-60cm	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón
+ 60cm	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón rojizo oscuro	Marrón

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4. Textura del suelo en los perfiles diferenciado por zonas

ZONA 1					
Textura					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa
20-40cm	Franco arenosa	Franco arcillosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa
40-60cm	Franco arenosa	Arcillosa	Franco arcillo arenosa	Arcillosa	Franco arcillo arenosa
+ 60cm	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa

Fuente: Elaboración propia

ZONA 2					
Textura					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Franco arcillo arenosa				
20-40cm	Arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillosa	Franco arcillosa	Arcillosa
40-60cm	Arcillo arenosa	Arcillo arenosa	Arcillosa	Arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa
+ 60cm	Franco arcillosa	Arenosa	Franco arenosa	Arcillo arenosa	Arcillosa arenosa

Fuente: Elaboración propia

ZONA 3					
Textura					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Franco arcillo arenosa				
20-40cm	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillosa	Franco arcillo arenosa
40-60cm	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Arcillosa	Arcillosa	Franco arcillo arenosa
+ 60cm	Arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Arcillosa	Arcillo arenosa

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5. Estructura del suelo en los perfiles diferenciado por zonas

ZONA 1					
Estructura					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
20-40cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
40-60cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
+ 60cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular

Fuente: Elaboración propia

ZONA 2					
Estructura					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
20-40cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
40-60cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
+ 60cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular

Fuente: Elaboración propia

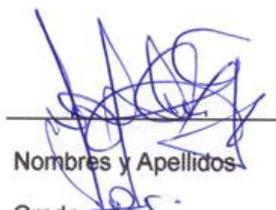
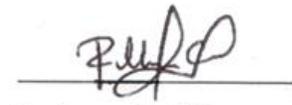
ZONA 3					
Estructura					
Profundidades(cm)	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
0-20cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
20-40cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
40-60cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
+ 60cm	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6. Instrumentos de recolección de datos

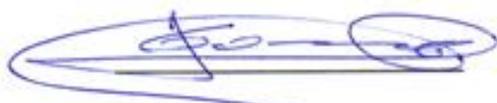
FICHA DE MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN DE ZONAS						
N° de Zonas	Coordenadas UTM por calicata		Drenaje	Temperatura Superficial		
	X	Y				
1	C1	C1	C1	C1		
	C2	C2	C2	C2		
	C3	C3	C3	C3		
	C4	C4	C4	C4		
	C5	C5	C5	C5		
2	C1	C1	C1	C1		
	C2	C2	C2	C2		
	C3	C3	C3	C3		
	C4	C4	C4	C4		
	C5	C5	C5	C5		
3	C1	C1	C1	C1		
	C2	C2	C2	C2		
	C3	C3	C3	C3		
	C4	C4	C4	C4		
	C5	C5	C5	C5		

Fuente: Elaboración propia, 2017

		
Nombres y Apellidos	Nombres y Apellidos	Nombres y Apellidos
Grado <i>Bachiller</i>	Grado <i>...</i>	Grado <i>Ingeniero Agronomo</i>
CIP <i>13600</i>	CIP <i>81722</i>	CIP <i>38103</i>

FICHA DE MUESTREO DE SUELO POR CALICATA Y PROFUNDIDAD	
Datos generales:	
Nombre de lugar de estudio:	Departamento:
Uso principal:	Provincia:
Dirección del Predio:	
Datos del punto de muestreo:	
Zona:	Operador: (empresa/ persona)
Numero de calicata:	Vegetación (si/no):
Profundidad del punto de muestreo:	Precipitación: (si/no, intensidad)
Coordenadas : (UTM, WGS84) x: y:	Instrumentos usados:
Técnica de muestreo:	
Datos de las muestras:	
Clave de la muestra:	
Fecha:	
Hora:	
Cantidad de la muestra: (volumen o peso)	
Medidas de conservación:	
Tipo de muestra: (simple/compuesta)	
Propiedades Físico-Químicas:	
Color:	
Estructura:	
Textura:	
pH:	
C.E.	
M.O.	
Humedad	
Densidad Aparente:	
Comentarios:	Croquis:

Fuente: MINAM, 2014



Nombres y Apellidos

Grado *Bachiller*

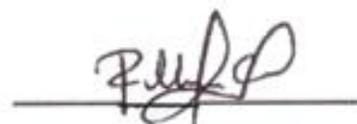
CIP *13600*



Nombres y Apellidos

Grado *Dr.*

CIP *84972*



Nombres y Apellidos

Grado *Ingeniero Agronomo*

CIP *38103*

Ficha de concentración de cadmio en raíces por zona				
Profundidad del suelo(cm)	N° de muestras	Peso Húmedo	Peso seco	Cadmio(mg /Kg)
0-20 cm	C1-R1-20			
0-20cm	C2-R2-20			
0-20cm	C3-R3-20			
0-20cm	C4-R4-20			
0-20cm	C5-R5-20			

Fuente: Elaboración propia, 2017



Nombres y Apellidos

Grado *Bachiller*

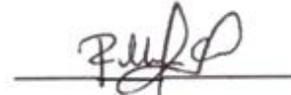
CIP *13600*



Nombres y Apellidos

Grado *Dr.*

CIP *89972*



Nombres y Apellidos

Grado *Ingeniero Agronomo*

CIP *38103*

ANEXO 7. Utilización Instrumentos de recolección de datos

FICHA DE MUESTREO DE INDENTIFICACIÓN DE ZONAS								
N° de Zonas	Coordenadas UTM por calicata				Drenaje		Temperatura Superficial	
	X		Y					
1	C1	377683	C1	9033802	C1	Buen drenaje	C1	24°C
	C2	377722	C2	9033704	C2	Buen drenaje	C2	26°C
	C3	377758	C3	9033614	C3	Buen drenaje	C3	23.5°C
	C4	377785	C4	9033545	C4	Buen drenaje	C4	25°C
	C5	377800	C5	9033478	C5	Buen drenaje	C5	31°C
2	C1	377729	C1	9033906	C1	Buen drenaje	C1	26.5°C
	C2	377762	C2	9033815	C2	Buen drenaje	C2	26°C
	C3	377788	C3	9033731	C3	Buen drenaje	C3	23.5°C
	C4	377808	C4	9033672	C4	Buen drenaje	C4	28.5°C
	C5	377826	C5	9033623	C5	Buen drenaje	C5	27.5°C
3	C1	376388	C1	9032673	C1	Buen drenaje	C1	27°C
	C2	376357	C2	9032739	C2	Mal drenaje	C2	30°C
	C3	376331	C3	9032810	C3	Mal drenaje	C3	28°C
	C4	376295	C4	9032880	C4	Buen drenaje	C4	32.5°C
	C5	376268	C5	9032943	C5	Buen drenaje	C5	23°C

Fuente: Elaboración propia, 2017

FICHA DE MUESTREO DE SUELO POR CALICATA Y PROFUNDIDAD	
Datos generales:	
Nombre de lugar de estudio: Fundo "San Juan"	Departamento: Huánuco
Uso principal: Agroforestal	Provincia: Leoncio Prado
	Dirección del Predio: Km.540- Alto Pucayacu
Datos del punto de muestreo:	
Zona: 1	Operador: Sendy Gonzales Valle y (empresa/ Eleuterio Valle Ollivas persona)
Numero de calicata: 1 Profundidad del punto de muestreo: 0-20cm	Vegetación(si/no): Guaba, macorilla, palta, aguaje, soguilla
Coordenadas : (UTM, X: 3776;Y: 9033; WGS84)	Precipitación: (si/no, si, 2000mm/año intensidad)
	Instrumentos usados: Pala, pico, barreta, estacas, cucharón, etc
Temperatura(°C) : 24°C	
Técnica de muestreo: Al azar	
Datos de las muestras:	
Clave de la muestra: C1P1Z1	
Fecha: 09/10/17	
Hora : 11:30 am	
Cantidad de la muestra:(volumen o 1 Kg	
Medidas de conservación: Refrigeración	
Tipo de muestra: Simple (simple/compuesta)	
Propiedades Físico-Químicas:	
Color: Marrón	
Estructura: Granular	
Textura: Franco arcillo arenosa	
pH: 4.08	
C.E. 0.09 mS/cm	
M.O: 0.35%	
Humedad: 14.19%	
Densidad Aparente: 0.95g/cm3	
Comentarios:	Croquis:



FACULTAD DE INGENIERÍA -ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Perfil de distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en zonas contaminadas por Cd, Pucayacu, 2017

CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS DE SUELOS -ZONA 2

Nombre del muestreador y cliente: Sedy Gonzales Valle

Fecha de muestreo: 12-10-17

Tipo de análisis requerido (Escribir el método)

Identificación de muestra	Código de la muestra de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Tipo de envase		Preservación de muestra		Espectrometría de Absorción Atómica con llama (FAAS)	Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento inductivo (ICP-AES)	Espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)	Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de Gráfico
				Plástico	Vidrio	Preservante	Refrigeración				
C1P1Z2	12834	12/10/2017	08:10 a.m.	X				X			
C1P2Z2	12835	12/10/2017	08:30 a.m.	X				X			
C1P3Z2	12836	12/10/2017	08:50 a.m.	X				X			
C1P4Z2	12837	12/10/2017	09:20 a.m.	X				X			
C2P1Z2	12838	12/10/2017	10:00 a.m.	X				X			
C2P2Z2	12839	12/10/2017	10:20a m	X				X			
C2P3Z2	12840	12/10/2017	10:40am	X				X			
C2P4Z2	12841	12/10/2017	11:00 a. m.	X				X			
C3P1Z2	12842	12/10/2017	01:30a. m.	X				X			
C3P2Z2	12843	12/10/2017	01:50a.m.	X				X			
C3P3Z2	12844	12/10/2017	02:10p.m.	X				X			
C3P4Z2	12845	12/10/2017	02:30p.m.	X				X			
C4P1Z2	12846	12/10/2017	08:00am	X				X			
C4P2Z2	12847	13/10/2017	08:20am	X				X			
C4P3Z2	12848	13/10/2017	08:40am	X				X			
C4P4Z2	12849	13/10/2017	09:20 a.m.	X				X			
C5P1Z2	12850	13/10/2017	09:50 a.m.	X				X			
C5P2Z2	12851	13/10/2017	10:10 a.m.	X				X			
C5P3Z2	12852	13/10/2017	10:30 a.m.	X				X			
C5P4Z2	12853	13/10/2017	10:50 a.m.	X				X			

Firma: _____

Entregado por: Sedy Gonzales Valle

Día/Hora: 18 de Octubre del 2017 / 3:45pm

Firma del laboratorio: _____

Fuente: Ministerio de Energía de Minas, 2009

CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS DE SUELOS -ZONA 3											
Nombre del muestreador y cliente: Sedy Gonzales Valle								Tipo de análisis requerido(Escribir el método)			
Fecha de muestreo: 28-10-17											
Identificación de muestra	Código de la muestra de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Tipo de envase		Preservación de muestra		Espectrometría de Absorción Atómica con llama(FAAS)	Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento inductivo (ICP-AES)	Espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente(ICP-OES)	Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de Gráfico
				Plástico	Vidrio	Preservante	Refrigeración				
C1P1Z3	10772	28/10/2017	09:20 a.m.	X			X	X			
C1P2Z3	10773	28/10/2017	09:40 a.m.	X			X	X			
C1P3Z3	10774	28/10/2017	10:00 a.m.	X			X	X			
C1P4Z3	10775	28/10/2017	10:20 a.m.	X			X	X			
C2P1Z3	10776	28/10/2017	11:00 a. m.	X			X	X			
C2P2Z3	10777	28/10/2017	11:20a m	X			X	X			
C2P3Z3	10778	28/10/2017	11:40am	X			X	X			
C2P4Z3	10779	28/10/2017	12:00p.m.	X			X	X			
C3P1Z3	10780	28/10/2017	02:00p.m.	X			X	X			
C3P2Z3	10781	28/10/2017	02:20p. m.	X			X	X			
C3P3Z3	10782	28/10/2017	02:40p. m.	X			X	X			
C3P4Z3	10783	28/10/2017	03:00p.m.	X			X	X			
C4P1Z3	12854	20/10/2017	12:30p.m.	X			X	X			
C4P2Z3	12855	20/10/2017	12:50p.m.	X			X	X			
C4P3Z3	12856	20/10/2017	01:20pm	X			X	X			
C4P4Z3	12857	20/10/2017	01:40pm	X			X	X			
C5P1Z3	12858	20/10/2017	02:10p .m.	X			X	X			
C5P2Z3	12859	20/10/2017	02:40p.m.	X			X	X			
C5P3Z3	12860	20/10/2017	03:00 p.m.	X			X	X			
C5P4Z3	12861	20/10/2017	03:30 p.m.	X			X	X			

Firma: _____

Entregado por: Sedy Gonzales Valle Día/Hora: 4 de Noviembre del 2017 / 2:23pm

Firma del laboratorio: _____

Fuente: Ministerio de Energía de Minas, 2009

Ficha de concentración de cadmio en raíces-Zona 1

Profundidad del suelo(cm)	N° de muestras		Peso Húmedo(g)	Peso seco(g)	Cadmio(mg/Kg)
0-20 cm	C1-R1-20	1	43	34.98	0.25
0-20cm	C2-R2-20	1	30	17.33	1.00
0-20cm	C3-R3-20	1	30	17.39	0.50
0-20cm	C4-R4-20	1	30	21.07	1.00
0-20cm	C5-R5-20	1	30	16.85	0.90

Fuente: Elaboración propia, 2017

Ficha de concentración de cadmio en raíces-Zona 2

Profundidad del suelo(cm)	N° de muestras		Peso Húmedo(g)	Peso seco(g)	Cadmio(mg/Kg)
0-20 cm	C1-R1-20	1	63	50.94	0.50
0-20cm	C2-R2-20	1	69	46.46	0.75
0-20cm	C3-R3-20	1	32	20.57	1.00
0-20cm	C4-R4-20	1	35	27.51	0.60
0-20cm	C5-R5-20	1	36	21.92	4.48

Fuente: Elaboración propia, 2017

Ficha de concentración de cadmio en raíces-Zona 3

Profundidad del suelo(cm)	N° de muestras		Peso Húmedo(g)	Peso seco(g)	Cadmio(mg/Kg)
0-20 cm	C1-R1-20	1	35	30.01	3.25
0-20cm	C2-R2-20	1	30	26.53	2.00
0-20cm	C3-R3-20	1	30	26.39	2.00
0-20cm	C4-R4-20	1	32	26.79	8.24
0-20cm	C5-R5-20	1	37	27.59	4.43

Fuente: Elaboración propia, 2017

ANEXO 8. Validación de Instrumentos de recolección de datos

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres: *Juan Julio Ordóñez Galvez.*

1.2 Cargo e institución donde labora: *UCV - Asepar del área de Investigación*

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación: *Ficha de muestreo de identificación de genes*

1.4 Autor(A) de instrumento: *Sandy González Valle*

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

* El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

Si
90%

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, *10* de Noviembre del 2017

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° *81112*

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres: *Juan Julio Ochoa Balanz*

1.2 Cargo e institución donde labora: *UEV - Asesor del área de Investigación*

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación: *Ficha de muestra de Susto por calientes y profundidad*

1.4 Autor(A) de instrumento: *Sandy Gonzales Valle*

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis													✓
7. CONSISTENCIA	Se repalde en fundamentos técnicos y/o científicos													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

S
90%

* El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

[Empty box for average rating]

Lima *10* de Noviembre del 2017

[Signature]
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
CIP N° *8172*

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres: *Leon Julio Andoñez Coabro*

1.2 Cargo e institución donde labora: *UCV - Asesor del área de Investigación*

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación: *Cadena de custodia de muestras de suelo por zona de estudio.*

1.4 Autor(A) de instrumento: *Sandy Gorzales Valle*

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												✓	✓
2.OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos												✓	✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												✓	✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica												✓	✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												✓	✓
6.INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis												✓	✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												✓	✓
8 .COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												✓	✓
9.METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis												✓	✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la Investigación y su adecuación al Método Científico.												✓	✓

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

*El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

S
90%

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

[Empty box for average score]

Lima, 10 de Noviembre del 2017

[Handwritten Signature]
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
CIP N° *8792*

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres: *Juan Julio Antonio Galvez*

1.2 Cargo e institución donde labora: *UCV - Asesor del área de investigación*

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación: *ficha de concentración de lecturas en raíces por zona*

1.4 Autor(A) de instrumento: *Sandy Gonzalez Valle*

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

* El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

Se
90%

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

[Empty box for average score]

Lima *10* de Noviembre del 2017

[Handwritten Signature]
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE
CIP N° *8992*



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres:

MUNNE CERRON RUBEN

1.2 Cargo e institución donde labora:

UCV - Docente

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación:

Ficha de muestreo de identificación de zonas

1.4 Autor(A) de instrumento: Sedy Gonzales Valle

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis											X		
7. CONSISTENCIA	Se repalda en fundamentos técnicos y/o científicos											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

X

* El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 14 de Nov. del 2017

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° 38103



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres:

MUNIVE CERRO RUBEN

1.2 Cargo e institución donde labora:

UCV - Docente

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación:

Ficha de muestreo de suelo por calicata y Profundidad

1.4 Autor(A) de instrumento: Sindy Gonzales Valle

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis												X	
7. CONSISTENCIA	Se repalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

X

* El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 14 de mayo del 2017

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° 38103

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres:

MUNIVE CERRO RUBEN

1.2 Cargo e institución donde labora: UCU - Docente

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación:

Cadena de custodia de muestra de suelos por zona de estudio

1.4 Autor(A) de instrumento: Sedy Gonzales Valle

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2.OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6.INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis											X		
7. CONSISTENCIA	Se repalda en fundamentos técnicosy/o científicos											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9.METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

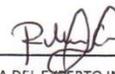
X

*El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 14 de Nov del 2017



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° 38103

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres:

MUNIVE CERROJ RUBEN

1.2 Cargo e institución donde labora:

UCV - Docente

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación:

Ficha de concentración de cadmio en raíces por zona

1.4 Autor(A) de instrumento: Sedy Gonzales Valle

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis												X	
7. CONSISTENCIA	Se repalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

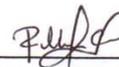
X

* El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 14 de Nov del 2017



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° 38103

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres: *Isac Comana*

1.2 Cargo e institución donde labora: *UCV - Profesor*

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación: *Ficha de muestreo de identificación de zonas.*

1.4 Autor(A) de instrumento: *Sandy Gonzalez Valle*

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/
2.OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos												/
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												/
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica												/
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/
6.INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis												/
7. CONSISTENCIA	Se repalda en fundamentos técnicos/lo científicos												/
8 .COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/
9.METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis												/
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/

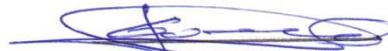
III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- * El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- * El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, *10* de Noviembre del 2017



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° *13600*

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres: *Isaac Gamana*

1.2 Cargo e institución donde labora: *UCV- Profesor.*

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación: *Prueba de muestreo de suelo por colecta y profundidad*

1.4 Autor(A) de instrumento: *Sandy Gonzales Valle*

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis													✓
7. CONSISTENCIA	Se repalda en fundamentos técnicos y/o científicos													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- * El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- * El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 10 de Noviembre del 2017



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° 13600

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres: *Isac Gamana*

1.2 Cargo e institución donde labora: *UCV- Profesor*

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación: *Cadena de custodia de muestras de suelo por zonas de estudio.*

1.4 Autor(A) de instrumento: *Sandy González Valle*

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- * El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- * El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, *18* de Noviembre del 2017



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° 13600

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y Nombres:

Isaac Comana

1.2 Cargo a institución donde labora:

UCV - Profesor

1.3 Nombre del Instrumento motivo de evaluación:

1.4 Autor(A) de instrumento: Sandy Gonzales Valle

Lista de concentración de cadmio en raíces per zona.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													/
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													/
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													/
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica													/
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													/
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar variables de la hipótesis													/
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos													/
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													/
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis													/
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													/

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

* El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

* El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 18 de Noviembre del 2017



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

CIP N° 136000

ANEXO 9. Resultados de muestras de suelo y raíces con cadmio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : SENDY GONZALES VALLE
PROCEDENCIA : HUÁNUCO/ LEONCIO PRADO/ PUCAYACU
REFERENCIA : H.R. 61153
BOLETA : 949
FECHA : 02/11/2017

Lab	Número Muestra Claves	Cd ppm
10021	Zona 1, Cal. 1, C1P1Z1, Prof. 0-20 cm.	1.08
10022	Zona 1, Cal. 1, C1P2Z1, Prof. 0-20 cm.	0.92
10023	Zona 1, Cal. 1, C1P3Z1, Prof. 0-20 cm.	1.00
10024	Zona 1, Cal. 1, C1P4Z1, Prof. 0-20 cm.	0.82
10025	Zona 1, Cal. 3, C3P1Z1, Prof. 0-20 cm.	1.01
10026	Zona 1, Cal. 3, C3P2Z1, Prof. 0-20 cm.	0.88
10027	Zona 1, Cal. 3, C3P3Z1, Prof. 0-20 cm.	0.91
10028	Zona 1, Cal. 3, C3P4Z1, Prof. 0-20 cm.	0.93
10029	Zona 1, Cal. 5, C5P1Z1, Prof. 0-20 cm.	0.90
10030	Zona 1, Cal. 5, C5P2Z1, Prof. 0-20 cm.	0.99
10031	Zona 1, Cal. 5, C5P3Z1, Prof. 0-20 cm.	0.96
10032	Zona 1, Cal. 5, C5P4Z1, Prof. 0-20 cm.	1.20
10033	Zona 1, Cal. 2, C2P1Z1, Prof. 0-20 cm.	1.04
10034	Zona 1, Cal. 2, C2P2Z1, Prof. 0-20 cm.	0.92
10035	Zona 1, Cal. 2, C2P3Z1, Prof. 0-20 cm.	0.89
10036	Zona 1, Cal. 2, C2P4Z1, Prof. 0-20 cm.	1.14
10037	Zona 1, Cal. 4, C4P1Z1, Prof. 0-20 cm.	0.93
10038	Zona 1, Cal. 4, C4P2Z1, Prof. 0-20 cm.	1.22
10039	Zona 1, Cal. 4, C4P3Z1, Prof. 0-20 cm.	1.78
10040	Zona 1, Cal. 4, C4P4Z1, Prof. 0-20 cm.	1.09


Sandy García Bendezu,
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : SENDY GONZALES VALLE
PROCEDENCIA : HUÁNUCO/ LEONCIO PRADO/ PUCAYACU
REFERENCIA : H.R. 61254
BOLETA : 971
FECHA : 10/11/2017

Lab	Número Muestra	Cd ppm
	Claves	
12834	Zona 2, Calicata 1, C1P1Z2	1.67
12835	Zona 2, Calicata 1, C1P2Z2	1.97
12836	Zona 2, Calicata 1, C1P3Z2	1.47
12837	Zona 2, Calicata 1, C1P4Z2	1.35
12838	Zona 2, Calicata 2, C2P1Z2	1.46
12839	Zona 2, Calicata 2, C2P2Z2	1.42
12840	Zona 2, Calicata 2, C2P3Z2	1.34
12841	Zona 2, Calicata 2, C2P4Z2	1.66
12842	Zona 2, Calicata 3, C3P1Z2	1.69
12843	Zona 2, Calicata 3, C3P2Z2	1.21
12844	Zona 2, Calicata 3, C3P3Z2	1.31
12845	Zona 2, Calicata 3, C3P4Z2	1.07
12846	Zona 2, Calicata 4, C4P1Z2	1.45
12847	Zona 2, Calicata 4, C4P2Z2	1.36
12848	Zona 2, Calicata 4, C4P3Z2	1.56
12849	Zona 2, Calicata 4, C4P4Z2	1.66


Sandy Garcia Bendezú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : SENDY GONZALES VALLE
PROCEDENCIA : HUÁNUCO/ LEONCIO PRADO/ PUCAYACU
REFERENCIA : H.R. 61254
BOLETA : 971
FECHA : 10/11/2017

Lab	Número Muestra	Cd ppm
	Claves	
12850	Zona 2, Calicata 5, C5P1Z2	1.97
12851	Zona 2, Calicata 5, C5P2Z2	1.62
12852	Zona 2, Calicata 5, C5P3Z2	1.78
12853	Zona 2, Calicata 5, C5P4Z2	1.58
12854	Zona 3, Calicata 4, C4P1Z3	1.49
12855	Zona 3, Calicata 4, C4P2Z3	1.70
12856	Zona 3, Calicata 4, C4P3Z3	1.72
12857	Zona 3, Calicata 4, C4P4Z3	1.86
12858	Zona 3, Calicata 5, C5P1Z3	1.25
12859	Zona 3, Calicata 5, C5P2Z3	2.61
12860	Zona 3, Calicata 5, C5P3Z3	2.06
12861	Zona 3, Calicata 5, C5P4Z3	1.91


Sady García Bendazú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : SENDY GONZALES VALLE
PROCEDENCIA : HUÁNUCO/ LEONCIO PRADO/ PUCAYACU
REFERENCIA : H.R. 61439
BOLETA : 1031
FECHA : 21/11/2017

Lab	Número Muestra	Cd ppm
	Claves	
10772	Zona 3, Calicata 1, C1-P1-Z3	1.35
10773	Zona 3, Calicata 1, C1-P2-Z3	1.31
10774	Zona 3, Calicata 1, C1-P3-Z3	1.41
10775	Zona 3, Calicata 1, C1-P4-Z3	1.43
10776	Zona 3, Calicata 2, C2-P1-Z3	1.39
10777	Zona 3, Calicata 2, C2-P2-Z3	1.34
10778	Zona 3, Calicata 2, C2-P3-Z3	1.30
10779	Zona 3, Calicata 2, C2-P4-Z3	1.26
10780	Zona 3, Calicata 3, C3-P1-Z3	1.27
10781	Zona 3, Calicata 3, C3-P2-Z3	1.30
10782	Zona 3, Calicata 3, C3-P3-Z3	1.36
10783	Zona 3, Calicata 3, C3-P4-Z3	1.48


Dr. Sedy García Bendejú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SENDY GONZALES VALLE
PROCEDENCIA : HUANUCO/ LEONCIO PRADO/ PUCAYACU
MUESTRA : RAÍCES DE CACAO
REFERENCIA : H.R. 61160
BOLETA : 950
FECHA : 03/11/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
8479	C1R1Z1	0.25
8480	C1R1Z2	0.50
8481	C2R2Z1	1.00
8482	C2R2Z2	0.75
8483	C3R3Z1	0.50
8484	C3R3Z2	1.00
8485	C4R4Z1	1.00
8486	C4R4Z2	0.60
8487	C5R5Z1	0.90
8488	C5R5Z2	4.48


Dr. Sady Garcia Bendezú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SENDY GONZALES VALLE
PROCEDENCIA : HUÁNUCO/ LEONCIO PRADO/ PUCAYACU
MUESTRA : RAÍCES DE CACAO
REFERENCIA : H.R. 61255
FECHA : 09/11/2017

N. Lab	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
8730	C4R4Z3	8.24
8731	C5R5Z3	4.43



[Signature]
Dr. Sady García Bendejú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SENDY GONZALES VALLE
PROCEDENCIA : HUÁNUCO/ LEONCIO PRADO/ PUCAYACU
MUESTRA : RAICES DE CACAO
REFERENCIA : H.R. 61440
BOLETA : 1031
FECHA : 21/11/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cd ppm
9052	C1R1Z3	3.25
9053	C2R2Z3	2.00
9054	C3R3Z3	2.00

Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"Evaluación de la distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Gonzales Valle, Sendy

ASESORA:

Mg. Sc. Suárez Alvites Haydec

LINEA DE INVESTIGACIÓN

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

LIMA- PERÚ

2017-II

Handwritten signature and circular stamp of Universidad César Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Lima.

Resumen de coincidencias

15 %

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

- 1 repositorio.ucv.edu.pe 4 %
- 2 pt.scribd.com 1 %
- 3 www.slideshare.net 1 %
- 4 sestud.uv.es 1 %
- 5 revistas.lamolina.edu.pe <1 %
- 6 Entregado a Universida... <1 %
- 7 www.researchgate.net <1 %
- 8 redcacaoychocolateper... <1 %
- 9 www.redalyc.org <1 %
- 10 fhia.org.hn <1 %
- 11 www.upo.es <1 %

Yo, **Dr. Ing. Elmer Gonzales Benites Alfaro**, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, Lima Norte, revisor (a) de la tesis titulada: **"Evaluación de la distribución del cadmio en el perfil del suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017"**, de la estudiante **Gonzales Valle, Sindy**, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Los Olivos, 01 de febrero de 2019



Firma

Dr. Ing. Elmer Gonzales Benites Alfaro

DNI: 07867259



Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS
EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV**

Código : F06-PP-PR-02.02
 Versión : 07
 Fecha : 31-03-2017
 Página : 1 de 1

Yo, **Sendy Gonzales Valle**, identificada con DNI N° 45537438, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, autorizo(X), No autorizo() la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado: **“Evaluación de la distribución del cadmio en el perfil del suelo y en la raíz de la planta de cacao en Pucayacu, Huánuco 2017”**; en el Repositorio Institucional de la UCV(<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto legislativo 822, Ley sobre el derecho de Autor, Art.23 y Art.33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....



[Handwritten Signature]

 Firma

DNI: 45537438

FECHA: Los Olivos 18 de enero del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Sendy Gonzales Valle

INFORME TITULADO:

**"Evaluación de la distribución del cadmio en el suelo y en la raíz de la
planta de cacao en Pucayacu, Huánuco, 2017**

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

SUSTENTADO EN FECHA: _18/01/2018_

NOTA O MENCIÓN: _18_



FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Elmer Benites Alfaro