

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Estudio de la concentración de Plomo (Pb), Cadmio (Cd) en los suelos, cultivos alimenticios, pasturas y valores de los parámetros edáficos, de los terrenos ubicados en los márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada**

Para optar el Título Profesional

**INGENIERO AMBIENTAL**

Presentado por la bachiller:

**GLADIS HORNA VÁSQUEZ**

Asesor:

**ING. M. CS. JOSÉ RAMIRO DÍAZ CUMPÉN**

CAJAMARCA – PERÚ

2024

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- Investigador:  
GLADIS HORNA VÁSQUEZ.  
DNI: 45811489  
  
Escuela Profesional/Unidad UNC:  
De Ingeniería Ambiental
- Asesor:  
Ing. M. Cs. JOSÉ RAMIRO DÍAZ CUMPÉN  
Facultad/Unidad UNC:  
Ciencias Agrarias
- Grado académico o título profesional  
 Bachiller  Título profesional  Segunda especialidad  
 Maestro  Doctor
- Tipo de Investigación:  
 Tesis  Trabajo de investigación  Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:  
  
Estudio de la concentración de Plomo (Pb), Cadmio (Cd) en los suelos, cultivos alimenticios, pasturas y valores de los parámetros edáficos, de los terrenos ubicados en los márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada
- Fecha de evaluación: 27/02/2024
- Software antiplagio:  TURNITIN  URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: 15%
- Código Documento: 0000-0001-9076-4458
- Resultado de la Evaluación de Similitud: 15%  
 APROBADO  PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 21/11/2024

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 _____ Ing. M. Cs. JOSÉ RAMIRO DÍAZ CUMPÉN DNI: 26702670

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"  
*Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962*  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
Secretaría Académica



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

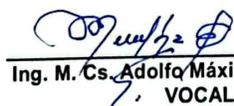
En la ciudad de Celendín, a los veinticuatro días del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el Aula 101 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según Resolución de Consejo de Facultad N° 289-2024-FCA-UNC, de fecha 17 de julio del 2024, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO (Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LOS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA - LA ENCAÑADA", realizada por la Bachiller GLADIS HORNA VÁSQUEZ para optar el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

A las quince horas y cero minutos, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de quince (15); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

A las diecisiete horas y diez minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

  
Ph. D. Manuel Roberto Roncal Rabanal  
PRESIDENTE

  
Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna  
SECRETARIO

  
Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas  
VOCAL

  
Ing. M. Cs. José Ramiro Díaz Cumpén  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

*A Dios porque sin Él este largo camino fuera imposible superar y recorrer, por haberme dado las fuerzas necesarias para poder cumplir esta meta. Esta tesis va dedicado a mi familia, a mi esposo Willam Acosta Reátegui a mis hijos William Daniel Acosta Horna, Alessia Belén Acosta Horna y Mariana Lucia Acosta Horna, quienes han sido mi fortaleza para realizar este trabajo, a mi hermano Julio Horna Dávila quien en vida fue un excelente hermano y padre a la vez, siempre estarás en mi corazón.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por darme la vida, salud y todo lo que tengo se lo debo a Él. Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todos ellos que siempre me apoyaron amigos y familiares para ser mejor cada día más. Al Ing. José Ramiro Díaz Cumpén M. Sc. asesor de tesis con su experiencia profesional y su apoyo incondicional en todo momento hizo posible la culminación con éxito de este trabajo y a todos los ingenieros de la de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental porque gracias a su enseñanza he obtenido conocimientos.*

## ÍNDICE GENERAL

Ítem	Página
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE GENERAL .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	3
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Antecedentes de la investigación .....	3
2.2. Bases teóricas .....	5
2.2.1. El suelo .....	5
2.2.2. Contaminación del suelo .....	5
2.2.3. Metales pesados .....	6
2.2.4. Contaminación del suelo por metales pesados .....	6
2.2.5. Contaminación por el consumo de hidrocarburos .....	7
2.2.6. Comportamiento de los metales pesados con respecto a las características físico químicas del suelo. ....	8
2.2.7 La bioacumulación de metales pesados en los organismos vegetales .....	8
2.2.8. Potencial de Hidrógeno (pH) en el suelo .....	8
2.2.9. Las arcillas en el suelo .....	9
2.2.10. Textura .....	9
2.2.11. Materia orgánica del suelo .....	10
2.2.12. Humus .....	11

2.2.13. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	11
2.2.14. Conductividad eléctrica (CE).....	12
2.2.15. Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn.....	12
2.2.16. Carbonatos .....	12
2.2.17. Salinidad .....	12
2.2.18. Fuentes de plomo .....	13
2.2.19. Efectos tóxicos del plomo.....	17
2.2.20. Gasolina con plomo .....	18
2.2.21. La gasolina sin plomo en el Perú (1993).....	18
2.2.22. Contaminación por fuentes móviles.....	19
2.2.23. Emisiones vehiculares.....	19
2.2.24. Composición química de la gasolina .....	20
2.2.25. Composición química del diésel .....	20
2.2.26. Emisiones de los frenos y neumáticos fuera de uso (NFU).....	20
2.2.27. Fuentes naturales del Cd en el suelo .....	21
2.2.28. Efectos tóxicos del cadmio .....	24
2.2.29. Valor guía para plomo en suelo establecido por la OMS.....	24
2.2.30. Estándares de calidad para suelos (ECA suelo) .....	24
2.2.31. Guía para el muestreo de suelos.....	25
2.2.32. Normativas internacionales con valores normales medios para Cd en suelos ...	25
2.2.33. Normativa Internacional Codex Alimentarius .....	26
2.2.34. Reglamento de la Unión Europea .....	26
2.2.35. Normativas internacionales referentes a la concentración de Cd en granos .....	27
2.2.36. El trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	27
2.2.37. La cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.).....	27
2.2.38. Avena forrajera ( <i>Avena sativa</i> L.).....	28
2.3. Definiciones de términos básicos.....	28
CAPÍTULO III.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
3.1. Ubicación de la investigación .....	30
3.2. Materiales.....	32

3.2.1. Materiales para el registro de muestras de suelos y cultivos.....	32
3.2.2. Herramientas para ubicar y extraer muestras para suelos y cultivos.....	32
3.2.3. Equipos .....	33
3.3. Metodología .....	33
3.3.1. Elección del lugar en estudio .....	33
3.3.2. Elección de los campos agrícolas.....	34
3.3.3. Extracción de muestras de suelos y cultivos .....	34
3.3.4. Recolección de cultivos .....	35
3.3.5. Análisis de suelos, de los granos de cebada, trigo y follaje de avena forrajera	35
3.4. Técnica de recopilación de información .....	36
3.5. Técnica de procesamiento y análisis de datos.....	36
CAPÍTULO IV .....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
4.1. Parámetros edáficos y metales pesados Cd y Pb en los suelos y cultivos alimenticios a diferentes distancias a la carretera Cajamarca - La Encañada .....	37
4.2. Análisis de varianza (ANOVA).....	44
4.2.1 pH del suelo .....	44
4.2.3 Materia orgánica del suelo .....	47
4.2.4 Capacidad de intercambio catiónico del suelo .....	50
4.2.5 Conductividad eléctrica del suelo .....	52
4.2.6 Promedio del Cd en el suelo .....	54
4.2.7 Promedio del plomo (Pb) en cultivos.....	58
4.2.8 Promedio del cadmio (Cd) en cultivos.....	60
4.3. Correlación para la concentración de Cd con los parámetros edáficos.....	62
CAPÍTULO V.....	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
5.1. Conclusiones .....	70
5.2. Recomendaciones.....	71
CAPÍTULO VI .....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72

ANEXO 1. Presentación de la matriz de consistencia .....	79
ANEXO 2. Resultados del laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego - Universidad Nacional Agraria la Molina .....	81
ANEXO 3. Resultados del laboratorio de análisis de plantas, aguas y fertilizantes .....	93
ANEXO 4. Tabla resumen de los análisis de suelos.....	94
ANEXO 5. Panel fotográfico del área de estudio tramo carretera Cajamarca-La Encañada Pampa de La Culebra .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tablas</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b> Composición química elemental de un neumático fuera de usos (NFU).....	21
<b>Tabla 2</b> Valor guía para plomo en el suelo establecido por la OMS.....	24
<b>Tabla 3</b> Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo .....	25
<b>Tabla 4</b> Profundidad del muestreo según el uso del suelo .....	25
<b>Tabla 5</b> Valores normales medios para suelos USA y Alemania.....	25
<b>Tabla 6</b> Normativa Internacional Codex Alimentarius .....	26
<b>Tabla 7</b> Concentración de Cd en granos con valores medios, mínimos y máximos .....	27
<b>Tabla 8</b> Ubicación de los campos agrícolas en un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada .....	30
<b>Tabla 9</b> Métodos de análisis aplicados en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina.....	36
<b>Tabla 10</b> Análisis de varianza (ANOVA) para el pH de los campos de cultivos y distancias a la carretera .....	47
<b>Tabla 11</b> Prueba de significación de Tukey al 5% para el pH de los suelos de los campos de cultivos de cebada, trigo y avena forrajera.....	47
<b>Tabla 12</b> Análisis de varianza (ANOVA) para la MO de los campos de cultivos y distancias a la carretera.....	49
<b>Tabla 13</b> Análisis de varianza (ANOVA) para la CIC de los campos de cultivos y distancia a la carretera.....	52
<b>Tabla 14</b> Análisis de varianza (ANOVA) para la CE de los campos de cultivos y distancia a la carretera.....	54

<b>Tabla 15</b> Análisis de varianza para la concentración de Cd en los suelos de los campos de cultivos.....	57
<b>Tabla 16</b> Prueba de significación de Tukey al 5% para la concentración de Cd en los suelos de los tres campos de cultivo.....	58
<b>Tabla 17</b> Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de Pb en los granos de cebada, trigo y follaje de avena forrajera .....	59
<b>Tabla 18</b> Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de Cd en los granos de cebada, trigo y follaje de avena forrajera y distancia a la carretera.....	62
<b>Tabla 19</b> Correlación entre los parámetros edáficos (arcilla, pH, M.O, CIC, CE y la concentración de Cd encontrado en los suelos de los campos de cultivos.....	62
<b>Tabla 20</b> Matriz de consistencia.....	79
<b>Tabla 21</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 1-P-2.....	94
<b>Tabla 22</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 1, P-3.....	95
<b>Tabla 23</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 1, P-4.....	95
<b>Tabla 24</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 2, P-1.....	96
<b>Tabla 25</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 2. P- 2.....	96
<b>Tabla 26</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 2, P-3.....	97
<b>Tabla 27</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 2,, P-4.....	97
<b>Tabla 28</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 3, P-1.....	98
<b>Tabla 29</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 3, P-2.....	98
<b>Tabla 30</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 3, P-3.....	99
<b>Tabla 31</b> Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 3, P-4.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> Triangulo de clases texturales .....	10
<b>Figura 2</b> Ubicación de los campos agrícolas en la carretera Cajamarca – La Encañada .....	31
<b>Figura 3</b> pH en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera.....	38
<b>Figura 4</b> Porcentaje de arcilla en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera.....	39

<b>Figura 5</b> Concentración de la M.O en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera.....	40
<b>Figura 6</b> La CIC en los suelos de los tres campos a diferentes distancias de la carretera.....	41
<b>Figura 7</b> La CE en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera .....	42
<b>Figura 8</b> Concentración del Cd en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera.....	43
<b>Figura 9</b> Concentración del Pb de los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera.....	44
<b>Figura 10</b> Promedio en pH de los suelos en tres campos de cultivos, considerando la distancia a la carretera.....	45
<b>Figura 11</b> Promedio en pH de los suelos en los tres campos de cultivos de cebada, trigo y avena forrajera .....	46
<b>Figura 12</b> Promedio en la MO de los suelos en tres campos de cultivos, considerando la distancia a la carretera .....	48
<b>Figura 13</b> Promedio en la MO de los suelos en tres campos de cultivo de cebada, trigo y avena forrajera .....	48
<b>Figura 14</b> Promedio en la CIC de los suelos en tres campos de cultivos, considerando la distancia a la carretera .....	50
<b>Figura 15</b> Promedio en la CIC de los suelos en tres campos de cultivos de cebada, trigo y avena forrajera .....	51
<b>Figura 16</b> Promedio en la CE de los suelos en tres campos de cultivos .....	53
<b>Figura 17</b> Promedio en la CE de los suelos en tres campos de cultivos considerando la distancia a la carretera .....	53
<b>Figura 18</b> Promedio de la concentración de Cd en los suelos considerando la distancia a la carretera.....	55
<b>Figura 19</b> Promedio de la concentración del Cd en los suelos de los tres campos de cultivos	56
<b>Figura 20</b> Promedio del Pb en los cultivos, de cebada, trigo y follaje de avena forrajera .....	58
<b>Figura 21</b> Promedio de Cd en los cultivos de cebada, trigo y follaje de avena forra.....	61
<b>Figura 22</b> Correlación entre la arcilla y la concentración de Cd en los suelos .....	64
<b>Figura 23</b> Correlación entre la CE y la concentración de Cd en los suelos .....	65
<b>Figura 24</b> Correlación entre el pH y la concentración de Cd en los suelos .....	66

<b>Figura 25</b> Correlación entre la CIC y la concentración de Cd en los suelos.....	67
<b>Figura 26</b> Correlación entre MO y la concentración de Cd en los suelos.....	69
<b>Figura 27</b> Área de estudio tramo carretera Cajamarca- La Encañada Pampa de la culebra ...	100
<b>Figura 28</b> Señalización de los puntos de muestreo en las distancias de 10, 20, 30, y 40 metros .....	100
<b>Figura 29</b> Corte del cultivo, limpieza y medición del hoyo de muestreo de suelos.....	101
<b>Figura 30</b> Medición del hoyo en el punto de muestreo del suelo .....	101
<b>Figura 31</b> Extracción del suelo en el punto de muestreo .....	101
<b>Figura 32</b> Extracción del suelo en el punto de muestreo .....	102
<b>Figura 33</b> Obtención de la muestra del suelo.....	102
<b>Figura 34</b> Embolsado y etiquetado de las muestras de suelos .....	102
<b>Figura 35</b> Recolección de las espigas de cebada y trigo.....	103
<b>Figura 36</b> Recolección y etiquetado de los granos de trigo y cebada .....	103
<b>Figura 37</b> Recolección del cultivo del follaje de la avena forrajera y etiquetado .....	103

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la concentración de los metales pesados Pb y Cd en los suelos, cultivos alimenticios y pasturas; así como valores de los parámetros edáficos en un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada, en el lugar denominado La Pampa de la Culebra, entre el km 20-800, y el km 22-200. Se aplicó el diseño no experimental y se utilizó el método descriptivo y correlacional. La investigación se realizó en tres campos de cultivos: cebada, trigo y avena forrajera, en las distancias de 10, 20, 30 y 40 metros, perpendiculares a dicha carretera; se determinó la relación de los parámetros edáficos (pH, MO, contenido de arcilla, CIC y CE) con la concentración de Cd en suelos. En los análisis de los promedios de los parámetros edáficos de los tres campos, indican, para el pH, que son suelos ligeramente ácidos, neutros y moderadamente alcalinos, el contenido de MO indica que son suelos medios, a nivel textural los suelos califican como franco y franco arcillosos, asimismo los suelos califican con alta y media CIC; en atención a la CE los suelos se encuentran libres de sales. Para la concentración de Pb y Cd en los suelos, estos valores no superan los ECA para suelos agrícolas; sin embargo, Para la normativa de los Estados Unidos de Norteamérica, indica que el contenido de Cd en suelos supera los límites permisibles. Los valores encontrados para Cd en los granos, superan los límites establecidos por (Codex Alimentarius y UE; asimismo según el análisis correlacional, hubo una estrecha relación entre la MO y la CE, con la concentración de Cd de los campos de cultivos.

***Palabras clave:*** Metales pesados, contaminación de suelos y emisiones vehiculares.

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the concentration of heavy metals Pb and Cd in soils, food crops and pastures; as well as values of the edaphic parameters in a section of the Cajamarca - La Encañada highway, in the place called La Pampa de la Culebra, between km 20-800, and km 22-200. The non-experimental design was applied and the descriptive and correlational method was used. The research was carried out in three fields of crops: barley, wheat and forage oats, at distances of 10, 20, 30 and 40 meters, perpendicular to said road; The relationship of edaphic parameters (pH, OM, clay content, CEC and EC) was determined with the concentration of Cd in soils. In the analysis of the averages of the edaphic parameters of the three fields, they indicate, for the pH, that they are slightly acidic, neutral and moderately alkaline soils, the OM content indicates that they are medium soils, at a textural level the soils qualify as loam. and clay loam, likewise the soils qualify with high and medium CEC; In accordance with the CE, the soils are free of salts. For the concentration of Pb and Cd in soils, these values do not exceed the ECA for agricultural soils; However, for the regulations of the United States of America, it indicates that the Cd content in soils exceeds the permissible limits. The values found for Cd in grains exceed the limits established by (Codex Alimentarius and EU; also according to the correlational analysis, there was a close relationship between the OM and the EC, with the Cd concentration of the crop fields.

**Keywords:** Heavy metals, soil pollution and vehicle emissions.

## CAPÍTULO I.

### INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental que sobre el suelo está ejerciendo el hombre, ha originado que la contaminación del mismo por metales pesados como el plomo (Pb) y cadmio (Cd) sea uno de los problemas ambientales que está recibiendo una creciente atención en los últimos años. Esto es debido a los riesgos directos que los suelos contaminados puedan ejercer sobre la salud humana (Rodríguez et al., 2019).

Ruiz (2002), afirma que las propiedades del suelo son las que determinan la transferencia de los metales pesados de los suelos a las plantas, manifestando que estos metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles para ser absorbidos por las raíces de los cultivos. Las excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del ambiente.

Los suelos y las plantas a pocos metros de la carretera se encuentran más expuestos a ser contaminados con plomo (Pb) y cadmio (Cd), puesto que éstos elementos son concentrados mayormente en la superficie de los suelos; es por eso que se dice que los suelos son la principal fuente de contaminación con estos metales, ya que los cultivos los absorben en mayor cantidad del suelo que del aire. Uno de los grandes problemas ambientales en la región de Cajamarca es la contaminación de los suelos, lo que conduce a la contaminación de las plantas que se desarrollan sobre ellos, poniendo en riesgo a la salud de las personas y animales que consumen estas plantas, es por ello que se planteó la siguiente interrogante ¿Cuál es la concentración de Pb y Cd en los suelos, cultivos alimenticios, pasturas y valores de los parámetros edáficos, de

los terrenos ubicados en las márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada?. La carretera Cajamarca- La Encañada soporta un intenso tráfico vehicular, siendo una de las vías más concurridas dentro de las que parten de Cajamarca (Quispe, 2017).

Además de los problemas de congestionamiento vehicular, se genera un nuevo problema de contaminación ambiental causado por las emisiones de material particulado (P.M), por la combustión de gasolinas de bajo y alto octanaje, diésel y el desgaste de llantas por rodadura, que afectan directamente a los suelos, aguas y plantas, ubicados en las márgenes de esta carretera, donde es posible observar cultivos alimenticios como papa, cebada, trigo y como también avena forrajera (Ruiz, 2002). La concentración de Cd y Pb en los suelos, cultivos y pasturas mediante los análisis obtenidos en el laboratorio UNALM han demostrado que no superan los ECA, en cuanto para la Unión Europea superan los límites permisibles para granos, y para el estudio en mención se ha planteado el objetivo principal: Determinar la concentración de plomo y cadmio en los suelos, cultivos alimenticios, pastura y los valores de los parámetros edáficos, de los terrenos ubicados en las márgenes de un tramo la carretera Cajamarca - La Encañada; como objetivos específicos tenemos: Determinar la concentración de plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en los suelos, cultivos alimenticios y pasturas, a diferentes distancias de las márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca – La Encañada: Determinar los valores de los parámetros edáficos en los suelos a evaluar, a diferentes distancias de los terrenos ubicados en las márgenes en un tramo de la carretera Cajamarca – La Encañada: Determinar la relación de los parámetros edáficos: pH, textura (contenido de arcilla), materia orgánica (M.O), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE) con la concentración cadmio total en los suelos, en un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada.

## CAPÍTULO II.

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Zafra (2013), afirma que la influencia del tráfico en la acumulación de metales pesados sobre vías urbanas: realizado en Colombia, encontraron que las concentraciones de metales pesados disminuyen con el aumento de la distancia con respecto al borde de la calzada; sin embargo, las máximas concentraciones de elementos metálicos fueron detectadas entre 30-50 metros de distancia, probablemente debido a la alta velocidad del viento generada por los vehículos en las proximidades de la calzada por turbulencia (p. 149).

Lavado et al., (1998); Rodríguez et al., (2000) señalan que se han encontrado mayores niveles de cadmio en suelos urbanos y cercanos a las vías de fuerte tránsito automotor.

Kirby (1987) menciona que la mayor fuente de contaminación es la combustión del petróleo esta fuente aporta alrededor del 80% del Pb en la atmósfera, el Pb es adicionado al petróleo como plomo tetraetil, y es emitido en forma de humo como partículas diminutas de Pb.

UBA (1986), considera que al principio de una aplicación de Pb al cultivo el crecimiento se intensifica, sin embargo, a partir de 5 ppm, se produce un considerable retraso del crecimiento acompañado de decoloraciones y anomalías morfológicas.

Tamburini (1994) indica que las concentraciones de Cd en los suelos no contaminados contienen alrededor de 0.5 ppm a 1 ppm, además considera que los suelos pueden contaminarse con este elemento por medio del aire aguas, cualquier vía al suelo independientemente de la forma química, tiende a quedar en el lugar de aplicación.

Pereyra (1980), manifiesta se encontraron entre 25 a 32 ppm de plomo en las hojas de las plantas que crecían al lado de las carreteras de 35 a 50 ppm en residuos secos de gramíneas. Estas concentraciones disminuyen a medida que las plantas se alejan de la carretera, así en 100 metros se determinó solamente una concentración en las hojas de 6-10 ppm.

Según la Comisión Europea (2014), menciona que emitió una primera alerta relacionada con este riesgo, el trabajo de un grupo de expertos encargado, mostró que los frenos emiten entre el 16 y el 55% de las partículas con un diámetro inferior a 10 micrómetros (PM 10) relacionadas con el tráfico. Se cree que solo la fricción entre las pastillas y los discos de freno ya es responsable de una quinta parte de la contaminación generada por los automóviles. En los próximos años, para limitar estas emisiones de partículas.

Ruiz (2001), menciona que en el estudio de la contaminación por plomo (Pb) y cadmio (Cd) en algunos cultivos alimenticios y suelos adyacentes a la carretera Cajamarca-Bambamarca en consecuencia obtuvo el valor promedio de 2.825 ppm, en Cd en los suelos con relación a las distancias de la carretera, señala que los suelos se encuentran contaminados con este elemento por sobrepasar los límites permisibles.

Quevedo (2001), indica en el estudio de la concentración por plomo y cadmio en las pasturas cultivadas del valle de Cajamarca la concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los suelos varían en función a la distancia de la carretera, tal es así que en la zona "A" a los 10 metros el nivel de cadmio es de 2.25 ppm y a los 40 metros es de 2.15 ppm en la concentración de plomo y cadmio en las pasturas tiene una relación directa, a la concentración de estos en el suelo, en el caso del cadmio las pasturas se encuentran pasando los límites permisibles.

## **2.2. Bases teóricas**

### ***2.2.1. El suelo***

Hernández (2011), menciona que el suelo es considerado un recurso natural frágil y no renovable, debido a que resulta difícil y costoso recuperarlo o incluso, mejorar sus propiedades después de haber sido alterado. El suelo realiza un gran número de funciones clave, tanto ambientales como económicas, sociales y culturales que son esenciales para la vida. Es indispensable para la producción de alimentos y el crecimiento vegetal almacena minerales, materia orgánica, agua y otras sustancias químicas que participan en su transformación: sirve de filtro natural para las aguas subterráneas: es hábitat de una gran cantidad de organismos: proporcionan materias primas para la construcción, además de que es un elemento del paisaje y del patrimonio cultural (p. 150).

Bellido (2018) indica que el suelo es una mezcla de material vegetal y animal desintegrado (humus y detritos), organismos vivos pequeños, rocas y minerales erosionados incluyendo plantas, animales y bacterias, así como agua y aire. En forma típica, un suelo contiene un 95% de minerales y 5% de materia orgánica, variando estos porcentajes de composición para cada tipo de suelo (p. 49).

### ***2.2.2. Contaminación del suelo***

La contaminación del suelo consiste en la introducción de elementos extraños al sistema suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su efecto sobre los restantes componentes, genera un efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, es susceptible de transmitirse a otros sistemas (Seoanez, 1999).

### **2.2.3. Metales pesados**

Los metales pesados son todos aquellos que tienen una densidad mayor a 5 g/cm<sup>3</sup>, poseen una conductividad eléctrica alta, son dúctiles, la mayoría son elementos de transición con capacidad para formar compuestos, que pueden o no sufrir actividad. Los metales pesados son cualquier elemento químico metálico que tiene una alta densidad que es tóxico o venenoso en concentraciones bajas, y que no se puedan degradar por medios naturales, además que son peligrosos porque tienden a bioacumularse en el organismo (Galán, 2008).

### **2.2.4. Contaminación del suelo por metales pesados**

La agricultura provoca la contaminación de los suelos de las siguientes maneras: desperdicios agropecuarios, estiércol animal, fertilizantes, desinfectantes, pesticidas, ácidos y álcalis. Causando efectos nocivos importantes en las plantas y animales. Metales tan conocidos y utilizados como el plomo, mercurio, cadmio, níquel, vanadio, cromo, cobre, aluminio, arsénico y plata, etc., son sustancias tóxicas si están en concentraciones altas. Especialmente tóxicos son sus iones y compuestos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o formar parte de la dieta de los animales. Pero cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en los suelos, las aguas o los seres vivos en concentraciones altas se convierten en tóxicos peligrosos (Aguilar et al., 1999).

Dorronsoro (2005), indica que los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir tres diferentes vías:

Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación. (Pagnanelli et al., 2004).

- Pueden ser absorbidos por las plantas y incorporarse a las cadenas tróficas.

- Pueden pasar a la atmosfera por volatilización.
- Pueden movilizarse en las aguas superficiales y subterráneas.

La acumulación máxima de estos metales se encuentra en la superficie a los 5 primeros centímetros, en caso existe la posibilidad de eliminar los problemas de toxicidad para los vegetales utilizando especies con un sistema radicular ubicado a mayor profundidad. Sin embargo, el problema se presenta cuando se quiere saber si la parte asimilable sigue el mismo proceso de distribución o si este es completamente distinto. Se afirma que la concentración de las fases asimilables permanece invariable durante años, presentándose el suelo como contaminante persistentes e irreversibles, lo que puede dar origen a graves perturbaciones tanto en los vegetales como en los animales que lo consuman (Seoanez, 1999).

#### ***2.2.5. Contaminación por el consumo de hidrocarburos***

Uno de los mayores problemas en la actualidad, es la contaminación atmosférica de las ciudades, correspondiendo al 85% la contaminación que ocasiona el parque automotor, la contaminación no solo afecta a la salud de la población, ocasiona también daños considerables a los materiales de las edificaciones e inclusive las obras históricas de arte (Vásquez, 2000).

Por cierto, la combustión de hidrocarburos en los motores de combustión interna desprende además de plomo de gases NO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>; CO y CO<sub>2</sub>. Estos gases con el agua de la humedad ambiental o lluvia forman ácidos. Luego estos compuestos pueden ser transportados a grandes distancias según la velocidad del viento, su dirección, las precipitaciones y la humedad del aire. Sin embargo, la mayor parte de estos compuestos se deposita directamente o es eliminada de la atmosfera por las precipitaciones. Estos elementos se absorben en la atmósfera a pequeñas partículas del polvo y estas se depositan luego sobre la vegetación y el suelo (Vásquez, 2000).

### ***2.2.6. Comportamiento de los metales pesados con respecto a las características físico químicas del suelo.***

La toxicidad de un agente contaminante no solo va a depender de sí mismo, sino que las características del suelo donde se encuentren van a ser decisivas. Las sensibilidades de los suelos a la agresión de los agentes contaminantes van a ser muy distintos, dependiendo de una serie de características edáficas (Dorronsoró, 1999).

### ***2.2.7 La bioacumulación de metales pesados en los organismos vegetales***

Los metales pesados que se acumulan en el suelo pueden ser absorbidos por las plantas y entrar en la cadena alimentaria. La absorción y acumulación de metales pesados por las plantas depende de la movilidad de las especies de metales en el suelo y de la capacidad de las plantas para tomar y retener los metales.

### ***2.2.8. Potencial de Hidrógeno (pH) en el suelo***

El pH es un factor importante para la disponibilidad de los metales pesados, ya que el pH ácido la mayoría de los metales están disponibles, excepto el arsénico (As), Molibdeno (Mo), Selenio (Se) y cromo (Cr) los cuales están más disponibles a un pH alcalino con esto se espera obtener más concentración de As y Cr soluble los cuales son biodisponibles para las plantas, teniendo un tipo de suelo medianamente alcalino. El pH es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. El proceso de adsorción de metales pesados por el suelo, se debe a una variedad de parámetros edáficos y en especial al pH alcalino (Larios, 2014).

### **2.2.9. Las arcillas en el suelo**

La arcilla tiene una capacidad de intercambio catiónico de 10-150 Cmol/kg, mientras que la materia orgánica tiene una capacidad de 200-400 Cmol/kg, es decir la materia orgánica tiene más alta CIC, los aportes de materia orgánica además de provocar un incremento en la CIC, también mejora las propiedades físicas del suelo, incrementa la infiltración de agua, mejora la estructura del suelo, provee de nutrimentos a la planta y disminuye las pérdidas por erosión (García, s.f.).

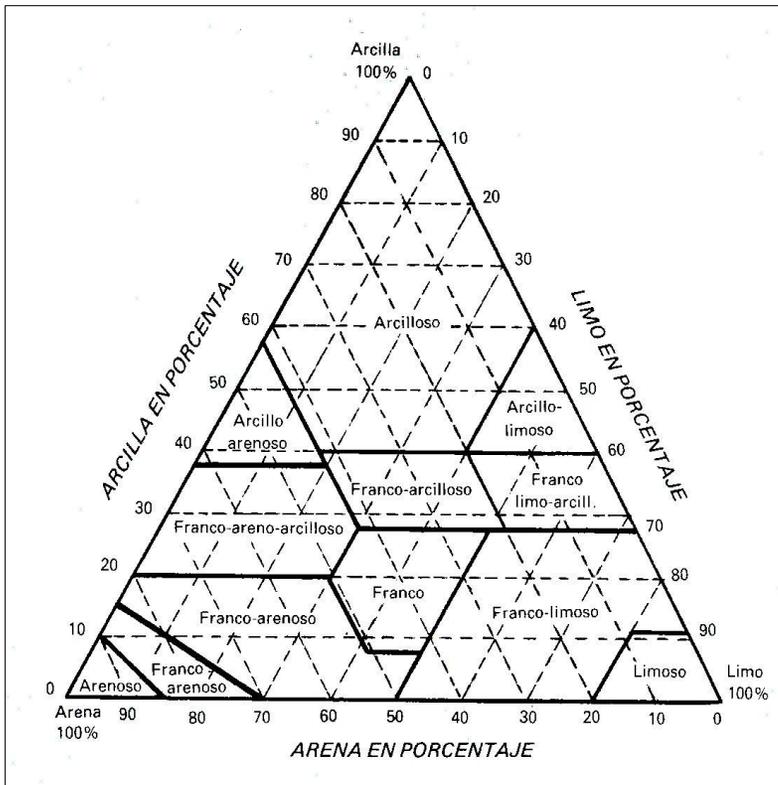
### **2.2.10. Textura**

Es la composición granulométrica de las partículas en el suelo: una fracción gruesa cuyo diámetro es mayor que 2mm (canto y grava) y una fracción fina cuyo diámetro es menor que 2 mm (arena, limo y arcilla). La fracción gruesa se compone de rocas ígneas o sedimentarias que han sufrido un proceso de meteorización ya está completa. Porta et al., (2003) la determinación de textura solo considera la fracción fina y se realiza por ubicación de los porcentajes de arena, limo y arcilla en el triángulo de clases texturales a continuación se presenta en la (figura 1). El triángulo se identifican tres tipos de textura general: arenosa, limosa y arcillosa. Los suelos de textura arenosa permiten un adecuado drenaje y la movilización de los iones en el perfil del suelo. Los suelos de textura arcillosa tienen como principal característica la inhibición momentánea de la infiltración de agua, es decir, el agua de riego es absorbida por las arcillas (formándose una esfera de solvatación) y esto impide que el agua se filtre (USDA, 1991).

La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario, los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Larios, 2014).

**Figura 1**

*Triangulo de clases texturales*



Fuente: U.S.D.A., (1991)

### **2.2.11. Materia orgánica del suelo**

La materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio quelatos, los metales una vez que forman quelatos o complejos pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil, la materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu que puede quedar en posición no disponible por las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos presentan carencia de ciertos elementos como Cu, Pb y Zn forman quelatos solubles muy estables (Larios, 2014).

Según Santos y Velasco (2016), sostienen que los suelos ricos en MO muestran un aumento de la disponibilidad de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn y Ni) para las plantas y registran mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC).

### **2.2.12. Humus**

El humus es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos descomponedores (como hongos y bacterias). Se caracteriza por su color negro debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica.

El humus es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos descomponedores (como hongos y bacterias). Se caracteriza por su color negro debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica.

El humus de la materia orgánica del suelo posee mayor capacidad de intercambio catiónico por lo tanto tiene mayor capacidad de retención de nutrientes, es decir, posee mayor capacidad de intercambio catiónico que las propias partículas de arcillas. Por tal razón los aportes de materia orgánica al suelo son muy beneficiosos en la mejora de la fertilidad del suelo

Los elementos orgánicos que componen el humus son muy estables, es decir, el grado de descomposición es tan elevado que ya no se descomponen más y no sufren transformaciones considerables (Xavier, 2012).

### **2.2.13. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

El contenido de arcilla y la materia orgánica, cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos (Larios, 2014).

#### **2.2.14. Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la conductividad eléctrica mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Su valor es más alto cuanto más fácil se mueve dicha corriente a través del mismo suelo por una concentración más elevada de sales. Las unidades utilizadas para medir la conductividad eléctrica son dS/m (decisimenes por metro) (Larios, 2014).

#### **2.2.15. Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn**

Los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn juegan un importante papel en la retención de metales pesados. Tienen una alta capacidad de fijar a los metales pesados e inmovilizarlos. Además, estos compuestos presentan finamente dimensionados en la masa del suelo por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente Cu, Pb y en menor extensión Zn, Co, Cr, Mo y Ni (Larios, 2014).

#### **2.2.16. Carbonatos**

La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de los valores de pH, en los que como ya hemos visto tienden a precipitar los metales pesados. El Cd, y otros metales, presentan una marcada tendencia de quedar adsorbido por los carbonatos (Larios, 2014).

#### **2.2.17. Salinidad**

El aumento en salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos, primeramente, los cationes asociados con las sales Na y K pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar, los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como Cd, Zn, y Hg. En general se

considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes sub- superficiales en muy pequeñas cantidades. (Larios, 2014).

#### **2.2.18. Fuentes de plomo**

##### **a) Fuentes naturales del plomo**

Badillo (1997), citado por Ruíz (2002) señala que el plomo es un elemento relativamente abundante que se encuentra en el aire, suelo, plantas y animales. Sus fuentes naturales son la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos minerales de plomo y las emanaciones volcánicas. Su proporción en la corteza terrestre es de aproximadamente de 15 ppm y la cantidad total se estima en  $3,8 \times 10^{14}$  toneladas. Desde el punto de vista comercial, los minerales más importantes son galena (PbS), la anglesita (PbSO<sub>4</sub>) y la cerusita (PbCO<sub>3</sub>).

##### **b) Fuentes antrópicas del plomo**

Badillo (1997), citado por Ruíz (2002) mencionan que, en la actualidad, se utiliza principalmente en la producción de acumuladores baterías, pigmentos insecticidas, explosivos, reactivos químicos, soldaduras, aditivos antidetonantes para gasolina, cubiertas para proteger de los rayos X, tuberías, etc. El plomo no solo se descarga en el medio ambiente durante su extracción, fundición o refinación, sino también durante otros procesos como la combustión de hidrocarburos fósiles, el procesamiento de minerales metálicos no ferrosos y por su uso de aditivos para gasolina.

La cantidad anual de plomo que se dispersa como contaminante atmosférico es muy elevada y se han calculado en 450 000 toneladas. El plomo atmosférico tiene gran importancia, no solo porque una vez en este medio, el contaminante llega a otras

regiones por la acción del viento sino, además porque es una fuente de exposición por inhalación para los seres vivos y porque llega a depositarse en diversos sustratos como en el suelo, agua y vegetación. Así mismo la industrialización ha extendido este tipo de polución ambiental.

La contaminación por el plomo procedente de los tubos de escape de los vehículos es un importante problema, aunque hace unos años se está corrigiendo con la sustitución del tetra etileno de plomo por otras sustancias antidetonantes en las llamadas gasolinas sin plomo. Los automóviles contaminan, especialmente en la franja de unas decenas de metros más cercanas a las carreteras.

Las principales fuentes de contaminación son: productos de combustión de gasolina, residuos líquidos y vapores de combustión de carbón, fundiciones, fertilizantes fosfatados y minerales de plomo, que ocurren naturalmente. El plomo es el mayor contaminante químico en el ambiente, y es altamente tóxico para el hombre.

Ningún otro contaminante se acumula en el hombre hacia niveles promedio o cercano a hacia niveles que son potencial y clínicamente venenosos. Los efectos nocivos en seres humanos, animales y plantas como consecuencia de dosis excesivas de plomo está bien documentado. Estos efectos únicamente se manifiestan cuando las dosis son superiores a los límites permisibles. Un problema importante es el de evaluar la dosis a largo plazo resultantes de las elevadas concentraciones de plomo y determinar sus efectos sobre el organismo humano y los recursos biológicos (Badillo, 1997).

### **c) Plomo en el ambiente agrícola**

Las partículas de plomo se emiten al aire a partir de las distintas fuentes, como por ejemplo a través de la actividad volcánica y por actividades humanas como la industria

y a partir del humo emanado por los vehículos. Luego se deposita el polvo, en el suelo, agua y plantas. Estas últimas pueden absorber el plomo del suelo, como el que podría encontrarse en un sitio de desechos peligrosos, fangos cloacales, o cerca de áreas con un elevado tránsito automotriz (Martínez, 1997).

La tasa de absorción depende de las propiedades de los suelos. Existe una gran afinidad con las sustancias húmicas. El valor de pH juega un papel importante para la disponibilidad del plomo contenido en sus compuestos: cuando más bajo sea el pH, tanto más alta es su desorción a la solución del suelo. Pero el plomo es poco móvil, menos móvil, que el Cd permanece en los horizontes superiores y no es asimilado en la misma medida que el Cd por las plantas, por lo que los suelos resultan ser una importante trampa para los compuestos del plomo. Una contaminación adicional se produce cuando se distribuyen lodos de clarificación con contenido de plomo sobre las tierras de cultivos (Martínez, 1997 citado por Ruíz, 2002).

#### **d) El plomo en el suelo**

Los suelos tienden a reflejar la composición de material por eso, las concentraciones más altas de plomo corresponden a los suelos de las zonas mineralizadas. Se calcula que 21000 toneladas anuales es la cantidad de plomo libera por los procesos de erosión, frente a 3600 toneladas anuales vertidas en el medio ambiente por la combustión de combustibles fósiles. El plomo iónico es rápidamente fijado en el suelo a través de las fracciones de ácido húmico o fúlvico de los suelos, eso sugiere que el plomo se debe acumular en los horizontes ricos en materia orgánica cuya concentración es mayor en la superficie, decreciendo con el aumento de la profundidad, la adición de materia

orgánica, encalado y aplicación de fosfatos en los suelos, reducen el contenido de plomo disponible y la subsecuente absorción por las plantas (Galán, 2008).

Badillo (1997) señala que el (Pb) es el quinto elemento en el grupo IVA de la tabla periódica, tiene un número atómico de 82, un peso atómico de 207,2 y valencias de 2 y 4 la abundancia promedio del Pb en la corteza terrestre es 13 ppm; en suelos los rangos son de 2.6 a 25 ppm; el Plomo es obtenido principalmente de la Galena (PbS), es usado en baterías, municiones, soldaduras, tuberías, pigmentos, insecticidas y aleaciones.

#### **e) El plomo en las plantas**

Las plantas absorben el plomo fundamentalmente del suelo en pequeñas cantidades del aire. Estas sustancias tienen efectos nocivos sobre el crecimiento, si al principio de una aplicación el crecimiento se intensifica, a partir de los 5 ppm se produce un considerable retraso del crecimiento acompañada de decoloración y anomalías morfológicas (UBA 1976), la fotosíntesis, la respiración y otros procesos de intercambios metálicos se ven perturbados: finalmente, el plomo inhibe la asimilación de nutrientes esenciales del suelo. El crecimiento de las plantas superiores solo se ve afectado en forma reducida por el  $Pb^{2+}$ . En términos generales la calidad se deteriora más que la cantidad producida y, en comparación con los efectos sobre el ser humano, la fitotoxicidad del plomo es relativamente baja (Mengel et al., 1985).

Además, se sabe que las formas orgánicas del plomo, son un poderoso agente mutagénico, este mecanismo es conocido por desarreglar el uso de las fibras en la de la pared celular. Esta propiedad tiene un buen efecto protector del efecto tóxico en las células. En plantas de maíz, se indica que la exposición de plomo se concreta

principalmente en las vesículas del dictiosoma que junta al plomo como depósitos encajonados.

Niveles de plomo en el grano, tubérculos y raíces son muy poco afectados y no se desvían mucho de los niveles normales en los tejidos que es alrededor de 0.5 ppm. Algunas plantas presentan tolerancia extremadamente alta a concentraciones elevadas de plomo, en cuanto que otras pueden morir en condiciones análogas. En estudios de suelos contaminados con plomo cuya concentración era cerca de 1600 veces mayor que de otras áreas adyacentes, se verificó que las plantas crecían normalmente cuando la concentración en la materia seca era aproximadamente de 1000 ppm las plantas con concentraciones de plomo variando de 3000 a 5000 ppm presentaban poco crecimiento y morían (Mengel et al., 1985).

#### ***2.2.19. Efectos tóxicos del plomo***

El plomo genera daño en la salud y causa un impacto negativo en suelo y agua que son fuente de exposición al plomo para los seres humanos (Mengel et al., 1985).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2015), el plomo es un metal tóxico que se va acumulando en el organismo afectando a diversos sistemas (nervioso, hematológico, gastrointestinal, cardiovascular y renal), con efectos especialmente dañinos en los niños de corta edad, ya que un nivel relativamente bajo de exposición puede causar daños neurológicos graves, y en algunos casos, irreversibles. El plomo se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos, depositándose en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo.

### ***2.2.20. Gasolina con plomo***

El uso de antidetonantes a base de plomo y manganeso en las gasolinas obedece principalmente a que no hay forma más barata de incrementar el octanaje en las gasolinas que usando compuestos de ellos (tetraetilo de plomo (TMP) y a base de manganeso conocido por sus siglas en inglés como (MMT).

A partir de los años 70, el uso de compuesto de plomo en las gasolinas tenía dos razones: la primera era la comentada de alcanzar el octanaje requerido por los motores con mayor relación de compresión y la segunda la de proteger los motores contra el fenómeno denominado Recesión del Asiento de las Válvulas de Escape (Exhaust Valve Seat Recession) junto a la labor lubricante que el plomo ejerce en la parte alta del cilindro (pistón, camisa, segmentos y asientos de válvula). (Castañeda, s.f.).

### ***2.2.21. La gasolina sin plomo en el Perú (1993)***

En los años 90 se hizo una creciente preocupación en todo el mundo para reducir las emisiones contaminantes y por ello se empezó a reducir el uso de un derivado de plomo que se usaba para elevar el octanaje y también se implementaron en los tubos de escape los “convertidores catalíticos” que son equipos que reducen significativamente los contaminantes que se emiten a la atmosfera. Por ello como una señal al mercado de su interés en contribuir a mejorar la calidad del aire, PETROPERÚ decidió introducir al mercado en 1993 una nueva gasolina de 90 octanos (Navarro, 1019).

La nueva gasolina fue recibida con mucho entusiasmo por el mercado porque los carros fabricados en esos años ya disponían del “convertidor catalítico” y este equipo perdía eficacia con el plomo por lo que, al contar con una gasolina sin plomo, ya podía funcionar de manera eficaz.

Mientras tanto la tecnología automotriz seguía avanzando y pronto se hizo evidente que se tenía que eliminar también el plomo de la gasolina de mayor octanaje (en ese momento de 95 octanos). Antes de hacerlo se hizo un estudio de la tendencia de los avances en la industria automotriz para ir su ritmo porque de limitarse a quitar el plomo a la gasolina de 95 octanos. Los estudios indicaron que la tendencia hacia mayor capacidad de comprensión de los motores nuevos hacia conveniente reemplazar la gasolina de 95 por una de 97 octanos que era la que en poco tiempo iba a ser requerida por el mercado automotriz, por ello la decisión técnica fue quedarnos con tres gasolinas: 84, 90 y 97 (Navarro, 1019).

#### ***2.2.22. Contaminación por fuentes móviles***

En las grandes áreas urbanas una de las principales fuentes de contaminación atmosférica la constituyen los vehículos automotores los cuales han ido aumentando en forma considerable en las últimas décadas según Herrera et al., (2007) los principales contaminantes emanados por los vehículos automotores son: monóxido de carbono (CO), Óxido de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no quemados (HC).

Las proporciones en las que se emiten estos contaminantes varían dependiendo del tipo de motor que se utilice. Por ejemplo, los vehículos que emplean nafta como carburante emiten principalmente monóxido de carbono, óxido de nitrógeno e hidrocarburos, en cambio los vehículos que utilizan motores de ciclo diésel, como lo son camiones y autobuses, emiten además de gases, material particulado como por ejemplo el hollín (Herrera et al., 2012).

#### ***2.2.23. Emisiones vehiculares***

Según la Guía Metodológica (2009) menciona que para la estimación de emisiones los vehículos automotores usados de combustión interna producen, en general, tres tipos de

emisiones de gases contaminantes: emisiones evaporativas, emisiones por el tubo de escape y Emisiones de partículas por el desgaste tanto de los frenos como de llantas.

#### ***2.2.24. Composición química de la gasolina***

El índice de octano de la gasolina se puede aumentar con mayor proporción de hidrocarburos de mayor octanaje o de moléculas de cadena ramificada, y también agregando mejoradores del índice de octano. El etanol, con un octanaje de 108 y el éter metil tert- butilic

El compuesto antidetonante más conocido actualmente es el MTBE, sustancia menos contaminante que el tetra metilo y tetra etilo de plomo que se utilizaban antiguamente (Castañeda, s. f).

#### ***2.2.25. Composición química del diésel***

Composición del diésel o gasóleo derivado del petróleo está compuesto aproximadamente de un 75% de hidrocarburos saturados (principalmente parafinas incluyendo isoparafinas y cicloparafinas) y un 25% de hidrocarburos aromáticos (incluyendo naftalenos y alcalobencenos (Castañeda, s. f).

#### ***2.2.26. Emisiones de los frenos y neumáticos fuera de uso (NFU)***

Según la metodología norteamericana Mobile (2010), indica que estas emisiones se asocian al desgaste debido al tiempo de uso de los frenos y los neumáticos. Los contaminantes que se generan son material particulado y están en función de la categoría vehicular y del nivel de actividad que estos tengan, para el caso específico de las emisiones de los neumáticos, estas están en función del número de llantas que posee el vehículo.

**Tabla 1**

*Composición química elemental de un neumático fuera de usos (NFU)*

Elemento	% peso
C (Carbono)	70
H (Hidrogeno)	7
S (Azufre)	1
N <sub>2</sub> (Dinitrogeno)	0.5
O (Oxigeno)	4
ZnO (Óxido de Zinc)	1
Fe (Hierro)	16
Ácido esteárico	0.3
Halógenos	0.1
Ligandos cupríferos	200 mg kg <sup>-1</sup>
Cd (Cadmio)	10 mg kg <sup>-1</sup>
Cr (Cromo)	90 mg kg <sup>-1</sup>
Ni (Níquel)	80 mg kg <sup>-1</sup>
Pb (Plomo)	50 mg kg <sup>-1</sup>

Fuente: (European Tyre Rcyling Association, ETRA)

### **2.2.27. Fuentes naturales del Cd en el suelo**

#### **a) Fuentes naturales del cadmio**

El cadmio es un elemento que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre, la presencia natural del Cd en el medio ambiente se debe principalmente a actividades volcánicas, a incendios forestales y a erosión de las rocas (Ferreira et al., 2007).

#### **b) Fuentes antropogénicas del cadmio**

Huashuay (2021), manifiesta que el cadmio está considerado como un elemento no esencial en el ser humano, se acumula y queda retenido en un medio ambiente producto de las diversas actividades industriales en la producción de baterías donde se utiliza el níquel y estos elementos participan como antidetonantes en los procesos de combustión interna de los motores; el Cd participa en la industria de los nutrientes del suelo en la forma inorgánica de sulfatos. El Cadmio, es metal de color blanco plateado y con

propiedades de maleabilidad de símbolo Cd con número atómico 48; pertenece a los elementos de transición del sistema periódico (p. 29).

**c) Cadmio en el ambiente agrícola**

El Cd es considerado como uno de los elementos más tóxicos en el medio ambiente. Las emisiones procedentes de producción, usos y desperdicios, combinadas con su larga persistencia en el ambiente y su relativamente rápida absorción y acumulación por la cadena alimentaria contribuye a su naturaleza potencialmente peligrosa. La concentración de Cd en alimentos de origen vegetal es controlada por el contenido en el suelo, así como por las propiedades químicas del mismo. Los suelos típicamente no contaminados contienen alrededor de 0,05 microgramos a 1,00 microgramos de Cd por gramo de suelo. Aquellos derivados de rocas ígneas, generalmente presentan las concentraciones inferiores, intermedias para los provenientes de rocas metamórficas y cantidades mayores e importantes con Cd por medio del aire, agua, fertilizantes, pesticidas o por descarga de materiales de desecho, va al suelo independiente de la forma química, tendiendo a quedar en el lugar de aplicación o a una profundidad cercana del suelo, las diversas generalizaciones que se aceptan respecto al Cd en el ambiente agrícola son: Los suelos agrícolas son principalmente contaminados con Cd por el uso de fertilizantes fosforados, dispersión de lodos de aguas fecales y deposición atmosférica. Preocupación creciente es la contaminación de Cd al ambiente agrícola y su incorporación a la cadena alimenticia. (Tamburini, 1994).

**d) Cadmio en el suelo**

El Cd está normalmente presente en el suelo a concentraciones menores de  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ , generalmente entre  $0.15$  y  $0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ . Las principales variaciones en el contenido de

Cd en el suelo se deben a la composición de la roca madre y al suministro de metales que provienen de fertilizantes químicos, pesticidas y la contaminación atmosférica. Los lodos de aguas negras y los superfosfatos que se utilizan en la agricultura contaminan también el suelo con Cd, ya que los suelos tratados con ellos pueden llegar a contener hasta  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cd en el peso seco (Badillo, 1997).

Químicamente, el Cd se puede encontrar disuelto en el agua contenida en el suelo, adsorbido en superficies orgánicas e inorgánicas, formando parte de minerales, precipitado con otros compuestos del suelo o incorporado a estructuras biológicas. Sin embargo, la biodisponibilidad del Cd por la planta depende de numerosos factores físicos, químicos y biológicos que modifican su solubilidad y el estado del metal en el suelo. Los principales factores son el pH del suelo, el potencial redox, la temperatura y el contenido en arcillas, materia orgánica y agua (Ruíz, 2002).

#### **e) Cadmio en las plantas**

El Cd disminuye la tasa de fotosíntesis y transpiración y aumenta la frecuencia respiratoria. A un en pequeñas concentraciones de Cd en el suelo conducen a cuadros de lesiones muy extendidas, como por ejemplo al acortamiento del eje caulinar y un rayado de color amarillo intenso en las hojas más viejas. La absorción se produce no solo por la raíz sino también por los brotes y las hojas. Además de disminuir el rendimiento, la mayor amenaza reside en la contaminación de las plantas de cultivo, dado que es así como el Cd ingresa a la cadena alimentaria como toxina de acumulación (Elinder, 1986).

### **2.2.28. Efectos tóxicos del cadmio**

Wagner (1993), señala que los síntomas de toxicidad por Cd son fácilmente identificables, los síntomas generales son el impedir el crecimiento y clorosis. La clorosis puede aparecer como deficiencia de Fe y la interacción de metales pesados y hierro, en otros casos el Cd aparece por deficiencia de fósforo o reducción de problemas de transporte de manganeso. En general el Cd interfiere con la absorción, transporte y el uso de algunos elementos como Ca, Mg, P, K y agua por las plantas. El humo de CdO es tan peligroso como el fósforo y la inhalación de pequeñas cantidades produce fiebre continua y edemas pulmonares en grandes concentraciones la confirmación de un envenenamiento con Cd se determina en la orina.

### **2.2.29. Valor guía para plomo en suelo establecido por la OMS**

El establecimiento de los límites ambientales está de acuerdo con las concentraciones que se han verificado en diversas partes del mundo y con las cuales no se han detectado efectos adversos en la salud de la población expuesta. La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece un valor guía de 25 mg de Pb/kg de suelo, mostrado en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Valor guía para plomo en el suelo establecido por la OMS*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor establecido Por la OMS ( mg kg<sup>-1</sup> )</b>
<b>Plomo</b>	25

Fuente: Guía para plomo de la OMS, OPS/ OMS-CEPIS. Korc, 2001.

### **2.2.30. Estándares de calidad para suelos (ECA suelo)**

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Aprobada mediante el Decreto supremo N° 011-2017-MINAM, consignada entre los

lineamientos de gestión integrada de la calidad ambiental, referidos al control integrado de la contaminación del suelo (MINAM, 2017).

**Tabla 3**

*Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo*

Parámetro en mg/kg	Usos del suelo			Métodos de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial Parques	Suelo Comercial/ Industrial Extractivo	
<b>Inorgánicos</b>				
<b>Cadmio</b>	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
<b>Plomo</b>	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051

Fuente: (MINAM, 2017).

**2.2.31. Guía para el muestreo de suelos**

**Tabla 4**

*Profundidad del muestreo según el uso del suelo*

Usos del suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo Agrícola.	0-30 cm (1) 30-60 cm
Suelo Residencial/ Parques	1-10 cm (2) 10-30 cm (3)
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0-10 cm (2)

Fuente: Guía para el muestreo de suelos Ministerio del Ambiente 2014.

**2.2.32. Normativas internacionales con valores normales medios para Cd en suelos**

**Tabla 5**

*Valores normales medios para suelos USA y Alemania*

Metales pesados	Límites máximos	Países
Cd	<0,01-2 mg/kg	USA (Estados Unidos de Norteamérica)
Pb	7.5-135 mg/kg	Suelos agrícolas, rango para (Holmgren et al., 1993)
Cd	0.1-1 mg/kg	Suelos agrícolas, rango para Alemania
Pb	0.1-120 mg/kg	(Kloke, 1980)

### 2.2.33. Normativa Internacional Codex Alimentarius

El Codex Alimentarius contribuye, a través de sus normas, directrices y códigos de prácticas alimentarias internacionales, a la inocuidad, la calidad y la equidad en el comercio internacional de alimentos. La norma del Codex se basa en la mejor información científica disponible, respaldada por órganos internacionales independientes de evaluación de riesgos o consultas especiales organizadas por la FAO y la OMS.

Creada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Comisión del Codex Alimentarius es encargado de proteger la salud de los consumidores y garantizar prácticas justas en el comercio internacional de alimentos

#### Tabla 6

##### *Normativa Internacional Codex Alimentarius*

<b>Normativas Internacionales</b>	<b>LMP</b>
El Codex Alimentarias Norma general para los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos	El Codex Alimentarias no hay límites oficiales para plomo que comprueben su toxicidad en productos (trigo). Para trigo Cd 0.2 mg/kg. El Codex Alimentarias no hay límites oficiales para plomo y cadmio que comprueben su toxicidad en productos (cebada y avena forrajera).
Diario oficial de la Unión Europea Reglamento 1881/2006	Cd 0.18 mg/kg trigo Cd 0.050 mg/kg cebada Para plomo tanto para trigo, cebada y avena forrajera no hay límites oficiales no hay límites oficiales para cadmio y plomo que comprueben su toxicidad (avena forrajera)

Fuente: Codex Stan, 1993/1995

### 2.2.34. Reglamento de la Unión Europea

Reglamento de la Unión Europea (2023) de la comisión de 25 de abril de 2023 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) N°. 1881/2006. Para garantizar una protección eficaz de la salud pública,

los alimentos que contengan contaminantes que superen los límites máximos no solo no deben comercializarse como tales, sino que tampoco deben utilizarse como ingredientes alimentarios ni mezclarse con alimentos.

### 2.2.35. Normativas internacionales referentes a la concentración de Cd en granos

**Tabla 7**

*Concentración de Cd en granos con valores medios, mínimos y máximos*

Concentración de Cd (mg/kg <sup>-1</sup> peso seco)				
País	Cultivo	Media	Mínima	Máxima
Suecia	Cebada: Granos	0,019	0.002	0.076
Reino Unido	Cebada: Granos	0.019		
Suecia	Avena: Granos	0.036	0.002	0.505
Suecia	Trigo invernal: Granos	0.044	0.007	0.229
Holanda	Trigo invernal: Granos	0.06	0.07	0.35
Polonia	Trigo: Granos	0.07		
Reino Unido	Trigo Granos	0.053		

### 2.2.36. El trigo (*Triticum aestivum* L.)

Gómez (2008), indica que el trigo pertenece a la familia de las gramíneas, y requiere de suelos con textura media a pesada, donde se ubican los suelos arcillosos limosos y arcillosos; con un pH de 6.0 a 8.5. El trigo crece mal en tierras ácidas; las prefiere neutras o alcalinas, necesita de un clima fresco y húmedo para la etapa de crecimiento y de un clima cálido y seco en la etapa de maduración. Indica también que la temperatura puede ser de 3 a 4°C la mínima y de 30 a 32 °C la máxima; con una media optima de 25 °C. (p.60)

### 2.2.37. La cebada (*Hordeum vulgare* L.)

Escobar (2013), afirma que la cebada pertenece a la familia de las gramíneas, en las cuales necesita de suelos profundos, bien drenados, preferiblemente francos, de fertilidad media a baja y pH entre 7.0 neutro y 8.5 básico, puede tolerar algo de salinidad, no resiste a la mucha

humedad, la cebada requiere de una temperatura templada entre 15 a 31° C, una precipitación de 300 a 600 mm es un cultivo de período largo (p.69).

### **2.2.38. *Avena forrajera (Avena sativa L.)***

La avena es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas, posee raíces más abundantes y profundas que las de los demás cereales; los tallos son gruesos y rectos, pueden variar de medio metro hasta metro y medio, están formados por varios entrenudos requieren se temperaturas muy cálidas y un pH entre 5.5 y 8 (López, 2016).

## **2.3. Definiciones de términos básicos**

**Arcillas:** Constituidos por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

**Cadmio:** Es un elemento químico de número atómico 48 situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cd. Es un metal pesado, blando, blanco azulado, relativamente poco abundante. Es uno de los metales más tóxicos. Normalmente se encuentra en menas de zinc y se emplea especialmente en pilas.

**Coloides del suelo:** Los coloides son dispersiones de pequeñas partículas de un material en otro, de un diámetro aproximadamente igual o menor que 500 nm (aproximadamente la longitud de onda de la luz).

**Codex alimentarios (CODEX):** Norma general para los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos.

**Contaminación del suelo:** Es la presencia en el suelo de un químico o una sustancia fuera de sitio y/o presente en una concentración más alta de lo normal que tiene efectos adversos sobre cualquier organismo al que no está destinado. (FAO, 2015).

Aunque la mayoría de los contaminantes tiene origen antropogénico, algunos contaminantes pueden ocurrir naturalmente en los suelos como componentes de minerales y pueden ser tóxicos en concentraciones altas.

**Estándar de calidad para suelo:** establece el valor referencial de concentración de una sustancia en el suelo, que no representa un riesgo significativo para la salud de las personas. Miden la concentración de elementos, sustancias u otros en el aire, agua o suelo. Su finalidad es fijar metas que representan el nivel a partir del cual se puede afectar significativamente el ambiente y la salud humana.

**Plomo:** Es un metal pesado de densidad relativa o gravedad específica el plomo tiene una densidad de 11.3 g/cm<sup>3</sup>, de color plateado con tono azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fusión se produce a 327,4 °C y hierve a 1725 °C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque del ácido sulfúrico y del ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas.

**CTMUM (Clasificación de tierras por su capacidad de usos mayor):** El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego define la Capacidad de Uso Mayor de una superficie geográfica como su aptitud natural para producir en forma constante, bajo tratamientos continuos y usos específicos social, económico y ambiental, en el marco de los principios del desarrollo sostenible, evitando la degradación de los ecosistemas.

## CAPÍTULO III.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación de la investigación

La presente investigación se realizó en tres campos agrícolas de (cebada, trigo y avena forrajera), ubicados dentro de un tramo de la carretera Cajamarca- La Encañada, en el lugar denominado La Pampa de La Culebra comprendido entre el km 20-800, y el km 22-200, como se muestra en la figura 2.

**Tabla 8**

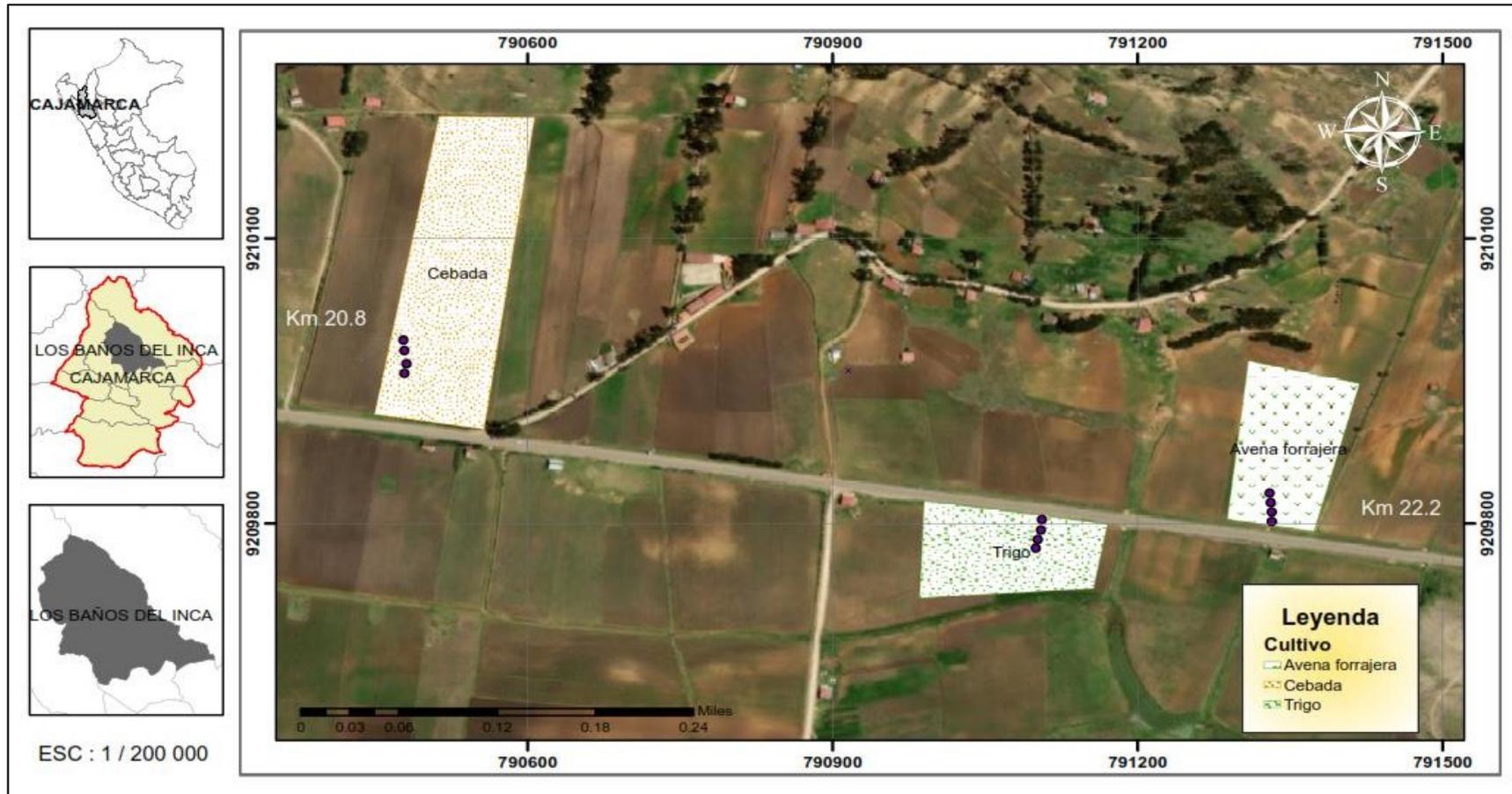
*Ubicación de los campos agrícolas en un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada*

<u>Campo</u>	<u>PM</u>	<u>Coordenadas UTM</u>			<u>Cultivos</u>
		<u>Norte</u>	<u>Este</u>	<u>Altitud m.s.n.m</u>	
<b>1</b>	P01	9209958	790479	3093	Cebada
	P02	9209968	790481	3094	Cebada
	P03	9209982	790479	3094	Cebada
	P04	9209993	790478	3094	Cebada
<b>2</b>	P01	9209804	791106	3084	Trigo
	P02	9209793	791105	3084	Trigo
	P03	9209783	791102	3084	Trigo
	P04	9209774	791100	3083	Trigo
<b>3</b>	P01	9209802	791332	3086	Avena forrajera
	P02	9209812	791332	3086	Avena forrajera
	P03	9209822	791331	3086	Avena forrajera
	P04	9209832	791330	3087	Avena forrajera

PM=Punto de muestreo

**Figura 2**

*Ubicación de los campos agrícolas en la carretera Cajamarca – La Encañada*



## **3.2. Materiales**

### ***3.2.1. Materiales para el registro de muestras de suelos y cultivos***

- Lápiz
- Lapicero
- Plumón indeleble
- Libreta de campo
- Ficha de registro de campo
- Papel bond A4
- Etiquetas de identificación de muestras

### ***3.2.2. Herramientas para ubicar y extraer muestras para suelos y cultivos***

- Estacas de 1.50 y 1m
- Cordel
- Guardapolvo o mandil
- Mascarilla descartable
- Plástico
- Pintura spray
- Bolsas de polietileno
- Guantes de látex descartables
- Fuente de plástico
- Papel toalla
- Palana recta
- Hoz de acero
- Cuchara de acero

- Martillo
- Comba
- Wincha

### **3.2.3. Equipos**

- Laptop
- Impresora
- GPS

### **3.3. Metodología**

En la investigación no se manipuló ninguna de las variables es de tipo descriptivo correlacional (Hernández et al., 2008), se observa en la realidad como se presentan y relacionan las variables, intentando establecer una comparación entre ellas; lo cual será posible mediante la aplicación de software estadístico. El diseño es cuantitativo, no experimental, transversal las muestras se tomaron en un solo tiempo.

#### **3.3.1. Elección del lugar en estudio**

Se eligió un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada a la altura del lugar denominado La Pampa de La Culebra, ubicado entre los km. 20-800, y el km 22-200, considerando que es un tramo recto donde los vehículos pueden alcanzar mayores velocidades, lo que significa mayor consumo de combustible, desgaste de llantas y asfalto de la carretera, lo que genera la emisión de los contaminantes estudiados en la presente investigación; además el flujo de un importante número de vehículos que transitan a diferentes lugares que se comunican por esta carretera, considerando además el uso futuro de esta vía por el Proyecto Minero Michiquillay.

### ***3.3.2. Elección de los campos agrícolas***

En el lugar elegido se seleccionaron tres campos agrícolas con diferentes cultivos, dos alimenticios y uno forrajero, los cuales fueron cebada, trigo y avena forrajera, siendo los tres cultivos herbáceos, pertenecientes a la familia Poaceae (gramíneas); estando ubicados en ambas márgenes de la carretera, mostrado en la figura 2.

Los campos agrícolas elegidos debían contar con una longitud de 40 metros de distancia perpendicular a la carretera.

### ***3.3.3. Extracción de muestras de suelos y cultivos***

En cada campo de cultivo elegido, se extrajeron cuatro muestras de suelo y cultivo, dentro de las distancias de 10, 20, 30 y 40 metros, medidos, a partir del borde de la carretera, puntos que fueron identificados con estacas y banderines mostrado en el anexo 5 figura 28).

Con la ayuda de estacas y cordel se delimitó un área de un metro cuadrado en cada punto de muestreo, en los cuales se realizó el corte de los cultivos indicados en el momento de su cosecha, para luego proceder a la limpieza de la parte superficial del suelo, retirando parte del tallo y las raíces de las plantas (rastreo), quedando apto el suelo para realizar la excavación (hoyo) con la ayuda de una palana recta. La apertura de cada hoyo se hizo teniendo en cuenta a una profundidad de 30 cm de acuerdo a la Guía para muestreo de suelos contaminados (MINAM, 2013).

Cada muestra de suelo fue obtenida con la ayuda de una cuchara de acero, material edáfico que fue colocado en una fuente de plástico, de la cual fue transferido en una cantidad de 1 kg a bolsas plásticas con cierre hermético obteniéndose un total de 12 muestras de suelo, las cuales fueron selladas con cinta adhesiva y debidamente identificadas (etiquetado) para su

envió al Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertirriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

#### **3.3.4. *Recolección de cultivos***

En los mismos puntos fijados para el muestreo de suelos, se procedió a cortar al ras del suelo los cultivos, dentro del área indicada, obteniéndose la cantidad de material vegetal según el cultivo (grano de cebada y trigo y follaje para avena forrajera), de acuerdo a lo recomendado por el laboratorio (500 g). De las plantas cortadas al ras de los cultivos de cebada y trigo se obtuvo en campo las gavillas, las cuales fueron embolsadas para ser llevadas a un lugar apropiado donde se realizó la obtención y limpieza del grano de estos cereales, asimismo se embolsó el material vegetal obtenido en el campo de avena forrajera, el cual fue cortado en floración; de lo cual se obtuvo una muestra de 500 g. por cada punto de muestreo, haciendo un total de 12 muestras, las que fueron secadas, colocadas en bolsas ziploc, selladas y etiquetadas para su envío al laboratorio señalado.

#### **3.3.5. *Análisis de suelos, de los granos de cebada, trigo y follaje de avena forrajera***

Se enviaron al Laboratorio de la Universidad Agraria la Molina, las muestras de suelos, granos y follaje de los cultivos señalados, para el correspondiente análisis de los metales plomo y cadmio y de los diferentes parámetros edáficos considerados.

**Tabla 9**

*Métodos de análisis aplicados en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional*

*Agraria la Molina*

<b>Parámetro</b>	<b>Método de Análisis</b>
Físicos	
Textura (contenido de Arcilla, Limo y Arcilla), (%)	Hidrómetro
Químicos	
pH	Potenciómetro relación suelo - agua 1:1
Conductividad eléctrica	En el extracto en la relación suelo: agua 1:1
Materia orgánica	Walkley y Black, oxidación-carbono orgánico% M.O. = % C x 1,724
Capacidad de Intercambio Catiónico	Acetato de Amonio (CH <sub>3</sub> COOCH <sub>4</sub> ) N; pH 7.0
Pb	Espectrometría de absorción atómica
Cd	Espectrometría de absorción atómica

Fuente: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización, UNALM

### **3.4. Técnica de recopilación de información**

Dentro de las técnicas aplicadas en el presente trabajo, se utilizaron fichas para anotar los diferentes campos de cultivos, suelos y coordenadas, se obtuvieron el muestreo de suelos, recojo de granos y follaje de los cultivos evaluados, así como la medición de la concentración de los metales pesados Pb y Cd y los parámetros edáficos (arcillas, pH, M.O, CE.CIC) en muestras de suelos y el contenido de los metales pesados Pb y Cd en los cultivos seleccionados,

### **3.5. Técnica de procesamiento y análisis de datos**

En el trabajo realizado consistió determinar la concentración de metales pesados Cd y Pb en suelos y granos en tres campos, aplicando con los métodos análisis aplicados en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, luego se utilizó de análisis estadístico (ANOVA), prueba de Tukey y el análisis correlacional de Pearson con la aplicación del software hojas de cálculo Excel 2016, luego se construyeron con ellos cuadros estadísticos y gráficas.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **4.1. Parámetros edáficos y metales pesados Cd y Pb en los suelos y cultivos alimenticios a diferentes distancias a la carretera Cajamarca - La Encañada**

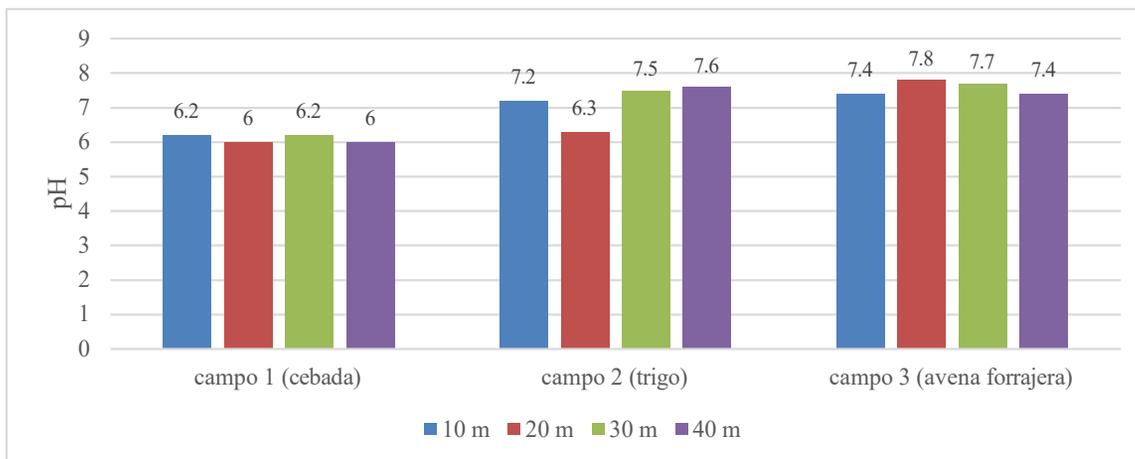
En la figura 3, el campo 1 muestra valores de pH menores a 7 (6.0 - 6.2), indicando que son suelos ligeramente ácidos, lo cual les hace vulnerables a un mayor nivel de afectación por la mayor solubilidad de los metales pesados Pb y Cd, lo cual puede permitir una mayor absorción de los metales por las plantas y movimiento (lixiviación) de éstos hacia las aguas subterráneas (Sánchez, 2016).

En cuanto al campo 2, observamos que en la distancia de 10 metros (pH 7.2) lo cual indica que es un suelo neutro, por consiguiente, va a disminuir la disponibilidad del hierro, manganeso, zinc y cobre (Bárbaro, 2019). Dos de sus suelos presentan pHs ligeramente alcalinos, lo cual favorece la formación de compuestos insolubles de los metales a excepción del suelo ubicado a 20 metros de distancia, cuyo pH es ligeramente ácido (6.3); entre tanto el campo 3 se caracteriza por valores de pH superior a 7 (7.4 - 7.8), indicando un pH ligeramente alcalino, mostrando los menores valores en la distancias más próxima y distante a la carretera (10 y 40 m.).

El pH y la cantidad de materia orgánica son los factores más influyentes en la movilidad del Cadmio en el suelo. Aquellos suelos con mayor contenido de materia orgánica, mayor capacidad de intercambio catiónico y de textura más fina, el Cadmio, se fija con mayor facilidad (Correa, 2016).

**Figura 3**

*pH en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera*



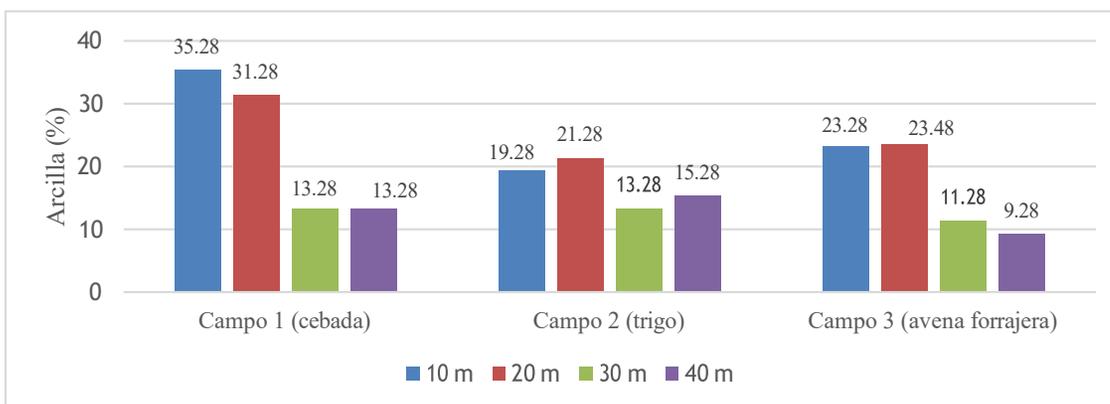
En la figura 4, los campos 2 y 3, muestran los menores porcentajes de arcilla entretanto los porcentajes más altos le corresponde al campo 1 sembrado con cebada en las distancias de 10 y 20 metros de la carretera, las arcillas van a adsorber más metales y van a evitar que pase a las raíces de las plantas y a la cadena trófica.

Las arcillas tienden a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Cada especie mineral de arcilla tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales (Jordá et al., 2004).

Los suelos con alta capacidad de intercambio catiónico y alto contenido de arcilla se espera que la disponibilidad de cadmio sea baja, ya que el mismo quedará adsorbido en las partículas de arcillas, evitando que sea tomado por las plantas o pase a las aguas subterráneas. En los suelos de Mariara (Venezuela), con características físicas y químicas similares a la de la presente investigación (contenido medio de materia orgánica, textura arcillosa y alta CIC), se presentó una alta capacidad de adsorción de cadmio (Mendoza et al., 2021).

**Figura 4**

*Porcentaje de arcilla en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera*



En la figura 5, el campo 1 se caracteriza por presentar valores de materia orgánica superior a 3 (3.46 % - 4.58 %), lo cual indica que tienen un porcentaje medio y alta concentración de la materia orgánica, calificando como suelos ricos en este componente edáfico; siendo deseable tenerlo en los suelos, considerando que su presencia mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos para un mejor crecimiento de los cultivos y su capacidad para retener metales a través del coloide orgánico (humus) (Larios, 2014).

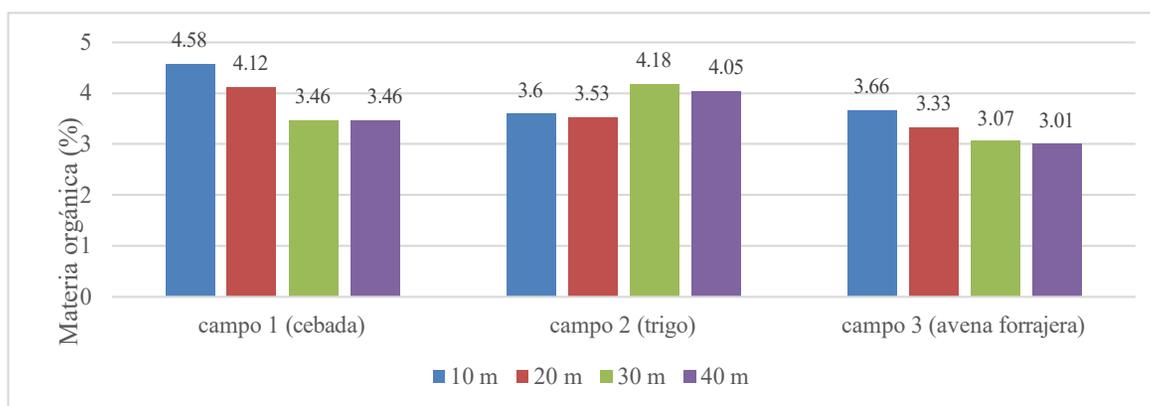
El mayor valor de la MO se encuentra a los 10 metros más próxima a la carretera, entretanto que en el segundo campo en las distancias de 30 y 40 metros los valores de materia orgánica son mayores a 4 %, lo cual indica que estos suelos tienen una concentración alta de materia orgánica. Con respecto al campo 3 se aprecian valores menores de 4 (3.66%, - 3.01%) lo cual indica que tienen una concentración media de materia orgánica.

La materia orgánica que promueve una buena estructura del suelo, por lo tanto, mejorando la labranza, aireación y retención de humedad e incrementando la capacidad amortiguadora y de intercambio de los suelos (Larios, 2014).

El pH y la cantidad de materia orgánica son los factores más influyentes en la movilidad del Cd en el suelo. Aquellos suelos con mayor contenido de materia orgánica, mayor capacidad de intercambio catiónico y de textura más fina, el Cd, se fija con mayor facilidad (Larios, 2014).

### Figura 5

*Concentración de la M.O en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera*



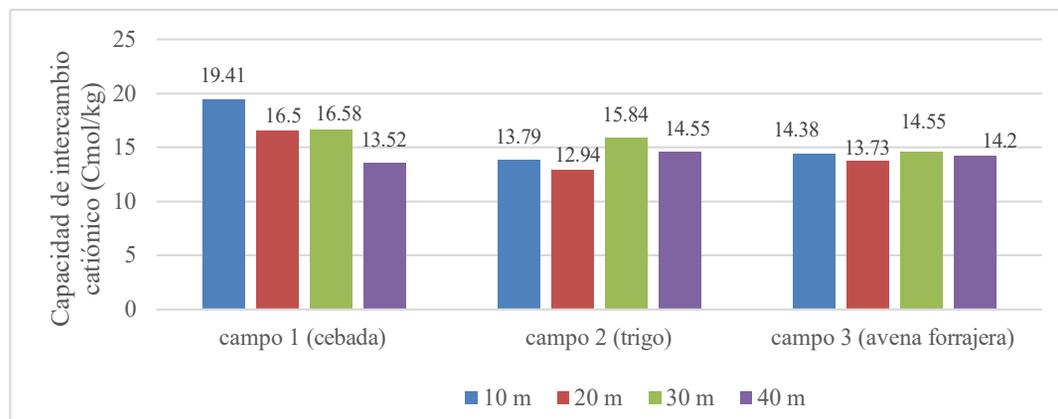
En la figura 6 el campo 1 muestra valores mayores a 13 cmol/kg (13.52, 19.41, 16.58), calificando como CIC alta y media (13.52); esto nos indica que son suelos ricos en arcilla y materia orgánica, lo cual contribuye a la fertilidad de los suelos, y a su capacidad para adsorber metales, lo cual reduce la absorción de estas sustancias por las plantas (Roca, s.f).

El mayor valor de CIC obtenido en el campo 1 fue a los 10 m, (19.41 Cmol/kg), y presenta el mayor porcentaje de MO a esa misma distancia. En cuanto al campo 2, observamos que los suelos ubicados a 30 y 40 metros de distancia a la carretera, tienen los mayores valores de CIC (15.84, 14.55), en correspondencia con los mayores valores de M.O obtenidos en este campo. En cuanto al campo 3, se aprecia que los suelos correspondientes a las cuatro distancias, muestran valores medios de CIC.

El incremento de la CIC produce un aumento en el tiempo en que estos metales se encuentran disponibles para las plantas dado que aumenta la capacidad del suelo de fijar metales. (Roca, s.f).

### Figura 6

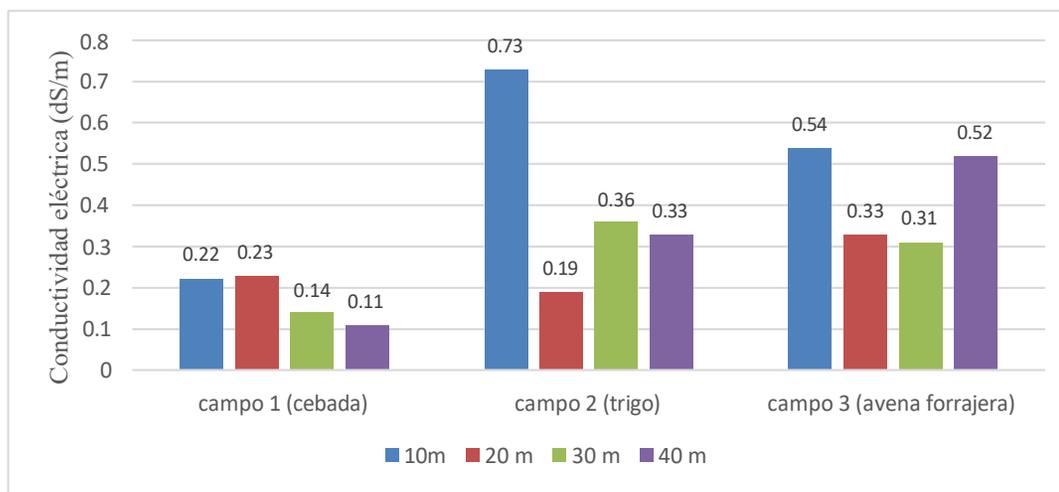
*La CIC en los suelos de los tres campos a diferentes distancias de la carretera*



En la figura 7, todos los suelos evaluados muestran niveles de conductividad eléctrica menor a 2 dS/m, estos suelos de La Pampa de la culebra califican como suelos no salinos de acuerdo Reglamento de Clasificación de Tierras por su capacidad de uso mayor; por lo cual la conductividad eléctrica obtenida resulta apropiada, considerando que facilita la fertilización del cultivo y se evita la toxicidad de las sales (Barato et al., 2014). Los valores de CE del campo 1 son los menores, porque los suelos de este campo, mostraron pHs ácidos, a diferencia de los suelos de los otros campos cuyos pH fueron ligeramente a moderadamente alcalinos.

## Figura 7

*La CE en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera*

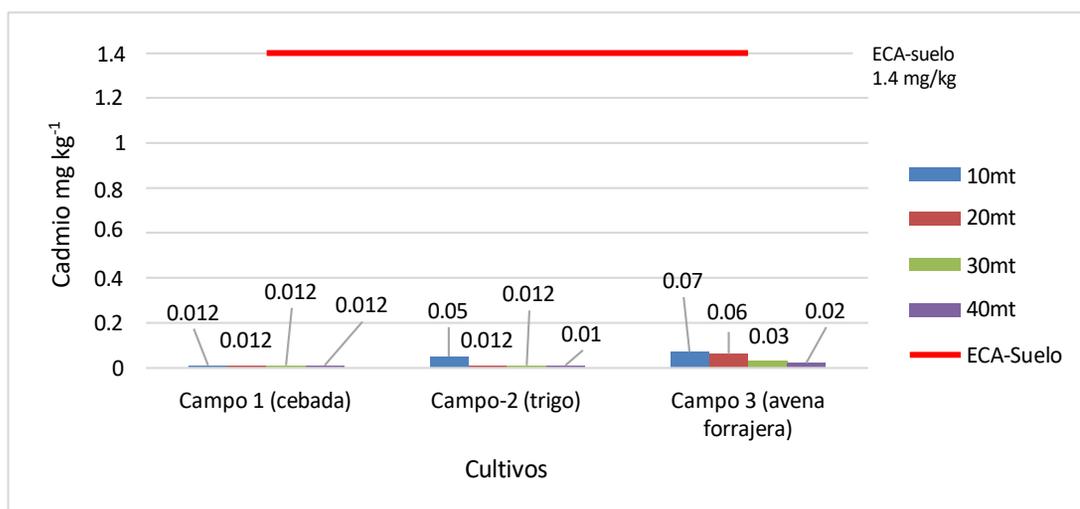


En la figura 8, en los suelos del campo 1, la medición de Cd fue de ( $0.012 \text{ mg kg}^{-1}$ ); en tanto que en los suelos del campo 2, se alcanzaron valores entre  $0.01$  y  $0.05 \text{ mg kg}^{-1}$ , asimismo en el campo 3 las concentraciones de Cd para las cuatro distancias fueron  $0.07$ ,  $0.06$ ,  $0.03$  y  $0.02 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Como se puede apreciar en los suelos de los 3 campos, la concentración de Cd no supera los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas, donde el valor establecido para Cd es de  $1.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ; por lo tanto, no tienen ningún efecto adverso sobre los suelos (MINAM, 2017).

Según la normativa para suelos agrícolas de los Estados Unidos de Norteamérica (USA); (Holgren et al., 1993), citada por este autor se indica que los valores normales medios para cadmio está en el rango  $<0.01 - 2 \text{ mg/kg}$  asimismo para la normativa ambiental Alemana para suelos agrícolas citada por (Kloke, 1980) el valor normal de cadmio en estos suelos está en un rango de  $0.1 - 1 \text{ mg/kg}$ , comparando estos valores con los obtenidos para este metal en los suelos investigados, se observa que no superan los valores establecidos por las normas anteriormente citadas.

**Figura 8**

*Concentración del Cd en los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera*



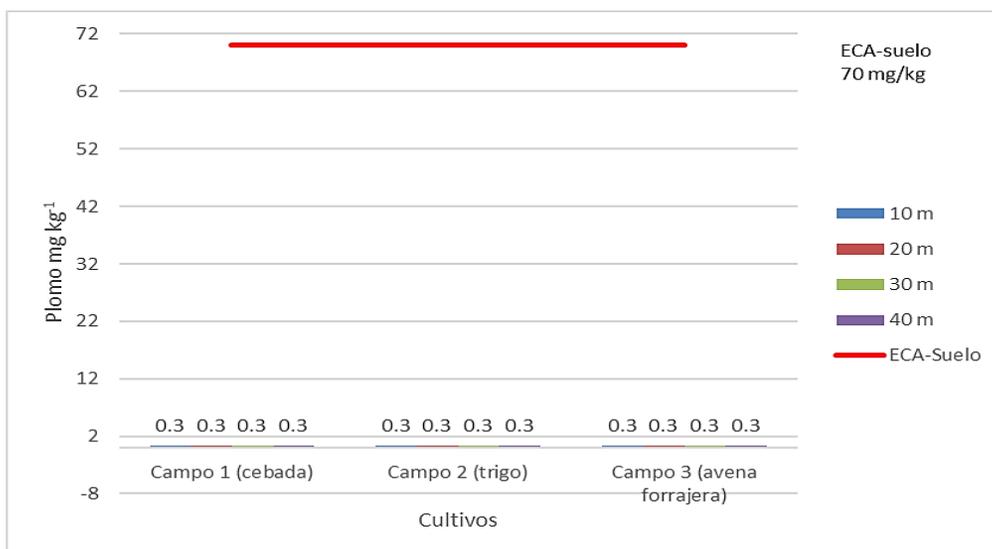
En la figura 9 y de acuerdo a los resultados alcanzados por el Laboratorio de la Universidad Agraria la Molina, en los suelos de los 3 campos los valores del metal plomo están por debajo del límite de detección del equipo que es de 0.3 mg kg<sup>-1</sup> de plomo. Como se puede apreciar en los suelos de los tres campos, la concentración de plomo no supera los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas, donde el valor establecido para plomo es de 70 mg kg<sup>-1</sup>, lo cual indica que son suelos que no son afectados por este metal.

La baja la concentración de este metal en los diferentes suelos, indican que, hubo algún aporte de plomo por la combustión y desgaste de llantas, este metal pudiese haber sido absorbido por los continuos cultivos que se siembran y cosechan en este lugar. Considerando que actualmente la gasolina ya no contiene plomo a excepción de la de 84 octanos, los aportes de este, metal cada vez serán menores, por lo cual los suelos, aguas y cultivos serán menos afectados. Estos metales también pueden encontrarse en los 5 primeros centímetros de la superficie del suelo; por tanto, se realizó estas muestras a una profundidad de 30 centímetros

siguiendo la guía para muestreo de suelos, por tal motivo no se encontraron metales pesados en el suelo.

## Figura 9

*Concentración del Pb de los suelos de los tres campos, a diferentes distancias de la carretera*



## 4.2. Análisis de varianza (ANOVA)

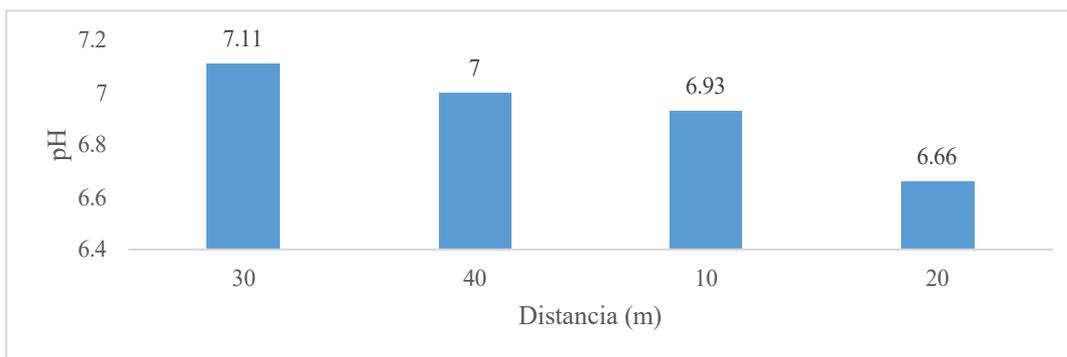
### 4.2.1 pH del suelo

Con respecto a la distancia de muestreo de suelos en la (figura 10), el pH promedio obtenido a una distancia de 30 metros fue de 7.11, siendo el mayor valor de este parámetro; siendo calificado como suelos moderadamente alcalinos, en tanto que, a una distancia de 10, 20 y 40 m. el pH promedio fue de 6.93, 6.66 y 7; respectivamente, calificando estos suelos como neutros, como indica el Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (MIDAGRI, 2022); siendo suelos apropiados para la producción agrícola de los cultivos de cebada, trigo y avena forrajera en la zona estudiada.

Navarro (2019), en un trabajo realizado en carreteras (Iquitos) encontró que el pH en el suelo tuvo un nivel crítico de fuerte acidez; por lo tanto, indicó que existe un efecto negativo en toda la parcela por el uso antropogénico.

### Figura 10

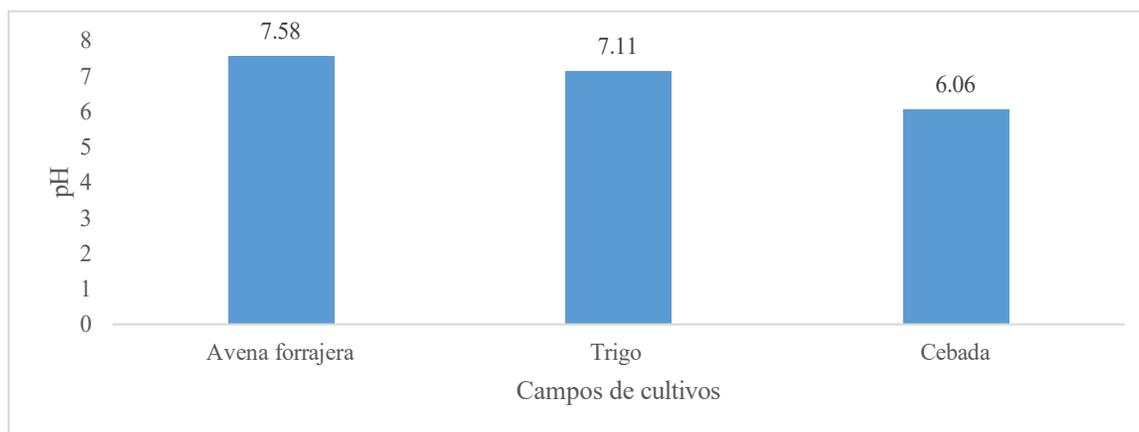
*Promedio en pH de los suelos en tres campos de cultivos, considerando la distancia a la carretera*



En la figura 11, se muestra el promedio del pH en los suelos de los tres campos de cultivos. Se considera que son pHs óptimos para los cultivos que se siembran en la zona de estudio, como es el caso de la avena forrajera que requiere un pH de 5.5 a 8 (López, 2016); asimismo el cultivo de trigo necesita un pH de 6.0 a 8.5 (Gómez, 2008); en tanto que el cultivo de cebada requiere un pH de 7.0 a 8.5 (Escobar, 2013).

## Figura 11

*Promedio en pH de los suelos en los tres campos de cultivos de cebada, trigo y avena forrajera*



En la tabla 10, se presentan los resultados del análisis de varianza para el pH de los suelos, en los cuales se observa que no existe significación estadística para la fuente distancia, dado que el valor de significación (p-valor: 0.557) para esta fuente de variación es mayor al valor de 0.05 (5%). Esto indica que los pHs obtenidos en los suelos a las distancias tomadas de 10, 20, 30 y 40 metros, no se diferencian estadísticamente; entretanto que para la fuente de variación de los suelos de los campos de cultivos si existe significación estadística; por tanto que el valor de significación (p-valor: 0.0003) es menor al valor 0.05 (5 %); por lo tanto, este resultado indica que el pH obtenido en los suelos de los distintos campos puede deberse entre otras causas al uso de fertilizantes orgánicos (gallinaza) y químicos por los agricultores, lo cual ejerce un efecto significativo en el pH en los suelos.

El coeficiente de variación, es de 5.47 % este valor indicó la variabilidad del pH en los distintos suelos de los campos de cultivos; por lo tanto, existe la confiabilidad de los datos realizados en campo abierto.

**Tabla 10**

*Análisis de varianza (ANOVA) para el pH de los campos de cultivos y distancias a la carretera*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F calculado</b>	<b>p-valor</b>
Distancia	0.33	3	0.11	1.1512	0.557
Campos	4.86	2	2.430	25.4302	0.0003
Error	0.86	6	0.14		
Total	6.04	11			

CV = 5.47 %

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad (tabla 11), se observa que el pH obtenido en los suelos de los campos del cultivo de avena forrajera (7.58) trigo (7.11) son estadísticamente iguales sin embargo se diferencian del pH obtenido en el campo de cebada (6.06), en los campos de cultivos existe significación estadística para los cultivos de avena forrajera, trigo y avena forrajera.

**Tabla 11**

*Prueba de significación de Tukey al 5% para el pH de los suelos de los campos de cultivos de cebada, trigo y avena forrajera*

<b>Campos</b>	<b>pH</b>	<b>Agrupación</b>
Avena forrajera	7.58	A
Trigo	7.11	A
Cebada	6.06	B

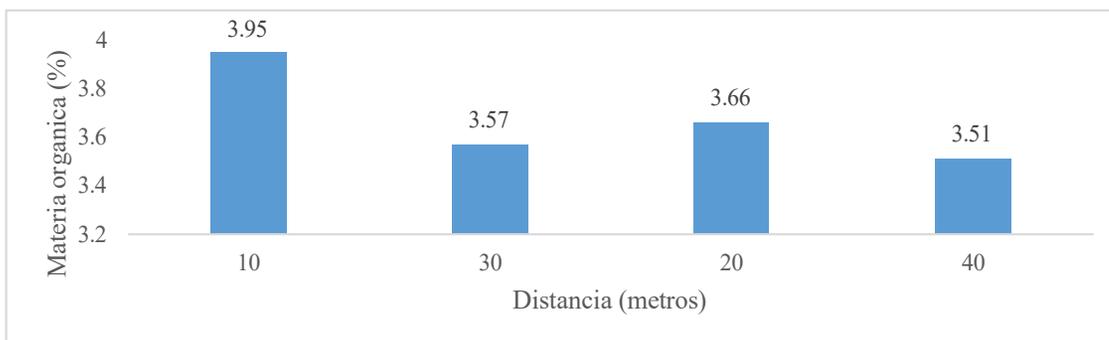
#### **4.2.3 Materia orgánica del suelo**

Con respecto a la distancia de la toma de muestras de suelos (figura 12), el mayor promedio obtenido a una distancia de 10 metros fue de (3.95 %), siendo el punto más cercano a la carretera; en tanto que el menor valor se obtuvo a los 40 metros de 3.51 %; esto nos indica que los mayores aportes de material orgánico tienen lugar a partir del borde de la carretera, por

lo tanto, indica que el contenido de materia orgánica es medio, de acuerdo al Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (MIDAGRI, 2022).

### Figura 12

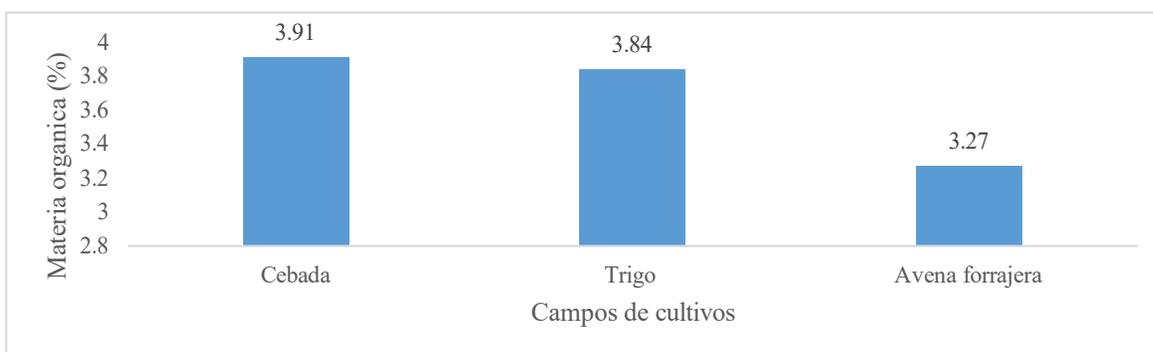
*Promedio en la MO de los suelos en tres campos de cultivos, considerando la distancia a la carretera*



Con respecto a los campos de cultivos (figura 13), la materia orgánica obtenida en el campo de cultivo de la cebada fue de 3.91 %, en el campo del cultivo de trigo es de 3.84%, en tanto que en el campo del cultivo de la avena forrajera fue de 3.27%, lo cual indica que estos campos de cultivo tienen contenido medio de materia orgánica, de acuerdo al Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (MIDAGRI, 2022).

### Figura 13

*Promedio en la MO de los suelos en tres campos de cultivo de cebada, trigo y avena forrajera*



En la tabla 12, se presentan los resultados del análisis de varianza para la materia orgánica, en los cuales se observa que no existe significación estadística para la fuente de variación distancia, dado que el valor de significación (p-valor: 0.6387) para esta fuente de variación es mayor a 0.05 (5%). Esto indica que la materia orgánica obtenida en el suelo de acuerdo a las distancias tomadas de 10, 20, 30 y 40 metros, no se diferencian estadísticamente; entretanto que para la fuente de variación de los suelos de los campos de cultivos no existe significación estadística; por tanto, que el valor de significación (p-valor: 0.1535) es mayor al valor de 0.05 (5 %). En consecuencia, este resultado indica que no existe significación estadística para la MO obtenida en los suelos de los distintos campos.

La materia orgánica favorece la formación de quelatos, la MO puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el cadmio (Cd), que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cd, Pb y Zn (Lama, 1995).

El coeficiente de variación (CV), fue de 11.85%. Este valor indica la variabilidad de la MO en los suelos de los distintos campos de cultivos; por lo tanto, existe la confiabilidad de los datos realizados en campo abierto.

**Tabla 12**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la MO de los campos de cultivos y distancias a la carretera*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F Calculado</b>	<b>p-valor</b>
Distancia	0.34	3	0.11	0.58	0.6387
Campos	0.98	2	0.49	2.58	0.1535
Error	1.13	6	0.19		
Total	2.46	11			

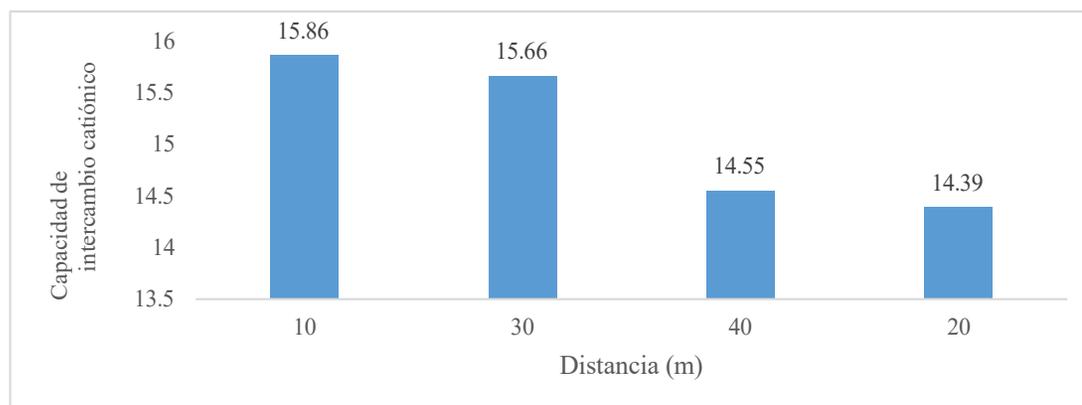
CV = 11.85 %

#### 4.2.4 Capacidad de intercambio catiónico del suelo

Con respecto a la distancia de la toma de muestras (figura 14), la CIC registrada a una distancia de 10 y 30 metros, obtuvo el mayor valor (15.86 y 15.66 Cmol/kg), lo que indica un valor alto, y lo que se relaciona con el mayor valor de M.O obtenido en esta misma distancia, en tanto que los menores valores de este parámetro se dan a las distancias de 40 y 20 metros más alejadas de la carretera de (14.55 y 14.39 Cmol/kg), indican un valor medio, según el reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertirriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

**Figura 14**

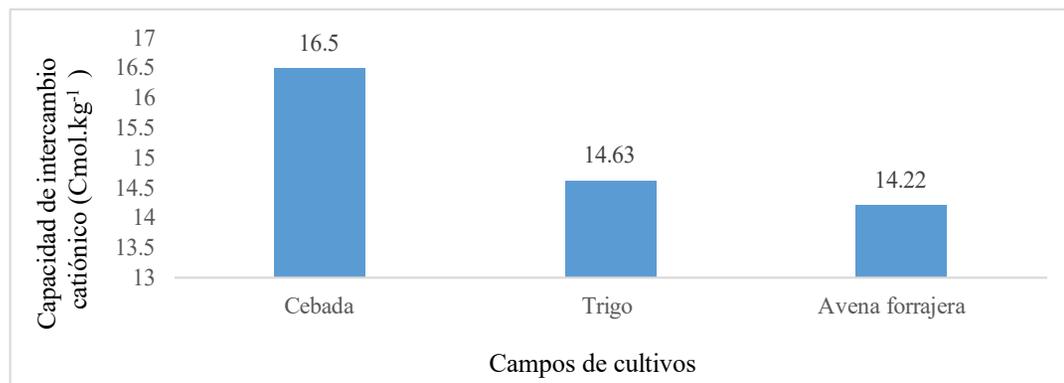
*Promedio en la CIC de los suelos en tres campos de cultivos, considerando la distancia a la carretera*



En la figura 15, se observa que el promedio de la CIC de los suelos de las cuatro distancias el campo de cebada, el mayor valor fue de 16.5 Cmol.kg<sup>-1</sup>, Según (Gliessman, 2002), describe que la capacidad de intercambio catiónico, refleja la cantidad de cationes que pueden ser retenidos por los suelos, a medida que la CIC es más elevada la fertilidad del suelo aumenta, son suelos con alto contenido de arcilla y materia orgánica en cuanto para el campo de trigo y de avena forrajera fue de 14.63, y 14.22 Cmol.kg<sup>-1</sup>.

## Figura 15

*Promedio en la CIC de los suelos en tres campos de cultivos de cebada, trigo y avena forrajera*



En la tabla 13, se presentan los resultados del análisis de varianza para la CIC de los suelos, en los cuales se observa que no existe significación estadística para la fuente distancia, dado que el valor de significación (p-valor: 0.6812), para esta fuente de variación es mayor 0.05 (5%), esto indica que la CIC obtenidas en las distancias tomadas de 10, 20, 30 y 40 metros, no se diferencian estadísticamente; entretanto que para la fuente de variación de los suelos de los campos de cultivos no existe significación estadística, dado que el valor de significación (p-valor: 0.2376) es mayor a 0.05 (5 %); por lo tanto, este resultado indica que la CIC obtenido en los suelos, de los distintos campos no existe significación estadística.

Aquellos suelos con mayor contenido de materia orgánica, mayor capacidad de intercambio catiónico y de textura más fina, el Cadmio, se fija con mayor facilidad (Lama, 1995).

El coeficiente de variación, es (CV) de 11.89 % este valor indicó la variabilidad de la CIC en los distintos suelos de los campos de cultivos; por lo tanto, existe la confiabilidad de los datos realizados en campo abierto.

**Tabla 13**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la CIC de los campos de cultivos y distancia a la carretera*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F Calculado</b>	<b>p-valor</b>
Distancia	5.08	3	1.69	0.52	0.6812
Campos	11.9	2	5.95	1.84	0.2376
Error	19.37	6	3.23		
Total	36.35	11			

CV=11.89%

#### **4.2.5 Conductividad eléctrica del suelo**

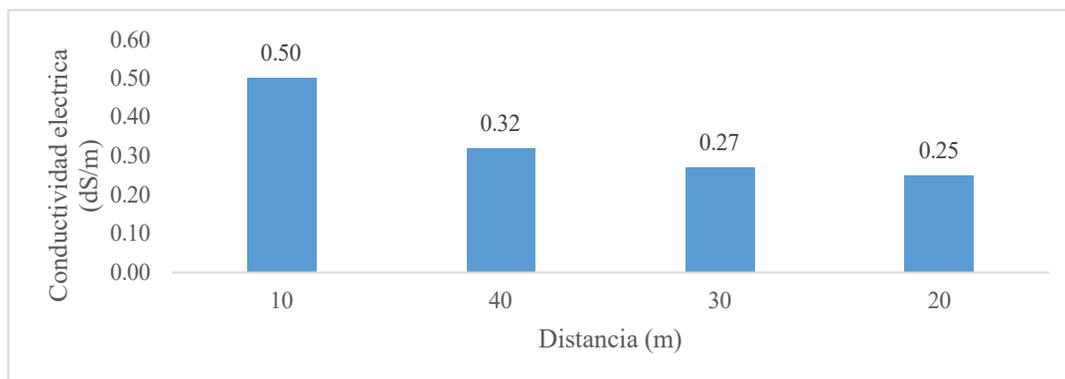
En la figura 16 se observa que la conductividad eléctrica obtenida, en las diferentes distancias ningún cultivo es afectado, a mayor CE, mayor es la concentración de sales en el suelo (FAO, 1999), los valores de CE entre 0 y 0.8 dS/m, son aceptables para el crecimiento normal de los cultivos.

Los suelos con una CE menores de 1 dS/m se clasifica como un suelo libre de sales y no presentan restricción para ningún cultivo, mientras que valores entre 2 y 4 dS/m de CE (suelo moderadamente salino) reduce el rendimiento de cultivos sensibles a las sales. Por otro lado, en los suelos altamente salinos que presentan una CE de 8 a 16 dS/m solo sobreviven los cultivos resistentes a la salinidad (Castellanos, 2000).

De acuerdo al Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (MIDAGRI, 2022) la conductividad eléctrica de los suelos menores a 2 dS/m<sup>-1</sup> la concentración de sales, no limitan el desarrollo de especies vegetales sensibles.

**Figura 16**

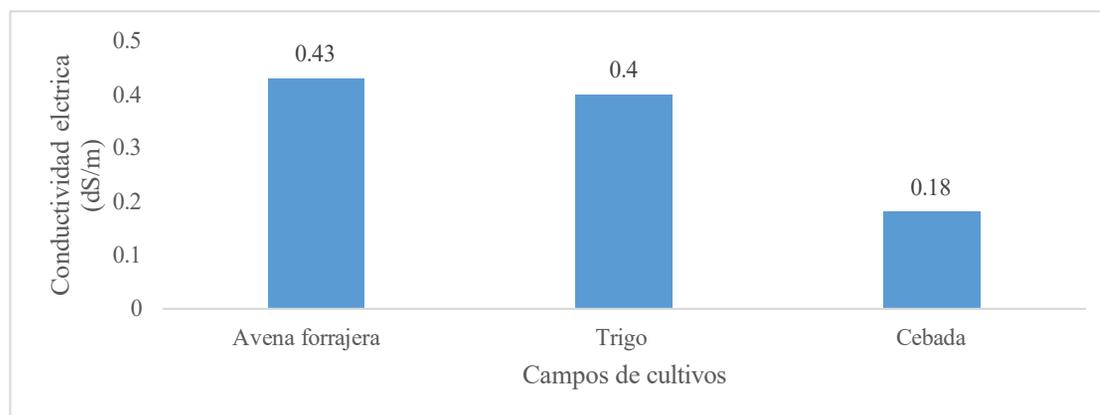
*Promedio en la CE de los suelos en tres campos de cultivos*



En la figura 17, se observa el promedio de las cuatro distancias de la conductividad eléctrica en los suelos para el campo de avena forrajera y trigo los valores son idénticos a diferencia del campo de cebada que es de 0.18 dS/m, por lo tanto, estos suelos están libres de sales (Castellanos, 2000), la cual no van afectar al crecimiento de los cultivos que se siembran en esta zona, La Pampa de La Culebra.

**Figura 17**

*Promedio en la CE de los suelos en tres campos de cultivos considerando la distancia a la carretera*



En la tabla 14, se presentan los resultados del análisis de varianza para la CE en los cuales se observa que no existe significación estadística para la fuente de variación distancia, dado que el valor de significación (p-valor: 0.1835) para esta fuente de variación es mayor al 0.05 (5%), por lo que indica que la CE en las en muestras de suelos tomadas a las diferentes distancias de 10, 20, 30 y 40 metros, no se diferencian estadísticamente; entretanto que para la fuente de variación de los suelos campos de cultivo no existe significación estadística, dado que el valor de significación (p-valor: 0629) es mayor al 0.05 (5%), este resultado indica que la CE obtenida en los distintos campos de cultivos, no se diferencian estadísticamente.

El suelo se mantiene con un nivel de conductividad eléctrica óptima, para el crecimiento de las raíces que absorban tanto nutrientes naturales como los aportados a través de los fertilizantes, que viene utilizando los agricultores de la zona mencionada.

El coeficiente de variación, es (CV) de 38.84 % este valor indicó la variabilidad de la CE en los distintos suelos de los campos de cultivos; por lo tanto, existe una baja confiabilidad de los datos realizados en campo abierto.

**Tabla 14**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la CE de los campos de cultivos y distancia a la carretera*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F Calculado</b>	<b>p-valor</b>
Distancia	0.11	3	0.04	2.24	0.1835
Campos	0.15	2	0.08	4.54	0.0629
Error	0.1	6	0.02		
Total	0.37	11			

CV = 38.84 %

#### **4.2.6 Promedio del Cd en el suelo**

En la figura 18 la concentración de Cd en los suelos en las distancias de 10, 20,30 y 40 metros, van disminuyendo con el aumento de las distancias, esto se debe a que las fuentes emisoras de partículas este metal está más cerca de la carretera, como las emisiones vehiculares

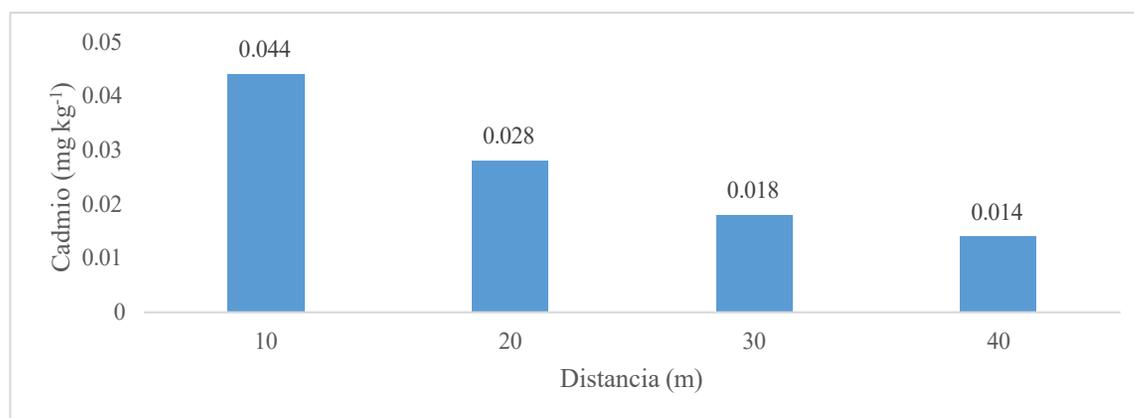
y desgaste de llantas principalmente; existen una mayor bioacumulación de este metal en la superficie del suelo.

Zafra (2013), afirma que las concentraciones de metales pesados disminuyen con el aumento de la distancia con respecto al borde de la calzada; sin embargo, las máximas concentraciones de elementos metálicos fueron detectadas entre 30- 50 metros de distancia, probablemente debido a la alta velocidad del viento generada por los vehículos en las proximidades de la calzada por turbulencia (p. 149).

Según Quevedo (2001), en el estudio realizado sobre la concentración de plomo y cadmio en las pasturas cultivadas en el valle de Cajamarca, indica que la concentración de plomo y cadmio en los suelos varían en función a la distancia a la carretera, disminuyendo conforme se aleja de ésta.

### Figura 18

*Promedio de la concentración de Cd en los suelos considerando la distancia a la carretera*



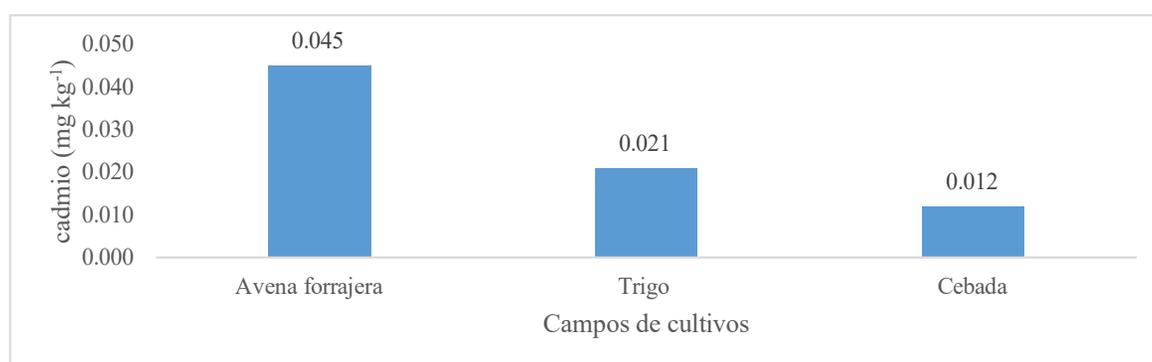
En la figura 19 para la concentración de Cd en los suelos de los cultivos evaluados, se observa que los valores de Cd obtenido en las muestras de suelos del campo de trigo es de 0.021 mg kg<sup>-1</sup> y en el campo de cebada (0.012 mg kg<sup>-1</sup>), son estadísticamente iguales; en tanto que la

diferencia más notable se da entre el Cd obtenido en la avena forrajera que es  $0.045 \text{ mg kg}^{-1}$  la concentración de Cd, medido en los suelos del campo de Cebada.

El Cadmio es considerado uno de los mayores agentes tóxicos asociados a la contaminación ambiental que son: los efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, la bioacumulación, la persistencia en el medio ambiente y el transporte de grandes distancias con el viento (Ramírez, 2002).

### Figura 19

*Promedio de la concentración del Cd en los suelos de los tres campos de cultivos*



En la tabla 15, se presentan los resultados del análisis de varianza para la concentración de Cd en los suelos los cuales se observa que no existe significación estadística para la fuente de variación distancia, dado que el valor de significación (p-valor: 0.1434) para esta fuente de variación es mayor al 0.05 (5%), por lo que indica que la concentración de Cd en las muestras de suelos tomadas a las diferentes distancias de 10, 20, 30 y 40 metros, no se diferencian estadísticamente; entretanto que para la fuente de variación de los suelos campos de cultivos si existe significación estadística, por tanto, el valor de significación (p-valor: 0.0404) es menor al 0.05 (5%), este resultado indica que la concentración de Cd obtenida en los distintos campos de cultivos, se diferencian estadísticamente.

Las emisiones de los vehículos se desplazan de acuerdo a la dirección de los vientos estas partículas de cadmio es liberado a la atmósfera tras ello se depositan en el suelo, el Cadmio es ingerido por los organismos y transportado a cadena alimenticia, siendo la principal vía de asimilación en los animales y el hombre (Badillo, 1985).

Las fuentes comunes para la mayoría de los metales pesados están en el desgaste de las llantas, fugas de aceite y el revestimiento de las pastillas para frenos, (Zafra, 2013), ya que estos suelos se encuentran más propensos a ser contaminados porque se encortan más cercanos a la carretera de esta zona mencionada.

El coeficiente de variación, es (CV) de 28.29 % este valor indicó la variabilidad de la concentración del Cd en el suelo de los campos de cultivos; por lo tanto, existe una baja confiabilidad de los datos realizados en campo abierto.

**Tabla 15**

*Análisis de varianza para la concentración de Cd en los suelos de los campos de cultivos*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F Calculado</b>	<b>p-valor</b>
Distancia	0.00161	3	0.00054	2.64474	0.1434
Campos	0.00233	2	0.00116	5.74342	0.0404
Error	0.00122	6	0.0002		
Total	0.00515	11			

CV = 28.29 %

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad (tabla 16), para la concentración de Cd en los suelos de los cultivos evaluados, se observa que los valores de Cd obtenidos en las muestras de suelos del campo de trigo es de 0.021 mg kg<sup>-1</sup> y en el campo de cebada (0.012 mg kg<sup>-1</sup>), son estadísticamente iguales; en tanto que la diferencia más notable se da entre el Cd obtenido en la avena forrajera que es 0.045 mg kg<sup>-1</sup> la concentración de Cd, medido en los suelos del campo de Cebada.

**Tabla 16**

*Prueba de significación de Tukey al 5% para la concentración de Cd en los suelos de los tres campos de cultivo*

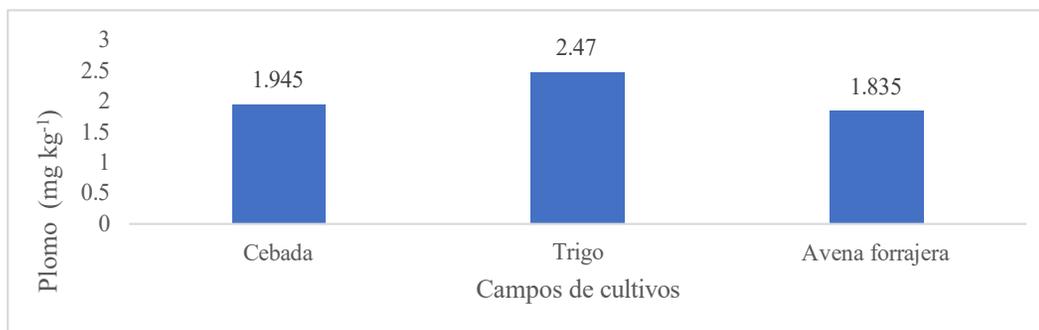
Campos	Cadmio (mg kg <sup>-1</sup> )	Agrupación
Avena forrajera	0.045	A
Trigo	0.021	AB
Cebada	0.012	B

#### **4.2.7 Promedio del plomo (Pb) en cultivos**

Con respecto a la concentración de Pb en los cultivos evaluados en la (figura 20), en el grano de la cebada la concentración de Pb es de 1.945 mg kg<sup>-1</sup>, en trigo la concentración es de 2.47 mg kg<sup>-1</sup>; en tanto, que en la avena forrajera la concentración de Pb es de 1.835 mg kg<sup>-1</sup> los valores permisibles para Pb en granos de trigo son de 0.1 a 1.0 mg kg<sup>-1</sup> peso seco, para el grano de la cebada es de 0.1 a 1.50 mg kg<sup>-1</sup> y para la avena el valor establecido es de 0.05 a 2.0. Comparando los resultados encontrados, podemos señalar que la concentración de Pb encontrado en todos los cultivos examinados, ha superado los valores permisibles, lo cual pone en riesgo la salud humana y de los animales que consumen éstos alimentos de acuerdo con la normativa internacional reportada por (Kabata et al., 1984).

**Figura 20**

*Promedio del Pb en los cultivos, de cebada, trigo y follaje de avena forrajera*



En la tabla 17, se presentan los resultados del análisis de varianza para la concentración de Pb en los granos de cebada, trigo y avena forrajera los cuales se observa que no existe significación estadística para la fuente de variación distancia, dado que el valor de significación (p-valor: 0.3542), para esta fuente de variación es mayor al 0.05 (5%), por lo que indica que la concentración de Pb en las en muestras de granos tomadas a las diferentes distancias de 10, 20, 30 y 40 metros, no se diferencian estadísticamente; entretanto que para la fuente de variación de los granos de los campos de cultivo no existe significación estadística, por tanto, el valor de significación (p-valor: 0.0942) es mayor al 0.05 (5%), este resultado indica que la concentración de Pb obtenida en los distintos campos de cultivos, no se diferencian estadísticamente.

La concentración de metales en los granos de cebada, trigo y avena forrajera se debe a la bioacumulación de los metales en el suelo por el uso de fertilizantes, y por las emisiones de los vehículos que transitan por esta zona y las plantas van absorber estos metales a través de las raíces.

El coeficiente de variación, es (CV) de 17.18 % este valor indicó la variabilidad de la concentración del Pb en los granos de los campos de cultivos; por lo tanto, existe la confiabilidad de los datos realizados en campo abierto.

**Tabla 17**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de Pb en los granos de cebada, trigo y follaje de avena forrajera*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F Calculado</b>	<b>p-valor</b>
Distancia	0.5	3	0.17	1.31	0.3542
Campo	0.92	2	0.46	3.59	0.0942
Error	0.77	6	0.13		
Total	2.19	11			

CV = 17.18 %

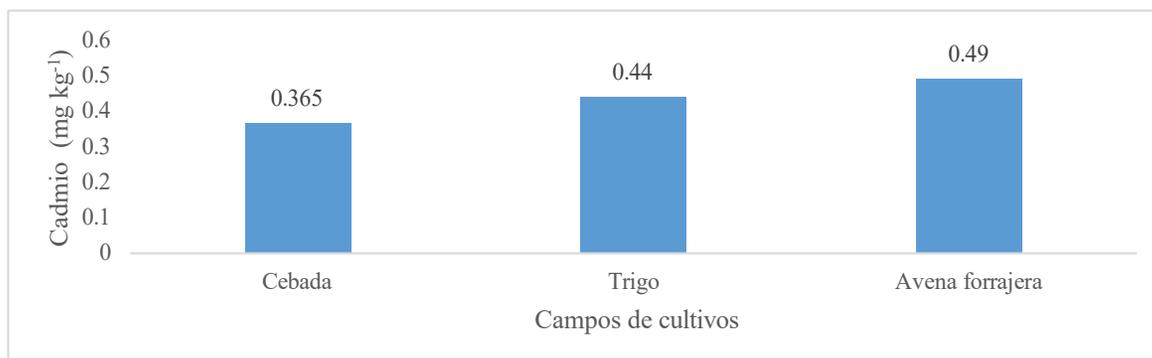
#### **4.2.8 Promedio del cadmio (Cd) en cultivos**

Con respecto a la concentración de Cd en los cultivos evaluados en la (figura 21), en el grano de la cebada la concentración de Cd es de  $0.365 \text{ mg kg}^{-1}$ , en trigo la concentración es de  $0.44 \text{ mg kg}^{-1}$ ; por consiguiente, que en la avena forrajera la concentración de Cd es de  $0.49 \text{ mg kg}^{-1}$ . Según Codex alimentarios (1985), el límite máximo permisible de Cd para el grano de trigo es de  $0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ , en tanto que la concentración de este metal encontrada en los granos de este cultivo ( $0.44 \text{ mg kg}^{-1}$ ) supera los límites permisibles; asimismo la Unión Europea (UE) (2021) señala que el límite permisible para trigo es de  $0.18 \text{ mg kg}^{-1}$ , por consiguiente el valor obtenido es de ( $0.44 \text{ mg kg}^{-1}$ ) supera el límite; asimismo la Unión Europea (UE) (2021) señala que el límite permisible para cebada es de  $0.050 \text{ mg kg}^{-1}$ , en cuanto al valor obtenido en el análisis de supera el límite permisible en consecuencia van afectar a las personas que lo consumen.

Según la Normativa ambiental de Suecia se considera que para el grano de cebada el valor máximo es de  $0.076$ , en consecuencia la concentración de Cd encontrado para la cebada supera los valores máximos señalados; según la normativa de Holanda la concentración máxima permisible de Cd para el grano de trigo es de  $0.35$ , por ende ha sido superado por los valores encontrados que es de  $0.44 \text{ mg kg}^{-1}$ ; asimismo se indica que en la normativa de Suecia, se acepta que el valor media de Cd para el grano de avena es de  $0.036 \text{ mg kg}^{-1}$ , sin embargo el valor encontrado para este cultivo (follaje), fue de  $0.49 \text{ mg kg}^{-1}$ , lo que significa que supera el valor dado por la norma internacional; por lo tanto existe un potencial riesgo de afectación a la salud a los consumidores de estos granos normativas internacionales reportadas por (Kabata et al., 1984).

## Figura 21

*Promedio de Cd en los cultivos de cebada, trigo y follaje de avena forra*



En la tabla 18, se presentan los resultados del análisis de varianza para la concentración de Cd en los granos los cuales se observa que no existe significación estadística para la fuente de variación distancia, dado que el valor de significación (p-valor: 0.6919), para esta fuente de variación es mayor al 0.05 (5%), por lo que indica que la concentración de Cd en las en muestras de granos tomadas a las diferentes distancias de 10, 20, 30 y 40 metros, no se diferencian estadísticamente; entretanto que para la fuente de variación de los granos de los campos de cultivo no existe significación estadística, por tanto, el valor de significación (p-valor: 0.5076) es mayor al 0.05 (5%), este resultado indica que la concentración de Cd obtenida en los distintos campos de cultivos, no se diferencian estadísticamente.

Con respecto al coeficiente de variación (CV), es de 33.142 % lo que indica la variación de los valores de Cd en las distintas muestras de granos tomadas dentro de los campos de cultivo, existe una baja confiabilidad de los datos realizados en campo.

**Tabla 18**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de Cd en los granos de cebada, trigo y follaje de avena forrajera y distancia a la carretera*

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Distancia	0.032	3	0.011	0.507	0.6919
Campo	0.032	2	0.016	0.761	0.5076
Error	0.125	6	0.021		
Total	0.188	11			

CV = 33.42 %

#### 4.3. Correlación para la concentración de Cd con los parámetros edáficos

En la tabla 19, se observa que la M.O y la CE tienen relación media a alta entre la CE y la concentración de Cd en los suelos de los campos de cultivo (trigo, cebada y avena forrajera); es decir, que a medida que estos dos parámetros incrementen su valor, la concentración de Cd en los suelos de los campos de cultivo, también incrementarán su valor. Según el valor de significación, que es menor a 1 en los dos parámetros señalados, indica que estos se relacionan significativamente con la concentración de Cd encontrada en los suelos de los campos de cultivo evaluados.

**Tabla 19**

*Correlación entre los parámetros edáficos (arcilla, pH, M.O, CIC, CE y la concentración de Cd encontrado en los suelos de los campos de cultivos*

Parámetros del suelo	Correlación de Pearson	Cd (ppm)		Ecuación de regresión
		r <sup>2</sup>	Significación bilateral	
Arcilla	0.0245	0.0006	0.927	y = 0.0002x + 0.0494
CE (dS/m)	0.6520	0.4251	0.007	y = 0.2048x - 0.0242
pH	0.4874	0.2376	0.059	y = 0.0422x - 0.2449
M.O. (%)	0.6738	0.4540	0.007	y = 0.061x - 0.1857
CIC (Cmol/kg)	0.2569	0.0660	0.340	y = -0.0097x + 0.1991

Como se puede observar en la figura 22, el coeficiente de determinación es ( $R^2 = 0.0006$ ), indica que el parámetro de arcilla se relaciona en un 0.06 % sobre la concentración de cadmio;

la obtención de la ecuación lineal del análisis de regresión realizado es:  $y = 0.0002x + 0.0494$ , la que nos permite establecer los datos de la recta de regresión lineal y también permitirá predecir los datos a futuro y ver el comportamiento de la regresión lineal.

En la tabla 19 se observa que el coeficiente de correlación de Pearson es ( $r = 0.0245$ ), significa, no que existe una correlación entre las variables quiere decir, que, si el parámetro de la arcilla (x) aumenta, la concentración de cadmio (y) también aumenta, sin embargo, el valor de la significación bilateral es de 0.927, que es superior al 0.05; por lo tanto, no existe una correlación significativa entre variables, es decir es una correlación muy débil.

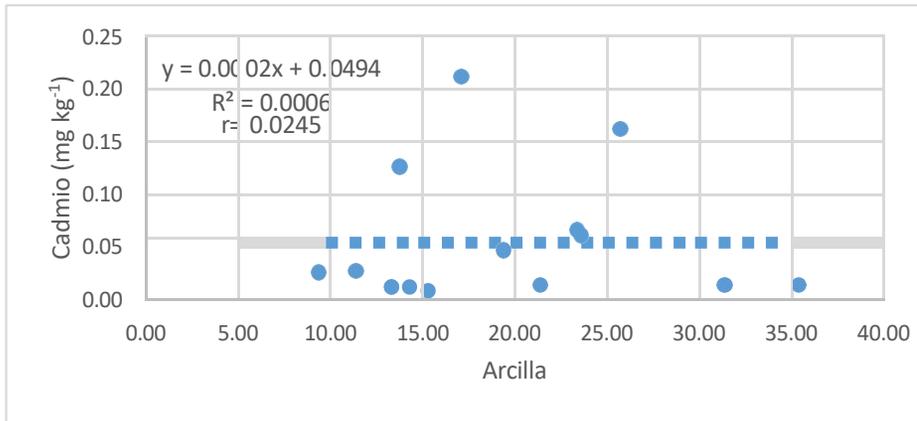
Es decir que, a mayor cantidad de arcilla en el suelo, mayor será la concentración de Cd en el suelo, ocurre que las arcillas tienen una alta CIC, lo que significa que puede retener iones como el Cd, a medida que aumenta la cantidad de arcilla en el suelo, también aumenta la capacidad para retener cadmio en el suelo (Jordá et al., 2004).

El aumento de la concentración de Cd se debe a la alta circulación de los vehículos en este tramo recto de la carretera, habrá más velocidad de los vehículos, y un mayor consumo de combustible, siendo mayor las emisiones de partículas que se van a ir acumulando en el suelo.

Las arcillas aumentan la capacidad del suelo para retener nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y afectan su desarrollo, también hay una menor lixiviación de metales pesados que van hacia las capas más profundas del suelo (López, 2005); sin embargo Sánchez (2028) en la tesis sobre caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas, afirma que la regresión es inversa, es decir que cuando aumenta el porcentaje de arcilla, disminuye la concentración total de cadmio en el suelo, debido a la adsorción e inmovilización del cadmio en el suelo, al ser adsorbido a las partículas de arcilla.

## Figura 22

*Correlación entre la arcilla y la concentración de Cd en los suelos*



Como se puede observar en la figura 23, el coeficiente de determinación es ( $R^2=0.5782$ ), indica que el parámetro de CE se relaciona en un 65.2 % sobre la concentración de cadmio; la obtención de la ecuación lineal del análisis de regresión realizado es:  $y = 0.0848x - 0.0035$ , la que nos permite establecer los datos de la recta de regresión lineal y también permitirá predecir los datos a futuro y ver el comportamiento de la regresión lineal.

En la tabla 19 se observa que el coeficiente de correlación de Pearson es ( $r = 0.6520$ ), significa, que existe una correlación moderada positiva entre las variables quiere decir, que, si el parámetro de la conductividad eléctrica (x) disminuye la concentración de cadmio (y) aumenta, sin embargo, el valor de la significación bilateral es de 0.007, que es menor al 0.05; por lo tanto, existe una correlación significativa entre variables.

En cuanto a la relación obtenida, mientras la CE disminuye, el cadmio aumenta. Estos efectos pueden suceder debido que el pH del suelo afecta la solubilidad del Cd; en tanto que un alto contenido de MO, puede adsorber este elemento en el suelo, reteniéndolo y reduciendo su disponibilidad en forma iónica, la materia orgánica también puede reducir la salinidad del suelo.

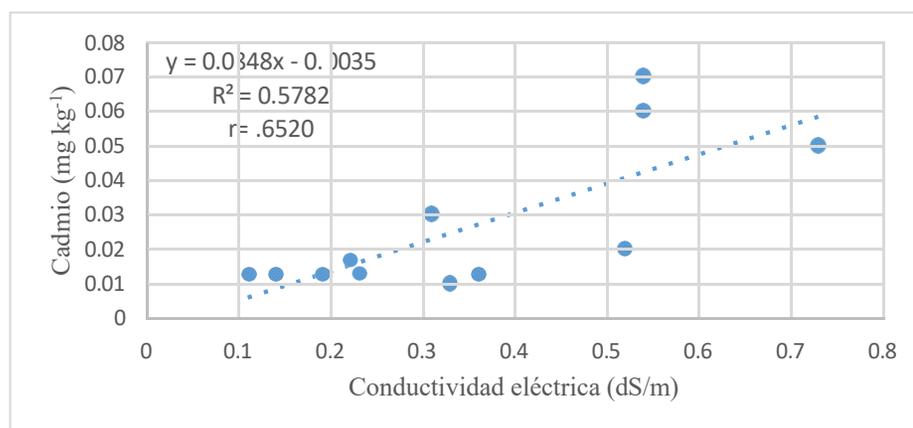
por otro lado, los fertilizantes que los agricultores vienen utilizando en sus cultivos, pueden incrementar la concentración de (Sapaico, 2019).

La conductividad eléctrica (CE) del suelo y la concentración de cadmio (Cd) en el suelo, tienen una relación indirecta. La CE es un indicador de la salinidad del suelo que a su vez puede influir en la disponibilidad y absorción del cadmio.

Sánchez (2008) afirma en la tesis caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas contaminados en cuanto a la correlación indican que cuando se incrementa la conductividad eléctrica disminuye la concentración de Cd en los suelos del distrito de Leonor Ordóñez.

### Figura 23

*Correlación entre la CE y la concentración de Cd en los suelos*



Como se puede observar en la figura 24, el coeficiente de determinación es ( $R^2=0.2376$ ), indica que el parámetro del pH se relaciona en un 48.74 % sobre la concentración de cadmio; la obtención de la ecuación lineal del análisis de regresión realizado es:  $y = 0.0422x - 0.2449$ , la que nos permite establecer los datos de la recta de regresión lineal y también permitirá predecir los datos a futuro y ver el comportamiento de la regresión lineal.

En la tabla 19 se observa que el coeficiente de correlación de Pearson es ( $r = 0.4874$ ), significa, que existe una correlación moderada positiva entre las variables quiere decir, que, si

el parámetro del pH (x) disminuye, la concentración de cadmio (y) aumenta, sin embargo, el valor de la significación bilateral es de 0.059, que es mayor al 0.05; por lo tanto, no existe una correlación significativa entre variables.

La correlación negativa entre el pH y la concentración de Cd en el suelo, es un indicador de que la acidez del suelo está afectando la concentración del cadmio en el suelo.

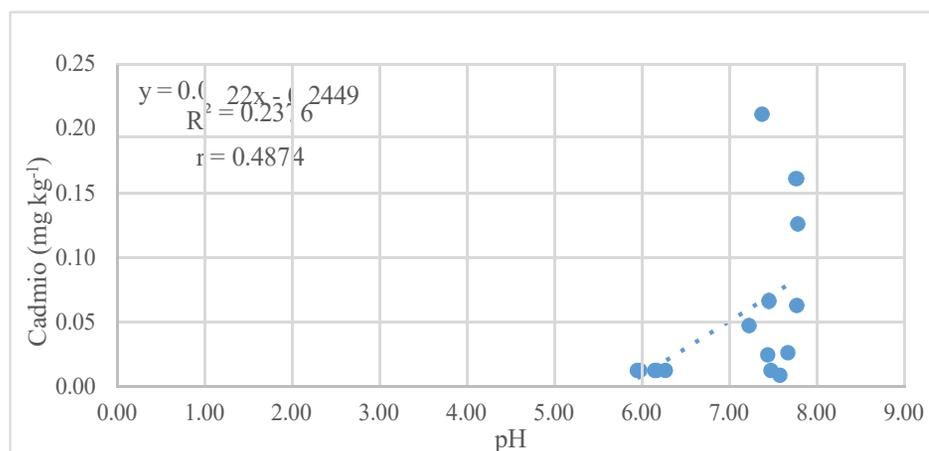
La circulación de vehículos y el uso de fertilizantes pueden actuar sinérgicamente para aumentar la concentración de Cd y disminuir el pH del suelo, la acidez del suelo aumenta la solubilidad del Cd, lo que lo hace más biodisponible para las plantas (Mendoza, 2021).

Cárdenas (2012) menciona que los metales generalmente quedan retenidos en el suelo a pH básicos, mientras que a pH ácidos los metales están más solubles, por lo tanto, mayor será la disponibilidad para las plantas.

Sánchez (2008) afirma en la caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas contaminados en cuanto a la correlación, que cuando el pH aumenta, la concentración de Cd en el suelo disminuye, lo que se puede atribuir a que se generan precipitados por el pH alcalino y las altas concentraciones de Cd encontradas en estos suelos.

## Figura 24

*Correlación entre el pH y la concentración de Cd en los suelos*



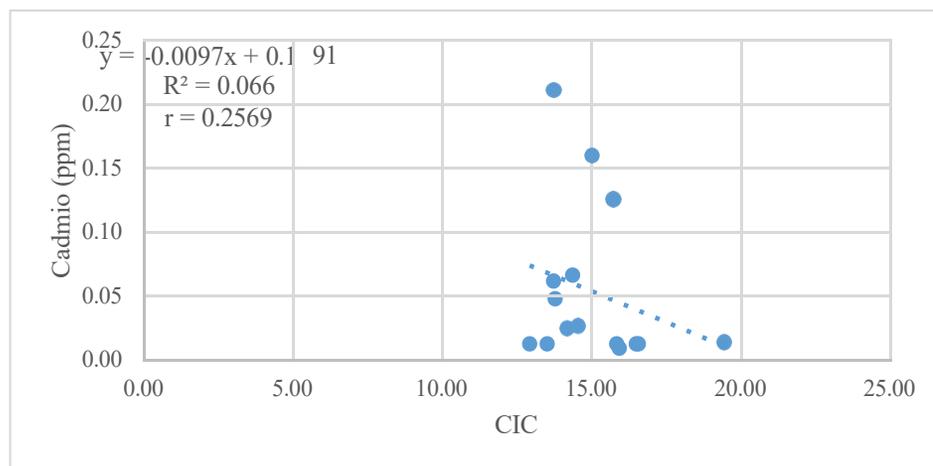
Como se puede observar en la figura 25, el coeficiente de determinación es ( $R^2=0.066$ ), indica que el parámetro de la capacidad de intercambio catiónico se relaciona en un 25.69 % sobre la concentración de cadmio; la obtención de la ecuación lineal del análisis de regresión realizado es:  $y = -0.0097x + 0.1991$ , la que nos permite establecer los datos de la recta de regresión lineal y también permitirá predecir los datos a futuro y ver el comportamiento de la regresión lineal.

En la tabla 19 se observa que el coeficiente de correlación de Pearson es ( $r = 0.2569$ ), significa, que existe una correlación negativa entre las variables quiere decir, que, si el parámetro de la capacidad de intercambio catiónico (x) aumenta, la concentración de cadmio (y) disminuye, sin embargo, el valor de la significación bilateral es de 0.340, que es mayor al 0.05; por lo tanto, no existe es una correlación significativa entre variables.

Cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales, el poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su estado de oxidación y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor carga, menos fuertemente quedan retenidos (Mingorance, 2010).

### Figura 25

*Correlación entre la CIC y la concentración de Cd en los suelos*



Como se puede observar en la figura 26, el coeficiente de determinación es ( $R^2= 0.454$ ), indica que el parámetro de la capacidad de intercambio catiónico se relaciona en un 45.4 % sobre la concentración de cadmio; la obtención de la ecuación lineal del análisis de regresión realizado es:  $y = 0.061x - 0.1857$ , la que nos permite establecer los datos de la recta de regresión lineal y también permitirá predecir los datos a futuro y ver el comportamiento de la regresión lineal.

En la tabla 19, se observa que el coeficiente de correlación de Pearson es ( $r = 0.6738$ ), significa, que existe una relación positiva moderada entre las variables quiere decir, que, si el parámetro de la materia orgánica (x) disminuye, la concentración de cadmio (y) aumenta, sin embargo, el valor de la significación bilateral es de 0.007 que es menor al 0.05; por lo tanto, existe una correlación significativa entre variables.

El cadmio afecta la estructura del suelo, haciéndolo más compacto y menos permeable, esto dificulta la descomposición de la materia orgánica y la formación de humus (Spaico.2019).

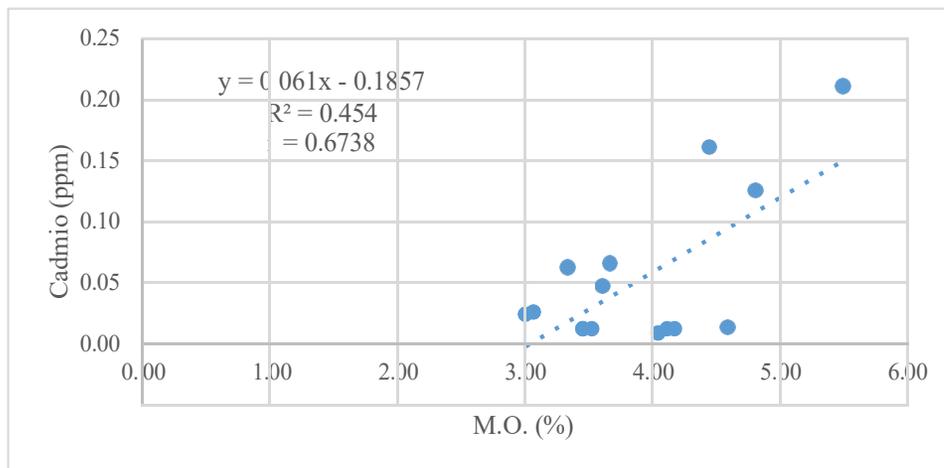
El cadmio puede bioacumularse en las plantas y pasar a la cadena alimentaria, lo que puede tener consecuencias negativas para la salud humana, pudiendo pasar a las aguas subterráneas que son bebidas por los seres vivos; dándose también bioacumulación (Spaico.2019).

La materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio (quelatos). Los metales una vez que forman quelatos o complejos, pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil. La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como el Cd que puede quedar en posición no disponible para las plantas; por eso algunas plantas, de suelos orgánicos pueden presentar carencia de ciertos elementos como Cu, Pb y Zn, ya que forman quelatos solubles muy estables (Gustafsson et al., 2003).

El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. En los suelos ácidos se produce un incremento de Cadmio por parte de las plantas que, a la larga, supondrá un daño potencial en aquellos animales que se alimentan de ellas. Si las concentraciones de este metal en el suelo, en general, son elevadas, los procesos microbiológicos que tiene lugar en él podrían alterarse, viéndose amenazado, por tanto, el buen funcionamiento del medio (Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes, 2007).

### Figura 26

*Correlación entre MO y la concentración de Cd en los suelos*



## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1. Conclusiones

- La concentración de los metales pesados Pb y Cd en los suelos de un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada, denominado La Pampa de La Culebra; en las distancias de 10, 20, 30 y 40 metros, perpendiculares a la carretera, no superan los Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos agrícolas, por tanto, estos metales no van a tener efectos adversos significativos para el suelo y los cultivos que se siembran en el lugar mencionado. En cuanto para la normativa de los Estados Unidos de Norteamérica, indica que el contenido de Cd en suelos supera los límites permisibles.
- En los análisis de los promedios de los parámetros edáficos de los campos de cebada, trigo y avena forrajera, indican para el pH, que son suelos ligeramente ácidos, neutros y moderadamente alcalinos, el contenido de MO indica que son suelos medios, a nivel textural los suelos califican como franco y franco arcillosos, asimismo los suelos califican con alta y media CIC; en atención a la CE los suelos se encuentran libres de sales.
- Los mayores valores de Cd, se encontraron más cercanos a la carretera, en el campo de trigo a los 10 metros y para el campo de avena forrajera en las distancias de 10 y 20 metros, de lo cual se deduce el mayor aporte de este metal a los suelos adyacentes a ellas, a partir de las fuentes emisoras de este metal en carretera, favorecidas por las condiciones imperantes en éstas.

- En cuanto a los cultivos de cebada, trigo y avena forrajera, los valores encontrados para Cd en estos cultivos, superan los límites permisibles establecidos por organismos internacionales como Codex Alimentarius y la Unión Europea. Para las normativas ambientales, de Suecia y Holanda; los valores de Cd ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) establecidos por estos países son superados, por los encontrados en granos de cebada, trigo y follaje de avena forrajera.
- El coeficiente de correlación entre los parámetros edáficos estudiados y la concentración de Cd en el suelo, muestra una baja relación entre las variables en estudio.
- De acuerdo al análisis correlacional realizado, existe una relación media a alta entre la materia orgánica y la conductividad eléctrica con la concentración de cadmio de los suelos de los campos de cebada, trigo y avena forrajera; es decir, que a medida que estos dos parámetros incrementen su valor, la concentración de Cd en los suelos estos campos, también incrementará su valor.

## **5.2. Recomendaciones**

- ✓ Realizar análisis de suelos de esta zona para otros metales pesados.
- ✓ Realizar trabajos de investigación, semejantes al presente en otras vías de alta circulación vehicular.
- ✓ Realizar análisis de calidad del aire, en cuanto a concentración de Pb y Cd.

## CAPÍTULO VI.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J; Dorronsoro, C.; Galán, E y Gómez Ariza, J.L. (1999). *Los criterios y estándares para declarar un suelo como contaminado en Andalucía y la metodología y técnica de toma de muestras y análisis para su investigación*. Investigación y Desarrollo Medioambiental en Andalucía. Universidad de Sevilla. 64p.
- Mendoza Escalona, Betty; Dulio Torres, Rodríguez; L. M. Marcó; C. Gómez; M. Estanga Barrios; García Orellana. (2021). *Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza*. Instituto Tecnológico Metropolitano. Colombia:<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344265925001>
- Bellido, V. (2018). *Niveles de plomo en los suelos de la urbanización primavera, distrito del Agustino*. [Tesis para Título. Ing. Amb. Universitario Federico Villarreal]. Lima – Perú.
- Castañeda Reyes, DM. (s.f.) *Derivados del petróleo (en línea)*. México:
- Castellanos, J.Z. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas*. Segunda edición. Intagri, S.C. Guanajuato, México. 226 p.
- CODEX (contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos) (1995). *Norma General del Codex para los alimentos y piensos*. p.2-49  
[https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/livestockgov/documents/CXS\\_193s.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf)
- Correa García, Carmen. (2016). *Ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud por la utilización de suelos ricos en cadmio*. [Tesis Farm. Universidad Complutense].

<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/30a1448a-449a-4a92-9ca7->

[db7306461f63/content](https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/30a1448a-449a-4a92-9ca7-db7306461f63/content)

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo y establecen disposiciones complementarias.*

<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/011-2017->

[minam\\_0.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/011-2017-minam_0.pdf)

DOUE (Diario Oficial de la Unión Europea). (2021). *Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios.*

<file:///C:/Users/Informatica/desktop/tesis%20a%20modificarlosegun%20jurados/codex>

[/cxs\\_193s.pdf](file:///C:/Users/Informatica/desktop/tesis%20a%20modificarlosegun%20jurados/codex/cxs_193s.pdf)

Escobar Layme, B. (2013). *Evaluación de parámetros de rendimiento de cultivares y líneas de cebada (Hordeum vulgare L).* [Tesis Ing. Agron. UNSCH]. Ayacucho Perú 69p.

Ferreira S., AJ. (2007). *Revisión de procedimientos de separación y concentración para la Determinación de cadmio mediante técnicas espectro métricas. Revista de materiales peligrosos.*

Galán Huertos., E. y A. Romero B. (2008). *Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la sociedad española de mineralogía. MACLA.*

García Romero E. (s.f.). *Las arcillas propiedades y usos.* Universidad de Salamanca. Madrid.

García, C; Moreno JL; Hernández, T. (2002). *Metales pesados y sus implicaciones en la calidad de los suelos.*

Gómez L. (2008). *El Cultivo de Trigo en el Perú y sus Requerimientos Hídricos.* Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

- Gustafsson, J.P., Pechova, P., Bergren, D. (2003). *Modelado de la unión de metales a los suelos el papel de la materia orgánica natural*. Tecnología de ciencias ambientales.
- Hernández, A.H. (2011). *Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Universidad de la sierra de Juárez. Larios Bayona*. Niveles de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en los suelos de ribera de la cuenca del río. Universidad Autónoma de Barcelona.  
<https://www.google.com/search?rlz=pereira+z+1980+contaminacion+del++suelo+por+metales+pesados>
- Herrera, J; Rodríguez, S; Rojas, J. (2012). *Determinación de las emisiones de contaminantes del aire generadas por fuentes móviles en carreteras de Costa Rica*. Tecnología en Marcha, 63p.
- Huashuayo Donayre J. R (2021). *Determinación de cadmio y plomo en granos de cacao (Theobroma cacao L.)*. Procedente de tres sectores del distrito de Ayna-Ayacucho -2021 Lima- Perú.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación agraria). (2007). *avena forrajera INIA903 – tayko andenes*.  
[https://www.inia.gob.pe/wpcontent/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/avena/INIA\\_903.pdf](https://www.inia.gob.pe/wpcontent/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/avena/INIA_903.pdf)
- Kabata y Pendías S. y H. Pendías. (1984). *Oligoelementos en suelos y plantas*. Prensa CRC, Boca Ratón, Florida.
- Korc M, (2001). *Guías para Plomo de la OMS, OPS/OMS-CEPIS*. Perú 2001.
- LAMA, D. 1995. *Paquete Tecnológico del Cultivo de Cacao en la Región Alto Huallaga*; Ministerio de Agricultura. 5 ed. Tingo María, Perú, s.n. 622 p.

- Lavado Rodríguez. (1998). *Metales pesados en suelos de Argentina: Comparación entre suelos urbanos y agrícolas, comunitario. Ciencia del suelo Planta.*
- López A.H. (2016). *Respuesta del cultivo de avena forrajera a la aplicación de lixiviados de lombricomposta.* Título.Ing. Agron. UNAAM. Cuautitlán Izcalli-México 1- 63p.
- López Arias, Grau Corbí, J.M. (2004). *Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de pastos de la España Peninsular.*
- López Gomes, Felix A; López Delgado, Aurora. (2009). *Tratamiento de neumáticos fuera de uso y posibilidades de obtención de negro de humo de alta pureza Madrid.*  
<http://digital.csic.es/handle/10261/17979Los-metales-pesados-en-el-suelo.pdf>  
([fertilab.com.mx](http://fertilab.com.mx))
- Llosa, R. (1990). *Niveles de Pb, Cd, Zn y Co de suelos en el área metropolitana y suburbana Buenos Aires.*  
[https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0,5&q=Introduccion+del+suelo+a+los+Plomo+y+cadmio+vehicular.](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=Introduccion+del+suelo+a+los+Plomo+y+cadmio+vehicular)
- Mendoza Escalona, Betty; Torres Rodríguez, Dulio; Marú Marcó, Lué; Gómez, Carlos; Estanga Barrios, Marisela y García Orellana, Yelitza. (2021). *Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza.* Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia.
- Mengel, K., Kirby. (2001). *Contaminación por automóviles.* International. Berna Suiza.
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). (2022). *Clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.* Decreto Supremo N° 005-2022 Lima- Perú. 28p.  
<https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/04/2060758-1-1.pdf>

- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2014). *Dirección Guía para el Muestreo de Suelos/ General de Calidad Ambiental*. Decreto Supremo N° 002- 2013 Lima- Perú.  
<https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2017). *Estándares de Calidad Ambiental para suelo*. Decreto Supremo N° 011-2017- lima- Perú.
- Navarro Loja, Sussy. (2019). *Efecto del uso del suelo en las propiedades de textura y pH de la parcela 112 del km 47 de la carretera Iquitos – Nauta* facultad de ciencias forestales escuela de formación profesional de ingeniería en ecología de bosques tropicales (UNAP) tesis ing. en Ecología de bosques tropicales Iquitos- Perú.
- Navarro Valdivia, Gustavo. (2019). *La diversidad de gasolineras en el Perú - Alerta Económica*.
- Peris Mendoza, M. (2006) *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de castellón*. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia.
- Pinto, A.P., Mota, A.M., De Varennes, A., Pinto, F.C. (2004). *Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants*. Science of the Total Environment 326 p.
- Quevedo Sarabia, Teresita Paola. (2001). *Estudio de la concentración por Plomo y Cadmio en las pasturas cultivadas y suelo del valle de Cajamarca*. Tesis. Ing. Agr. UNC- Perú.
- Quispe Salazar, Sergio N. (2017). *Vulnerabilidad De La Infraestructura Vial Ante Incremento Del Parque Automotor En La Ciudad De Cajamarca*. Maestría en Ciencias- Universidad nacional de Cajamarca. 149p.  
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1333/VULNERABILIDAD20DE%20LA%20INFRAESTRUCTURA%20VIAL%20ANTE%20INCREMENTO>

Ramírez Augusto. (2002). *Toxicología del cadmio: conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 51p.

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63\\_n1/pdf/toxicologia\\_cadmio.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63_n1/pdf/toxicologia_cadmio.pdf)

Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO p 1-144. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>

Ruiz Cabrera, Karina Yanet. (2002). *Estudio de la concentración por Plomo y Cadmio en algunos cultivos alimenticios y suelos adyacentes a la carretera Cajamarca-Bambamarca*. Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional de Cajamarca – Perú.

Saavedra Vargas, JD. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular*. Tesis. Ing. Amb. UNDAC - Lima – Perú 71p.

Sánchez Tello, CH.F. (2018). *Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas contaminados con cadmio en el distrito de Leonor Ordoñez, provincia de Jauja -Junín-PERÚ*. Ing. Ambiental. UC 102p.

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.

Sapaico Chancasanampa, Yosselyn. (2019). *Efecto de la cal, materia orgánica y EM en el contenido de cadmio de un suelo contaminado en el centro poblado de Huancaní, distrito de Leonor Ordoñez, provincia de Jauja – Huancayo*. Tesis. Ing. Amb. UNC-Perú Universidad Continental. 85p.

Seoáñez Calvo, M. (1999). *Contaminación del suelo estudios tratamientos y gestión mundi*. Madrid- España.

UE (Unión Europea). (2021). *Comisión del 10 de agosto de 2021 que modifica el Reglamento (CE) 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en determinados productos alimenticios*.

Wagner, G. (1993). *Accumulation of cadmium in crop plant and its consequences to human health*. In *advnces in agronomy*, Volumen 51. Lexington, Kentucky – EE-UU.

Zafra Mejía, Carlos Alfonso., Luengas Pinzón, Edgar Camilo., Temprano González. (2013). *Influencia del tráfico en la acumulación de metales pesados sobre vías urbanas*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, Colombia p 146-160.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43029146013>

## ANEXO 1. Presentación de la matriz de consistencia

**Tabla 20**

*Matriz de consistencia*

Problema	Objetivos	Variables	Hipótesis	Unidad de análisis
<p>Pregunta general</p> <p>¿Cuál es la concentración de plomo (Pb) y cadmio Cd en los suelos, cultivos alimenticios, pasturas y valores de los parámetros edáficos de los terrenos ubicados en las márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca- La Encañada?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la concentración de plomo (Pb) y cadmio Cd en los suelos, cultivos alimenticios, pasturas y los valores de los parámetros edáficos, en los terrenos ubicados en las márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca – La Encañada.</li> </ul> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la concentración de plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en los suelos, cultivos alimenticios y pasturas, a diferentes distancias de las márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca-Encañada (Pampa de la Culebra).</li> </ul>	<p>Concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en suelos, cultivos alimenticios y pasturas en los terrenos ubicados en las márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca – Encañada.</p> <hr/> <p>pH de los suelos a evaluar</p>	<p>La concentración de plomo (Pb) y cadmio Cd en los suelos, cultivos alimenticios y pasturas instalados en los terrenos ubicados en las márgenes de un tramo de la Cajamarca- La Encañada, superan los estándares o valores de referencia aprobados por la normativa nacional e internacional.</p>	<p>Los suelos y cultivos ubicados en las márgenes de un tramo de la carretera Cajamarca- La Encañada</p>

- 
- Determinar los valores de los parámetros edáficos en los suelos a evaluar, a diferentes distancias de los terrenos ubicados en las márgenes en un tramo de la carretera Cajamarca-Encañada (Pampa de la Culebra).  
Contenido de arcilla  
Materia orgánica de los suelos a evaluar.
  - Determinar la relación de los parámetros edáficos: pH, textura (contenido de arcilla), materia orgánica (M.O), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE) con la concentración de cadmio en los suelos, en un tramo de la carretera Cajamarca - La Encañada.  
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos a evaluar.  
Conductividad eléctrica (CE) de los suelos a evaluar.
-

## ANEXO 2. Resultados del laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego - Universidad Nacional Agraria la Molina



### UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH  
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO  
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017190

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables						Elementos pesados totales	
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
												Cmol (+) / Kg							
17190	MS 02-1	0.22	24.72	40.00	35.28	Franco arcilloso	6.15	4.58	68.39	266.00	-	19.41	17.30	1.38	0.10	0.57	0.05	<0,3	<0,012

Eusebio Ingol Blanco, PhD.  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017191

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables						Elementos pesados totales	
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
Cmol (+) / Kg																			
17191	MS 02-2	0.23	26.72	42.00	31.28	Franco arcilloso	5.95	4.12	64.51	256.00	-	16.50	14.50	1.22	0.15	0.58	0.06	<0,3	<0,012

Eusebio Ingo Blanco, PhD.  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017192**

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					Elementos pesados totales		
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
												Cmol (+) / Kg							
17192	MS 02-3	0.14	40.72	46.00	13.28	Franco	6.17	3.46	69.96	176.40	-	16.58	15.20	0.75	0.21	0.37	0.05	<0,3	<0,012

Eusebio Ingo Blanco, PhD.  
 JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n telef.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017193**

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					Elementos pesados totales		
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm	
												Cmol (+) / Kg							
17193	MS 02-4	0.11	40.72	45.00	14.28	Franco	5.98	3.46	66.91	226.00	-	13.52	11.80	1.05	0.11	0.51	0.05	<0,3	<0,12

Eusebio Ingol Blanco, PhD.  
 JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017194**

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables						Elementos pesados totales	
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
												Cmol (+) / Kg							
17194	MS 03-1	0.73	43.72	37.00	19.28	Franco	7.21	3.60	62.29	183.60	43.82	13.79	12.87	0.55	0.12	0.26	-	<0,3	0.05

Eusebio Ingol Blanco, PhD.  
 JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017195**

**ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN**

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables						Elementos pesados totales	
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
17195	MS 03-2	0.19	30.72	48.00	21.28	Franco	6.27	3.53	69.31	173.00	-	12.94	11.80	0.66	0.10	0.33	0.05	<0,3	<0,012

Eusebio Ingo Blanco, PhD.  
 JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017196**

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					Elementos pesados totales		
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
17196	MS 03-3	0.36	40.72	46.00	13.28	Franco	7.48	4.18	99.33	478.00	5.19	15.84	13.95	0.96	0.11	0.82	-	<0,3	<0,012

Eusebio Ingol Blanco, PhD.  
 JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017197**

**ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN**

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					Elementos pesados totales		
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm	
												Cmol (+) / Kg							
17197	MS 03-4	0.33	41.72	43.00	15.28	Franco	7.58	4.05	99.79	494.00	4.52	15.93	14.00	1.04	0.07	0.82	-	<0,3	0.01

Eusebio Ingoj Blanco, PhD.  
 JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017198**

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					Elementos pesados totales		
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
												Cmol (+) / Kg							
17198	MS 04-1	0.54	36.72	40.00	23.28	Franco	7.44	3.66	74.49	238.00	8.71	14.38	13.07	0.57	0.25	0.49	-	<0,3	0.07

Eusebio Ingal Blanco, PhD.  
 JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017199**

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					Elementos pesados totales		
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
												Cmol (+) / Kg							
17199	MS 04-2	0.37	36.72	39.80	23.48	Franco	7.76	3.33	69.59	248.00	7.70	13.73	12.55	0.70	0.08	0.40	-	<0,3	0.06

Eusebio Ingo Blanco, PhD.  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017200

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					Elementos pesados totales		
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>-</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
17200	MS 04-3	0.31	40.00	48.72	11.28	Franco	7.67	3.07	86.77	264.00	3.93	14.55	13.22	0.82	0.06	0.45	-	<0,3	0.03

Eusebio Ingo Blanco, PhD.  
JEFE DE LABORATORIO





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO**  
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 017201**

### ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

**SOLICITANTE** : GLADIS HORNA, VÁSQUEZ  
**PROYECTO** : "ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO(Pb), CADMIO (Cd) EN LOS SUELOS, CULTIVOS ALIMENTICIOS, PASTURAS Y VALORES DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, DE LOS TERRENOS UBICADOS EN LAS MÁRGENES DE UN TRAMO DE LA CARRETERA CAJAMARCA- LA ENCAÑADA"  
**UBICACIÓN** : Cajamarca- La Encañada (pampa de la culebra)  
**RESP. ANÁLISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Porras  
**FECHA DE ANÁLISIS** : La Molina, 09 de agosto de 2021

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO <sub>3</sub> %	Cationes Cambiables					Elementos pesados totales		
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Pb ppm	Cd ppm
												Cmol (+) / Kg							
17201	MS 04-4	0.52	42.00	48.72	9.28	Franco	7.44	3.01	87.97	256.00	3.35	14.20	12.80	0.82	0.10	0.48	-	<0,3	0.02

Eusebio Ingoi Bianco, PhD.  
 JEFE DE LABORATORIO



### ANEXO 3. Resultados del laboratorio de análisis de plantas, aguas y fertilizantes



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



#### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : GLADIS HORNA VASQUEZ  
 PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CAJAMARCA/ LA ENCAÑADA/ PAMPA DE LA CULEBRA  
 MUESTRA : TEJIDOS VEGETALES  
 REFERENCIA : H.R. 77140  
 BOLETA : 5218  
 FECHA : 04/07/2022

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb ppm	Cd ppm
1471	MTV 02-1	1.70	0.36
1472	MTV 02-2	2.15	0.45
1473	MTV 02-3	1.85	0.30
1474	MTV 02-4	1.98	0.35
1475	MTV 03-1	2.53	0.75
1476	MTV 03-2	2.44	0.33
1477	MTV 03-3	2.83	0.30
1478	MTV 03-4	2.08	0.38
1479	MTV 04-1	1.05	0.40
1480	MTV 04-2	2.13	0.55
1481	MTV 04-3	2.06	0.48
1482	MTV 04-4	2.10	0.53



*Dr. Constantino Calderón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
 Celular: 946-505-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

## ANEXO 4. Tabla resumen de los análisis de suelos

### Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 1-P-1

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.22	Franco arcillosos	6.15	4.58	19.41	< 0.3	<0.012
Calificación		Moderadamente fina	Ligeramente ácido	Alto		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.  
Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 21**

### Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 1-P-2

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.23	Franco arcillosos	5.95	4.12	16.50	< 0.3	<0,012
Calificación		Moderadamente fina	Moderadamente ácido	Alto		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.  
Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 22***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 1, P-3*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.14	Franco	6.17	3.46	16.58	< 0.3	<0,012
Calificación		Media		Medio		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.

Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 23***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 1, P-4*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.11	Franco	5.98	3.46	13.52	< 0.3	<0,012
Calificación		Media		Medio		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.

Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 24***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 2, P-1*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.73	Franco	7.21	3.60	13.79	< 0.3	0.05
Calificación		Media		Medio		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.

Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 25***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 2. P- 2*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.19	Franco	6.27	3.53	12.94	< 0.3	<0.012
Calificación		Media		Medio		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.

Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 26***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 2, P-3*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.36	Franco	7.48	4.18	15.84	< 0.3	<0.012
Calificación		Media		Alto		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.

Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertilriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 27***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 2,, P-4*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.33	Franco	7.48	4.05	15.93	< 0.3	0.01
Calificación		Media		Alto		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.

Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertilriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 28***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 3, P-1*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.54	Franco	7.44	3.66	14.38	< 0.3	0.07
Calificación		Media		Medio		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.

Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 29***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 3, P-2*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.54	Franco	7.76	3.33	13.73	< 0.3	0.06
Calificación		Media		Medio		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.

Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 30***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 3, P-3*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.31	Franco	7.67	3.07	14.55	< 0.3	0.03
Calificación		Media		Medio		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG:	D.S. N° 005-2022-AG:	D.S. N° 005-2022-AG:	D.S. N° 005-2022-AG:	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.  
Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**Tabla 31***Parámetros edáficos y metales pesados del suelo campo 3, P-4*

Parámetro	CE	Textura	pH	M.O	CIC total	Pb	Cd
Unidad de medida	dS/m Relación 1:1	Clase textural		%	Cmol(+)/kg	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Resultado	0.52	Franco	7.44	3.01	14.20	< 0.3	0.02
Calificación		Media		Medio		La concentración de Pb total encontrada es menor al ECA suelo.	La concentración de Cd total encontrada es menor al ECA suelo.
Referencia	D.S. N° 005-2022-AG	D.S. N° 005-2022-AG	D. D.S. N° 005-2022-AG:	D.S. N° 005-2022-AG:	Dpto. de suelos y fertilizantes U.N. Agraria La Molina	ECA suelo (70 mg.kg <sup>-1</sup> )	ECA suelo (1.4 mg.kg <sup>-1</sup> )

D.S. N° 005-2022-AG: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.  
Reporte del Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fertiliriego, de la Universidad Nacional Agraria la Molina

**ANEXO 5. Panel fotográfico del área de estudio tramo carretera Cajamarca-La  
Encañada Pampa de La Culebra**

**Figura 27**

*Área de estudio tramo carretera Cajamarca- La Encañada Pampa de la culebra*



**Figura 28**

*Señalización de los puntos de muestreo en las distancias de 10, 20, 30, y 40 metros*



**Figura 29**

*Corte del cultivo, limpieza y medición del hoyo de muestreo de suelos*



**Figura 30**

*Medición del hoyo en el punto de muestreo del suelo*



**Figura 31**

*Extracción del suelo en el punto de muestreo*



**Figura 32**  
*Extracción del suelo en el punto de muestreo*



**Figura 33**  
*Obtención de la muestra del suelo*



**Figura 34**  
*Embolsado y etiquetado de las muestras de suelos*



**Figura 35**  
*Recolección de las espigas de cebada y trigo*



**Figura 36**  
*Recolección y etiquetado de los granos de trigo y cebada*



**Figura 37**  
*Recolección del cultivo del follaje de la avena forrajera y etiquetado*

