UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

"APLICACIÓN DE NIVELES DE SÍLICE AL SUELO, COMO CASCARILLA CARBONIZADA DE ARROZ, SOBRE LA DISMINUCIÓN DE CADMIO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN VON HUMBOLDT"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÓNOMO

JESRRAEL NEYSON ESTRADA LÓPEZ

PUCALLPA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
CARRERA ROFESIONAL DE AGRONOMÍA
ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de tesis presentado por **JESRRAEL NEYSON ESTRADA LÓPEZ**, denominada: **"APLICACIÓN DE NIVELES DE SÍLICE AL SUELO, COMO CASCARILLA CARBONIZADA DE ARROZ, SOBRE LA DISMINUCIÓN DE CADMIO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN VON HUMBOLDT",** para cumplir con el requisito (académico o título profesional) de **INGENIERO AGRÓNOMO.**

Teniendo en consideración, los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, lo declaramos **APROBADO** con el calificativo (*) **BUENO.**

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el consejo universitario y recibir el: (Grado Académico.....), (Título de **INGENIERO AGRÓNOMO**), de conformidad con lo estipulado en los art. 3 y 6 del Reglamento, para el otorgamiento de grado académico de bachiller y título profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 25 de octubre del 2019.

Ing. Isaías González Ramírez Presidente	Ing. Edgardo García Saavedra, Dr. Secretario
Ing. Roger Vásquez Gómez, M.Sc. Miembro	Ing. José Antonio López Ucariegüe, M.Sc. Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberían ser calificados en términos de Sobresaliente, Aprobado por unanimidad, Aprobado por mayoría y desaprobado.

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Ing. Isaías González Ramírez ----------
Presidente

Ing. Edgardo García Saavedra, Dr. ----------
Secretario

Ing. Roger Vásquez Gómez, M.Sc. ----------
Miembro

Ing. José Antonio López Ucariegüe, M.Sc. ----------
Asesor

Bach. Jesrrael Neyson Estrada López ----------
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

Constancia

N° 236

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis) titulado:

APLICACIÓN DE NIVELES DE SÍLICE AL SUELO, COMO CASCARILLA CARBONIZADA DE ARROZ, SOBRE LA DISMINUCION DE CADMIO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*), EN VON HUMBOLDT

Cuyo autor es	:	**ESTRADA LOPEZ, JESRRAEL NEYSON**
Facultad	:	CIENCIAS AGROPECUARIAS
Escuela Profesional	:	AGRONOMÍA
Asesor	:	M Sc. LOPEZ UCARIEGUE, JOSE ANTONIO

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 03 %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de plagio, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 23/07/2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL
DRA. DINA PARIQUISPE
Direc. Gral Prod Intel

ANEXO 01

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Jesrrael Neyson Estrada López

Autor de la TESIS titulada:

"Aplicación de niveles de sílice al suelo, como cascarilla carbonizada de arroz, sobre la disminución de cadmio en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en Von Humboldt."

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: Ing. M. Sc. Jose Antonio López Ucoriegüe

En la Facultad de: Ciencias Agropecuarias

Carrera Profesional de: Agronomía

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos:
Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.
Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.
Tercero: autorizo la publicación,

- [X] Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).
- [ ] Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.
En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 03 / 08 / 2020

Email: ejesrrael@gmail.com

Firma: 

Teléfono: 931529550

DNI: 44562096

DEDICATORIA.

A Dios Todopoderoso, que me dio la oportunidad de realizarme profesionalmente y por darme una familia maravillosa que estuvo apoyándome siempre.

A mi padre Mauricio Estrada Príncipe, por su constante apoyo y motivación para esforzarme en la culminación de mi carrera profesional.

A mi abuelita Eriberta Príncipe Herrera, por su esfuerzo y su apoyo incondicional, para lograr alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTO.

Expreso mi sincero agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que han contribuido en la realización de la presente tesis:

Al divino creador del universo y hacedor de mí mismo, al DIOS Todopoderoso, por darme la vida, la salud y la sabiduría para poder hacer realidad este gran sueño.

A la Universidad Nacional de Ucayali, en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía que contribuyeron a mi formación profesional.

Al Ing. José Antonio López Ucariegüe, M.Sc., por el asesoramiento y constante apoyo en la ejecución y redacción final del presente trabajo de investigación.

A mis padres Mauricio Estrada Príncipe y Eriberta Príncipe Herrera, quienes creyeron siempre en mí y nunca dudaron en apoyarme.

Así mismo, a todas las personas que de una u otra manera han contribuido en la culminación del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE.

Pág.

RESUMEN…….. x
ABSTRACT…… xi
LISTA DE CUADROS…….. xii
LISTA DE FIGURAS……..… xiii
I. INTRODUCCIÓN……... 1
II. REVISIÓN DE LITERATURA…… 3
2.1. Los metales pesados……..…… 3
2.2. El cadmio…… 5
2.2.1. El cadmio en el suelo……..……..... 6
2.2.2. El cadmio en las plantas……. 7
2.3. Vías de contaminación por cadmio…….. 9
2.4. El silicio……..…… 10
2.5. El silicio en la solución suelo…… 11
2.6. Formas de actuar del silicio…….. 11
2.7. Un elemento esencia (en el ejercicio del cultivo)…….. 11
2.8. Disponibilidad de ácido silícico……..……...….... 12
2.9. Moderación de minerales……..…… 12
2.10. Desintoxicación de metales pesados…….. 13
2.11. Sociedad calcio-silicio……..…… 13
2.12. Contenido de cadmio en el cacao: preocupación mundial…..…… 14
2.13. Cascarilla carbonizada de arroz…….. 15
2.14. pH del suelo……..... 15
2.15. Factores que afectan el pH.....…….. 16
2.15.1. Material de origen……..……... 16
2.15.2. Profundidad del suelo…… 16
2.15.3. Precipitación……... 16
2.15.4. Descomposición de la materia orgánica……. 16
2.15.5. Siembra de cultivos…… 17
2.15.6. Fertilización nitrogenada……..... 17
2.16. Acidez del suelo.....……..……..... 17
2.17. Clasificación de la acidez del suelo..... 17

2.17.1. Acidez activa…….. 17
2.17.2. Acidez intercambiable…….. 18
2.17.3. Acidez no intercambiable……. 18
2.17.4. Acidez potencial……. 18
2.18. Antecedentes de la investigación……. 18
III. MATERIALES Y MÉTODOS…….…….…….. 22
3.1. Ubicación…….…….. 22
3.2. Características climáticas…….…… 22
3.3. Materiales y equipos…….……... 23
3.3.1. Material genético……... 23
3.3.2. Material en estudio…… 23
3.3.3. Material de campo……. 23
3.3.4. Material de escritorio……. 24
3.3.5. Equipos……... 24
3.4. Población y muestra…….…… 24
3.5. Dimensión del área total…….…. 24
3.5.1. Del campo experimental…….. 24
3.5.2. De la unidad experimental…… 24
3.6. Tratamientos en estudio…….. 25
3.7. Diseño experimental…… 25
3.8. Análisis de varianza (ANOVA)…….. 26
3.9. Ejecución del experimento…….. 26
3.9.1. Determinación del contenido de cadmio en el suelo…….. 26
3.9.2. Determinación del contenido de cadmio en hojas y granos.. 27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN……..……... 28
4.1. Contenido de cadmio en el suelo……..…….. 28
4.2. Contenido de cadmio en hojas…….…… 30
4.3. Contenido de cadmio en granos……..…… 31
V. CONCLUSIONES…….…….... 34
VI. RECOMENDACIONES……...……..…… 35
VII. LITERATURA CITADA……..…….. 36
VIII. ANEXO..…….…… 42

RESUMEN.

La investigación se llevó a cabo entre los meses de setiembre 2017 a setiembre 2018, con el propósito de determinar el efecto de la aplicación de tres niveles de cascarilla carbonizada de arroz, como fuente de óxido de silicio sobre la disminución del contenido de cadmio en el suelo, hojas y granos de cacao en la zona de Von Humboldt bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, se estudió el efecto de 3 niveles: 1,1.5 y 2.0 t ha^{-1} en una plantación de 5 años de edad. Los resultados indican que la mayor disminución de cadmio en el suelo al finalizar el ensayo fue registrada por la aplicación del tratamiento a base de 1 t ha^{-1} de cascarilla carbonizada de arroz con 0.14 mg kg^{-1}. De igual modo, la reducción más alta de cadmio en la hoja de cacao al finalizar el ensayo fue obtenida por la aplicación del tratamiento a base de 1 t ha^{-1} de cascarilla carbonizada de arroz con 0.60 mg kg^{-1}. Y finalmente, el descenso más significativo de cadmio en el grano de cacao al término del ensayo fue alcanzado por la aplicación del tratamiento a base de 1 t ha^{-1} de cascarilla carbonizada de arroz con 0.15 mg kg^{-1}.

Palabras claves: Cadmio, cacao, silicio, cascarilla de arroz.

ABSTRACT

The investigation was carried out between the months of September 2017 to September 2018, with the purpose of determining the effect of the application of three levels of charred rice husk as a source of silicon oxide on the decrease of the content of cadmium in the soil leaves and cocoa beans in the Von Humboldt area. Under a randomized complete block design with 4 repetitions, the effect of 3 levels was studied: 1, 1.5 and 2.0 t ha^{-1} in a 5-year-old plantation. The results indicate that, the greatest decrease in cadmium in the soil at the end of the trial was recorded by the application of the treatment based on 1 t ha^{-1} of charred rice husk with 0.14 mg kg^{-1}. Similarly, the highest reduction of cadmium in the cocoa leaf at the end of the test was obtained by applying the treatment based on 1 t ha^{-1} of charred rice husk with 0.60 mg kg^{-1}. And finally, the most significant decrease of cadmium in the cocoa bean at the end of the trial was achieved by the application of the treatment based on 1 t ha^{-1} of charred rice husk with 0.15 mg kg^{-1}.

Keywords: Cadmium, cocoa, silicon, rice husk.

LISTA DE CUADROS.

En el texto: **Pág.**

Cuadro 1. Concentraciones de metales pesados según el uso del suelo..... 4

Cuadro 2. Niveles críticos de metales pesados en suelos con 5% de materia orgánica según pH..... 4

Cuadro 3. Concentraciones máximas aceptables de algunos metales pesados en suelos agrícolas.....…….....…… 4

Cuadro 4. Rangos de concentración en suelos y límites de regulación para algunos metales pesados..... 5

Cuadro 5. Esquema del análisis de varianza (ANOVA)……..…… 26

Cuadro 6. Resultados del contenido de cadmio (mg kg-1) en el suelo..... 29

Cuadro 7. Resultados del contenido de cadmio (mg kg-1) en hojas..... 30

Cuadro 8. Resultados del contenido de cadmio (mg kg-1) en granos..... 32

.

En el anexo:

Cuadro 9A. ANOVA Cadmio en suelo al inicio del ensayo…..……..... 43

Cuadro 10A. ANOVA Cadmio en suelo al final del ensayo..... 43

Cuadro 11A. ANOVA Cadmio en hoja al inicio del ensayo..... 43

Cuadro 12A. ANOVA Cadmio en hoja al final del ensayo..... 43

Cuadro 13A. ANOVA Cadmio en granos al inicio del ensayo……..…… 44

Cuadro 14A. ANOVA Cadmio en granos al final del ensayo..... 44

LISTA DE FIGURAS.

En el texto: **Pág.**

Figura 1. Mapa de ubicación del ensayo..... 22

Figura 2. Croquis de ubicación de campo..... 25

Figura 2. Cadmio en el suelo..... 29

Figura 4 Cadmio en hojas……..…… 31

Figura 5. Cadmio en granos..... 33

En el anexo:

Figura 6A. Resultados del análisis de granos de cacao para determinar el contenido de cadmio (Cd) al inicio del ensayo……..... 45

Figura 7A. Resultados del análisis de granos de cacao para determinar el contenido de cadmio (Cd) al final del ensayo..... 46

Figura 8A. Resultados del análisis de suelos para determinar el contenido de cadmio (Cd) al inicio del ensayo..... 47

Figura 9A. Resultados del análisis de suelos para determinar el contenido de cadmio (Cd) al final del ensayo..... 48

Figura 10A. Resultados del análisis de hojas para determinar el contenido de cadmio (Cd) al inicio del ensayo…..... 49

Figura 11A. Resultados del análisis de hojas para determinar el contenido de cadmio (Cd) al final del ensayo…..... 50

Figura 12A. Resultados del análisis de caracterización para conocer el pH y la CIC del suelo al inicio del ensayo……..…… 51

Figura 13A. Resultados del análisis de caracterización para conocer el pH y la CIC del suelo al final del ensayo……...…… 52

Figura 14A. Resultados de análisis de sílice de la cascarilla carbonizada de arroz……... 53

Figura 15A. Aplicación de la enmienda orgánica al cultivo de cacao…… 54

Figura 16A. Muestreo de suelos para el análisis de cadmio……. 54

Figura 17A Muestreo foliar para el análisis de cadmio……. 55

Figura 18A. Preparación de las muestras de hojas de cacao…… 55

I. INTRODUCCIÓN.

El cacao es un cultivo de gran importancia mundial, cuyo centro de origen está localizado en la región comprendida entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo (Arévalo 2005).

Al respecto la Dirección Regional Sectorial Agricultura Ucayali (DRSAU) (2018), informa que en la región Ucayali se encuentran instaladas 11,484 ha en Padre Abad; 6,523 ha en Coronel Portillo; 2,981 ha en Atalaya y Purús. En total, existe 20,988 ha de cacao instaladas y en producción, con una mayor producción en la provincia de Padre Abad y con un rendimiento promedio de 700 $kg.ha^{-1}$; sin embargo, en estos últimos años, la presencia del cadmio en el cultivo de cacao, ha generado gran preocupación tanto en los países productores como en los países importadores, así como en los organismos de regulación internacional como la Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación.

Trabajos de investigación desarrollados por Fernández (2016), Hoyos (2017), Ramírez (2018) y Tuesta (2018) en Ucayali han demostrado que el contenido del metal pesado en el suelo, hojas, almendras, cáscara y hojarasca de cacao en la zona de San Alejandro, Padre Abad se encuentran en niveles altos por encima de los límites permitidos por la Comisión Europea, quien ha establecido en enero del presente año, la vigencia del Reglamento de la Unión Europea N° 488/2014, el cual modifica el Reglamento (CE) N°1881/2006, en referencia al contenido máximo de cadmio (0,80 mg kg^{-1} de peso fresco para el chocolate y productos derivados) y que cualquier valor por encima de este índice impedirá a los productos su ingreso al mercado europeo.

Teniendo en cuenta la importancia económica del cultivo y el interés de los productores por la comercialización internacional, es necesario entonces, desarrollar tecnologías que permitan disminuir la concentración de este metal sobre todo en la almendra de cacao mediante el uso de diferentes alternativas de biorremediación, entre las que se encuentran la incorporación de diferentes fuentes y dosis de materia orgánica al suelo, la aplicación de enmiendas correctivas de la acidez del suelo o el uso de plantas que absorban el cadmio

en mayor proporción que el cacao (Lora y Bonilla 2010).

Entre algunas estrategias empleadas en la disminución de metales pesados tóxicos, como cadmio en suelos agrícolas se considera la aplicación de materiales silícatados a partir de la cascarilla carbonizada de arroz, ya que en Pucallpa existen molinos de arroz que mensualmente producen un promedio de 2.5 toneladas, como subproducto del proceso de pila (DRAU 2018).

Bajo esta situación, el objetivo del presente trabajo de investigación es: determinar el efecto de la aplicación de tres niveles de cascarilla carbonizada de arroz como fuente de óxido de silicio sobre la disminución de cadmio en el suelo, hojas y granos de cacao en la zona de Alexander Von Humboldt.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. LOS METALES PESADOS.

Según refiere Jaramillo (2008), un “metal pesado” es aquel elemento de alta densidad y con la capacidad de reemplazar o desplazar otros elementos inhibiendo su funcionamiento. Un metal pesado debe primero estar presente en el suelo, agua o ser introducido en el manejo (fertilizantes).

El suelo debe tener las condiciones para que sea disponible para la planta, y en esta, deben existir mecanismos para su asimilación, es decir, no se ejerce la selectividad sobre estos (caso Zn).

Desde hace algunos años se habla de problemas relacionados con la salud en distintos aspectos: Plomo (Pb), afectación de la capacidad intelectual y desarrollo en neo-natos; Cadmio (Cd), daño renal; Arsénico (As) y Mercurio (Hg), cáncer y numerosas afectaciones nerviosas.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, principalmente debido a la actividad industrial y minera, pueden permanecer en el ambiente cientos de años, contaminando el suelo y acumulándose en las plantas y los tejidos orgánicos. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a lo largo de la cadena alimentaria.

La contaminación de los metales pesados se presenta cuando estos exceden los valores normales o concentraciones máximas aceptables. Por lo tanto, diversos países han determinado estos valores para suelos de uso agrícola en función de condiciones locales, uso, historia de la región, tipo de suelo, clima y criterio de los autores.

En México la norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 establece las concentraciones de referencia de los metales pesados en el suelo, como se aprecia en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Concentraciones de metales pesados según el uso del suelo.

Metal	Suelo de uso agrícola/ residencial/ comercial (mg/kg)	Uso Industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Cadmio	37	450
Mercurio	23	310
Plomo	400	800
Cromo	280	510

Fuente: Romero, Alonso, Moreno, Rojo (2010).

Algunos organismos como la Unión Europea han determinado las concentraciones críticas en base al pH y a la materia orgánica, como se observa en los Cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Niveles críticos de metales pesados en suelos con 5% de materia orgánica según pH.

Metal pesado	pH del suelo			
	4	5	6	7
Cadmio	0.56	1.2	2.6	5.5
Plomo	30.0	39.0	50.0	64.0
Cobre	6.6	6.9	7.2	7.6
Zinc	3.7	5.1	7.0	9.6

Fuente: Alloway (2013).

Cuadro 3. Concentraciones máximas aceptables de algunos metales pesados en suelos agrícolas (mg kg^{-1}).

Metal	Alemania	Canadá	Japón	Reino Unido	Unión Europea
Cd	2	8		1	3
Pb	500	200	400	50	100
Cu	50	100	150	50	100
Zn	300	400	250	150	300

Fuente: Kabata-Pendias, Pendias (1992).

Por su parte, Wuana y Okieimen (2011), mencionan algunos rangos de concentración de metales pesados en el suelo y su límite regulatorio, como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Rangos de concentración en suelo y límites de regulación para algunos metales pesados.

Metal Pesado	Rango de concentración	Limite regulatorio
	mg/kg	
Plomo	1 - 69000	600
Cadmio	0.10 - 345	100
Cromo	0.05 - 3950	100
Mercurio	0.01 - 1800	270
Zinc	150 - 5000	1500

Fuente: Wuana y Okieimen (2011).

2.2. EL CADMIO.

Camilo (2019), sostiene que el cadmio sostiene, está presente naturalmente en el suelo de la Amazonía, esto podría haberse dado desde la formación de la Cordillera de los Andes, podría haber llegado con las escorrentías naturales al momento de la formación de la Amazonía", podría ser también a través de fertilizantes o de la "proporción Cd: P_2O_5" (Sánchez 2016, p.14), y en la actualidad se conoce también que los suelos de la amazonia generalmente son ácidos debida a las constantes precipitaciones, esto favorece a que exista menos iones hidrógeno en la solución suelo; esto conlleva a que podría tener una relación con la absorción de cadmio por las plantas.

El cadmio es considerado uno de los más peligrosos para el medio ambiente y la salud, por ser teratogénico y con un potencial cancerígeno comprobado. Es un componente de la corteza terrestre que se encuentra en pequeñas cantidades asociado a minerales de zinc, cobre o plomo (IARC 2012).

El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales (Amores 2012).

El Cadmio (Cd2+) en solución es fácilmente absorbido del suelo por las raíces de las plantas y en 24 horas se logra el ingreso y movimiento gradual a través del sistema vascular de la planta. Este metal pesado (Cd2+) se distribuye en todas las partes de la planta, y no puede ser eliminado aún después del lavado o lixiviación o lavado del suelo (Yadav 2010).

2.2.1. El cadmio en el suelo.

El cadmio en solución es fácilmente absorbido del suelo por las raíces de las plantas y en 24 horas se logra el ingreso y movimiento gradual a través del sistema vascular de la planta. Este metal pesado se distribuye en todas las partes de la planta, y no puede ser eliminado aún después del lavado o lixiviación del suelo (Yadav 2010).

El nivel promedio de cadmio en suelos ha sido ubicado entre 0,07 y 1,1 mg.kg-1, con un nivel base natural que no excedería de 0,5 mg. Kg-1 (Kabata Pendías y Pendías 1984).

Algunos suelos pueden tener niveles de cadmio elevados porque las rocas de las que se formaron tenían el elemento en su composición. Una de las vías de incorporación del cadmio a los suelos agrícolas es la fertilización fosfática. Las rocas fosfóricas, que son la materia prima de todos los fertilizantes fosfáticos, contienen niveles de metales pesados que varían según su origen geográfico, pero que generalmente son superiores al promedio de la corteza terrestre. Los metales permanecen en una proporción importante en los fertilizantes industriales y posteriormente son aplicados al suelo junto con el fósforo.

La presencia de carbonatos también contribuye a la retención del cadmio en formas poco disponibles para las plantas (García et al., 2000).

La concentración de cadmio en el suelo depende de varios factores tales como el pH, el potencial redox y la cantidad de materia orgánica, los que varían según el ambiente local. Generalmente, el cadmio se une fuertemente a la materia orgánica en el suelo; en esta forma puede ser absorbido por las plantas e incorporarse entrando a las cadenas tróficas. De distintas investigaciones realizadas acerca de la movilidad del cadmio en este medio se puede concluir que, en todos los suelos la dinámica del Cd está fuertemente afectada por el pH; así en suelos ácidos, la materia orgánica y los sesquióxidos controlan la solubilidad del metal; En suelos alcalinos el cadmio no es móvil ya que precipita en forma de carbonatos y fosfatos insolubles. Se favorece también la formación de especies hidroximonovalentes como CdOH+, que no pueden ocupar fácilmente los sitios de unión en los complejos de intercambio catiónico.

La fijación de Cd es mayor en los suelos con contenidos más elevados de materia orgánica, textura más fina, mayor capacidad de intercambio catiónico y menor saturación de aluminio intercambiable. En los suelos ácidos, el cadmio se intercambia fácilmente, lo que lo hace disponible para las plantas. La naturaleza de las superficies de adsorción y de los ligandos orgánicos es también importante. Se ha observado que la energía de enlace es mayor en la unión del cadmio con materia orgánica que con arcillas. Cabe mencionar también la alta afinidad del cadmio por oxihidróxidos de hierro y silicatos de aluminio como alofana e imogolita. Teniendo esto en cuenta, se puede afirmar que en ambientes ácidos la solubilidad del cadmio está modulada por dichos compuestos y por la materia orgánica (Sánchez 2016).

2.2.2. El cadmio en las plantas.

La absorción de cadmio por las plantas puede ser facilitada por sustancias ácidas que se producen en la rizófora. Los exudados radiculares, especialmente los ácidos carboxílicos, incrementan la absorción de cadmio.

Las plantas de cacao que están expuestas a altos niveles de Cadmio entre otros signos y síntomas sufren generalmente en la reducción de la actividad fotosintética, reducción de la capacidad de absorción de agua y de la

absorción de nutrientes; en consecuencia, se observa: clorosis, inhibición del crecimiento, desecamiento de las puntas de las raíces y, finalmente, la muerte (Yadav 2010).

Entre los factores de la planta que pueden influir en la cantidad de cadmio absorbido se encuentran: la especie, la edad y el desarrollo radicular. La concentración de cadmio en los tejidos vegetales puede llegar a ser varias veces superior a la presente en el suelo. En plantas de lechuga (materia seca) se han determinado valores de concentración de hasta 16 veces la concentración en el suelo.

Es importante considerar que la planta de cacao no necesita cadmio para sus procesos y que los elementos que transportan Zinc también transportan cadmio; y cuando hay ausencia de zinc en el suelo, la planta tiende a absorber mayor cantidad de cadmio; que la solubilidad del cadmio es mayor a pH más bajos, por lo que se podría variar la disponibilidad de cadmio en suelos controlando el pH del suelo. Hay que resaltar que existen genotipos de cacao (variedades de especies) que presentan una mayor absorción de cadmio en la planta que otras; y que la distribución en una misma planta varía en raíz, tronco y semilla, de acuerdo a la variedad. Por lo tanto, un genotipo que transporta cadmio por raíz y tronco, es mejor que un genotipo que lo transporta a la semilla; ya que la semilla es la materia prima principal para los productos del cacao. En la misma consideración de las variedades, se debe tener en cuenta que existen variedades de cacao que asimilan menos cadmio del suelo, las cuales se deben estudiar, mejorar y propagar (Kadow 2015).

Nuestro país tiene una gran biodiversidad natural de cacao, lo que se podría utilizar como estrategia para la reproducción y desarrollo de estas especies resistentes. La gran variabilidad de especies (biodiversidad) de cacao de origen que posee Perú, puede ser el mayor potencial de estudio y producción, para lograr utilizar variedades que asimilen el cadmio en otros elementos que no sean el fruto y semillas (Kadow 2015).

Algo que es muy importante resaltar, dentro de las conclusiones que da la OMS sobre este metal pesado es que: conforme se van desarrollando más estudios sobre el potencial de contaminación y daño al ser humano expuesto a este nocivo elemento, se determina que los daños graves e irreversibles se producen a mucho menores concentraciones de cadmio en el organismo humano que los rangos determinados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Kadow 2015).

2.3. VÍAS DE CONTAMINACIÓN POR CADMIO (Cd).

Desde el año 2011 se estudiaba que una principal fuente de contaminación de cadmio son los fertilizantes provenientes de roca fosfórica. Por estas razones se hace necesario determinar cuál es la condición actual de los suelos y de algunos productos agrícolas que por su alto consumo podrían representar un peligro para la salud humana (Huamaní 2012).

Debemos considerar que otras fuentes de cadmio en el suelo son los plaguicidas, fertilizantes, vertido de residuos de la producción de cocaína, industria de galvanoplastía, fábricas de baterías, cemento, incendios forestales e industriales, estabilización de productos plásticos, actividades mineras, entre otros.

La relativamente alta volatilidad de los metales Cd, su gran radio iónico, y su especiación química en sistemas acuáticos hace Cd particularmente susceptibles a la movilización por procesos antropogénicos y naturales. Se observa el ciclo biogeoquímico del Cd que ser alterado de manera significativa por los aportes antropogénicos, especialmente desde el comienzo de la revolución industrial impulsó aumentos en la quema de combustibles fósiles y la extracción de metales no ferrosos. Las estimaciones del flujo de Cd a la atmósfera, se presentan su deposición y transformación en los suelos y sistemas de agua dulce (Cullen y Maldonado 2013).

Un informe de la United Nations Environment Programme (UNEP) del 2008, señalaba que en la mayoría de los países que poseen cultivos agrícolas representan la mayor parte de la ingesta de Cd. Es decir, la mayor parte de la exposición crónica Cd es un resultado directo de la ingesta de alimentos derivados de plantas (Clemens et al., 2013).

Ecuador ya viene elaborando Mapas de suelos con contenidos de cadmio, para organizar y ordenar su producción de cacao. También indicaron que con el uso de enmiendas orgánicas e inorgánicas tales como calcita, zeolita, torta de filtro de caña de azúcar, sulfato de calcio, dolomita y vinaza lograron disminuir el cadmio del suelo disponible para las plantas, así como su contenido en las almendras de cacao. La enmienda y la dosis con mejores resultados variaron entre los sitios, por lo que destaca la necesidad de investigar en cada zona cacaotera (INIAP 2016).

2.4. EL SILICIO.

El Silicio (SiO2) es un elemento, que a pesar de ser tan abundante en la corteza terrestre (28%), no se encuentra disponible para las plantas.

Para que las plantas lo puedan asimilar, tienen que partir de un sílice amorfo o Dióxido de Silicio (SiO2) el cual por la acción de los microorganismos, las enzimas que la misma planta produce, los ácidos orgánicos y demás procesos que se realizan en el suelo, se transforma en ácidos silícicos como Meta silícico (H3SiO3) u Orto silícico (H4SiO4), que son las formas como las plantas lo absorben y así es transportado por la savia hacia las partes más vulnerables de la planta, como son hojas y raíces, para mejorar sus defensas, fortaleciendo el espacio intercelular, así como las demás estructuras de la misma, frutos, flores, polen, entre otros (Quero 2018).

El silicio en la forma soluble, ácido orto silícico (H4SiO4), incrementa el potencial disolvente del agua, activando el intercambio y movilización de cationes. Estas formas solubles del silicio son asimiladas por las raíces, apoyando en estas el desarrollo de tejido de transporte de minerales, xilema, en

especial de traqueidas, así también induce el crecimiento de tejido para el almacenamiento de reservas (Quero 2018).

2.5. EL SILICIO EN LA SOLUCIÓN SUELO.

El ácido silícico (H4SiO4) es el principal grupo en forma hidratada y en concentraciones altas de este elemento en solución, el H4SiO4 polimeriza para formar precipitaciones de sílice amorfo SiO2. Se ha reportado niveles de 3 a 37 mg/l de Si en solución en un amplio rango de suelos normales (García 2010).

2.6. FORMA DE ACTUAR DEL SILICIO.

La planta absorbe el silicio y forma una capa de SiO2 entre la epidermis y la cutícula que desgasta las mandíbulas de gusanos.

De igual manera esta capa de SiO2 no permite la penetración de las esporas de hongos.

2.7. UN ELEMENTO ESENCIAL (EN EL EJERCICIO DEL CULTIVO).

El Silicio de los suelos aparece en la arena, minerales como silicatos, en otros compuestos o en el ácido silícico (H4SiO4) líquido. La única forma como los organismos vivos asimilan el Silicio es cuando está presente como ácido silícico (H4SiO4). El Si asimilable por las plantas se conoce como 'activo', 'bio-activo', 'reactivo', 'soluble', o 'líquido'. Es decir, nos referiremos al silicio asimilable como ácido silícico (H4SiO4). El ácido silícico (H4SiO4) está presente en forma natural en los niveles de aproximadamente 50-400 ppm. Pequeñas cantidades usualmente están presentes en el agua de superficie (estas son removidas al tratar y filtrar el agua) y en los desechos de plantas cuya descomposición se extiende en el suelo. La formación de Alumino-silicatos en particular (los principales componentes de la arcilla) mejora el agua, el aire, el intercambio de iones y la capacidad de amortiguamiento (función buffer) del suelo. En los suelos, el ácido silícico (H4SiO4) se libera lentamente en pequeñas cantidades a través de la acidificación de los Silicatos por medio del ácido carbónico producido por la respiración de los microorganismos del suelo y las

larvas, también se acidifican los silicatos con los ácidos orgánicos débiles y enzimas producidos por las raíces de las plantas y los microorganismos. El ácido silícico (H4SiO4) también lo requieren los microorganismos del suelo y representa una medida importante de la fertilidad del mismo. Sin embargo, la FAO calcula que aproximadamente 210-224 millones de toneladas de Si disponibles para las plantas se remueven del suelo cada año con la cosecha de los cultivos y/o sus sistemas de raíces. Esto tiene resultados extremadamente negativos por la fertilidad del suelo, la erosión y la nutrición (Bent 2016).

2.8. DISPONIBILIDAD DEL ÁCIDO SILÍCICO.

Cuando el ácido silícico (H4SiO4) se libera de los minerales, una parte es inmediatamente atrapada por otros elementos libres presentes en el sistema agua-suelo, en las partículas del suelo o en el campo periférico de las raíces de las plantas. El Aluminio y el ácido Fosfórico tienen particular afinidad con el ácido silícico (H4SiO4). También puede combinarse con compuestos orgánicos. Una parte se pierde por lixiviación. Además, solamente una pequeña parte del ácido silícico (H4SiO4) lo restante se queda disponible para la captación de las raíces de las plantas ya que al ser una molécula pequeña y sumamente inestable se polimeriza rápidamente formando una cadena larga de moléculas biológicamente inactiva (silicio coloidal y gel de silicio) (Bent 2016).

2.9. MODERACIÓN DE MINERALES.

El ácido silícico (H4SiO4) aumenta la absorción de Fósforo (P) en las partículas de aluminio-silicato de la arcilla del suelo. Esto reduce grandemente la lixiviación de P y K especialmente en los suelos más livianos. Sin embargo, el P absorbido en las partículas del suelo queda disponible para las plantas y se mejora la fertilidad del suelo. Los fertilizantes a base de Fosfato (P) en el suelo también pueden competir con el ácido silícico (H4SiO4) e inhibir su captación por las raíces de las plantas. Experimentos en algunas especies han determinado que, en una excesiva disponibilidad de fósforo para las plantas, su captación pasiva se reduce por la deposición de Si dentro y sobre las raíces. El transporte activo de P al sistema vascular de las raíces se reduce también. La deficiencia

de P dentro de la planta causa un aumento en la captación del ácido silícico (H4SiO4). Dentro de la planta, el ácido silícico (H4SiO4) mejora la utilización de P al reducir la captación de Manganeso (Mn) y en un menor grado, el Hierro (Fe) del suelo. Metales tales como Mn y Fe tienen una alta afinidad con el P. Una captación más baja Mn (y Fe) permite una concentración más alta de P dentro de la planta (aun con un nivel bajo de P disponible en el agua-suelo). El ácido silícico (H4SiO4) dentro de la planta también reduce los niveles internos de Mn y otros metales pesados a través de la precipitación de compuestos como Si-Mn. Esto mejora la tolerancia de las plantas (al reducir la toxicidad potencial) a los metales pesados al asegurar su dilución o una distribución más pareja. El ácido silícico (H4SiO4) en el suelo permite aumentar la captación de Potasio (K). La aplicación foliar del ácido silícico (H4SiO4) remplaza el tratamiento de las plantas con Potasio para endurecer las frutas y promover su maduración. El Si aumenta la tolerancia de la planta a los altos niveles de nitrógeno, esto es extremadamente importante al considerar el aumento de la productividad (Bent 2016).

2.10. DESINTOXICACIÓN DE METALES PESADOS.

La presencia de Aluminio (Al) disponible para las plantas es un factor que limita su crecimiento en suelos naturalmente ácidos. El Aluminio inhibe la captación de otros minerales y tiene un efecto negativo sobre las reacciones de las enzimas en las células. El efecto del Silicio sobre el aumento de la tolerancia de las plantas al Aluminio es similar a aquel descrito para Manganeso. El aluminio atrapado en los complejos Si-Al formados en el suelo, ya no está disponible para la captación. Dentro de la planta, se forman co-depósitos no tóxicos de Si-Al. Mecanismos similares proporcionan a las plantas mayor tolerancia a metales pesados tales como el Estaño (Sn), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) en suelos contaminados (Bent 2016).

2.11. SOCIEDAD CALCIO-SILICIO.

El ácido silícico (H4SiO4) desempeña un rol importante en la regulación de la captación y balance de minerales en las plantas. Ambos elementos parecen

inseparablemente presentes en el mantenimiento de la integridad y fortaleza de la pared celular y en varias funciones metabólicas involucradas en el crecimiento y desarrollo. Se necesita cierta concentración de ácido silícico (H4SiO4), en el agua-suelo para que el Ca presente que es más bien inmóvil, se torne disponible para ser captado por las plantas. El Silicio refuerza el sistema vascular.

2.12. CONTENIDO DE CADMIO EN EL CACAO: PREOCUPACIÓN MUNDIAL.

Existe una gran preocupación en toda la cadena de comercio del cacao a nivel mundial; productores, exportadores, importadores y consumidores; debido a la presencia de Cadmio en las semillas del cacao y en su trasmisión directa al chocolate de consumo humano; pues este metal pesado se acumula en el organismo y es responsable de enfermedades graves para el ser humano; ya que es tóxico, acumulativo en el organismo, de la alta permanencia y se moviliza a través de agua y aire.

También, por la gran importancia socio económica que representa, ya que Perú ocupa el segundo lugar en el mundo como exportador de cacao orgánico. El cacao es un cultivo que ha cobrado gran importancia económica en el Perú (234 millones de dólares en el 2014) y en el mundo (movimientos anuales en el mundo por más de 40 mil millones de dólares), y ya es reconocido como uno de nuestros productos bandera por la fina calidad de nuestro cacao de origen, que desarrolla en nuestras tierras altas de la Amazonía; en zonas de elevada pobreza y ausencia de los servicios del Estado; así como por el objetivo de desarrollo alternativo que viene cumpliendo, como una fórmula posible y rentable para el reemplazo de cultivos cocaleros destinados al narcotráfico. En la actualidad existen en el Perú más de 150 mil hectáreas cultivadas de cacao y hemos sobrepasado las 80 mil toneladas de producción anual (Agrodataperu 2013).

Por todo ello es muy importante considerar y estudiar la contaminación de cadmio del cacao debido a contenidos naturales de suelos, actividades industriales, actividades mineras, incendios forestales, quema de bosques,

deforestación, fertilizantes y herbicidas entre otros. Pues, cada vez son más países los que vienen poniendo restricciones y reglamentaciones al respecto, lo cual podría influir en un futuro cercano de la exportación de nuestro producto bandera.

Así mismo, el IICA alerta que la posibilidad de que existan elevados contenidos de cadmio en cacao en algunos países de América Latina y el Caribe (ALC) puede impedir que se aproveche el potencial de los cacaos finos de la región (IICA 2016).

2.13. CASCARILLA CARBONIZADA DE ARROZ.

Uno de los campos que tiene más utilización en los molinos arroceros es el aprovechamiento de la combustión de la cascarilla de arroz para el calentamiento del aire destinado al proceso de secamiento del mismo arroz. la ceniza proviene del quemado de la cascarilla, del silicio absorbido por la planta solo una parte queda en el grano y la gran mayoría forma la parte estructural de la cascarilla. La ceniza está compuesta principalmente por óxido de sílice (SiO_2) en un 94% y también contiene K_2O.

Según Ramírez (2000), la cascarilla de arroz en su forma carbonizada como sustrato, aporta principalmente fósforo y potasio, al mismo tiempo que ayuda a corregir la acidez de los suelos y es un material completamente esterilizado por haber sido sometido a altas temperaturas en el proceso de carbonizado.

2.14. pH DEL SUELO.

El término pH define la relativa condición básica o ácida de una substancia. La escala del pH cubre un rango de 0 a 14. Un valor de pH de 7.0 es neutro. Los valores por debajo de 7.0 son ácidos. Aquellos que están sobre 7.0 son básicos. La mayoría de los suelos productivos fluctúan entre un pH de 4.0 a 9.0. Un ácido es una substancia que libere iones hidrógeno (H+). Cuando un suelo se satura con H+ actúa como un ácido débil. Mientras mayor sea el H+ retenido por el

complejo de intercambio, mayor será la acidez del suelo. El aluminio (Al) también actúa como un agente acidificante y activa el H+.

2.15. FACTORES QUE AFECTAN EL pH.

En el pH del suelo tienen influencia varios factores:

2.15.1. Material de origen.

Los suelos que se desarrollaron de un material parental proveniente de rocas básicas generalmente tienen un pH más alto que aquellos formados de rocas ácidas (granito).

2.15.2. Profundidad del suelo.

Excepto en áreas de baja precipitación, la acidez generalmente aumenta con la profundidad. Por esta razón, la pérdida de la capa superior del suelo por erosión puede llevar a la superficie suelo de pH más ácido. Sin embargo, existen áreas donde el pH del subsuelo es más alto que el pH de la capa superior.

2.15.3. Precipitación.

A medida que el agua de las lluvias se percola en el suelo, se produce la salida (lixiviación) de nutrientes básicos como calcio (Ca) y magnesio (Mg). Estos son reemplazados por elementos ácidos como Al, H y manganeso (Mn). Por lo tanto, los suelos formados bajo condiciones de alta precipitación son más ácidos que aquellos formados bajo condiciones áridas.

2.15.4. Descomposición de materia orgánica.

Los materiales orgánicos del suelo son descompuestos continuamente por los microorganismos convirtiéndolos en ácidos orgánicos, dióxido de carbono (CO_2) y agua, formando finalmente ácido carbónico. El ácido

carbónico reacciona a su vez con los carbonatos Ca y Mg en el suelo para formar bicarbonatos solubles que se lixivian, haciendo el suelo más ácido.

2.15.5. Siembra de cultivos.

Los suelos a menudo se vuelven más ácidos con la cosecha de los cultivos debido a que éstos remueven bases. El tipo de cultivo determina las cantidades relativas removidas. Por ejemplo, las leguminosas generalmente contienen niveles más altos de bases que los pastos. Los contenidos de Ca y Mg también varían de acuerdo con la(s) parte(s) de la planta que es cosechada.

2.15.6. Fertilización nitrogenada.

El nitrógeno ya sea proveniente de los fertilizantes, materia orgánica, estiércol o fijación biológica de las leguminosas produce acidez. La fertilización con nitrógeno acelera el desarrollo de la acidez. A dosis bajas de nitrógeno, la acidificación es lenta, pero se acelera a medida que las dosis de nitrógeno se incrementan.

2.16. ACIDEZ DEL SUELO.

La acidez afecta de una forma muy particular y determinante algunas de las características químicas y biológicas del suelo, de modo que en general, reduce el crecimiento de las plantas, ocasiona la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como calcio, magnesio, potasio y fósforo; y favorece la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio y el manganeso.

2.17. CLASIFICACIÓN DE LA ACIDEZ DEL SUELO.

2.17.1. Acidez activa.

Hidrógeno (H+) disociado en la solución del suelo y proviene de diferentes fuentes.

2.17.2. Acidez intercambiable.

Hidrógeno y Aluminio intercambiable (H+ y Al3+), retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas.

2.17.3. Acidez no intercambiable.

Hidrógeno en enlace covalente en la superficie de las arcillas de carga variable.

2.17.4. Acidez potencial.

Acidez intercambiable + acidez no intercambiable.

2.18. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Correa (2018), en una investigación sobre el efecto de enmiendas cálcicas (Dolomita e Hidróxido de Calcio) y enmiendas orgánicas (Guano de Isla, Gallinaza y Compost) en la absorción de cadmio en plantones de cacao en la región San Martín, determinó que los mejores resultados en parámetros biométricos se obtuvieron con el tratamiento guano de isla. Todas las enmiendas orgánicas redujeron el contenido de cadmio, en tallos, hojas y raíces; siendo el tratamiento gallinaza quien mostró diferencias significativas, respecto al testigo, reduciendo el contenido de cadmio en un 81.48%. La acumulación de cadmio fue mayor en las raíces que en la parte aérea.

Llacta (2016), en una investigación para determinar la influencia de dosis de aplicación de dolomita en la concentración de cadmio en las almendras de cacao en parcelas de la Cooperativa Naranjillo en Tingo María, se aplicaron tratamientos a base a las dosis de dolomita (g/planta) en el suelo de la parcela de cacao T0 (0 g), T1 (500 g), T2 (1000 g), T3 (1500 g) y T4 (2000 g). Los resultados indicaron que existe una influencia significativa de las cuatro dosis de dolomita en la reducción de niveles de cadmio (ppm) presentes en las

almendras de cacao, el nivel de cadmio ya que, las almendras de cacao en un suelo sin dolomita registraron 0.980 ppm y con la aplicación de dolomita se redujo hasta 0.487 ppm; las mejores dosis de dolomita con mayor reducción de cadmio en la almendra fueron 2000 g (T4) y 1000 g (T2); también la aplicación de dolomita en la parcela de cacao redujo el nivel de cadmio (0.497 ppm) por efecto de la dosis de dolomita de 500 g (T1), las mejores dosis de dolomita en la reducción de cadmio en el suelo fueron 2000 g (T4) y 500 g (T1); además, se encontró correlación negativa significativa entre las dosis de cadmio y el contenido de este metal pesado en las almendras de cacao.

Espinoza et al., (2019), al evaluar en la zona de Tingo María, el efecto de diferentes dosis de dolomita, compost y magnocal en la disminución de cadmio en granos de cacao, concluye que no hubo efecto en la disminución del cadmio total de los granos de cacao, y al contrario hubo un incremento respecto al testigo T0 de 1.48 ppm a 2.18 ppm en el tratamiento T4 a base de 30 t ha^{-1} de dolomita, 3 t ha^{-1} de compost y 2 t ha^{-1} de magnocal.

Arévalo (2014), en una investigación efectuada para evaluar el contenido de cadmio en el suelo en varios departamentos cacaoteros, establece que, los mayores valores de Cd fueron en Tumbes y Piura, seguido de Amazonas y Junín, así como los valores Cd y Pb encontrados estuvieron por debajo de los límites considerados como Fito tóxicos y solo encontró diferencias significativas del contenido de cadmio por profundidad de muestreo.

Huamaní (2012), evaluó los contenidos de cadmio y plomo en suelos y hojas del cacao en las regiones Huánuco y Ucayali. Para el efecto se recolectaron y analizaron en laboratorio muestras tomadas en 22 parcelas con cultivos orgánicos de esta especie, 17 en la región Huánuco y cinco en la región Ucayali. Se realizaron análisis de correlación de Pearson entre los contenidos de plomo y cadmio disponibles en el suelo con variables foliares (P, Mg, Ca, Zn, Cd, Pb) y del suelo (arena, arcilla y K). En los suelos, sólo en el caso de potasio se presentan deficiencias; mientras que en el tejido foliar se presentaron deficiencias de N, P, K, Mg y Zn. Los valores promedio de cadmio y plomo

disponible en los suelos fueron 0,53 y 3,02 ppm y en las hojas de cacao de 0,21 y 0,58 ppm respectivamente.

Respecto al silicio, Lora y Bonilla (2010), sostienen que, entre algunas estrategias empleadas en la disminución de metales pesados tóxicos, como cadmio y cromo, en suelos agrícolas, se considera la incorporación de materia orgánica, por su capacidad para formar quelatos estables, el incremento de pH, mediante cales, óxidos e hidróxido de calcio, hasta pH de 6 a 7, con lo cual, los metales pesados pierden la capacidad de ser absorbidos por las plantas, por estar insolubles a pH superior a 6, así como el aporte de fosfatos, debido a la formación de sales insolubles con los metales pesados y el aporte de materiales silicatados, tanto por la formación de complejos como por el efecto indirecto sobre el pH.

Zubillaga (2012), en su tesis doctoral Remediación de suelos forrajeros contaminados con metales pesados, cuyo objetivo fue determinar si la aplicación de compost de diferente calidad solo o en conjunto con enmienda inorgánica, afecta la capacidad de remediación de suelos contaminados con Zn y Cd concluye que, la incorporación de Ca, ya sea en tratamientos con o sin incorporación de compost, disminuyó de forma estadísticamente significativa, ($p<0,05$) la biodisponibilidad de Zn y Cd respecto de los otros tratamientos, para los distintos momentos de incubación. Esto puede indicarnos que el pH fue el determinante de los resultados observados debido a que la incubación del suelo con $CaCO3$ produjo aumento del pH de la muestra logrando la disminución de la fracción biodisponible de Cd y Zn.

Por otro lado, Fernández (2016), indica que el contenido de cadmio en el suelo oscila entre 0,89 y 0,86 ppm respectivamente y son considerados como excesivos a los reportados por Huamaní en Tingo María, quien aduce que un suelo donde se cultiva cacao, los rangos de cadmio normal están entre 0,10 a 0,30 ppm.

Ramírez (2016), encontró valores de cadmio en las hojas de cacao que oscilan entre 0.39 y 2,90 ppm de cadmio, los cuales son considerados relativamente altos a lo reportado por Huamaní en la zona de Tingo María.

Hoyos (2016), registró contenidos de cadmio entre 0.71 y 0.75 ppm, en las almendras de cacao los cuales están por encima de los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) el cual es de 0.50 ppm en almendras de cacao.

Cárdenas (2012), por su parte, al evaluar la presencia de cadmio en localidades de la provincia de Leoncio Prado, Huánuco, determinó un contenido medio de 0.66 ppm y 1.55 ppm de cadmio en suelos y almendras de cacao orgánico respectivamente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el año 2017 en la finca “Vista Alegre”, kilómetro 86, distrito de Alexander Von Humboldt, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali. El distrito de Alexander Von Humboldt tiene una extensión de 220,52 Km² está ubicada en la selva oriental y al Noroeste de la Región Ucayali. Sus coordenadas geográficas se sitúan entre 08º39´45” latitud Sur y 75º03´08” de longitud Oeste en el meridiano de Greenwich, a una altitud de 250 msnm.

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.

Por su ubicación geográfica el distrito tiene las siguientes características:

- Temperatura media anual: 26 ºC.
- Humedad media anual: 89%.
- Precipitación media anual: 2.250 ml.



Figura 1. Mapa de ubicación del ensayo.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.

3.3.1. Material genético.

Se utilizaron plantas injertadas de cacao clon CCN 51 de cinco años de edad.

3.3.2. Material en estudio.

Para la extracción de muestras de suelo, se utilizó un tubo muestreador de metal para todos los tratamientos a 0.20 cm de profundidad.

Las muestras de suelos por tratamiento recolectadas, fueron secadas, tamizadas, pesadas y posteriormente se colocó 500 g de suelo por muestra en bolsas ziploc de doble cierre de medidas 16 x 5 cm para luego ser identificadas y enviadas a la Universidad Nacional Agraria la Molina para su respectivo análisis de cadmio.

De igual forma, se colectaron mazorcas en estado óptimo de madurez para la cosecha, se tomó 03 mazorcas por unidad experimental del proyecto de investigación, obteniendo un total de 12 mazorcas por repetición de las cuales se obtuvieron las almendras frescas. Las mazorcas fueron extraídas aleatoriamente de manera que la muestra global fue de 1 kg.

Por otro lado, se colectaron las muestras foliares, para ello se tomó 12 hojas por unidad experimental, haciendo un total de 48 hojas por cada tratamiento.

Una vez obtenidas estas muestras fueron secadas, molidas e identificadas en el Laboratorio de suelos de la UNU para su posterior remisión al Laboratorio de Suelos de la Universidad Agraria La Molina.

3.3.3. Materiales de campo.

Los materiales de campo que se utilizaron fueron: Tijeras podadoras

(de dos manos y telescópicas), bolsas plásticas (Ziploc), rafia, wincha de 5 m, bolsas herméticas, balanza digital, letrero de identificación.

3.3.4. Materiales de escritorio.

Se emplearon: Laptop, memoria USB, lapiceros, papel bond, libreta de campo, lápices y regla.

3.3.5. Equipos.

Se utilizaron:Cámara digital, balanza, motocicleta y moto taxi.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.

La población estuvo conformada por 144 plantas de cacao del clon CCN 51 sembrado a una distancia de 3 x 2,5 m, de 5 años de edad y que se encuentran en producción a la fecha.

La muestra estuvo compuesta de 3 plantas por unidad experimental y 12 plantas por cada tratamiento con 4 repeticiones, lo cual implica un total de 48 plantas de cacao de 5 años de edad y que están en producción a la fecha.

3.5. DIMENSIÓN DEL ÁREA TOTAL.

3.5.1. Del campo experimental.

- Largo: 24 m.
- Ancho: 20 m.
- Área total: 480 m^2.
- Unidades experimentales: 16.

3.5.2. De la unidad experimental.

Cada unidad experimental contó con:

- Largo: 6m.
- Ancho: 5m.

- Área total: 30 m^2.
- Número de plantas por unidad experimental: 9 plantas.

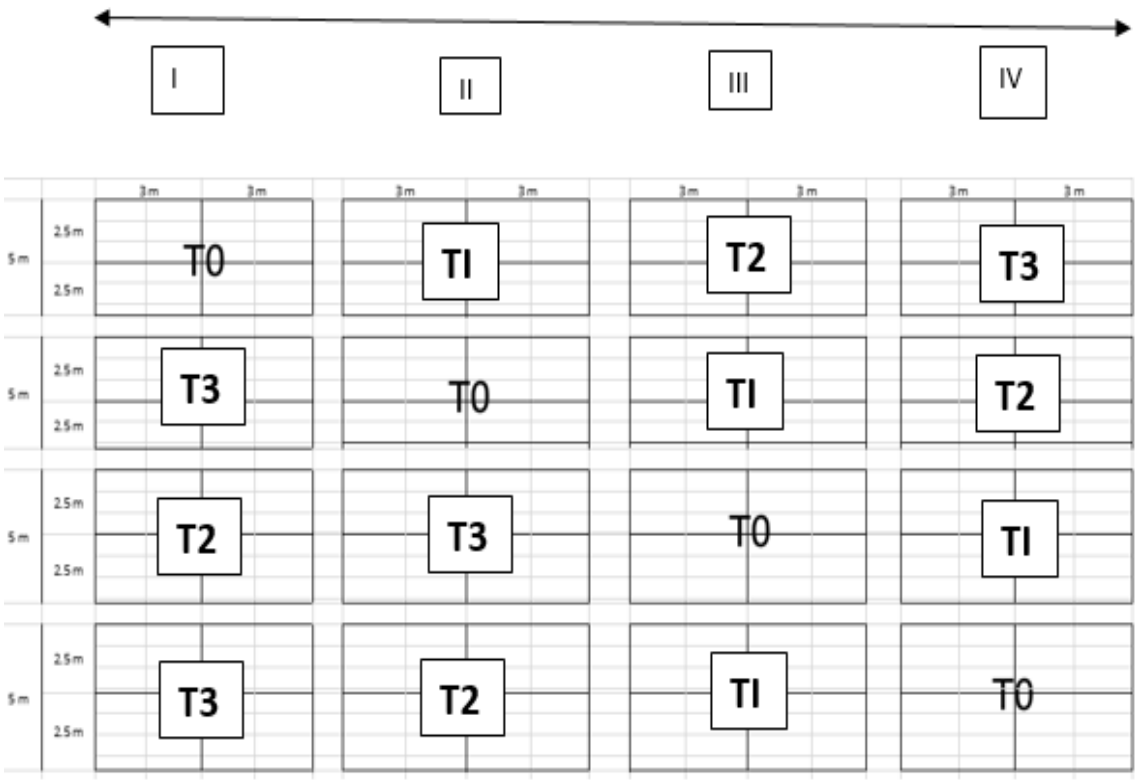


Figura 2. Croquis de ubicación de campo.

3.6. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.

- T1: 0 t/ha de cascarilla carbonizada de arroz.
- T2: 1 t/ha de cascarilla carbonizada de arroz.
- T3: 1.5 t/ha de cascarilla carbonizada de arroz.
- T4: 2 t/ha de cascarilla carbonizada de arroz.

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se utilizó el diseño de Bloques completos al azar BCA con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Para la comparación de medias entre tratamientos (Dosis de cascarilla carbonizada de arroz) se usó la prueba de Tukey al 0.05 nivel de significación.

3.7.1. Modelo matemático.

El modelo matemático para cada sistema se describe de la siguiente forma:

$$Y_{ijk}=\mu+Bk+Tj+E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk}: Observación del i-ésimo bloque, en el j-ésimo tratamiento.
μ: media general.
Bi: Efecto del i-ésimo bloque.
T_i: Efecto del j-ésimo tratamiento en estudio.
E_{ijk}: Error experimental.

3.8. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).

Cuadro 5. **Esquema del análisis de varianza (ANOVA).**

Fuente de variabilidad	Grados de libertad
Tratamientos	3
Bloques	3
Error experimental	9
Total	15

3.9. EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO.

3.9.1. Determinación del contenido de cadmio en el suelo.

Para determinar la concentración de cadmio en el suelo, se colectó aproximadamente 500 g de suelo a 20 cm de profundidad, alrededor de la planta seleccionada al inicio y al final del ensayo.

Las muestras de suelos por cada tratamiento, fueron debidamente identificadas y luego remitidas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Agraria la Molina para su respectivo análisis de contenido de cadmio por espectrofotometría de absorción atómica.

3.9.2. Determinación del contenido de cadmio en hojas y almendras de cacao.

Para determinar el contenido de cadmio en las hojas del cacao, se colectaron muestras por cada tratamiento, estas actividades se realizaron al inicio y al final del ensayo. Para el caso, se colectaron muestras de 50 g de hojas por tratamiento, de acuerdo a los protocolos de muestreo foliar establecido por el (MINAGRI, 2018), para que posteriormente sean secados, molidas y llevadas al laboratorio para su respectivo análisis de espectrofotometría atómica.

Para determinar el contenido de cadmio en las almendras de cacao se colectaron muestras por cada tratamiento, se colectaron 500 gramos de muestra por cada tratamiento de acuerdo a los protocolos de muestreo para granos de cacao establecidos por el ministerio de agricultura y riego.

Las muestras de las hojas y los granos de cacao por cada tratamiento fueron debidamente identificados y luego remitidos al Laboratorio de Suelos de la Universidad Agraria La Molina para su respectivo análisis foliar por espectrofotometría de absorción atómica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CONTENIDO DE CADMIO EN EL SUELO.

Conforme se aprecia en el cuadro 6, los niveles de cadmio intercambiable al inicio y final del ensayo muestran diferencias significativas entre tratamientos, con valores que oscilan entre 1.06 y 1.26 mg kg^{-1} al inicio para los tratamientos testigo y 1 t/ha y entre 1.06 y 1.18 mg kg^{-1} para los tratamientos testigo y 2 t/ha, respectivamente.

Estos valores son menores a 1.4 mg kg^{-1} que es el nivel mínimo de cadmio que reporta el MINAGRI (2018) para muestras de suelo cultivado con cacao, sin embargo, a la vez resultan superiores a los que encontraron Fernández (2017), Hoyos (2017) y Tuesta (2018) en ensayos realizados en la zona de San Alejandro, para determinar el contenido de este metal pesado bajo tres sistemas de cultivo químico, orgánico y tradicional, con valores medios de 0.48, 0.85 y 0.90 mg kg^{-1} de cadmio, respectivamente.

De igual forma, resultan superiores a los encontrados en varios sectores cacaoteros de la región Huánuco por Huamaní (2012) y Cárdenas (2012) quienes reportan en promedio 0.53 y 0.66 mg kg^{-1} de cadmio en el suelo, respectivamente y, además, mencionan que los rangos de cadmio normal en los suelos cacaoteros deben estar entre 0.10 a 0.30 mg kg^{-1} y exceso 0.60 mg kg^{-1} a más.

Finalmente, Arévalo (2014), en una investigación efectuada para evaluar el contenido de cadmio en el suelo en varios departamentos cacaoteros, establece que, los mayores valores de Cd fueron en Tumbes y Piura, seguido de Amazonas y Junín, así como los valores Cd y Pb encontrados estuvieron por debajo de los límites considerados como fito-tóxicos y solo encontró diferencias significativas del contenido de cadmio por profundidad de muestreo.

Sin embargo, cabe destacar que, al analizar la disminución del contenido del metal pesado en el suelo entre el inicio y final del ensayo, se demuestra una

superioridad significativa para el tratamiento a base de 1 t ha^{-1} de cascarilla de arroz, con 0.14 mg kg^{-1} sobre los demás tratamientos (Cuadro 6 y Figura 3), en los cuales el testigo mantuvo su nivel inicial de cadmio. Esta disminución podría atribuirse a la formación de complejos insolubles como silicatos de cadmio que precipitan y dejan ser absorbidos por la planta, como lo sostiene Exley y Birchall (1992) (citado por Arévalo 2014).

Cuadro 6. Resultados del contenido de Cd (mg kg^{-1}) en el suelo.

Tratamiento	Inicio	Final	Disminución Por sílice
0 t/ha	1.06 a	1.06 c	0.00 c
1 t/ha	1.26 a	1.12 a	0.14 a
1.5 t/ha	1.25 a	1.18 b	0.07 b
2 t/ha	1.25 a	1.18 b	0.07 b

El cuadro 6, nos muestra el efecto del óxido de silicio al inicio y a un año después de su aplicación. Se demuestra que la mayor disminución del metal pesado, se da con la aplicación de 1 t/ha de cascarilla carbonizada de arroz con 0.14 mg ka^{-1} de Cd, ratificando lo encontrado por Correa (2016) quien afirma en su trabajo que, todas las enmiendas orgánicas redujeron el contenido de cadmio, en tallos, hojas y raíces; siendo el tratamiento gallinaza quien mostró diferencias significativas, respecto al testigo.

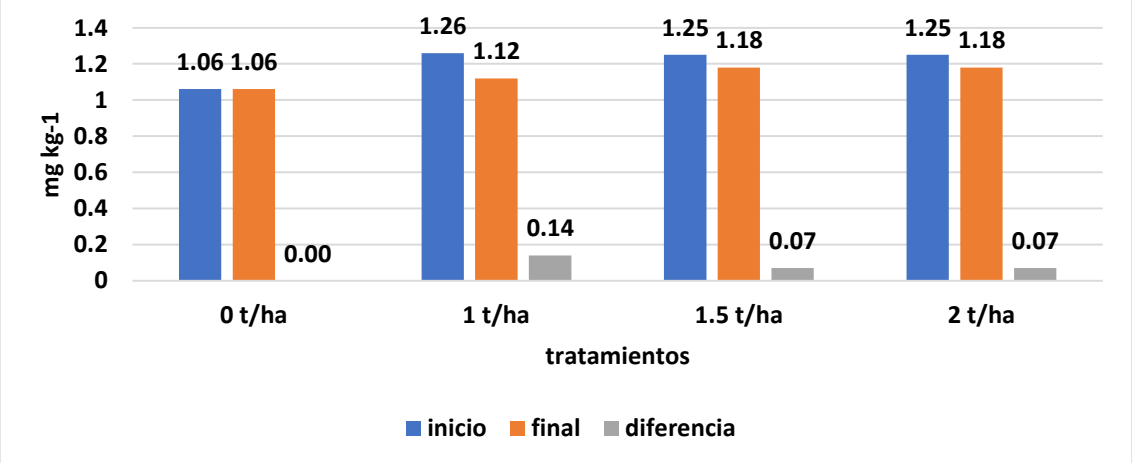


Figura 3. Cadmio en el suelo.

De igual forma se corrobora con lo afirmado por Quero (2008), quien sostiene, que los fertilizantes minerales y las fuentes orgánicas ricas en silicio pueden neutralizar el efecto tóxico de metales pesados como el cadmio, restaurando a la vez, la fertilidad del suelo.

4.2. CONTENIDO DE CADMIO EN HOJAS DE CACAO.

Los resultados encontrados para el contenido de cadmio en hoja nos muestran diferencias significativas entre los tratamientos aplicados al inicio y al término del ensayo, con valores que oscilan entre 3.46 y 3.00 mg kg^{-1} de cadmio para los tratamientos 1 t/ha y el testigo absoluto al inicio y entre 2.74 y 3.13 mg kg^{-1} de cadmio para los tratamientos testigo y 1.5 t/ ha^{-1}, sucesivamente (Cuadro 7 y Figura 4).

Cuadro 7. Resultados del contenido de Cd (mg kg^{-1}) en hoja.

Tratamientos	Inicio	Final	Disminución por sílice
0 t/ha	3.00 a	2.74 b	0.26 b
1 t/ha	3.46 a	2.86 b	0.60 a
1.5 t/ha	3.44 a	3.13 a	0.31 b
2 t/ha	3.00 a	2.90 b	0.10 c

De igual forma, si analizamos la disminución del contenido del metal pesado en la hoja de la planta entre el inicio y final del ensayo, se demuestra una superioridad significativa para el tratamiento a base de 1 t ha^{-1} de cascarilla de arroz, con 0.60 mg kg^{-1} sobre los demás tratamientos, en los cuales el nivel más alto de silicio obtuvo la menor disminución con 0.10 mg kg^{-1} (Cuadro 7 y Figura 4).

En todos los tratamientos hubo disminución del contenido del metal pesado, si comparamos el inicio y final del ensayo, incluyendo el tratamiento testigo que no se aplicó la enmienda pero disminuyó 0.26 mg kg^{-1} de cadmio, esto se podría explicar a que en los suelos el ácido silícico (H4SO4), se libera lentamente en

pequeñas cantidades a través de la acidificación de los silicatos por medio de los ácidos carbónicos, producido por la respiración de los microorganismos del suelo y las larvas, también se acidifican los silicatos con los ácidos orgánicos débiles y enzimas producidos por las raíces de las plantas y los microorganismos (Bent 2016).

Si comparamos estos valores a los que reporta Ramírez (2018) cuyo promedio está en 1.26 mg kg^{-1} de Cd foliar, en ambos casos (al inicio y final) son relativamente muy altos.

Así mismo, resultan similares con los valores de este metal encontrados por Tuesta (2018) en hojarasca de cacao bajo tres sistemas de manejo: químico, orgánico y tradicional, ya que reportan promedios de 3.00, 2.29 y 2.34 mg kg^{-1} de cadmio, respectivamente.

De igual forma, se asume un comportamiento similar al que reporta Cárdenas (2012) cuyos resultados indican un promedio de 2.84 mg kg^{-1} de cadmio foliar en zonas cacaoteras de la zona de Tingo María.

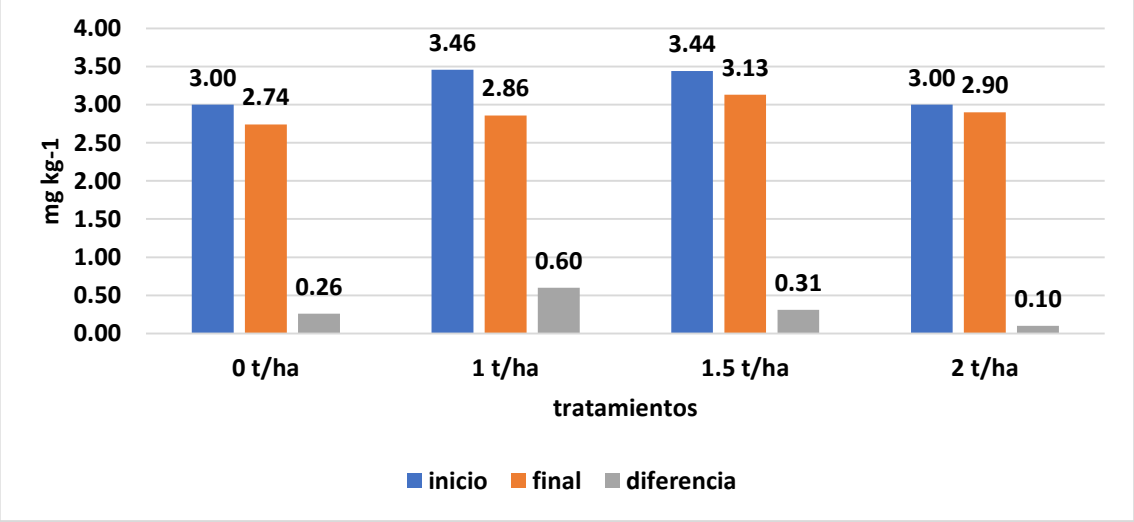


Figura 4. Cadmio en hojas.

4.3. CONTENIDO DE CADMIO EN GRANO.

Conforme se observa en el cuadro 8, los niveles de cadmio en el grano al inicio y final del ensayo muestran diferencias significativas entre tratamientos con

valores que oscilan entre 0.58 y 0.63 mg kg^{-1} al inicio para los tratamientos testigo y 2 t/ha y entre 0.46 y 0.56 mg kg^{-1} al final para los tratamientos testigo y 2 t/ha respectivamente.

Cuadro 8. **Resultados del contenido de Cd (mg kg^{-1}) en grano.**

Tratamientos	Inicio	Final	Disminución por sílice
0 t/ha	0.58 a	0.55 a	0.03 d
1 t/ha	0.61 a	0.46 a	0.15 a
1.5 t/ha	0.61 a	0.51 a	0.10 b
2 t/ha	0.63 a	0.56 a	0.07 c

Pero, al comparar los resultados al inicio y final del ensayo, podemos establecer una superioridad estadística del tratamiento a base de 1 t ha^{-1} en la reducción del metal pesado con 0.15 mg kg^{-1}, respecto a los demás tratamientos, donde el tratamiento testigo solo obtuvo una reducción de 0.03 mg kg^{-1} de cadmio (Cuadro 8 y Figura 5).

Estos valores demuestran efectivamente el efecto de la aplicación del silicio a base de cascarilla carbonizada de arroz, ya que, al inicio del ensayo todos los tratamientos presentaron valores mayores a 0.5 mg kg^{-1} y al final del ensayo el tratamiento T1 registró un valor de 0.46 mg kg^{-1} de cadmio en grano, que es menor al nivel máximo que reporta la Unión Europea (2012) para muestras de almendras de cacao, en cambio, los demás tratamientos registraron valores superiores a 0.5 mg kg^{-1} de cadmio en almendras de cacao.

Así mismo, resultan inferiores a los encontrados por Hoyos (2017) en un ensayo realizado en la zona de San Alejandro para determinar el contenido de este metal pesado bajo tres sistemas de cultivo: químico, orgánico y tradicional con valores medios de 0.71, 0.75, 0.54 respectivamente. De igual forma, resulta inferior a lo encontrado por Cárdenas (2012) quién reporta en promedio 1.55 ppm de Cd en almendras de cacao.

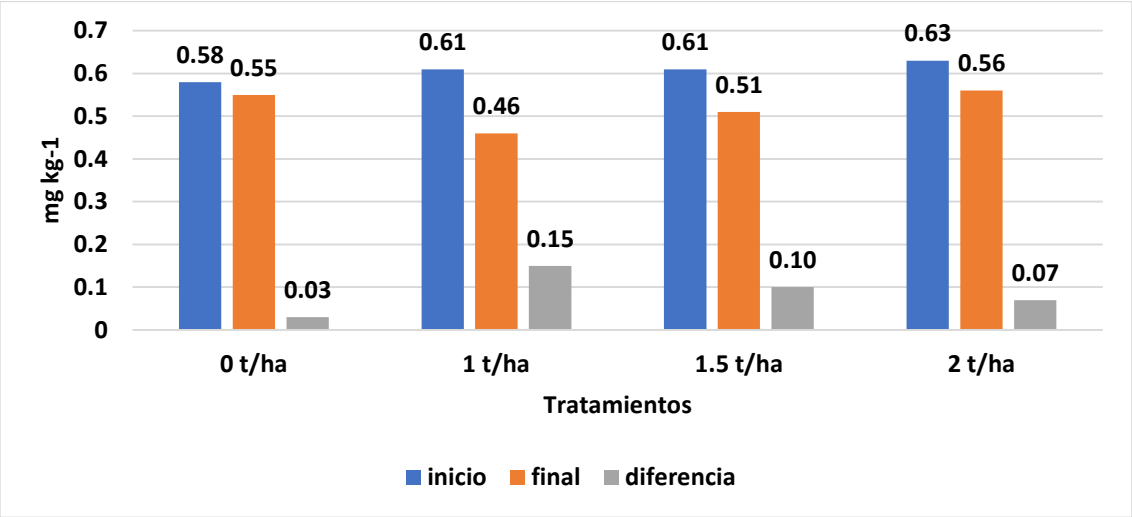


Figura 5. Cadmio en grano de cacao.

Por otro lado, en la Figura 3 se demuestra que la mayor disminución del metal pesado se da en los tratamientos con la aplicación de 1 y 1.5 t/ha de cascarilla carbonizada de arroz quienes registran 0.15 y 0.10 mg kg^{-1} de cadmio, respectivamente.

V. CONCLUSIONES.

En base a los objetivos propuestos, se concluye que:

1. La mayor disminución de cadmio en el suelo, en hojas y granos de cacao al finalizar el ensayo fue registrada por la aplicación del tratamiento a base de 1 t ha^{-1} de cascarilla carbonizada de arroz con 0.14 mg kg^{-1}.

VI. RECOMENDACIONES.

De acuerdo a la conclusión obtenida, podemos recomendar lo siguiente:

1. Aplicar una tonelada de cascarilla carbonizada de arroz por presentar mayor efectividad en cuanto a la disminución de cadmio en el suelo, hojas y en las almendras de cacao. En suelos francos con valores de pH que oscilan entre 5.10 a 5.14.

2. Realizar un estudio de zonificación de análisis de cadmio y elaborar mapas de suelos con contenidos altos de cadmio, para organizar y ordenar la producción del cultivo de cacao.

3. Continuar evaluando el efecto residual de sílice en el suelo y en las almendras de cacao.

VII. LITERATURA CITADA.

AESAN, 2018. Agencia española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Cadmio. Consultado 05 nov. 2018 (en línea). Disponible en: http://www.aesan.msc.es/AESAN/web/cadena_alimentaria/suddetalle/aqui_metalespesados.shtml.

Agrodataperu, 2013. Exportaciones de cacao en granos de cacao 2012. Consultado 05 nov. 2018 (en línea). Disponible en Página Web: http://www.agrodataperu.com/category/cacao-grano-exportacion.

Amores, F. 2012. Cadmio en suelos, almendras de chocolates: Implicaciones para exportación de cacao.

Alloway, B. 2013, Concentraciones máximas aceptables de algunos metales pesados en suelos agrícolas.

Arévalo et al., 2016. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. (en línea). Ecología Aplicada 15(2):81-89. Consultado 01 julio 2019. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v15n2/a03v15n2.pdf.

Bent, E. 2016. El silicio en la agricultura, Italia. En línea disponible en: https://hortcom.files.wordpress.com/2016/03/silicio_agricultura_es.pdf.

Bonilla et al., 2002. Presencia de cadmio en fertilizantes fosforados de diferente procedencia comercializados en Chile. Revista SIMIENTE de la Sociedad Agronómica de Chile. Vol. 72 (1-2) enero-junio 2002. Pp.9-16.

Belmonte, S.; Romero, D.; Alonso, S.; Moreno, B.; Rojo, L. 2010. Presencia de Metales pesados en suelos. México.

Camilo, 2019. Presencia de metales pesados en el suelo.

Canessa, C. 2014. Futuros de cacao. Técnicas de trading.

Cárdenas, A. 2012. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la Cooperativa Agraria industrial Naranjillo, Tingo María, Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco. Perú. 96p.

Correa, V. 2018. Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de cadmio en plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región San Martín. Tesis parta optar el título de Ingeniero Agrónomo. San Martin, Perú, UNSM. 83p.

Comisión Europea, 2013. Reglamento de modificación (EC) N° 1881/2006 en lo que respecta a los límites máximos de cadmio en los productos alimenticios.

Clemens et al., 2013. Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. Trends Plant Sci, 18(2), 93-99. doi:10.1016/j. tplants.2012.08.003.

Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo (COOPAIN) Área de producción. Contenido de cadmio (Cd) suelos cacaoteros Naranjillo - Huánuco 2013-2014, análisis agronómico. Compilado de Huamaní, H. et al., 2012. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, Tingo María, Perú. Acta agronómica. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco. Perú.

Cullen, M.; Maldonado, M. 2013. Biogeochemistry of cadmium and its release to the environment.

Dirección Regional Sectorial Agraria Ucayali (DRSAU). 2018. Cadena productiva del cacao.

Espinoza et al., 2019. Efecto de diferentes dosis de dolomita, compost y magnocal en la disminución de cadmio en granos de cacao. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.

Fernández, 2016. Contenido de cadmio (cd) en suelos cacaoteros bajo 3 niveles de manejo del cultivo en San Alejandro distrito de Irazola – provincia de Padre Abad – Departamento de Ucayali. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. Perú.

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 2011. Cacao y Agroforestería Informe técnico 2011. Honduras.

García y Azcona, 2012. “Los efectos del cadmio en la salud”. Espa. Méd Quir 17: 199-205.

García, C. 2010. Cultivares de cacao del Perú. Lima, Perú. MINAGRI, DEVIDA (2014) Segunda Reimpresión, junio 2014. 108 p.

Huamani-Yupanqui, H.; Huauya-Rojas, M.; Mansilla-Minaya, L.; Florida-Rofner, N.; Neira-Trujillo, G. 2012. Presencia de Metales pesados en cacao orgánico (*Theobroma cacao* L.) Crop. ACTA AGRONÓMICA. 62 (4): 309-314.

IARC. 2012. A Review of Human Carcinogens: Arsenic, Metals, Fibers, and Dusts. Cadmium and Cadmium compounds. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum., 100C: 121-145.

ICCO. 2014. (Organización Internacional del cacao). Informe Anual 2007/08-2012/13. ICCO 2014. Londres, Reino Unido.

IICA. 2016. El cadmio en cacao: importancia, experiencias y soluciones. Foro técnico. San José Costa Rica. Disponible http://www.iica.int/es/eventos/el-cadmio-en-cacao-%E2%80%93-importancia-experiencias-y-soluciones.

INIAP. 2012. Programa Nacional del Cacao “Rehabilitación de cacaotales tradicionales”. Boletín técnico No. 150. Pp. 2-15.

INIAP. 2016. Anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao. Quito Ecuador.

Jaramillo, R. 2017. Manejo agronómico con énfasis en la nutrición de cultivos en el manejo de metales pesados en sistemas agrícolas. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas IPNI. XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la Ciencia del Suelo. Ayacucho, Perú.

Jiménez, C. 2015. Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad.

Kadow, D. 2015. Memoria de reunión: “PRESENCIA DE CADMIO EN CACAO, Investiga e Innova Cacao Chocolate, APPCACAO. Lima. Perú https://redcacaoychocolateperu.blogspot.com/2015/11/memoria-de-reunion-daniel-kadow-sobre.html.

Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. 2000. Trace elements in soils and plants. Florida, Estados Unidos. 403p.

LMC International. 2012. Cocoa Sustainability. Oxford: LMC International.

López, A.; Hoyos, J. 2016. Determinación del contenido de cadmio (Cd) en almendras de cacao (*Theobroma cacao L.)* cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro, región Ucayali. Artículo científico. Revista Universitaria. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. Perú. 12 p.

Lora, R.; Bonilla, H. 2010. Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo. *rev.udcaactual.divulg.cient.* [online]. 2010, vol.13, n.2, pp.61-70. ISSN 01234226.http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012342262010000200008&script=sci_abstract&tlng=es.

Llacta, F. 2016. Influencia de la dosis de aplicación de dolomita en la Concentración de cadmio en las almendras de cacao en Parcelas de la COOPAIN. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Tingo María, Perú, UNAS. 97p.

Marcano, T (2000). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. Disponible (http://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACI%C3%93NCONCADMIOENSUELOSAGR%C3%8DCOLASCadmiuncontaminatioinagriculturasoils.

Martínez, G. 2010. Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

MINAGRI. (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). 2018. Protocolos para el muestreo de suelos, hojas y granos para determinar la concentración de cadmio en el cultivo de cacao. Lima, Perú.

Ministerio de Agricultura de Chile, 2012. Análisis de antecedentes técnicos y regulaciones internacionales relativas a criterios de protección de calidad del suelo.

Morales, O. 2015. La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma. Lima, Perú. Universidad ESAN, 2015. (Serie Gerencia para el Desarrollo; 49). 182 p.

Mostajo, G. 2017. Ministerio de agricultura y riego (MINAGRI). Cacao exportaciones.

Ortega, J. 2001. El silicio, un nutrimento con fortalezas para la eficiente productividad de diversos cultivos, especialmente para el arroz (Mejisufatos S.A, Colombia).

OMS/FAO. 1993. Límites máximos permisibles de algunos metales pesados. Disponible en (http:www.itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/385/TESIS Metales Pesados).

Panduro, K. 2011. Caracterización de la Calidad de Granos de Cacao de los diferentes clones del Semillero Interclonal. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo Universidad Nacional de Ucayali.

Quero, E. 2008. Silicio en la producción de Chile. La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal (en línea). Consultado 29 septiembre de 2019. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S165913212013000200013&script=sci_arttext.

Ramírez. 2018. Determinación del contenido de cadmio (Cd) en hojas de cacao (*Theobroma cacao L.)* cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro, región Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. Perú.

Romero, A. 2017. Estudio de cacao en el Perú y en el mundo, En línea. Disponible en: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/videoconferencias/2017/estudio_cacao_para_iica.pdf

Sánchez, E. 2018. Taller: Nutrición Integral y Poda Oportuna (capacitación), Aguaytía, Perú. ACP.

Sánchez, B. 2016. Ecotoxicología del cadmio: Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio. Trabajo de Fin de Grado. Madrid, España, Universidad Complutense. 23p.

Sabino, C, 2019. Remediación de suelos contaminados con cadmio (Cd), mediante enmiendas orgánicas en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.)*, distrito de Irazola, tesis de maestría, Universidad Nacional de Ucayali.

SUNAT- Estadísticas de comercio exterior, 2000-2015.

Tuesta. 2018. Determinación del contenido de cadmio (Cd) en hojarasca de cacao (*Theobroma cacao L.)* cultivado bajo tres sistemas de manejo en San Alejandro, región Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. Perú.

Transmar Group, 2014. Situación y Perspectivas del Mercado Mundial de cacao – Enfoque Américas. Marzo 2014.

UMA. Servicio de Espectrometría Atómica, 2013. Espectrometría de Absorción Atómica.

Universal Taxonomic Services, 2010. Taxon: *Theobroma cacao* Linnaeus-cocoa.

Yadav, 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany, 76(2), 167-179.

Zubillaga, M. 2012. Remediación de Suelos Forrajeros Contaminados con Metales Pesados. Impacto de la Aplicación de Residuos Sólidos y Fito Extracción. Tesis para optar el grado de Ph.D. La Coruña, España, UDC. 176p.

VIII. ANEXO.

Cuadro 9A. ANOVA Cadmio en suelo al inicio del ensayo.

Variables	Grados libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.01	0.003	0.30	0.07
Tratamientos	3	0.09	0.03	3.00	<0.001
Error	9	0.05	0.01		
Total	15	8.67			
CV = 10.00 %			R^2 = 0.97		

Cuadro 10A. ANOVA Cadmio en suelo al final del ensayo.

Variables	Grados libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.01	0.003	0.30	0.07
Tratamientos	3	0.09	0.03	3.00	<0.001
Error	9	0.05	0.01		
Total	15	8.67			
CV = 8.00 %			R^2 = 0.99		

Cuadro 11A. ANOVA Cadmio en hoja al inicio del ensayo.

Variables	Grados libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.01	0.005	0.50	0.07
Tratamientos	3	1.23	0.41	41.0	<0.001
Error	9	0.05	0.01		
Total	15	8.67			
CV = 5.76 %			R^2 = 0.91		

Cuadro 12A. ANOVA Cadmio en hoja al final del ensayo.

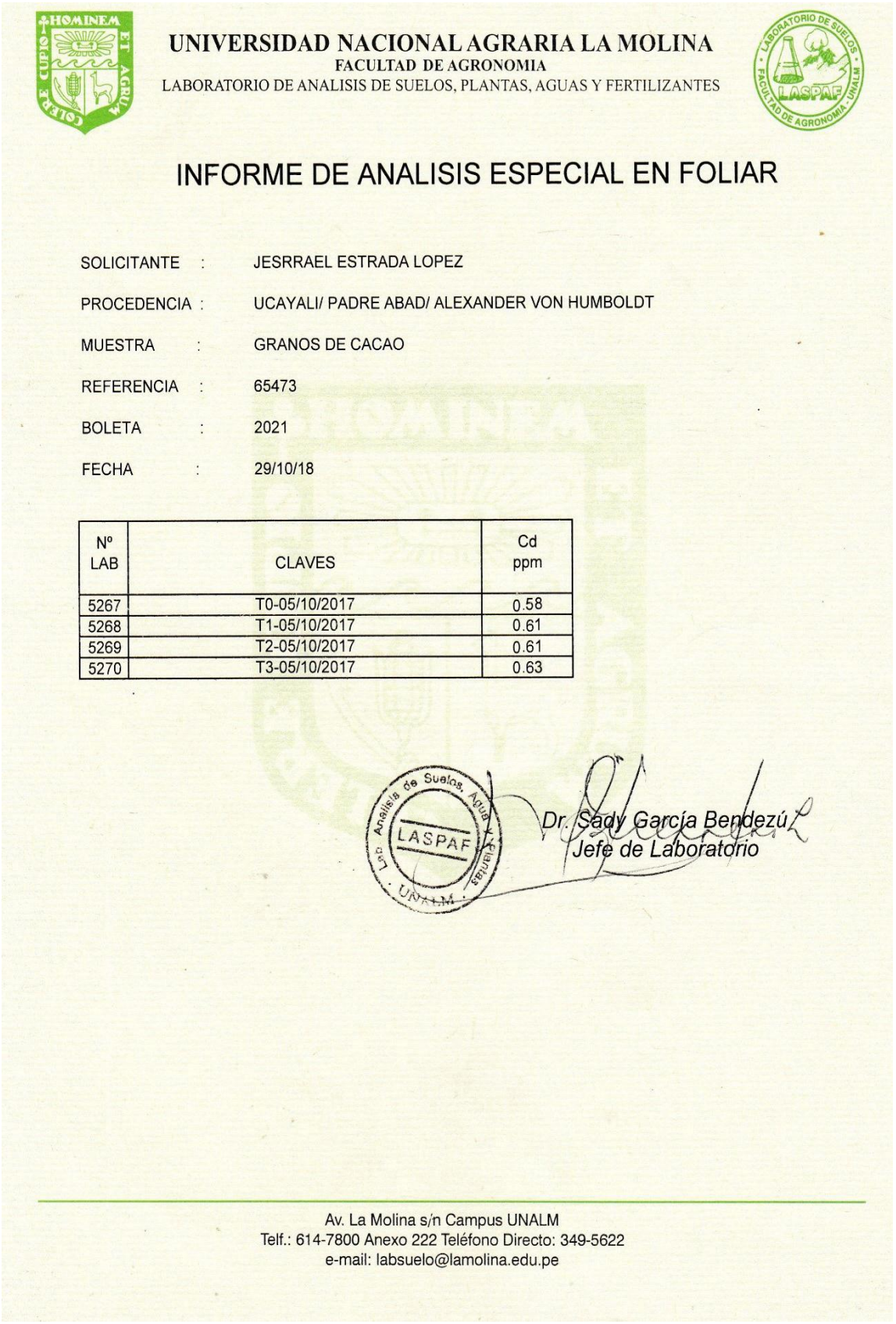
Variables	Grados libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.01	0.003	0.30	0.07
Tratamientos	3	0.31	0.10	10.3	<0.001
Error	9	0.05	0.01		
Total	15	8.67			
CV = 12.20 %			R^2 = 0.96		

Cuadro 13A. ANOVA Cadmio en grano al inicio del ensayo.

Variables	Grados libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.01	0.005	0.50	0.07
Tratamientos	3	0.05	1.00	100	<0.001
Error	9	0.05	0.01		
Total	15	8.67			
CV = 8.76 %			R^2 = 0.92		

Cuadro 14A. ANOVA Cadmio en grano al final del ensayo.

Variables	Grados libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.01	0.005	0.50	0.07
Tratamientos	3	0.12	0.004	0.40	0.12
Error	9	0.05	0.01		
Total	15	8.67			
CV = 6.76%			R^2 = 0.94		



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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JESRRAEL ESTRADA LOPEZ

PROCEDENCIA : UCAYALI/ PADRE ABAD/ ALEXANDER VON HUMBOLDT

MUESTRA : GRANOS DE CACAO

REFERENCIA : 65473

BOLETA : 2021

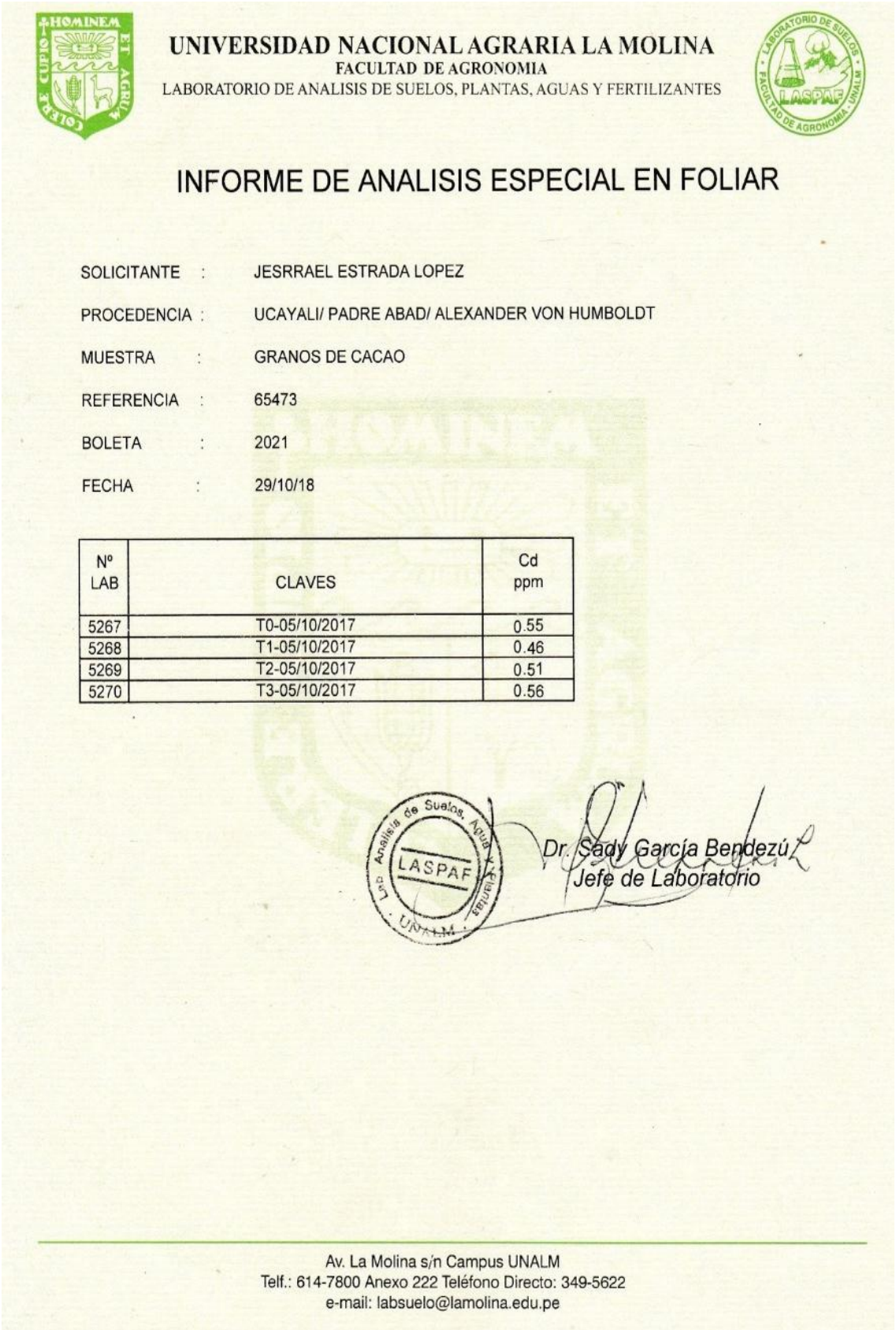
FECHA : 29/10/18

Nº LAB	CLAVES	Cd ppm
5267	T0-05/10/2017	0.58
5268	T1-05/10/2017	0.61
5269	T2-05/10/2017	0.61
5270	T3-05/10/2017	0.63

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

Figura 6A. Resultados de análisis de granos de cacao para determinar el contenido de cadmio al inicio del ensayo.



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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JESRRAEL ESTRADA LOPEZ

PROCEDENCIA : UCAYALI/ PADRE ABAD/ ALEXANDER VON HUMBOLDT

MUESTRA : GRANOS DE CACAO

REFERENCIA : 65473

BOLETA : 2021

FECHA : 29/10/18

Nº LAB	CLAVES	Cd ppm
5267	T0-05/10/2017	0.55
5268	T1-05/10/2017	0.46
5269	T2-05/10/2017	0.51
5270	T3-05/10/2017	0.56

Lab. Análisis de Suelos, Agua y Plantas
LASPAF
UNALM

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

Figura 7A. Resultados de análisis de granos de cacao para determinar el contenido de cadmio al final del ensayo.

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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JESRRAEL NEYSON ESTRADA LOPEZ

PROCEDENCIA : UCAYALI/ PADRE ABAD/ ALEXANDER VON HUMBOLDT

REFERENCIA : H.R. 65035

BOLETA : 1925

FECHA : 25/09/2018

Número Muestra		Cd
Lab	Claves	ppm
5328	Tratamiento T0, Prof. 0-20 cm.	1.06
5329	Tratamiento T1, Prof. 0-20 cm.	1.26
5330	Tratamiento T2, Prof. 0-20 cm.	1.25
5331	Tratamiento T3, Prof. 0-20 cm.	1.25

Lab Análisis de Suelos, Agua y Plantas LASPAF UNALM

Dr. Sady García 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

Figura 8A. Resultados de análisis de cadmio en el suelo al inicio del ensayo.

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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JESRRAEL ESTRADA LOPEZ

PROCEDENCIA : UCAYALI/ PADRE ABAD/ ALEXANDER VON HUMBOLDT

REFERENCIA : H.R. 65470

BOLETA : 2021

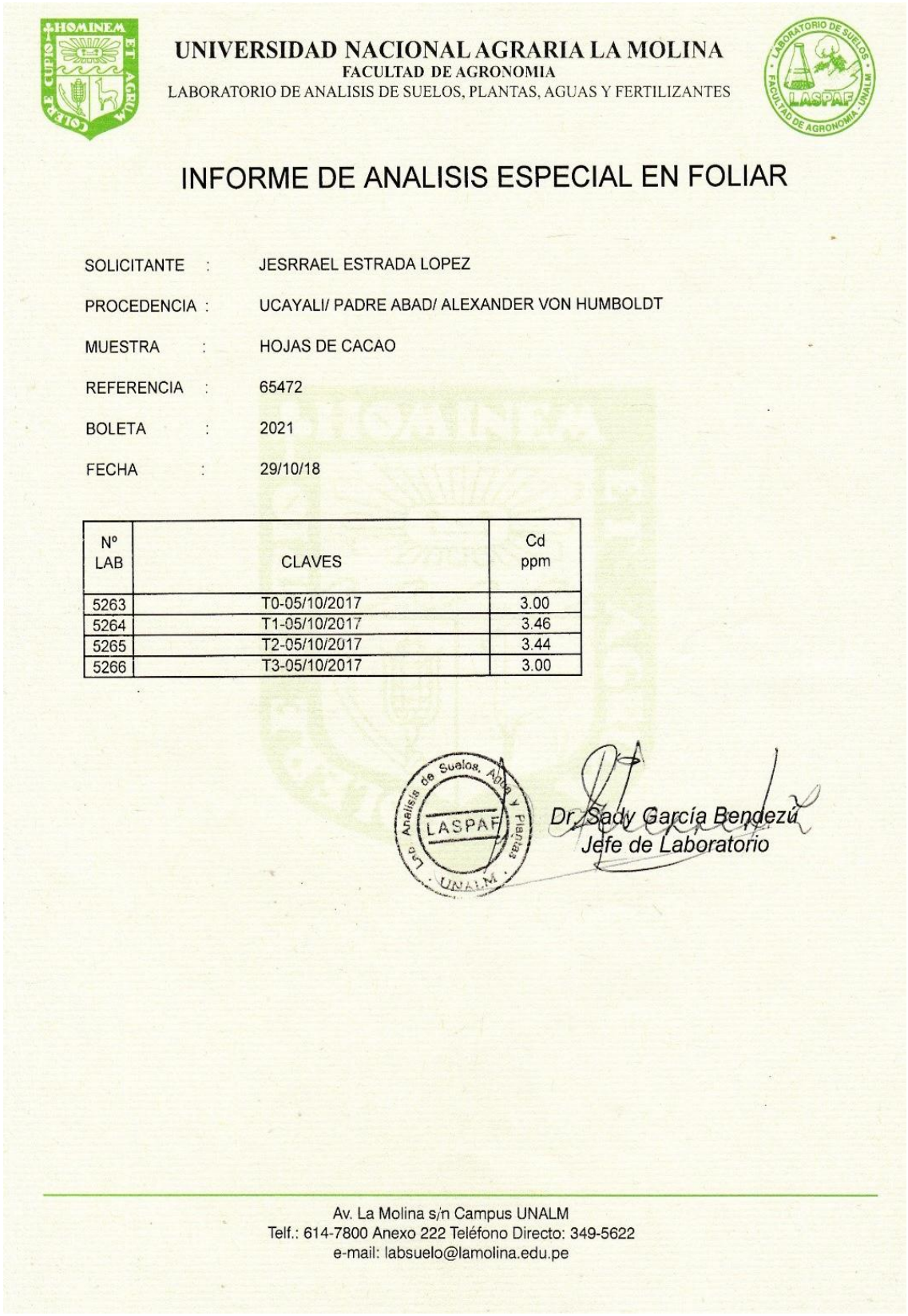
FECHA : 26/10/2018

Número Muestra		Cd
Lab	Claves	ppm
6022	Tratamiento T0, Prof. 0-20 cm.	1.06
6023	Tratamiento T1, Prof. 0-20 cm.	1.12
6024	Tratamiento T2, Prof. 0-20 cm.	1.18
6025	Tratamiento T3, Prof. 0-20 cm.	1.18

Dr. Sady García 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

Figura 9A. Resultados de análisis de cadmio en el suelo al final del ensayo.



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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JESRRAEL ESTRADA LOPEZ

PROCEDENCIA : UCAYALI/ PADRE ABAD/ ALEXANDER VON HUMBOLDT

MUESTRA : HOJAS DE CACAO

REFERENCIA : 65472

BOLETA : 2021

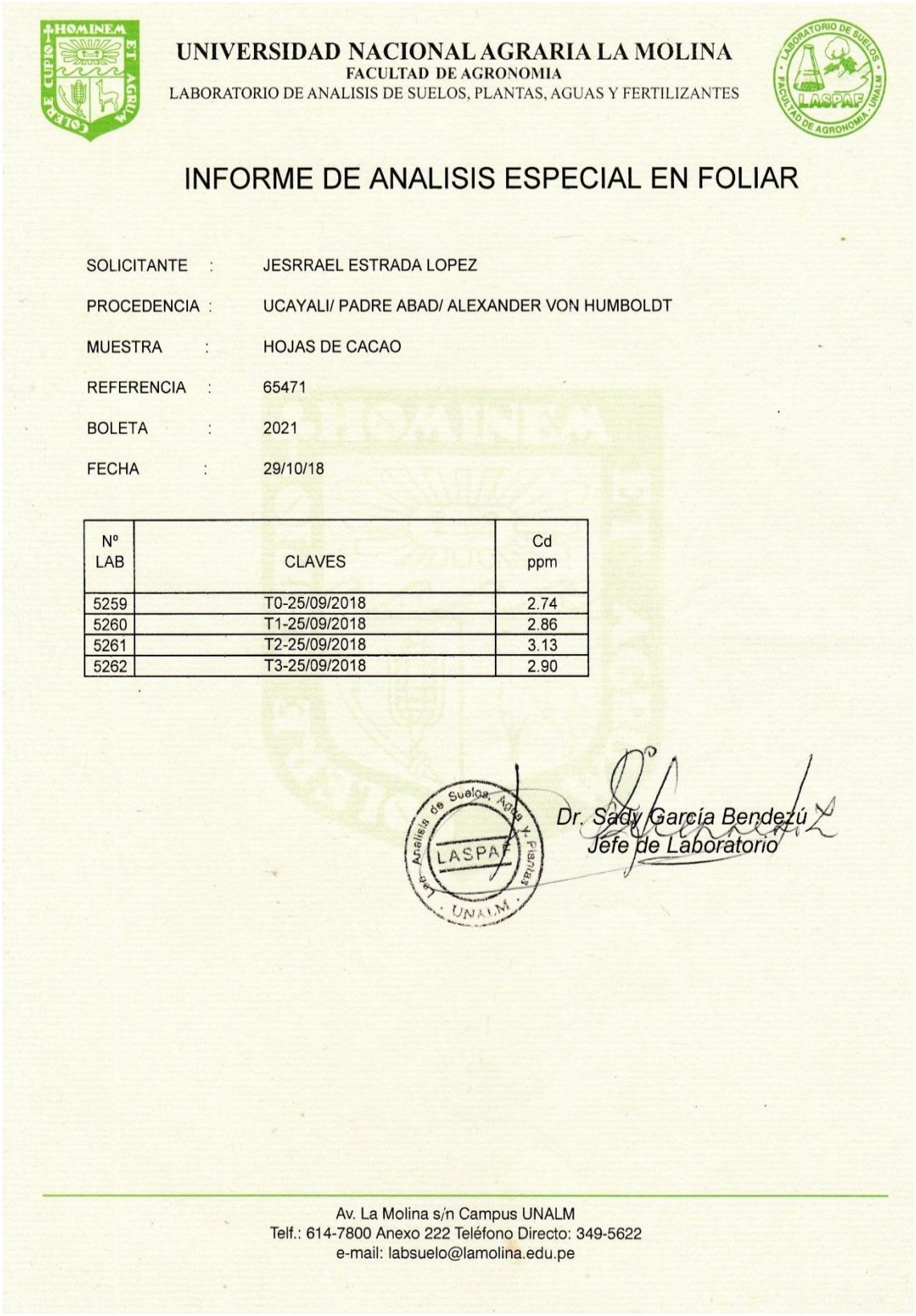
FECHA : 29/10/18

Nº LAB	CLAVES	Cd ppm
5263	T0-05/10/2017	3.00
5264	T1-05/10/2017	3.46
5265	T2-05/10/2017	3.44
5266	T3-05/10/2017	3.00

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

Figura 10A. Resultados del análisis de muestras de hojas de cacao para determinar el contenido de cadmio (Cd) al inicio del ensayo.



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

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JESRRAEL ESTRADA LOPEZ
PROCEDENCIA : UCAYALI/ PADRE ABAD/ ALEXANDER VON HUMBOLDT
MUESTRA : HOJAS DE CACAO
REFERENCIA : 65471
BOLETA : 2021
FECHA : 29/10/18

Nº LAB	CLAVES	Cd ppm
5259	T0-25/09/2018	2.74
5260	T1-25/09/2018	2.86
5261	T2-25/09/2018	3.13
5262	T3-25/09/2018	2.90

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

Figura 11A. **Resultados del análisis de muestras de hojas de cacao para determinar el contenido de cadmio (Cd) al final del ensayo.**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JESRAEL ESTRADA LOPEZ

Departamento : UCAYALI
Distrito : ALEXANDER VON HUMBOLDT
Referencia : H.R. 63853-077C-18

Bolt.: 1611

Provincia : CORONEL PORTILLO
Predio :
Fecha : 15/06/18

Número de Muestra								Análisis Mecánico			Clase		Cationes Cambiables					Suma	Suma	%
Lab	Claves	pH	C.E.	$CaCO_3$	M.O.	P	K	Arena	Limo	Arcilla	Textural	CIC	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{+3} + H^{+}$	de	de	Sat. De
		(1:1)	(1:1) dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%		meq/100g						Cationes	Bases	Bases
7858	T0-20 cm	6.52	0.27	0.00	2.87	6.5	76	41	32	27	Fr.Ar.	13.92	11.30	1.63	0.15	0.22	0.00	13.30	13.30	96
7859	T1-20 cm	5.52	0.11	0.00	1.88	31.4	64	43	32	25	Fr.	11.20	6.98	1.47	0.16	0.23	0.10	8.95	8.85	79
7860	T2-20 cm	5.40	0.14	0.00	1.84	25.4	52	39	34	27	Fr.Ar.	11.20	6.07	1.13	0.13	0.24	0.15	7.73	7.58	68
7861	T3-20 cm	5.66	0.09	0.00	1.98	4.2	52	41	34	25	Fr.	11.68	6.60	1.30	0.14	0.21	0.15	8.40	8.25	71

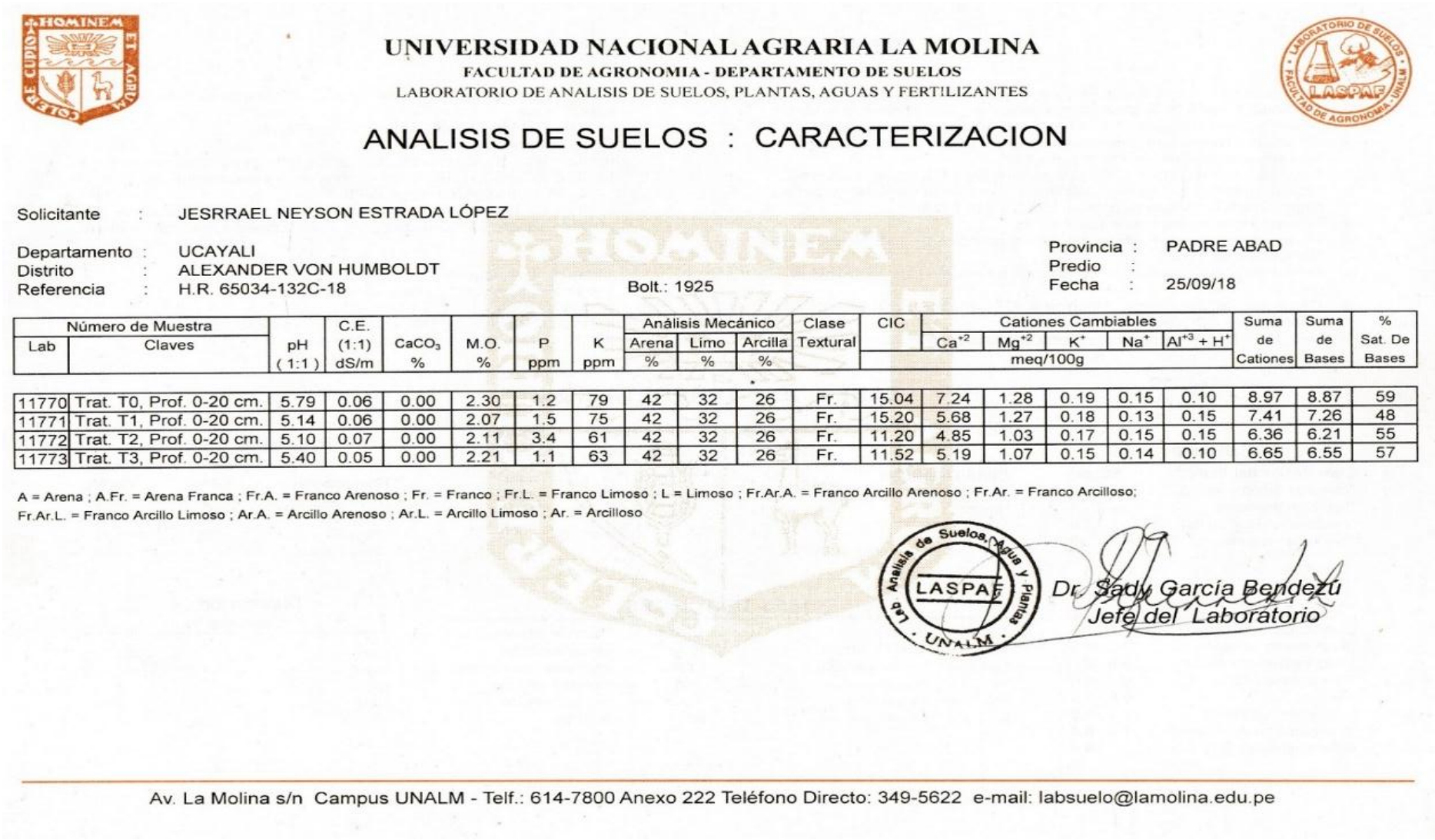
A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Lab. Análisis de Suelos, Agua y Plantas LASPAF UNALM

Dr. Sady García 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

Figura 12A. Resultados del análisis de suelos: caracterización para determinar el pH al inicio del ensayo.



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

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : JESRRAEL NEYSON ESTRADA LÓPEZ

Departamento : UCAYALI
Distrito : ALEXANDER VON HUMBOLDT
Referencia : H.R. 65034-132C-18

Bolt.: 1925

Provincia : PADRE ABAD
Predio :
Fecha : 25/09/18

Número de Muestra		pH	C.E.	$CaCO_3$	M.O.	P	K	Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma de	Suma de	% Sat. De
Lab	Claves	(1:1)	(1:1) dS/m	%	%	ppm	ppm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textural		Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{+3} + H^{+}$	Cationes	Bases	Bases
													meq/100g							
11770	Trat. T0, Prof. 0-20 cm.	5.79	0.06	0.00	2.30	1.2	79	42	32	26	Fr.	15.04	7.24	1.28	0.19	0.15	0.10	8.97	8.87	59
11771	Trat. T1, Prof. 0-20 cm.	5.14	0.06	0.00	2.07	1.5	75	42	32	26	Fr.	15.20	5.68	1.27	0.18	0.13	0.15	7.41	7.26	48
11772	Trat. T2, Prof. 0-20 cm.	5.10	0.07	0.00	2.11	3.4	61	42	32	26	Fr.	11.20	4.85	1.03	0.17	0.15	0.15	6.36	6.21	55
11773	Trat. T3, Prof. 0-20 cm.	5.40	0.05	0.00	2.21	1.1	63	42	32	26	Fr.	11.52	5.19	1.07	0.15	0.14	0.10	6.65	6.55	57

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Lab Análisis de Suelos, Aguas y Plantas · LASPAF · UNALM ·

Dr. Sady García 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

Figura 13A. Resultado del análisis de suelos: caracterización para determinar el pH al final del ensayo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

ANALISIS DE CENIZA CARBONIZADA DE CASCARILLA DE ARROZ

SOLICITADO POR : **JESRRAEL ESTRADA LOPEZ**

Procedencia de muestra : Ucayali

Recepción de muestra : Lima, 13 de Junio del 2018

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE MUESTRA

Muestra	**%SiO_2**
Ceniza carbonizada de cascarilla de arroz	81 %

Lima, 12 de Julio del 2018

MSc. Atilio Mendoza A.
Jefe Lab. Espectrometría

.v. Túpac Amarú N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
eléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
-mail: labespectro@uni.edu.pe

Figura 14A. Resultados de análisis de la cascarilla carbonizada de arroz.



Figura 15A. **Aplicación de cascarilla carbonizada de arroz al suelo.**



Figura 16A. Muestreo de suelos para análisis de cadmio y caracterización.



Figura 17A. Muestreo foliar para la determinación del contenido de cadmio en hojas de cacao.

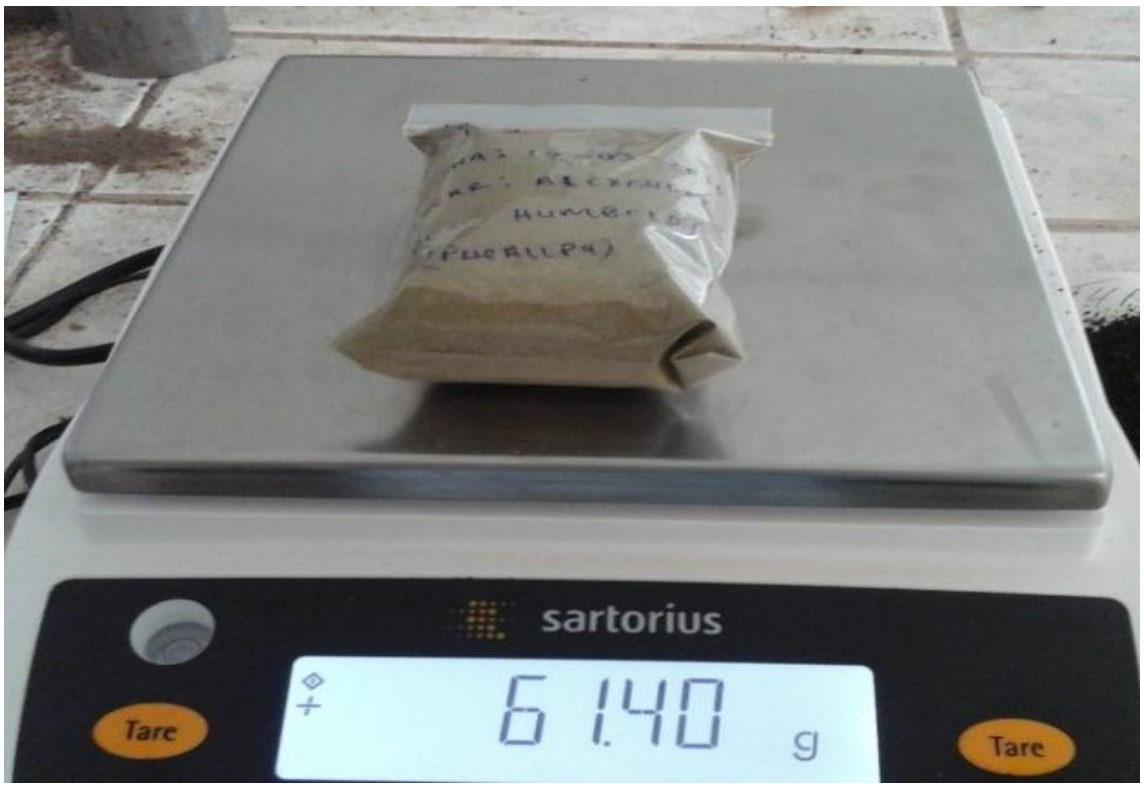


Figura 18A. Preparación de las muestras de suelos y de hojas de cacao.