

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**CALIDAD DE SUELO COMO UN INDICADOR DE CONTAMINACION EN EL  
BOTADERO LA MUYUNA, DISTRITO DE RUPA RUPA, PROVINCIA DE  
LEONCIO PRADO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**VICTOR RUFINO BARRON**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María – Perú



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 016-2020-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 04 de julio de 2019, a horas 07:00 p.m. en la Sala de Conferencias de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

**“CALIDAD DE SUELO COMO UN INDICADOR DE CONTAMINACION  
EN EL BOTADERO LA MUYUNA, DISTRITO DE RUPA RUPA,  
PROVINCIA DE LEONCIO PRADO”**

Presentado por la Bachiller: **RUFINO BARRON, Víctor**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 18 de setiembre de 2020

Ing. MSc JOSE D. LEVANO CRISOSTOMO  
PRESIDENTE

Ing. Mg. ROBERTO OBREGÓN PEÑA  
MIEMBRO

Ing. MSc. SANDRO RUIZ CASTRE  
MIEMBRO



Blgo. CESAR A. GOZME SULCA  
ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**CALIDAD DE SUELO COMO UN INDICADOR DE CONTAMINACION EN EL  
BOTADERO LA MUYUNA, DISTRITO DE RUPA RUPA, PROVINCIA DE  
LEONCIO PRADO**

Autor : RUFINO BARRON, Víctor  
Asesor : Blgo. GOZME SULCA, Cesar  
Programa de investigación : Gestión ambiental  
Línea de investigación : Desarrollo sostenible  
Eje temático de investigación : Índices, indicadores y estándares de calidad ambiental  
Lugar de ejecución : Rupa Rupa - Muyuna  
Duración : Fecha de inicio : Julio 2016  
Terminó: Diciembre 2016  
Financiamiento : Propio

**TINGO MARÍA - PERÚ**

2019

## DEDICATORIA

*Esta tesis, se la dedico a las personas más importantes de mi vida, a mi papá Víctor Rufino Pacheco y a mi mamá Elsa Barrón Montoya (Q.E.P.D), por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, ya que muchos de mis logros se les debo a ustedes.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento a Dios, no de palabras, sino de sentimientos reales, por darme la vida, su bondad y trazarme mi sendero, por concederme la sabiduría y la responsabilidad que le pido para cumplir con cada propósito y meta de mi vida y por nunca abandonarme.

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por la oportunidad de crecimiento y desenvolvimiento tanto intelectual como profesional; de igual manera a todos mis profesores de la especialidad de Ingeniería Ambiental por brindarme sus enseñanzas.

A mis hermanas Mónica, Nancy, Elcira y Doris, por su apoyo incondicional y siempre estar a mi lado.

A mis sobrinos que siempre estuvieron conmigo en todo momento.

A mis cuñados David y Pedro por todo su apoyo que me dieron para cumplir todas mis metas.

A los miembros del jurado Ing. José Lévano Crisóstomo, Ing. Sandro Ruiz Castre y Ing. MSc. Roberto Obregón Peña, por las atenciones prestadas a lo largo de este proceso.

A mi asesor Blgo. César Augusto Gozme Sulca, por sus aportes durante el presente trabajo de investigación.

A mi amigo Jimmy More, por su amistad y apoyo en la elaboración del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo general .....	3
1.2. Objetivos específicos .....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1. Suelo .....	5
2.2. Calidad del suelo .....	7
2.3. Indicadores de la calidad del suelo .....	9
2.3.1. Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo.....	12
2.3.2. Indicadores químicos.....	19
2.3.3. Indicadores biológicos .....	21
2.4. Propiedades microbiológicas del suelo .....	22
2.4.1. Agentes patógenos del suelo .....	22
2.5. Contaminación del suelo.....	24
2.6. Efectos de la contaminación del suelo .....	28
2.7. Poder depurador de los suelos .....	30
2.8. Metales pesados y elementos traza .....	31
2.9. Estándares Internacionales de calidad del suelo .....	35
2.10. Índice de Calidad del Suelo .....	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	37
3.1. Descripción de la zona de estudio .....	37
3.1.1. Lugar de ejecución .....	37
3.1.2. Aspectos ambientales .....	37
3.1.3. Materiales.....	38
3.1.4. Equipos .....	38
3.2. Metodología .....	39

3.2.1.	Toma de Muestra .....	39
3.2.2.	Tipos de Muestreo.....	39
3.2.3.	Técnicas de Muestreo.....	40
3.2.4.	Determinación de los puntos de Muestreos.....	40
3.2.5.	Análisis fisicoquímicos del suelo .....	42
3.2.6.	Análisis microbiológico del suelo. ....	43
3.2.7.	Análisis Biológico del suelo.....	44
3.2.8.	Índice de biodiversidad.....	45
3.2.9.	Índice de calidad.....	46
IV.	RESULTADOS.....	49
4.1.	Determinación las características físico-químicas .....	49
4.1.1.	Análisis Mecánico.....	49
4.1.2.	Análisis Químico.....	57
4.2.	Determinación de las características microbiológicas .....	81
4.3.	Determinación de los parámetros biológicos.....	86
4.4.	Determinar el índice de calidad de suelos.....	89
V.	DISCUSIÓN .....	92
VI.	CONCLUSIÓN .....	96
VII.	RECOMENDACIONES .....	98
VIII.	ABSTRACT.....	99
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	100
	ANEXOS.....	103

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Indicadores físicos presentados para observar los cambios que ocurren en el suelo .....	14
2. Indicadores químicos propuesto para evaluar los cambios que ocurren en el suelo.....	20
3. Indicadores biológicos planteados para evaluar los cambios que ocurren en el suelo.....	21
4. Característica de los principales seres vivos patógenos encontrados en los Residuos Sólidos.....	23
5. Microorganismos identificados en muestras ambientales obtenidas durante el proceso de compostaje de residuos sólidos .....	24
6. Micronutrientes y macronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos.....	33
7. Estándares de Calidad Ambiental Inorgánicos para el Suelo .....	34
8. Estándares de calidad de suelos agrícolas indicados en las Guías de Canadá.....	35
9. Número mínimo de puntos de muestreo para el muestreo de identificación ....	41
10. Indicadores físicos y químicos del suelo a evaluar en laboratorio .....	42
11. Cálculo de índices .....	46
12. Indicadores de calidad del suelo.....	46
13. ANOVA con respecto al porcentaje de arena.....	50
14. Prueba T en valores de porcentaje de arena .....	50

15. ANOVA con respecto al porcentaje de arcilla .....	52
16. Prueba T en valores de porcentaje de arcilla .....	52
17. ANOVA con respecto al porcentaje de limo .....	54
18. Prueba T en valores de porcentaje de limo.....	54
19. ANOVA con respecto a la densidad aparente.....	56
20. Prueba T en valores de densidad aparente .....	56
21. ANOVA con respecto al pH .....	59
22. Prueba T en valores de pH.....	59
23. ANOVA con respecto al porcentaje de materia orgánica .....	61
24. Prueba T en valores de materia orgánica .....	61
25. ANOVA con respecto al porcentaje de nitrógeno .....	62
26. Prueba T en valores de nitrógeno.....	63
27. ANOVA con respecto a la concentración de fosforo .....	64
28. Prueba T en valores fosforo.....	65
29. ANOVA con respecto a la concentración de potasio.....	66
30. Prueba T en valores de potasio .....	67
31. ANOVA con respecto a la concentración de cadmio total .....	68
32. Prueba T en valores de cadmio total .....	69
33. ANOVA con respecto a la concentración de plomo total.....	70
34. Prueba T en valores de plomo total .....	71
35. ANOVA con respecto a la cambiables Cmol (+)/kg de calcio.....	72
36. Prueba T en valores de la cambiables Cmol (+)/kg de calcio.....	72
37. ANOVA con respecto a la cambiables Cmol (+)/kg de magnesio.....	74
38. Prueba T en valores de la cambiables Cmol (+)/kg de magnesio .....	74
39. ANOVA con respecto a la cambiables Cmol (+)/kg de potasio.....	65

40. Prueba T en valores de la cambiables Cmol (+)/kg de potasio .....	75
41. ANOVA con respecto a la cambiables Cmol (+)/kg de sodio .....	76
42. Prueba T en valores de la cambiables Cmol (+)/kg de sodio .....	78
43. ANOVA con respecto a la cambiables CIC del suelo .....	78
44. Prueba T en valores de la cambiables CIC del suelo .....	79
45. ANOVA con respecto a la enumeración de microorganismos aerobios viables .....	81
46. Prueba T en valores de la enumeración de microorganismos aerobios viables .....	82
47. ANOVA con respecto a la enumeración de fungi .....	83
48. Prueba T en valores de la enumeración de fungi .....	84
49. ANOVA con respecto a la enumeración de actinomicetos .....	85
50. Prueba T en valores de la enumeración de actinomicetos .....	86
51. Macrofauna colectada en suelo contaminado .....	87
52. Cálculo de índices en muestras de suelo contaminado .....	87
53. Macrofauna colectada en suelo sin contaminar .....	88
54. Cálculo de índices en muestras de suelo sin contaminar .....	88
55. Análisis mecánico de las muestras de suelo contaminado del botadero denominado La muyuna .....	106
56. Análisis mecánico de las muestras de suelo no contaminado de la colina adyacente al botadero denominado La muyuna .....	106
57. Análisis químico de las muestras contaminadas del suelo del botadero denominado La muyuna .....	107
58. Análisis químico de las muestras no contaminado de la colina adyacente al botadero denominado La muyuna .....	107
59. Análisis de metales pesados en suelo contaminado .....	108
60. Análisis de metales pesados en suelo no contaminado .....	108

61. Análisis de bases cambiables de muestras de suelo contaminado del botadero denominado La muyuna.....	109
62. Análisis de bases cambiables de muestras de suelo no contaminado de la colina adyacente al botadero denominado La muyuna.....	109
63. Identificación de microorganismos en el suelo contaminado.....	110
64. Identificación de microorganismos de las muestras de suelo no contaminado.....	110
65. Numeración de microorganismos de suelo no contaminado.....	111
66. Numeración de microorganismos en el suelo contaminado.....	111
67. Cálculo de índice de calidad en suelo contaminado.....	112
68. Cálculo de índice de calidad en suelo no contaminado.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Enfoque para la definición de indicadores.....	12
2. Comparación de porcentaje de arena del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna .....	49
3. Comparación de porcentaje de arcilla del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna .....	51
4. Comparación de porcentaje de limo del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.....	53
5. Comparación de densidad aparente del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna .....	55
6. Comparación de pH del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.....	58
7. Comparación de materia orgánica del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.....	60
8. Comparación de nitrógeno (%) del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.....	62
9. Comparación de porcentaje de fosforo del suelo contaminado vs suelo sin contaminar del botadero La muyuna .....	63
10. Comparación de porcentaje de potasio del suelo contaminado vs suelo sin contaminar del botadero La muyuna .....	65

11. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de metales pesados para cadmio en el botadero La muyuna.....	67
12. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de metales pesados para plomo en el botadero La muyuna .....	69
13. Comparación de bases cambiables Cmol (+)/kg de Calcio de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna .....	71
14. Comparación de bases cambiables Cmol (+)/kg de Magnesio de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.....	73
15. Comparación de bases cambiables Cmol (+)/kg de Potasio de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.....	75
16. Comparación de bases cambiables Cmol (+) /kg de Sodio (Na) de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna .....	77
17. Comparación de bases cambiables CIC de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.....	79
18. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de enumeración de microorganismos aerobios viables.....	81
19. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de enumeración de fungi del botadero La muyuna .....	83
20. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de enumeración de actinomicetos del botadero La muyuna .....	85
21. Valores de indicadores normalizados en suelo contaminado.....	89
22. Valores de indicadores normalizados en suelo no contaminado.....	90
23. Índice de calidad del suelo para suelo contaminado y no contaminado .....	91
24. Análisis de suelos en muestra 1 de suelo contaminado .....	113
25. Análisis de suelos en muestra 1 de suelo no contaminado.....	114
26. Análisis de suelos en muestra 2 de suelo no contaminado .....	115

27. Análisis de suelos en muestra 2 de suelo contaminado .....	116
28. Análisis de suelos en muestra 3 de suelo contaminado .....	117
29. Análisis de suelos en muestra 3 de suelo no contaminado .....	118
30. Botadero Municipal La muyuna.....	119
31. Toma de muestra de suelo no contaminado.....	119
32. Toma de muestra de suelo contaminado .....	120
33. Conteo de colonias en muestras de suelo .....	120
34. Pesaje de muestras de suelo para posteriores análisis.....	121
35. Incubación de muestras para análisis .....	121

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es evaluar la calidad del suelo del botadero de La Muyuna en el foco central (muestra contaminada) y alrededores (muestra no contaminada) haciendo uso del análisis estadístico para determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas; comparando así cada característica entre las muestras. Para evaluar la calidad de los suelos, se tomaron en cuenta el número de indicadores y por otro lado se eligieron las propiedades que para la cuenca y el tipo de suelo cumplieron con los criterios que se consideraron más relevantes. Calculándose así, el índice de calidad de suelo, dando como resultado la muestra del suelo contaminado obtuvo un índice de 0.3 clasificándolo como un suelo de Baja calidad, así mismo la muestra de suelo sin contaminar mostro un valor de 0.49 clasificándolo como un suelo de Moderada calidad.

**Palabras clave:** *calidad del suelo, índices, fisicoquímica, microbiológica, biológica.*

## I. INTRODUCCIÓN

Los botaderos de basura son terrenos que se utilizan para depositar desechos sólidos de diferente origen, tanto orgánicos como inorgánico acompañado de un amplio rango de moléculas naturales y xenobióticas. Siendo estos lugares, focos de infección y proliferación de enfermedades; así como también la formación y desfogues incontrolados de lixiviados, reproducción de vectores sanitarios, ausencia de estabilidad geotécnica y cambios en la composición de la flora y la fauna, acompañado de un alto nivel de contaminación ambiental. Por lo que dicha situación, actualmente está influyendo de manera negativa en el estilo de vida y bienestar sostenible de la sociedad. Ante tales condiciones, es importante el monitoreo constante de parámetros tales como: pH, conductividad eléctrica, contenido de metales pesados y biomasa, entre otros.

Por otra parte, según información suministrada a través de un análisis de gestión de residuos sólidos realizado en Perú, se dedujo que la generación per cápita (GPC) promedio de residuos sólidos se ha incrementado de 0.529 kg/hab/día en el año 2001 a 0.7 kg/hab/día, en el año 2007. Así mismo, el incremento de los desechos municipales en general, pasó de 0.711kg/hab/día en el año 2001 a 1.08 kg/hab/día, en el año 2007. Resultados que demuestran la gran cantidad de desechos sólidos que se acumulan y se

genera. Adicionalmente, no se cuenta con un proceso eficiente para la disposición final de residuos sólidos.

Ante la situación expuesta anteriormente, la ciudad de Tingo María como en muchas zonas de Perú, no está exenta de tan compleja y problemática realidad. Siendo una ciudad geográficamente pequeña y en proceso de crecimiento demográfico y económico se enfrenta con grandes dificultades en cuanto a la generación y disposición de desechos sólidos (genera 40 toneladas/día). Es evidente, que la Ciudad de Tingo María se fue expandiendo sin un ordenamiento territorial proporcional a su crecimiento poblacional, aunado a esto, las autoridades municipales no consideraron una planificación en cuanto al control y disposición de los residuos sólidos. En consecuencia, se estableció un botadero de desechos sólidos a 2 Km de la ciudad de Tingo María en el sector la Muyuna, viéndose afectado el río Huallaga, debido a que los desechos son arrojados a orillas del río.

Por consiguiente, a causa del incremento y acumulación de desechos sólidos, el río Huallaga ha superado su capacidad de resiliencia convirtiéndose en un impacto negativo para el agua, suelo, aire y deterioro del paisaje natural de esta zona.

En este sentido, el no disponer de un plan para la disposición y control de una manera apropiada de estos residuos, está afectando toda actividad social y en términos más amplio, se traducirá en un daño ambiental,

que a su vez repercutirá en la salud pública, debido a la proliferación de ratas, moscas microorganismos patógenos, malos olores a consecuencia de la descomposición de la materia orgánica y líquidos del vertedero (lixiviados) que se infiltran en el suelo y contaminan aguas superficiales y subterráneas que comprometen la calidad ambiental a nivel de agua, aire y suelo generando así una disminución de la calidad de los lugares destinados para recrear.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se deduce que actualmente en Tingo María no cuenta con una planta de relleno sanitario, solo existe un botadero donde son arrojados los residuos sólidos, constituyendo una creciente preocupación de su disposición final, así como los impactos negativos que se generan para el suelo, debido a sus componentes tóxicos como es el contenido de metales pesados que podrían contener y de los cuales no se tiene registro. Frente a estos problemas se plantea la siguiente interrogante ¿La disposición inadecuada de residuos ha afectado la calidad del suelo en el botadero de la Muyuna? Como hipótesis, se indica; que la disposición inadecuada de los residuos contaminantes ha alterado el pH, textura y la concentración de metales pesados, afectando la calidad del suelo en el botadero de la Muyuna.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

- Evaluar la calidad del suelo en el botadero La Muyuna, Distrito de Rupa Rupa. Provincia de Leoncio Prado

## 1.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físico-químicas (textura, densidad, pH, CIC, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, metales pesados) del suelo del botadero La Muyuna.
- Determinar las características microbiológicas del suelo del botadero La Muyuna.
- Determinar las características biológicas del suelo del botadero La Muyuna.
- Determinar la calidad del suelo del botadero La Muyuna.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Suelo

El suelo se define, de acuerdo con el glosario de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984) como el material mineral bajo la influencia de factores genéticos y ambientales (material parental, clima, macro y microorganismos y topografía), actuando por un tiempo determinado. (p. 38)

Por otra parte, también es considerado como la capa superior de la tierra que interactúa con la atmósfera y con los estratos que están debajo de él, que afecta el clima y el ciclo hidrológico del planeta, y a su vez influye en el crecimiento de diversos organismos. (Hillel, 1998). Por lo tanto, el suelo desempeña un papel ambiental muy importante, ya que actúa como un reactor bio-físico-químico que contribuye a la descomposición del material de desecho y es reciclado dentro de él suelo.

Los suelos son productivos siempre y cuando sean saludables, además un suelo saludable almacena mejor el agua, concentra más carbono, permite la biorremediación de pesticidas en la mitigación de gases de efecto invernadero, es decir, la salud del suelo es un concepto que va mucho más allá del concepto de productividad kilogramos de granos por hectárea. Es un concepto ligado a productividad, y también se relaciona con la capacidad que el suelo tiene de funcionar y prestar varios e importantes servicios ambientales.

para conservar un suelo saludable es básicamente minimizando el revolvimiento del suelo favorece mucho más la salud del suelo, además de eso se tiene que tener una práctica importantísima y conocida hace mucho tiempo que es la rotación de cultivos, la cual es fundamental para mantener la salud del suelo, el uso de plantas de cobertura cubriendo el suelo durante la época de sequía, manteniendo una cobertura viva sobre el suelo, la presencia de paja en las superficies del suelo es muy importante porque minimiza los impactos de la radiación solar y cuando se es posible realizar la integración con sistemas animales, es decir, la integración cultivos pecuaria es una forma muy interesante de mantener el suelo saludable principalmente a través de la inserción de sistemas de producción agrícola de gramíneas de raíces muy profundas.

Para saber si un suelo es saludable se toma dos enzimas, una del ciclo del carbono y otra del ciclo del azufre llamadas beta glucosadas y arilsulfatadas, estas enzimas nos ayudan a verificar como está la calidad de los suelos, adicionalmente a los análisis que son normalmente realizados para evaluar la parte química y física del suelo además de la materia orgánica, agregando el análisis de las enzimas tenemos lo que se llama básicamente un examen de sangre de los suelos, a través de los análisis seremos capaces de identificar problemas en la salud de los suelos que hasta entonces eran asintomáticos y se podrá de esta forma anticipar problemas que esté ocurriendo en la propiedad rural.

## 2.2. Calidad del suelo

CARTER *et al.* (1997) hace mención que la calidad está representada por la utilidad del suelo para un fin específico sin perjudicar el ambiente, y su salud se establece a través de una evaluación en una escala amplia de tiempo.

En este sentido, la salud del suelo la compone todas aquellas propiedades activas del suelo, tales como contenidos de materia orgánica, diversidad de organismos o productos microbianos en un tiempo específico (Roming, Garlynd, Harris, & Mcsweeney, 1995)

Siguiendo el mismo orden de ideas, el estudio de la calidad del suelo no es tema nuevo (LOWDERMILK, 1953; DORAN *et al.*, 1996; KARLEN *et al.*, 1997; SINGER y EWING, 2000). Históricamente, este concepto fue comparado con el de productividad agrícola, debido a que no se establecía la diferencia entre tierra y suelo. Para aquel tiempo, las tierras de buena calidad eran aquellas que producían a niveles máximos con mínimo de erosión. (Doran & Parkin, 1994) Es de resaltar, que el significado de calidad del suelo ha estado relacionado con el de sostenibilidad, pero éste último ha sido conceptualizado por varios autores. Por ejemplo, para (Budd, 1992), indica que es la cantidad de personas que se pueden establecer en un área determinada. Por otro lado, señala (Buol, 1995), señala que consiste en el aforo para proveer elementos esenciales, pues éstos son finitos y limitan su utilidad y productividad. Por consiguiente, el concepto de calidad del suelo ha seguido tomando auge y evolucionando debido a la multifuncionalidad del suelo. En este sentido el término calidad del suelo empezó a tener relevancia en el momento que se le reconocieron sus funciones entre

ellas estan: (1) generar la productividad del sistema sin dañar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2)mitigar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) proteger la salud de plantas, animales y humanos (Doran & Parkin, 1994) De igual manera, el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America (KARLEN *et al.*, 1997), expone que la calidad se prueba por la suficiencia que tendría el terreno para activarse dentro de los perímetros de su entorno natural o artificial y en consecuencia mejorar la productividad de plantas y animales, así como también contribuir a mejorar la calidad tanto del agua como del aire y proteger la salud humana y el hábitat.

Por todo lo dicho anteriormente, el concepto de calidad ha sido relacionado con términos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Significa entonces que la calidad del suelo es una herramienta que ayuda a comprender la utilidad y salud de este recurso. Pero, aun así, la ciencia del suelo no ha evolucionado lo suficiente para definir de forma explícita el concepto de calidad del suelo.

Para mantener el suelo de manera saludable se tiene que estudiar las características de calidades biológicas, físicas y químicas que nos va a permitir evaluar el suelo y saber si se está manteniendo la calidad inicial o la calidad que nosotros necesitamos para nuestro sistema productivo en esto entre las características biológicas se verá cuantas biomasa microbiana hay y la actividad enzimática que se tiene para saber que los microorganismos si están saludables de que no haya entrado patógenos, las características físicas están relacionadas con el agua en el suelo, como se mueve el agua en el suelo, ahí se

ve la granulometría, la densidad aparente, la porosidad, y en las características químicas son todo lo que tiene que ver con un sistema productivo y entonces se estaría pensando esa relación carbono nitrógeno, en su contenido de intercambio de cationes o la capacidad que el suelo tiene para retener nutrientes.

### **2.3. Indicadores de la calidad del suelo**

Un indicador de calidad de suelo, es un indicador que evalúa como está el funcionamiento del suelo puede estar relacionado con la parte química, la parte física y la parte biológica. La calidad de suelo permite tener una idea de funcionamiento de la maquinaria biológica del suelo, si el suelo está funcionando adecuadamente o no.

Es importante resaltar que no existen, aún en tiempos de avance tecnológicos, principios que permitan analizar los niveles de degradación y disminución en cuanto la calidad suelo, así como tampoco su impacto en beneficio de la humanidad y del ambiente. (Arshad & Coen, 1992). Es por ello la importancia en determinar aquellas variables que permitan evaluar la condición del suelo.

Estas variables según indica (Adriaanse, 1993), representan los indicadores que funcionan como instrumentos de análisis que simplifican, cuantifican y comunican fenómenos complejos.

Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (Soil Quality Institute, 1996). La Figura 1 indica un guía para la descripción de indicadores propuesto por (Hunnemeyer, de Camino, & Mullers, 1997). Este enfoque permite que los

indicadores de calidad del suelo se consideren activos en el tiempo. De allí, que en cada situación particular habría que establecer un punto equilibrio entre los tres objetivos del desarrollo sostenible.

Por otra parte, La textura es una de características o indicadores, texturas medias y una textura arcillosa quiere decir que el agua se va a mover más lento lo cual impediría el lavado de algunos contaminantes que se pudiera tener, o por otro lado un suelo arenoso llegaría y permitiría que el agua se vaya rápidamente lo cual nos da un poco retención de humedad y por lo tanto la actividad microbiana podría ser menor.

La profundidad del suelo es sumamente importante porque nos va a decir a nosotros cuanta vegetación puede crecer en él normalmente sobre los que tengan un metro de profundidad para tener una producción adecuada, sin embargo, se conoce suelos que son delgados y también muy profundos.

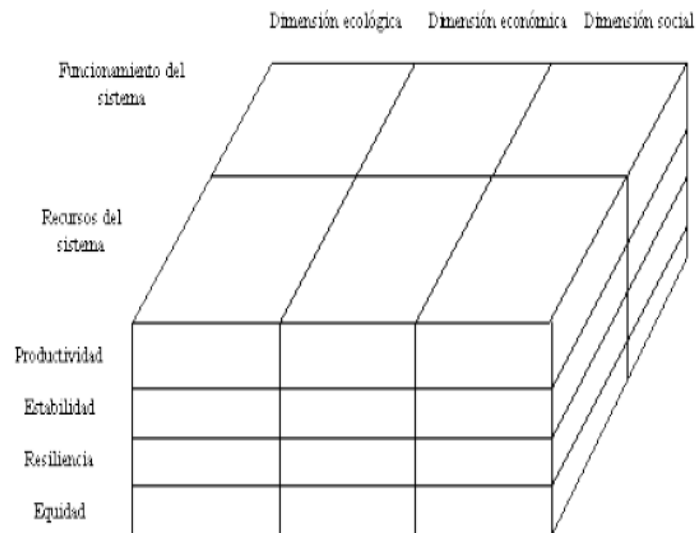
La densidad aparente podría ser alterada con la maquinaria para la mecanización del suelo y que se podría alterar la densidad en la ganadería cuando se tienen usos intensivos del suelo de manera tal que podría tener más carga animal que la que soporta o cuando se tiene con sus extensivos en donde no se tiene bien divididos.

La capacidad de retención de la humedad del suelo, no todas las arcillas son buenas para retener humedad y la disponibilidad para la planta que e un aspecto a considerar, lo que se quiere es tener una disponibilidad hacia las plantas que se va a cultivar.

Por otra parte, se tiene los indicadores químicos y esta la materia orgánica desde varios aspectos, la materia orgánica es un aspecto que se evalúa en la parte biológica, física o química. En la parte química se evalúa con los nutrientes la capacidad que tiene para poder mantener el pH de un suelo entre los valores adecuados que tampoco estos valores son de 7 cuando se habla de la disponibilidad que se puede tener elementos nutritivos en el suelo, la mejor acidez que se puede tener para el suelo están en 3 pH de 5,5 y 6,5 porque se aumenta la disponibilidad de nutrientes. Se podría pensar que el pH de un suelo 7, que sería neutro en la escala de pH un 6,5 y un 5,5 podría ser ligeramente ácido, pero es lo más adecuado para las plantas.

Para evaluar la conductividad eléctrica o la capacidad de intercambio de cationes como aspectos a evaluar la calidad del suelo o cuantos nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio pueden ser extraídos del suelo y disponibles para una planta, entonces se podría tener todo lo que son indicadores biológicos, la relación de carbono nitrógeno es sumamente importante no solo para la actividad microbiana sino también para disponibilidad de nutrientes en el suelo y para evitar inmovilizar nitrógeno, por otro lado la mineralización que se pueda dar en ese suelo va estar muy ligada a esta relación carbono nitrógeno y a la actividad microbiana que se tiene, la respiración de suelo nos va a indicar dos aspectos: la fotosíntesis donde existe la respiración radical y la fotosíntesis que se está dando en un sitio, pero por otro lado nos va a indicar sobre los microorganismos que están viviendo en este suelo y cuál es la actividad que ellos tienen de la misma manera se podría hacer un conteo microbiano y poder analizar esta población para ver la biodiversidad que se está presentando o

aspectos como la actividad enzimática o las lombrices del suelo que indica la salud del suelo.



**Figura 1. Enfoque para la definición de indicadores**

Fuente: HÜNNEMEYER *et al.* (1997)

### 2.3.1. Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo

Se requiere de ciertas condiciones para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean calificadas como indicadores de calidad, siendo estas las siguientes (Doran & Parkin, 1994)

- Especificar los procesos del ecosistema.
- Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir.
- Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo.
- Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo.

- f) Ser reproducibles.
- g) Ser fáciles de entender.
- h) Ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.
- i) Cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Lo cierto es, que la calidad del suelo se puede evaluar a través de diversas propiedades. En este sentido, LARSON y PIERCE (1991); DORAN y PARKIN (1994) y SEYBOLD *et al.* (1997), propusieron un conjunto de propiedades para ser utilizadas como indicadores y así evaluar las transformaciones que ocurren en el suelo con respecto al tiempo (Cuadro 1). Así mismo, es importante resaltar que los indicadores para evaluar la calidad de suelo pueden variar de localidad a localidad tomando en cuenta el tipo y la utilización que se dará al terreno (Arshad & Coen, 1992)

Se deduce entonces, que la identificación adecuada y efectiva de indicadores para evaluar la calidad del suelo se realiza en función de los múltiples componentes del suelo, en especial el productivo y ambiental. Si bien es cierto que el proceso de identificación es complicado, por la variedad de componentes químicos, físicos y biológicos que regulan los procesos biogeoquímicos y su variación en intensidad en relación al tiempo y espacio. Indicadores físicos.

Es de vital importancia, examinar las particularidades físicas del suelo, necesarias para la evaluación de la calidad de este recurso. De manera, que los indicadores de la calidad del suelo que se relacionan con las propiedades

físicas (Cuadro 1) son aquellos que proyectan la forma como este recurso reconoce, retiene y provee de agua a las plantas, así como las barreras a que se enfrentan durante el crecimiento de las raíces. Significa entonces, que los factores que se identifican como indicadores físicos del suelo son: La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada (Singer & Ewing)

Cuadro 1. Indicadores físicos presentados para observar los cambios que ocurren en el suelo.

Propiedades Físicas	Relación de la situación y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión	centímetros o metros

Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	minutos/2.5 cm de agua y g/cm <sup>3</sup>
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	%(cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación

---

Fuente: (LARSON y PIERCE, 1991; DORAN y PARKIN, 1994; SEYBOLD *et al.*, 1997)

### 2.3.1.1. pH

Según Matos (2003), el PH interviene en gran medida en el crecimiento de los cultivos estableciendo en el suelo:

- a) Distintas solubilidades en los elementos nutritivos.
- b) Distinto desarrollo de los microorganismos.
- c) La velocidad de los procesos de humificación y de mineralización.
- d) La capacidad de adsorción de cationes en el complejo de cambio.

Los suelos según el pH que tengan características distintas.

Suelos con pH ácido:

- a) Son desfavorables para el desarrollo radicular.
- b) Suelen ser pobres en bases de cambio: Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>...
- c) En ellos se reduce la actividad microbiana.
- d) Disminuye la asimilación del fósforo, que precipita dando formas insolubles con manganeso, aluminio y hierro.

Suelos con pH básico:

- a) Tienen un alto contenido en bases de cambio:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ...
- b) Por la presencia de carbonato cálcico presentan bloqueos y antagonismos que dificultan la asimilación del hierro, manganeso y zinc.
- c) Si hay carbonato sódico aparecen problemas de impermeabilidad y compacidad.

#### **2.3.1.2. Materia orgánica**

Igualmente, (Matos, Aplicación y Selección de Indicadores de Calidad Ecológica En La Utilización De Fertilizantes Orgánicos Para La Producción De Forraje., 2003), señala que la cantidad de materia orgánica del suelo depende del material vegetal, textura del suelo y del pH.

Su adecuada proporción:

-Ayuda el desarrollo de una saludable estructura, mejorando la aireación del suelo y la cantidad de retención del agua.

-Protege ante la erosión.

- Incrementa la capacidad total de cambio contribuyendo una buena con una saludable reserva de ingredientes nutritivos.

La materia orgánica de los suelos está compuesta por la mineralización con la relación de carbono y nitrógeno, tengan la cantidad de nutrientes y estén disponibles en un tiempo menos que si tuvieran más contenidos de celulosa en el medio; en la conducta de la materia orgánica del

suelo, hay dos diferentes tipos de comportamientos: la mineralización y la humificación, la humificación es un proceso de mineralización lenta, cuando la materia orgánica se unifica forma colores más estables y dura muchos años, 50 años aproximadamente dependiendo del material, tengamos elementos disponibles para la planta como los nitratos, los sulfatos, incluso el potasio y  $CO_2$  para todos los procesos biológicos en un ecosistema agrícola o natural.

Cuando el ser vivo muere y conforma la materia orgánica, se descompone, en este proceso de descomposición, esa sustancia orgánica está formando la materia orgánica empieza a transformarse en elementos que son cada vez más simple, esa transformación comienza desde el origen de la formación de la materia orgánica, la primera molécula de carbono que se fija en forma de una molécula orgánica estable para dar lugar a la planta se produce a través de la fotosíntesis.

La fotosíntesis es una reacción bioquímica donde la planta fija 6 moléculas de carbono, utiliza 6 moléculas de agua y utiliza como energía para catalizar la reacción bioquímica la luz solar y como prestación produce una molécula de glucosa que tiene 6 unidades de carbono, 12 de nitrógeno y 6 de oxígeno. La molécula de glucosa es la más simple, sencilla que se puede producir de la sustancia orgánica, la primera molécula que se da en origen de la materia orgánica. En el transcurso de la vida de la planta, dentro de sus células se producen reacciones bioquímicas, se transforman en celulosas, en lípidos, en lignina. Se parte de una molécula muy simple y termina en moléculas muy complejas como la lignina que es la principal molécula que conforma el humus estable en el suelo. Cuando el ser vivo muere esa molécula de nuevo vuelve a

degradarse a molécula simple, la lignina es degradada por los hongos, la materia orgánica cada vez más simple su sustancia orgánica, hay otro microorganismo como bacteria que va actuando y componiéndola cada vez más, y la vuelta al suelo provee de nuevo nutrientes y energía suficiente para hacer más fotosíntesis, produce una espiral de crecimiento de fertilidad en el suelo esto se da a partir del entendimiento como se origina, como se transforma la materia orgánica.

En conclusión se entiende que desde una molécula simple a una molécula tan compleja como la lignina, y luego vuelve hacer simple para volver hacerse complejo en otra planta diferente o ser vivo diferente, y cuando un ser vivo se la come la planta, lo que hace es degradar toda la molécula y hacerla simple para integrar a su cuerpo y cuando el ser vivo muere, los restos orgánicos quedan en el suelo, conformando la materia orgánica para luego alimentar de nuevo al suelo, y el suelo a las plantas, al final es un espiral de vida que produce una fertilidad creciente. Tiene mucha relevancia en la fertilidad, en la salud y en la productividad en la finca. La importancia de la materia orgánica en la productividad de una finca, la ventaja principal es que el suelo tenga una alta cantidad de materia orgánica en relación a un suelo que carece de ella, que lamentablemente conforma una gran parte de los suelos del mundo por el tipo de agricultura convencional que se está realizando.

La materia orgánica como principal ventaja es el aumento de fertilidad en el suelo que retiene la cantidad de nutrientes que luego está a la disposición de la planta, es decir, está aumentando la despensa de alimento que tiene la planta, luego tiene una gran capacidad de almacenar agua, la materia

orgánica es capaz de almacenar hasta 40 veces su peso en agua, a mayor nivel de materia orgánica la planta está más saludable, además la materia orgánica es catalizador de la vida del suelo por tanto impulsa poblaciones equilibradas de diferentes microorganismos del suelo que va ayudar por un lado a que la planta esté mejor nutrida y por otro lado va a controlar posibles problemas de raíz. El suelo orgánico ayuda a fijar  $\text{CO}_2$ , ayuda a disminuir los efectos del cambio climático.

### **2.3.1.3. Densidad aparente**

Sparling (1997), la define como la masa de suelo por unidad de volumen ( $\text{g. cm}^{-3}$  o  $\text{t. m}^3$ ). De esta manera se analiza la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. En relación a lo expresado, la densidad aparente del suelo se va a modificar en relación con la cantidad de biomasa y su textura; esto se da más en terrenos con arcillas expansivas que varía de acuerdo a la humedad del suelo y la labranza (p. 97)

### **2.3.2. Indicadores químicos**

Los indicadores químicos planteados (Cuadro 2), describe las condiciones químicas que influyen en las relaciones suelo planta y por ende en la calidad del agua, capacidad amortiguadora del suelo y sus nutrientes para las plantas y microorganismos (SQI, 1996). Estos cambios químicos van a representar la accesibilidad de nutrientes, tales como: COT (carbono orgánico total), CAL (carbono orgánico lábil), pH, conductividad, capacidad de asimilación

de fosfatos, la facilidad de cambios de cationes, nitrógeno (total y mineralizable) y en lo que compete a la materia orgánica.

Cuadro 2. Indicadores químicos propuesto para evaluar los cambios que ocurren en el suelo.

Propiedades Químicas	Relación de la situación y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	kg de C o N ha <sup>-1</sup>
pH	Define la actividad química y biológica	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm <sup>-1</sup> ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	kg ha <sup>-1</sup> ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos

Fuente: (LARSON y PIERCE, 1991; DORAN y PARKIN, 1994; SEYBOLD *et al.*, 1997)

### 2.3.3. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos indicados en el (Cuadro 3), como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, los cuales incluye: bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos, ejercen una influencia en la calidad del suelo que a su vez poseen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996; KARLEN *et al.*, 1997). Como la biomasa microbiana es más expuesta al cambio que el C total, se ha propuesto la relación  $C_{\text{microbiano}} / C_{\text{orgánico}}$  del suelo, para localizar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997).

Cuadro 3. Indicadores biológicos planteados para evaluar los cambios que ocurren en el suelo

Propiedades Biológicas	Relación de la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	kg de N o C ha <sup>-1</sup> relativo al C y N total o Co <sub>2</sub> producidos
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	kg de N ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo al contenido de C y N total

Fuente: (LARSON y PIERCE, 1991; DORAN y PARKIN, 1994; SEYBOLD *et al.*, 1997)

## **2.4. Propiedades microbiológicas del suelo**

### **2.4.1. Agentes patógenos del suelo**

Los moneras son la microfauna que existe más en el suelo por gramo, por lo que interactúan millones de ellos de forma microscópica, desde insectos hasta lambrijas, que al compararse con otros microbios son gigantescos y conforman una oscilante Biocenosis. Es de señalar, que microbiólogos descubrieron antibióticos como la estreptomycin y tetraciclina, investigando actinomicetos del suelo. (Totorá, Funke, & Case, 20017).

INGRAHAM (1998) menciona que los microbios del suelo van a consumir su biomasa con una deflagración para así poder satisfacer sus exigencias de su metabolismo. Cabe destacar que la variedad y cantidad de microorganismos existente en el suelo, depende de distintos factores ambientales como sus nutrientes, humedad de aireación, clima, pH, prácticas agrícolas. Gran parte son heterótrofos, pero se dice que los más comunes son los bacilos esporulados, y actinomicetos responsables del olor a tierra mojada y en la rizosfera especies de los géneros *Rhizobium* y *Pseudomonas*.

Cuadro 4. Característica de los principales seres vivos patógenos encontrados en los Residuos Sólidos. (NASCIMENTO, 2002)

Microorganismo/ Grupo	Etiopatogenia	Enfermedades
<b>BACTERIAS</b>		
<i>Escherichia coli</i>	Patógenos secundario(a)	Infección urinaria
<i>Salmonella typhi</i>	Patógenos secundario	Infección sistémica (c) - fiebre tifoidea
<i>Shigella</i>	Patógenos secundario	Shigelose (cólicos abdominales-diarrea)
<i>Enterobacter</i>	Patógenos secundario	Supuración, septicemia, infecciones urinarias.
<i>Citrobacter</i>	Patógenos secundario	Infecciones en el tracto urinario
<i>Klebsiella</i>	Patógenos secundario	Infecciones urinarias y bronco pulmonares y septicemia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Patógenos secundario	Infecciones respiratorias y de heridas.
<i>Aeromonas sp</i>	Patógeno primario(b)	Gastroenteritis, septicemia y meningitis
<i>Clostridium sp</i> (excepto <i>porfringens</i> )	Patógeno primario	Botulismo, tétano
<i>Enterococos</i>	Patógenos secundario	Infecciones urinarias.
<i>Staphylococcus aureus</i>	Patógenos secundario	Endocarditis, neumonía, septicemia, furúnculo (d)
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Patógeno primario	Tuberculosis
<b>HONGOS</b>		
<i>Candida albicans</i>	Patógenos secundario	Micosis superficial, subcutánea o sistémica.

Fuentes: Poreira (1991); Zanon (1991); Burton y Engelkirk(1998).

- (a) Identificado permanentemente en la micro biota humana y puede impulsar enfermedades en organismos con firmeza anti-infecciosa comprometida.
- (b) Puedes implantar la afección en huéspedes saludables, por su contenido de virulencia, y no ser encontrados en la micro biota normal humana.
- (c) Relativo a todo individuo.
- (d) Entrada del agente en el organismo a través de los folículos pilosos y forma un nódulo localizado y algunas veces doloroso llamado también tumor común.

En el (cuadro 5), se menciona a los principales microorganismos identificados en muestras ambientales durante el proceso de compostaje de desechos orgánicos, entre ellos se encuentra, un indicador biológico llamado *Aspergillus fumigatus*, hongo patógeno que afecta la salud en un porcentaje significativo y que guarda una relación con el asma, alveolitis y otras infecciones, que fueron detectados a través de estudios realizados en plantas de compostaje en concentraciones superiores a 105 ufc/m<sup>3</sup> (Solans, 2008).

Cuadro 5. Microorganismos identificados en muestras ambientales obtenidas durante el proceso de compostaje de residuos sólidos

Bacterias	Hongos	Actinomicetos
<i>Acinetobacter</i>	<i>Acremonium</i>	<i>Actinomyces</i>
<i>Enterobacter</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Nocardia</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Thermoactinomyces</i>
<i>Klebsiella</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Thermomonospora</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>Cladosporium</i>	
<i>Salmonella</i>	<i>Fusarium</i>	
<i>Serratia</i>	<i>Geotrichum</i>	
<i>Shigella</i>	<i>Mucor</i>	
<i>Staphylococcus</i>	<i>Penicillium</i>	
<i>Streptococcus</i>	<i>Rhizopus</i>	
<i>Yersinia</i>	<i>Stachybotrys</i>	

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, España.2008.

## 2.5. Contaminación del suelo

SEMARNAT (2000) menciona que la contaminación del suelo se propaga por el desbalance de la actividad biológica que se desarrolla en la capa superficial del suelo generando efectos nocivos para los organismos del suelo y consumidores a causa de la deforestación en la aplicación de fertilizantes químicos en zonas industrializadas, sobre todo por quemas agropecuarias y residuos urbanos e incendios forestales.

Es así como se puede inferir que existen tres actividades principales que generan residuos orgánicos:

- 1-Actividad agrícola y forestal.
- 2- Actividad urbana.
- 3- Actividad industrial.

MATOS (2003) menciona que la actividad urbana origina remanentes sólidos (basura) y lodos derivados de las estaciones de aguas residuales. Así mismo, las industrias en sus procesos productivos, crean subproductos de la industria agro-alimentaria tales como: bagazos, borras de café, desperdicios de mataderos, frutas y legumbres, sueros de leche, así como también residuos de lana y piel (Matos, Aplicación y Selección de Indicadores de Calidad Ecológica En La Utilización De Fertilizantes Orgánicos Para La Producción De Forraje., 2003).

En relación a lo expresado, la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, creada con el fin de tranquilizar que la gestión y el manejo de los residuos sólidos sean los más adecuados posible, en beneficio de la calidad ambiental y bienestar humano, a fin prevenir riesgos sanitarios.

Es de señalar en su Artículo 14° expresa que hace responsable de los daños y perjuicio a causa del mal manejo de los restos y que, a su vez, causen daños a la integridad física, al ambiente o a terceros, a toda EPS-RS y municipalidades (MINAN, 2013).

El decreto indicado anteriormente, hace un señalamiento de aquellos restos que alberguen metales tales como: desecho de metal limpio, que no sean tóxicos, incluidas las combinaciones en forma acabada o en bruto, como

las láminas, barras, vigas, chapas, entre otras de: los restos de antimonio; residuos de plomo, desechos de berilio; desechos de cadmio; con exclusión de los depósitos de plomo; restos de selenio y restos de telurio (PCM, 2004)

Así, existen dos tipos la contaminación difusa que afecta grandes superficies de terreno y la contaminación puntual que afectan a superficies discretas, también se le denomina suelos contaminados.

La contaminación difusa es un problema ambiental de gran envergadura, es un fenómeno originado por la actividad humana tipo antrópico o bien originado por la presencia en el suelo de ciertas sustancias contaminantes, es decir una contaminación de forma natural o geoquímica. Cuando los minerales hay en una zona tienen sustancias contaminantes peligrosas como es el caso de los metales pesados como es el caso de las piritas, las piritas son sulfuros metálicos pesados que es una contaminación de origen natural se presentan en muchas zonas, debida a la presencia en el suelo de ciertos minerales que hay en el suelo como los granitos que tienen arsénico, esta contaminación abarca grandes superficies de terreno y en el caso de contaminación humana o atrófica está relacionada con la agricultura porque se usa plaguicidas y fertilizantes de origen sintético en algunos casos, estos se usan en dosis excesiva. Pueden dar lugar también a la contaminación del suelo, pueden alcanzar concentraciones elevadas que generan problemas de contaminación de aguas subterráneas y superficiales es un problema ambiental.

La contaminación puntual o suelos contaminados se determinan por la presencia de componentes, sustancias químicas de carácter peligroso pueda representar un riesgo inaceptable, un riesgo de daños para la salud humana o el

medio ambiente. Cuando se habla de sustancias contaminantes se puede encontrar con productos, residuos, materias primas, comestibles y cualquier sustancia peligrosa que se maneja en la actividad humana y como consecuencia de esa actividad sea aportada a ese suelo y alcanza a concentraciones suficientemente altas como que puedan aparecer riesgos de daños para la salud humana y el medio ambiente, y la legislación indica que así se haya declarado mediante resoluciones, es decir tiene que haber una resolución por parte del órgano ambiental competente que son las organizaciones autónomas que dictamine que ese suelo se declare que está contaminado.

Las operaciones de carga y descarga de sustancias peligrosas en las que pueda ocurrir que debido un descuido al realizar dichas operaciones se produzcan derrames que lamentablemente son frecuentes, al conectar la cisterna con el depósito donde se va a recoger una sustancia, si en esa conexión no se realiza adecuadamente puede haber fugas; también estas las fugas superficiales como la mala conexión de una tubería con un depósito o relacionadas con problemas de corrosión que den lugar a pequeños poros que aparecen en las tuberías o en los depósitos que dé lugar a fugas que puedan llegar a contaminar el suelo.

En el pasado era frecuente encontrar en los depósitos de almacenamiento de sustancias los depósitos superficiales, pues hay dos tipos de depósitos: los depósitos verticales un cilindro apoyado en el suelo y depósitos horizontales apoyado sobre unas patas. En los depósitos verticales pueda que no nos demos cuenta y este contaminando el suelo.

En los años 90 apareció la legislación de almacenamiento de sustancias peligrosas y el almacenamiento de hidrocarburos, a partir de aquel momento esos reglamentos exigen en que los depósitos de almacenamiento de todas las sustancias peligrosas y los hidrocarburos de los combustibles tengan cubetos de retención. El cubeto de retención es un vaso capaz de retener todas las sustancias, todo el volumen que se haya almacenado en el tanque y evita la polución del terreno.

## **2.6. Efectos de la contaminación del suelo**

Es una realidad que el incremento poblacional de forma desorganizada ha conllevado a un consumo desmedido y desarrollo de la producción agropecuaria y de las agroindustrias asociadas. En consecuencia, se ha producido efectos diversos, que van desde riesgos tóxicos que afectan la salud humana y por otro lado cuantiosas pérdidas de recursos naturales y económicos. Esto genera una acumulación de purines, estiércol y lodos, unido a esta situación se suma el problema del almacenamiento y su aplicación.

Por consiguiente, estos tipos de residuos contiene compuestos orgánicos fácilmente biodegradables, es decir su proceso de descomposición es muy rápida y además el daño puede irreversible al ambiente, en caso que las condiciones sean anaerobias. En este sentido, la volatilización del nitrógeno por momificación significa perdidas del contenido de N del residuo y es de gran beneficio a la acidificación de la atmósfera, de los suelos y agua a través de la lluvia ácida. Por otro lado, la fermentación anaerobia de la materia orgánica origina la emisión de metano y óxidos de Nitrógeno, gases significativos en la

presencia del efecto invernadero. MATOS (2003) menciona que a todo esto se une la problemática de los malos olores a causa de los azufrados que se derivan de los procesos de degradación anaerobia. Por lo anteriormente revelado, los restos orgánicos presentes en el suelo incrementan el número de moléculas orgánicas más o menos complejas (compuestos bifenilicos policlorados – PCB), transformándose el terreno, en un sendero y fuente de contaminación. Asimismo, estos restos orgánicos al sujetar metales pesados y patógenos (virus y bacterias) donde existe el peligro de ceder a través del agua y atmósfera. Es muy común, que en la defecación de porcinos y de las aves contengan altos niveles de metales pesados, ya que esto se debe a raíz de los antibióticos a lo que son sometidos durante su primera etapa de vida. Entre los patógenos se encuentran: las bacterias de los géneros Salmonella, Clostridium, Brucella, Streptococcus, Escherichia, Mycobacterium, Yersenia, Elmeria, Toxoplasma y algunos virus que son los más preocupantes. De manera, que el impacto de la contaminación de las aguas se debe al vertimiento de forma directa a los cauces de sustancias y residuos. Así mismo, la alteración que se dan en las aguas subterráneas se debe al lavado o exceso de aplicaciones que se dan en el suelo, originando un enriquecimiento de nutrientes de las aguas (N y P), lo que va a causar la eutrofización. La propagación de algas y otros microorganismos estimula al desarrollo de la carga orgánica de las aguas y una reducción del oxígeno disponible, bajando su calidad y en consecuencia la muerte de las plantas y animales acuáticos. Además, del riesgo debido a la pérdida de la calidad del agua de consumo humano, a causa del exceso de nitratos, lo cual puede traer problemas sanitarios graves. Significa pues, que las situaciones expuesta

anteriormente pueden ser causante de la degradación del medio ambiente a la salud humana y animal (Matos, Aplicación y Selección de Indicadores de Calidad Ecológica En La Utilización De Fertilizantes Orgánicos Para La Producción De Forraje., 2003).

## **2.7. Poder depurador de los suelos**

El suelo es considerado un recurso natural de característica muy especial, a tal punto que actúa como impedimento de otros recursos que sean más susceptibles, purificando, disgregando y neutralizando sustancias que perjudiquen, e impidan en gran parte su biodisponibilidad. Este potencial que posee el suelo de sanearse, dependerá de los contenidos en biomasa, carbonatos, oxihidróxidos de hierro y manganeso, así como la medida y tipo de minerales de la arcilla, capacidad de cambio catiónico del suelo, del pH y Eh, textura, permeabilidad y actividad microbiana. De allí, que es importante entender que para cada circunstancia o escenario el poder purificador de un suelo tiene un límite y cuando se saturan esos límites para una o varias sustancias, el suelo pasa hacer un agente contaminador.

Por tanto, el suelo al tener una gran capacidad de amortiguación va poder dominar los efectos negativos de los contaminantes y hacerlos menos inofensivos o inactivos. En este contexto, para los terrenos agrícolas se definió la capacidad de carga para metales Pesados (LCASHM: Load Capacity of Agricultural Soils for Heavy Metals) (Cheng, Zheng, & Zhou, 2001), y a su vez va a depender de las características del terreno, el modelo y de diferentes propiedades ambientales dependiendo del nivel de toxicidad.

## 2.8. Metales pesados y elementos traza

La tabla periódica incluye unos 70 elementos metálicos, y de ellos 59 pueden ser considerados metales pesados, que son aquellos con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol). Con esta precisión se excluirían metales con pesos atómicos menores que el del Fe y que con frecuencia pueden ser metales contaminantes, como el V (50,95), Mn (54,44), Cr (52,01) y a otros que realmente no son metales como As, F y P. Por ello, resulta mejor hablar de contaminación por elementos traza, si bien hay que reconocer que la mayoría de los contaminantes inorgánicos son metales pesados.

En ocasiones, la contaminación del suelo se origina por altos niveles en concentraciones de elementos mayoritarios (Na, Fe, Al). Los elementos traza se presentan relativamente en bajas concentraciones (mg.kg<sup>-1</sup>) en la corteza de la Tierra, suelos y plantas. Es importante resaltar, que estos elementos son imprescindibles para el desarrollo de todos los seres vivos, pero hay que tener en cuenta su toxicidad, en caso de exceder ciertos umbrales. Se debe tener en cuenta que las sustancias tóxicas al ser ingeridas o aspiradas en grandes concentraciones por tiempo prolongado. Se toma como ejemplos a los oligoelementos, ya que estos están con un margen corto en los niveles de toxicidad y deficiencia (Plant, 2001).

Por ejemplo, los metales pesados representan uno de los contaminantes ambientales que están más presentes en suelo, bien sea como componentes naturales o por el resultado de la intervención humana debido a diversas actividades humanas (Manzanares, y otros, 2006). La presencia de metales pesados en el ambiente contribuye a la contaminación atmosférica, ya

que tiende almacenarse en la capa del suelo, a través de la disponibilidad atmosférica, por medio la sedimentación de los mismos (De la Peña, 2014)

Todo esto implica, que la degradación de los suelos se debe en gran proporción del uso y prácticas de ordenación de la tierra insostenibles, así como también por la influencia de los fenómenos climáticos y de distintos factores sociales, y económicos y del gobierno. Actualmente el 33 por ciento de la tierra a consecuencia de la erosión, salinización, compactación, acidificación y contaminación por productos químicos, se encuentra en un nivel moderado o altamente degradada. A tal punto que las necesidades básicas de las generaciones futuras son inciertas, ya que se tiene previsto que el crecimiento de la población mundial excederá de los 9 000 millones en 2050), en tal sentido, las exigencias y demandas de alimentos será aproximadamente de un 60%. Los tiempos avizoran que existen mínimas posibilidades de expansión del área agrícola con excepciones de algunas zonas de África y América del Sur. Bajo este escenario se concluye que gran parte de la tierra no está calificada para la agricultura recuperarla y convertirla en productiva representa altos costos ecológicos, sociales y económicos.

Según la (FAO, 2012), manifiesta que la practica sostenible de los suelos agrícolas del mundo y la producción sostenible son vitales i para invertir la tendencia de degradación de los suelos y garantizar la seguridad alimentaria actual y futura del mundo.

Cuadro 6. Micronutrientes y macronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos.

Metales pesados que son micronutrientes esenciales (unos pocos mg o $\mu\text{g}/\text{día}$ )	As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn
Otros micronutrientes esenciales	F, I, Si
Macronutrientes (100 mg o más por día)	Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S
Metales pesados no esenciales*	Be, Cd, Hg, (Ni), Pb, Sb, (Sn), Ti

Fuente. SIEGEL, 2002

Los elementos traza más numerosos en los suelos pueden clasificarse en cinco categorías, dependiendo de la forma química en que se encuentran en las soluciones del suelo: cationes ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ), metales nativos (Hg, V), oxianiones ( $\text{AsO}_4^{-3}$ ,  $\text{CrO}_4^{-2}$ ,  $\text{MnO}_4^{-2}$ ,  $\text{HSeO}_3^-$ ,  $\text{SeO}_4^{-2}$ ), halogenuros ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ), y organocomplejos (Ag, As, Hg, Se, Te, Tl). Estas categorías no se excluyen mutuamente, porque algunos elementos pueden aparecer con más de una forma. Normalmente, Cr, Ni, Pb, y Zn varían entre 1 - 1500  $\text{mg kg}^{-1}$ , Co, Cu y As entre 0.1 y 250  $\text{mg kg}^{-1}$ , y con menores proporciones Cd y Hg (0.01 - 2  $\text{mg kg}^{-1}$ ) (Bowen, 1979)

Cuadro 7. Estándares de Calidad Ambiental Inorgánicos para el Suelo

Elementos	Suelo Agrícola	Suelo residencial, parques	Suelo comercial, industrial, extractivo	Métodos de ensayo
1 Cianuro Libre (mg/Kg PS)	0.9	0.9	8	EPA 9013 SEMWW- AWWA- WEF 4500 CN F ASTM D7237
2 Arsénico Total (mg/Kg PS)	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
3 Bario Total (mg/Kg PS)	750	500	2000	EPA 3050 EPA 3051
4 Cadmio Total (mg/Kg PS)	1.4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
5 Cromo VI (mg/Kg PS)	0.4	0.4	1.4	EPA 3060 EPA 7199 DIN EN 15192
6 Mercurio (mg/Kg PS)	6.6	6.6	24	EPA 7471 EPA 6020
7 Plomo total (mg/Kg PS)	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051

Fuente. Estándares de calidad ambiental para suelo – MINAM, 2017.

## 2.9. Estándares Internacionales de calidad del suelo

Cuadro 8. Estándares de calidad de suelos agrícolas indicados en las Guías de Canadá

Parámetro	Canadian Environmental Quality Guidelines* (mg/kg)
Hidrocarburos totales de petróleo	-
Mercurio total	6,6
Cadmio total	1,4
Cromo total	64
Plomo total	70
Bario total	750

**Suelos de uso agrícola**

Fuente: Estándares de calidad de suelos agrícolas indicados en las Guías de Canadá 2003.

## 2.10. Índice de Calidad del Suelo

Por existencia, una proporción de la calidad del suelo (SQI en inglés) cuenta con una valoración (0 y 1) o incluso (0 y 100%), con la única finalidad de diferenciar la calidad para aplicarlas en el ecosistema de forma eficiente.

Un índice, basado en carbono orgánico (% C.O) para el suelo, es considerado como un índice simple, este suelo deberá pasar un proceso para así obtener un valor de entre 0 y 1 (Guzman & Alonso, 2004)

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Descripción de la zona de estudio**

##### **3.1.1. Lugar de ejecución**

Esta investigación se dio lugar en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en el laboratorio de Análisis de Suelos (Facultad de Agronomía), ubicada en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco.

##### **3.1.2. Aspectos ambientales**

Tingo María se ubica en la formación vegetal bosque muy húmedo pre-montano tropical Bmh-PT según clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE. Entonces, de acuerdo a las regiones naturales de Perú, pertenece a Rupa Rupa o selva alta.

Además, Hidrográficamente forma parte de la cuenca del río Huallaga; por lo que su comportamiento climático es variable acompañado de una precipitación anual promedio de 3328.9 mm. Es de notar, que entre los meses

de septiembre y abril se presenta mayores precipitaciones, alcanzando su máximo extremo en el mes de febrero con un promedio mensual de 608.4 mm.

- Temperatura máxima : 30,70 ° C
- Temperatura mínima : 18,90 ° C
- Temperatura promedio : 24,90 ° C
- Humedad relativa promedio : 86 %
- Velocidad del viento máxima : 22,2 m/s

### **3.1.3. Materiales**

- Muestra de suelo
- Matraces
- Bureta
- Crisol
- Vaso de precipitado
- Varillas de vidrio
- Papel filtro
- Bolsas de polietileno
- Frascos de vidrio

### **3.1.4. Equipos**

- Estufa
- Balanza analítica
- pH-metro
- Conductímetro

- Cocina eléctrica
- Espectrofotómetro

### **3.2. Metodología**

Para que se pueda obtener la calidad del suelo del botadero La Muyuna, se debe realizar diagnósticos fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos del suelo de la zona de estudio.

A continuación, se describen los métodos y metodologías que se utilizó para cada uno de los procesos que se realizó:

#### **3.2.1. Toma de Muestra**

El muestreo de suelo se realizó mediante el marco del Decreto Supremo N° 002 – 2013 – MINAM, Estándares de la calidad Ambiental (ECA) del Suelo.

#### **3.2.2. Tipos de Muestreo**

##### **a) Muestreo de Identificación (MI)**

El muestreo de identificación tiene como propósito analizar el nivel de contaminación del suelo por medio de la obtención de muestras representativas con el objetivo de determinar si el suelo sobrepasa o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM. La magnitud de la MI

estuvo sustentado por los resultados y conclusiones de la investigación histórica y levantamiento técnico (inspección) del sitio.

### **3.2.3. Técnicas de Muestreo**

El muestreo es la actividad por medio de la cual, se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio y ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos. La técnica del muestreo a aplicar depende, entre otros del objetivo del estudio, condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas en el sitio, profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y de los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras.

### **3.2.4. Determinación de los puntos de Muestreos**

El punto de muestreo se refiere a la ubicación espacial georreferenciada de donde se obtendrá muestras tanto superficiales o de profundidad.

#### **a) Para el Muestreo de Identificación**

La proporción mínima de las muestras, tienen un nivel de interés, para poder ser analizadas según se indica el Cuadro N° 9, que abarca el número total de los puntos de muestreo, tanto superficial (área de toma de muestras compuestas) como de profundidad.

Cuadro 9. Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación

Área de potencial interés (Ha)	Puntos de muestreo en total
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Fuente Guía Metodológica de análisis de suelos MINAM, 2013.

En el presente trabajo se tuvo un área de 0.5 (Ha) con un total de puntos de muestreo de 6, la muestra será extraída de una calicata de profundidad 30cm X 30cm X 15cm según lo dispuesto en el D.S. N° 002-2013-MINAM

### 3.2.5. Análisis fisicoquímicos del suelo

Cuadro 10. Indicadores físicos y químicos del suelo a evaluar en laboratorio

PROPIEDADES DEL SUELO	
Indicadores físicos	Método de su determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Método de la probeta
Indicadores Químicos	Método de su determinación
pH	Método del potenciómetro
Materia Orgánica	Método de Walkley y Black
Nitrógeno total	Método de Micro Kjeldahl
Fosforo disponible	Método de Olsen modificado
Potasio disponible	Método del acetato amónico
Capacidad de intercambio catiónico	Método del acetato amónico
Ca	Espectroscopia de Absorción Atómica
Mg	Espectroscopia de Absorción Atómica
K	Espectroscopia de Absorción Atómica
Na	Espectroscopia de Absorción Atómica
Cadmio total	Espectroscopia de Absorción Atómica
Plomo total	Espectroscopia de Absorción Atómica

Fuente: DORAN y LINCOLN, (1999); MOSCATELLI *et al.* (2000)

### 3.2.6. Análisis microbiológico del suelo.

Una vez expuesta las muestras de suelo al proceso de cernido y pesado se trasladaron a la estufa a 105 °C por 3 días. Pasado el tiempo de desarrollo de crecimiento se debe pesar 10 gr. de las muestras obtenidas.

- **Presencia de bacterias**

En los 90 ml de caldo peptona de 0.1% se añade los 10 gr de muestra de suelo, esto representa la primera solución  $10^{-1}$ , después realizaremos disoluciones hasta que se alcance un equivalente de  $10^{-3}$ , de esta última disolución se toma un volumen de 0.25 ml para realizar el proceso de sembrado por agotamiento en placas. Posteriormente se expuso al proceso de desarrollo de 48 a 72 horas a temperatura ambiente. Una vez cumplido el tiempo adecuado de desarrollo, se procedió a realizar los test bioquímicos para poder diferenciar colonias por coloración.

- **Presencia de fungí**

En los 90 ml de caldo peptona al 0.1% se añadirá 10 gr de la muestra de suelo, este representa la primera solución que equivale  $10^{-1}$ , posterior a esto se realizó disoluciones para alcanzar una proporción de  $10^{-3}$ , de esta última dilución se toma un volumen de 0.25 ml para realizar la siembra mediante la técnica de agotamiento en placas. Se procedió a realizar la incubación por un periodo de una semana a condiciones normales, pasado este tiempo se realizó la técnica de microcultivo, test bioquímicos, identificación de colonias por el método de coloración.

- **Determinación y enumeración de microorganismos aerobios viables totales (NMAV)**

En este proceso, se aplicará la técnica de inventario aerobio en placas señalado por APHA (1992). Se usó placas petri de 100 x 20 mm, pipetas graduadas de 2 a 10 ml, baño maría a 45°C, calefactor a 37°C y contador de colonias, se utilizó peptona al 0.1% para diluir y el medio plate count para la siembra microbiana. Se dio inicio con un inóculo de 1 ml de muestra de suelo en 9 ml de caldo peptona 0.1% que constituye la primera solución, después se efectuaran dos disoluciones adicionales hasta que alcance un volumen de  $10^{-3}$ . Luego por el método de profundidad o placa vertida se realiza la siembra. Un inóculo de 1 ml de la dilución  $10^{-3}$  adicionándose a las láminas de 10 ml, se llevó al calefactor a 37°C por 24 horas. Pasado las 24 horas se dará el balance de colonias que se desarrollaron aplicando la siguiente fórmula.

$$NMAV / ml \text{ de Suelo} \\ = N^{\circ} \text{ de Colonias} \times \text{Inoculo de Siembra} \times \text{Factor de dilución}$$

### 3.2.7. Análisis Biológico del suelo

Para el análisis biológico se realizó el conteo de los principales macro invertebrados que se encuentren en la muestra de suelo tale como: lombrices de tierra, cucarachas, etc.

### 3.2.8. Índices de biodiversidad

- **Índice de Shannon Winner**

MORENO (2001), expresa que es la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos.

Normalmente este índice se caracteriza como  $H'$  y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se suponen bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies. No tiene límite superior o en todo caso lo da la base del logaritmo que se utilice. Los ecosistemas que poseen más altos valores son los bosques tropicales y arrecifes de coral, y los menores las zonas desérticas. El beneficio de un índice de este tipo, es que no hace falta identificar las especies presentes; basta con poder distinguir unas de otras para realizar el recuento de individuos de cada una de ellas y el recuento total.

- **Índice de Pielou**

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 0,1, de forma que 0,1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Moreno, 2001).

Cuadro 11. Cálculo de índices

Índice	Formula
Shannon Winner	$H' = - \sum p_i \ln p_i$
Diversidad	
Máxima	$H'_{max} = \ln(S)$
Pielou	$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$

Fuente: MORENO, 2001

### 3.2.9. Índice de calidad de suelo

Los indicadores para evaluar la calidad de los suelos deben ser mínimos, para ello se escogieron las propiedades que para la cuenca y el tipo de suelo cumplieron con los criterios que se observaron más relevantes.

Cuadro 12. Indicadores de calidad del suelo

Indicador	Unidad de medida	Valor máximo	Valor mínimo
Cadmio	mg/kg	0.4	10
Plomo	mg/kg	70	200
Materia orgánica	%	0.6	12
pH	-	5.5	8
Densidad aparente	mg/m <sup>3</sup>	1.15	2.3

Fuente: MORENO, 2001

Cabe destacar, que, para obtener un valor único de cada parámetro para la subunidad, se realizó un promedio ponderado de acuerdo a la proporción que representa cada manejo en el área total. Seguidamente los indicadores fueron normalizados utilizando una escala 0-1 que representan, respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador. Existen dos situaciones posibles: la primera es cuando el valor máximo del indicador ( $I_{max}$ ) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador:  $V_n = 1$ ) y el cálculo es  $V_n = I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min}$ . La otra situación es cuando el valor  $I_{max}$  corresponde a la peor situación de calidad de suelo ( $V_n = 0$ ) y se calcula como:  $V_n = 1 - (I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min})$ . Donde  $V_n$  = valor normalizado,  $I_m$  = medida del indicador,  $I_{max}$  = valor máximo del indicador,  $I_{min}$  = valor mínimo del indicador

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Determinación las características físico-químicas

#### 4.1.1. Análisis Mecánico

Los resultados que arrojaron las muestras del botadero La Muyuna, indican que los valores hallados en el análisis mecánico del suelo evidencian diferencias significativas en la clase textural de cada una de las muestras, observándose la presencia de arena en un buen porcentaje en las muestras, clasificándose, así como suelo franco arenoso; y también muestran las densidades para cada muestra.

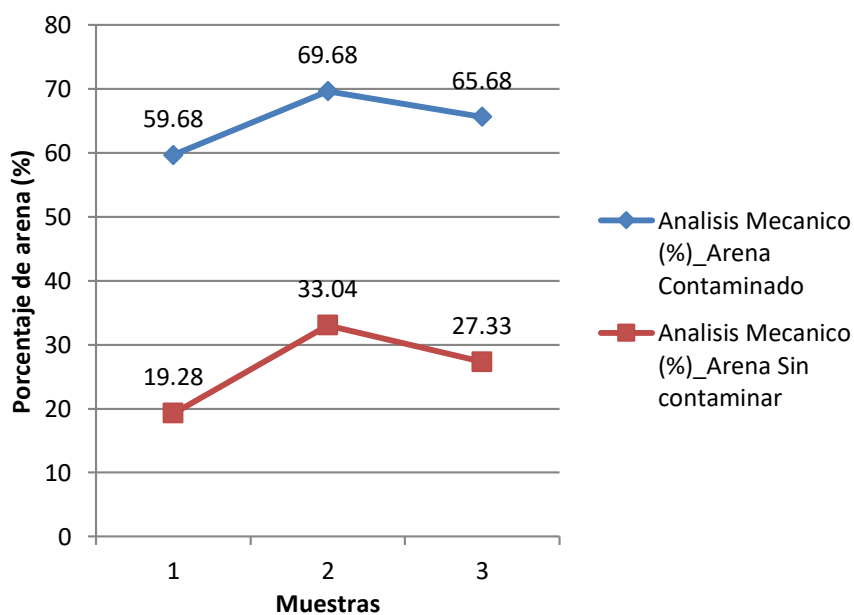


Figura 2. Comparación de porcentaje de arena del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

En la figura 2 se muestra la comparación del porcentaje de arena para las tres muestras de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La Muyuna evidenciándose así que los suelos contaminados para las tres muestras presentan más porcentaje de arena con resultados desde 59.68% a 65.68 %.

Cuadro 13. ANOVA con respecto al porcentaje de arena.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Arena	Contaminado	3	65.0133	5.03322	2.90593
	No contaminado	3	26.5500	6.91308	3.99127

En el cuadro N° 14 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,001$ , por lo tanto, hay significación en las diferencias de los suelos.

Cuadro 14. Prueba T en valores de porcentaje de arena.

Prueba de muestras independientes								
Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior

	Se asumen varianzas iguales	.264	.634	7.791	4	.001	38.46333	4.93707	24.75582	52.17084
Arena	No se asumen varianzas iguales			7.791	3.655	.002	38.46333	4.93707	24.23057	52.69610

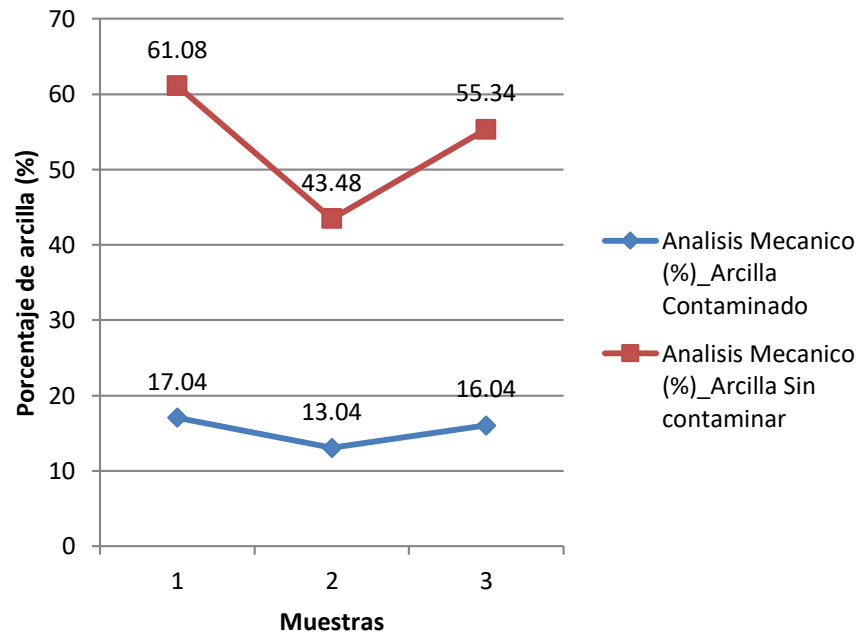


Figura 3. Comparación de porcentaje de arcilla del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

En la figura 3 se muestra la comparación del porcentaje de arcilla para las tres muestras de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La Muyuna diferenciándose así que el suelo sin contaminar presenta más porcentaje de arcilla en las tres muestras.

Cuadro 15. ANOVA con respecto al porcentaje de arcilla.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Arcilla	Contaminado	3	15.37	2.08167	1.20185
	No contaminado	3	53.3	8.97559	5.18206

En el cuadro N° 16 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,002$  los valores de arcilla en ambos suelos son diferente.

Cuadro 16. Prueba T en valores de porcentaje de arcilla

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Arcilla	Se asumen varianzas iguales	4.402	.104	-7.13	4	.002	-37.92667	5.31960	-52.69625	-23.15708
	No se asumen varianzas iguales			-7.13	2.215	.014	-37.92667	5.31960	-58.81616	-17.03717

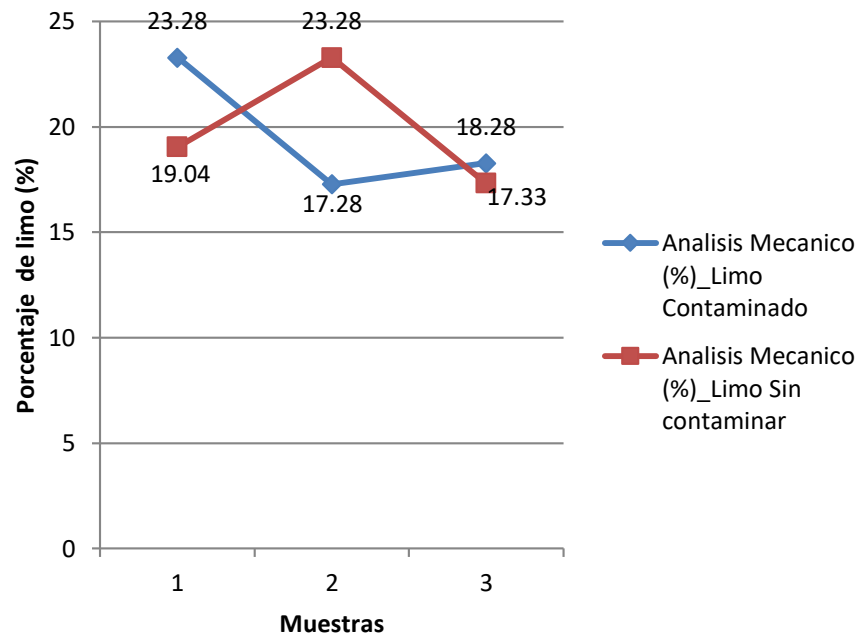


Figura 4. Comparación de porcentaje de limo del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

En la figura 4. Se muestra la comparación del porcentaje de limo para las tres muestras de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La Muyuna, observándose que los valores son parcialmente similares en las muestras.

Cuadro 17. ANOVA con respecto al porcentaje de limo

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Limo	Contaminado	3	19.6133	3.21455	1.85592
	No contaminado	3	19.8833	3.06334	1.76862

En el cuadro N° 18 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,921$ , por lo tanto, los valores de limo son igual en ambos suelos.

Cuadro 18. Prueba T en valores de porcentaje de limo

Prueba de muestras independientes										
		prueba t para la igualdad de medias								
		Prueba de Leve de calidad de varianzas								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Limo	Se asumen varianzas iguales	.032	.867	-.105	4	.921	-.270	2.56368	-7.38792	6.84792
	No se asumen varianzas iguales			-.105	3.991	.921	-.270	2.56368	-7.39443	6.85443

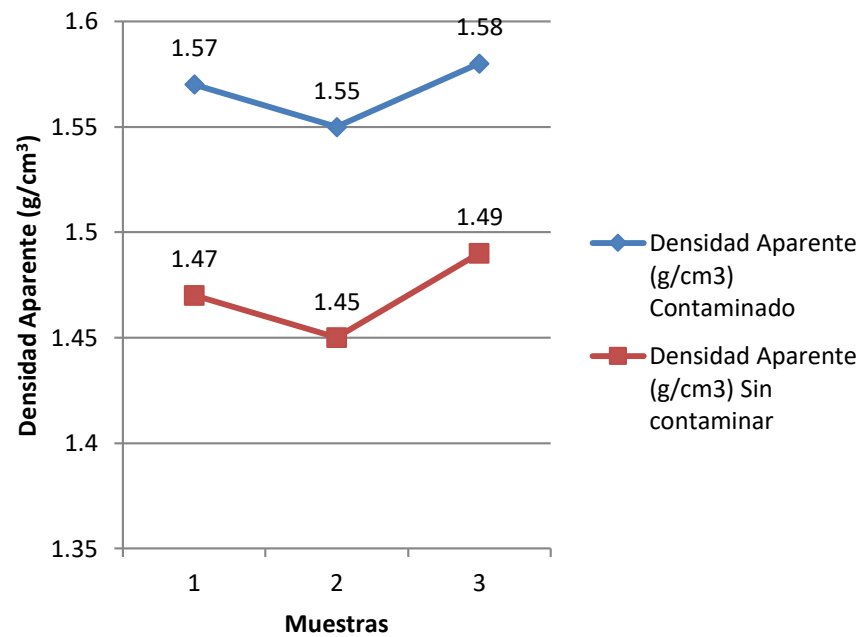


Figura 5. Comparación de densidad aparente del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

La figura 5 nos muestra la variación de la densidad aparente para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, observándose que el suelo contaminado en las tres muestras tiene mayor densidad aparente que el suelo no contaminado.

Cuadro 19. ANOVA con respecto a la densidad aparente.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Densidad	Contaminado	3	1.5667	0.01528	0.00882
	No contaminado	3	1.4700	0.02000	0.01155

En el cuadro N° 20 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p=0,003$ , por lo tanto, las densidades aparentes en ambos suelos son diferentes.

Cuadro 20. Prueba T en valores de densidad aparente.

Prueba de muestras independientes										
	Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
								Inferior	Superior	
Densidad	Se asumen varianzas iguales	.082	.789	6.653	4	.003	.09667	.01453	.05633	.13701
	No se asumen varianzas iguales			6.653	3.741	.003	.09667	.01453	.05520	.13813

#### 4.1.2. Análisis Químico

Se pudo observar que los valores encontrados en el análisis químico en las muestras de suelo contaminado; evidenciando la homogeneidad de especies vegetales, la falta de cobertura que da como resultado unos niveles de materia orgánica realmente bajos, suelos, en su mayoría realmente mal estructurados y con mala y/o baja reserva de nutrientes en cada muestra. Del mismo modo se observa que son muy bajas las concentraciones de N (%), P (ppm) a diferencia de K (ppm). presentándose a altas concentraciones. Así mismo en las muestras presentan un pH que van desde 7.12 a 7.80, que indican una condición neutra a básico de estos suelos (Sistema de clasificación USDA).

Mientras que en las muestras de suelo no contaminado nos muestra que, del análisis químico de las mismas, mostrándose así que a diferencia del suelo contaminado las muestras evidencian menores concentraciones de P (ppm) y K (ppm). Así mismo en las muestras presentan un pH que van desde 4.44 a 4.89, que indican una condición acida estos suelos (Sistema de clasificación USDA).

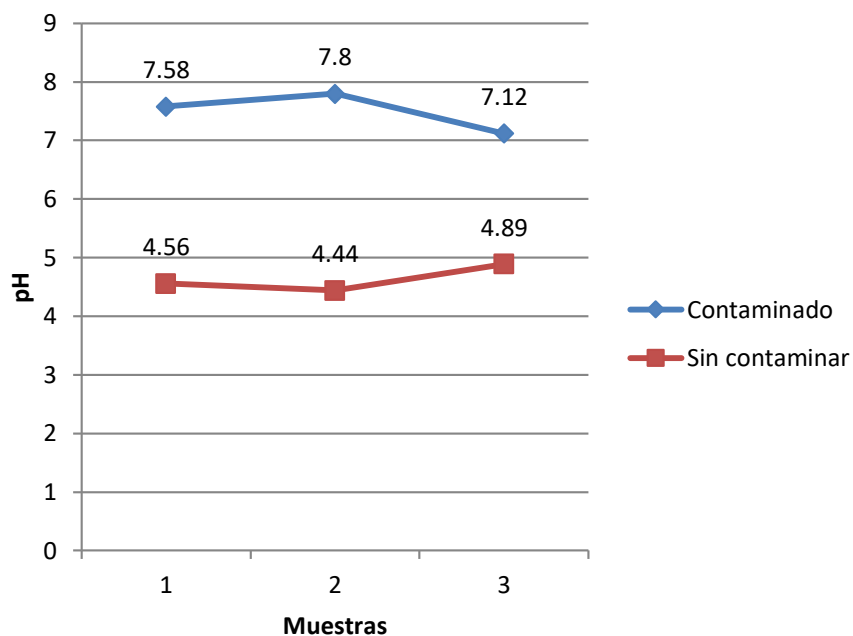


Figura 6. Comparación de pH del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La Muyuna.

La figura 6 nos muestra la comparación de pH para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, observándose que el suelo contaminado en las tres muestras muestra un pH mayor que 7 a diferencia del suelo no contaminado que muestras pH debajo de 4.89 considerándose así suelo con características básica.

Cuadro 21. ANOVA con respecto al pH

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
pH	Contaminado	3	7.5	0.34699	0.20033
	No contaminado	3	4.6300	0.23302	0.13454

En el cuadro N° 22 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,0001$ , por lo tanto el pH en ambos suelos es diferente.

Cuadro 22. Prueba T en valores de pH.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
pH	Se asumen varianzas iguales	.575	.490	11.893	4	.0001	2.87000	.24132	2.20000	3.54000
	No se asumen varianzas iguales			11.893	3.499	.001	2.87000	.24132	2.16042	3.57958

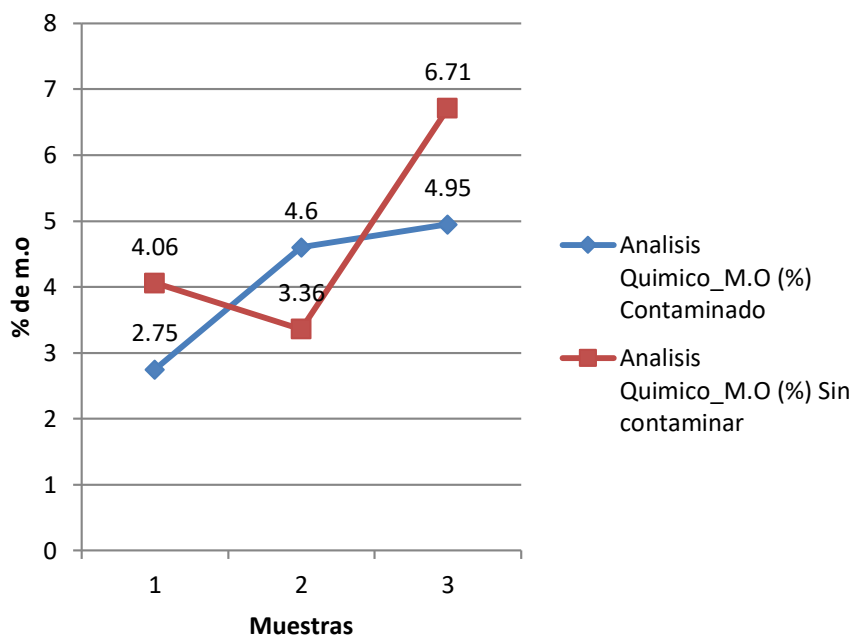


Figura 7. Comparación de materia orgánica del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

La figura 7 nos muestra la comparación de porcentaje de materia orgánica para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo no contaminado.

Cuadro 23. ANOVA con respecto al porcentaje de materia orgánica.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
M.O	Contaminado	3	4.100	1.18216	0.68252
	No contaminado	3	4.7100	1.76706	1.02021

En el cuadro N° 24 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,645$ , por lo tanto, la M.O. es igual en ambos suelos.

Cuadro 24. Prueba T en valores de materia orgánica.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
MO	Se asumen varianzas iguales	.883	.401	-.497	4	.645	-.610	1.22746	-4.01799	2.79799
	No se asumen varianzas iguales			-.497	3.491	.649	-.610	1.22746	-4.22296	3.00296

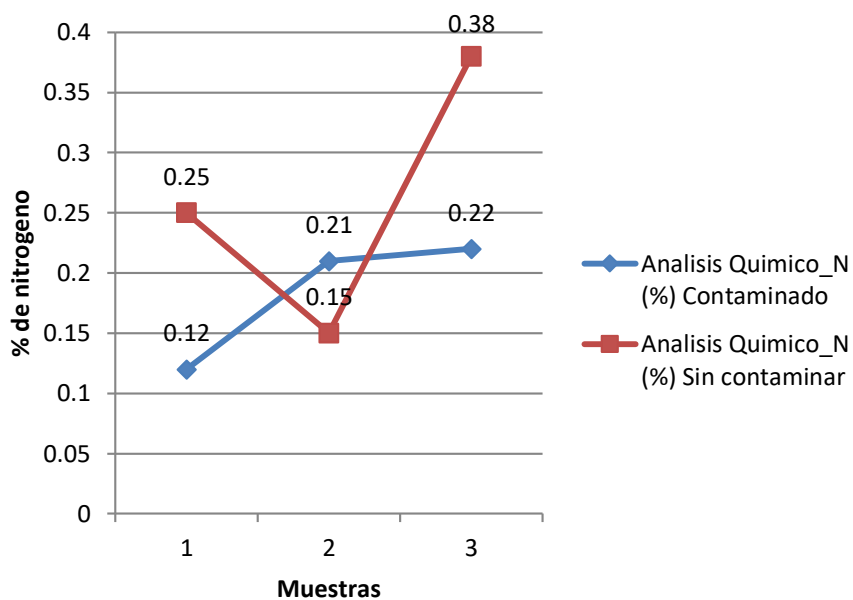


Figura 8. Comparación de nitrógeno (%) del suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

La figura 8 nos muestra la comparación de porcentaje de nitrógeno para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo no contaminado.

Cuadro 25. ANOVA con respecto al porcentaje de nitrógeno.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Nitrógeno	Contaminado	3	0.1833	0.05508	0.0318
	No contaminado	3	0.2600	0.11533	0.06658

En el cuadro N° 26 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,357$ , por lo tanto el contenido de nitrógeno es igual en ambos suelos.

Cuadro 18. Prueba T en valores de nitrógeno.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
N	Se asumen varianzas iguales	1.055	.362	-1.039	4	.357	-.07667	.07379	-.28153	.12820
	No se asumen varianzas iguales			-1.039	2.867	.378	-.07667	.07379	-.31776	.16443

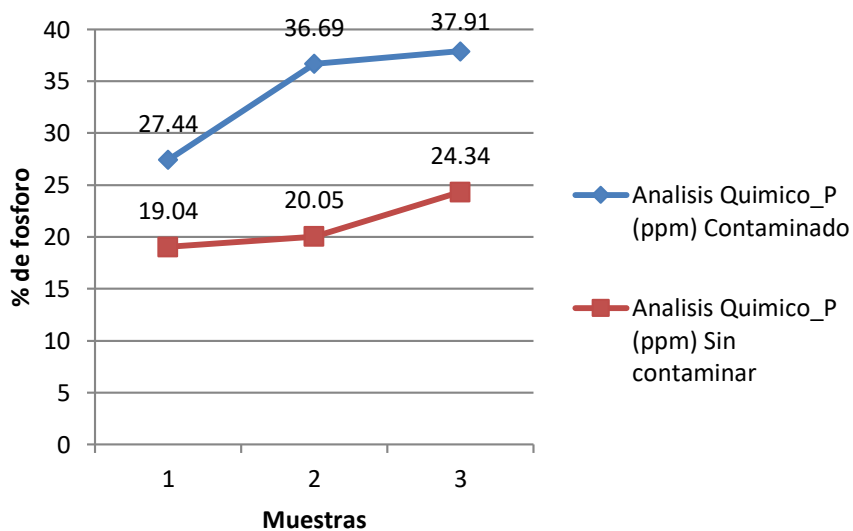


Figura 8. Comparación de porcentaje de fosforo del suelo contaminado vs suelo sin contaminar del botadero La muyuna.

La figura 9 nos muestra la comparación de porcentaje de fosforo para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 27. ANOVA con respecto a la concentración de fosforo.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo		Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Fósforo (ppm)	Contaminado	3	34.0133	5.72526	3.30548
	No contaminado	3	21.1433	2.81408	1.62471

En el cuadro N° 28 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,025$  por lo tanto el contenido de fósforo es diferente en ambas muestras de suelo.

Cuadro 28. Prueba T en valores fosforo.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Leve de calidad de varianzas			prueba t para la igualdad de medias					
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
P_ppm	Se asumen varianzas iguales	2.993	.159	3.494	4	.025	12.870	3.68319	2.64383	23.09617
	No se asumen varianzas iguales			3.494	2.913	.042	12.870	3.68319	.94806	24.79194

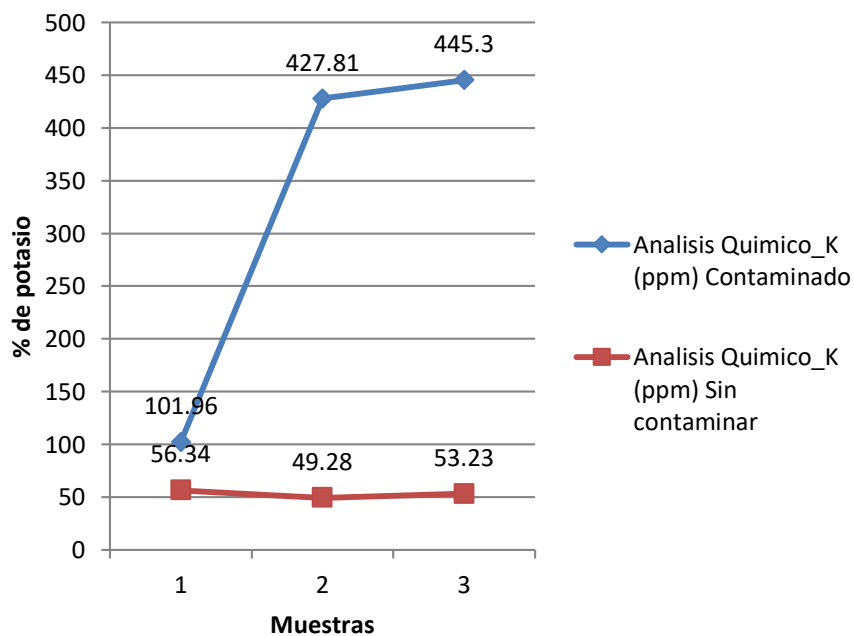


Figura 10. Comparación de porcentaje de potasio del suelo contaminado vs suelo sin contaminar del botadero La muyuna.

La figura 10 nos muestra la comparación de porcentaje de potasio para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo no contaminado.

Cuadro 29. ANOVA con respecto a la concentración de potasio.

Estadísticos de grupo					
	Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Potasio (ppm)	Contaminado	3	325.0233	193.37635	111.64589
	No contaminado	3	52.9500	3.53832	2.04285

En el cuadro N° 30 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,071$ , por lo tanto, el contenido de potasio en el suelo contaminado es diferente al contenido de potasio en los suelos no contaminados.

Cuadro 30. Prueba T en valores de potasio.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
K_ppm	Se asumen varianzas iguales	15.185	.018	2.43	4	.071	272.073	111.66458	-37.95723	582.10390
	No se asumen varianzas iguales			2.43	2	.135	272.073	111.66458	-208.07260	752.21927

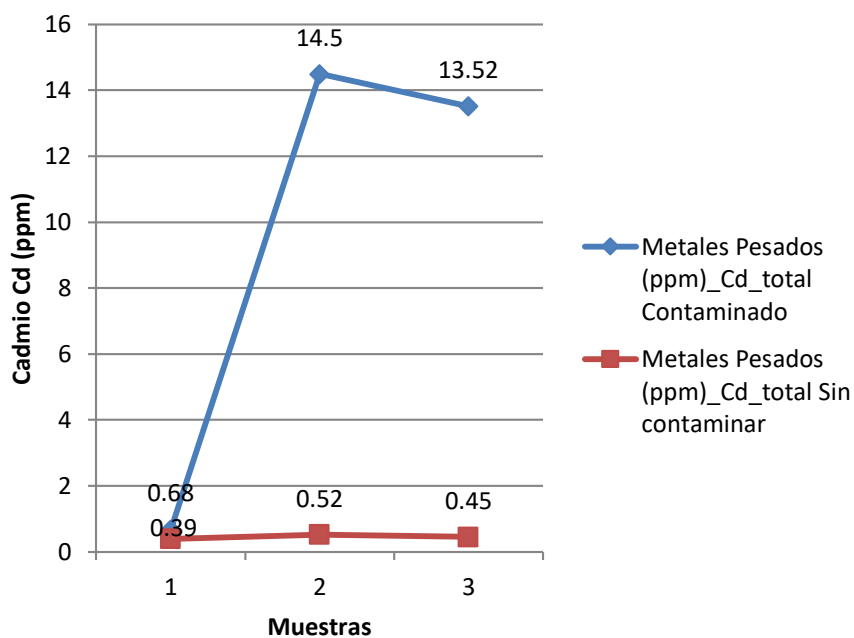


Figura 11. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de metales pesados para cadmio en el botadero La muyuna.

La figura 11 nos muestra la comparación de concentración de cadmio total para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 31. ANOVA con respecto a la concentración de cadmio total.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Cadmio Total	Contaminado	3	9.5667	7.71166	4.452
	No contaminado	3	0.4533	0.06506	0.037

En el cuadro N° 32 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,110$ , por lo tanto la concentración de cadmio total en el suelo contaminado es diferente a la concentración de cadmio total en los suelos no contaminados.

Cuadro 32. Prueba T en valores de cadmio total.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Cd_total	Se asumen varianzas iguales	15.203	.018	2.047	4	.110	9.113	4.45249	-3.24876	21.4754
	No se asumen varianzas iguales			2.047	2	.177	9.113	4.45249	-10.04157	28.2682

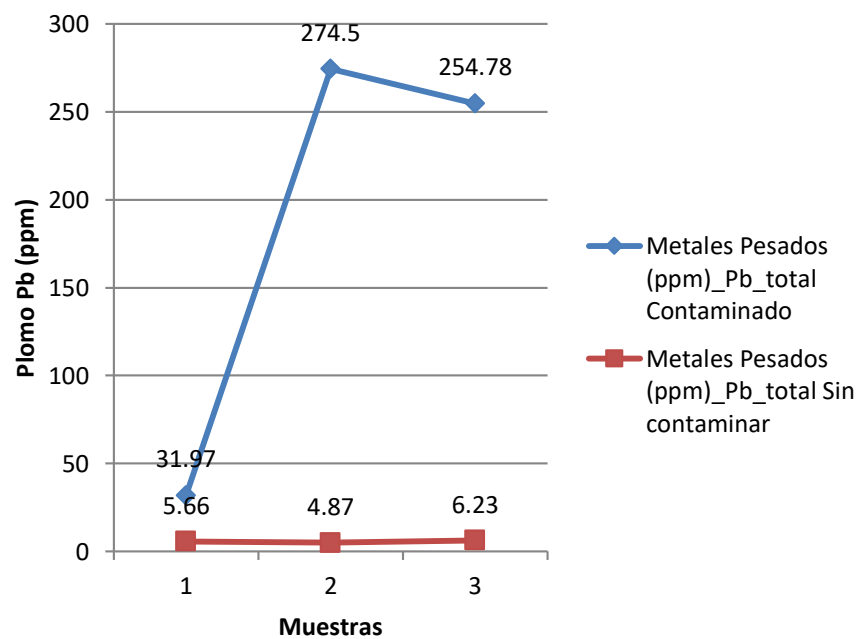


Figura 12. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de metales pesados para plomo en el botadero La muyuna.

La figura 12 nos muestra la comparación de concentración de plomo total para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 33. ANOVA con respecto a la concentración de plomo total.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Plomo Total	Contaminado	3	187.083	134.69346	77.76
	No contaminado	3	5.5867	0.68296	0.394

En el cuadro N° 34 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p=0,08$ , por lo tanto, la concentración de plomo total en el suelo contaminado es igual a la concentración de plomo total en los suelos no contaminados.

Cuadro 34. Prueba T en valores de plomo total.

		Prueba de muestras independientes						95% de intervalo de confianza de la diferencia		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Pb_total	Se asumen varianzas iguales	15.118	.018	2.334	4	.080	181.4966	77.7663	-34.41722	397.4105
	No se asumen varianzas iguales			2.334	2	.145	181.4966	77.7663	-153.08826	516.0816

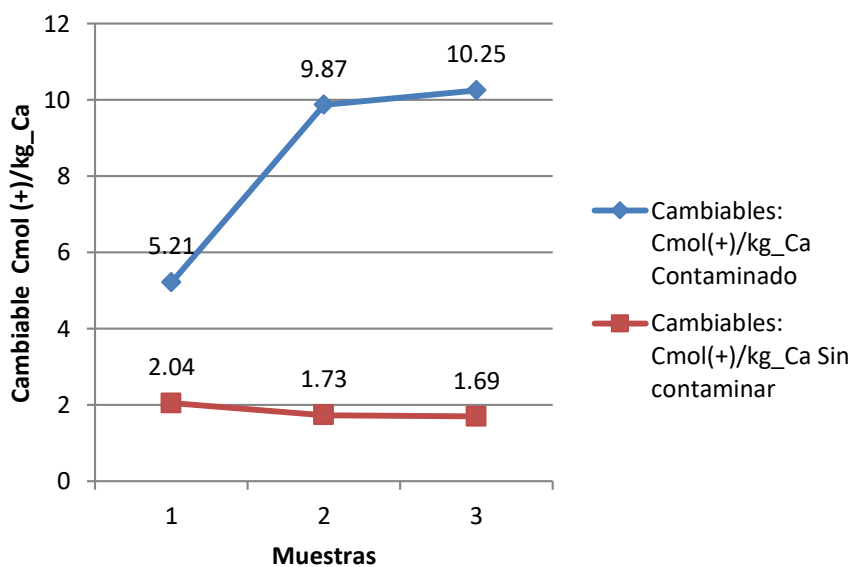


Figura 13. Comparación de bases cambiables Cmol (+)/kg de Calcio de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

La figura 13 nos muestra la comparación de Cmol (+)/kg de Calcio para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 35. ANOVA con respecto a la bases cambiables Cmol (+)/kg de calcio.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Calcio	Contaminado	3	8.4433	2.80659	1.62038
	No contaminado	3	1.8200	0.19157	0.1106

En el cuadro N° 36 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,015$ , por lo tanto, los valores de bases cambiables Cmol (+)/kg de calcio en el suelo contaminado es diferente a los valores de bases cambiables Cmol (+)/kg de calcio en los suelos no contaminados.

Cuadro 36. Prueba T en valores de la bases cambiables Cmol (+)/kg de calcio.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Ca	Se asumen varianzas iguales	13.279	.022	4.078	4	.015	6.623	1.62415	2.11396	11.13271
	No se asumen varianzas iguales			4.078	2.019	.054	6.623	1.62415	-.30338	13.55004

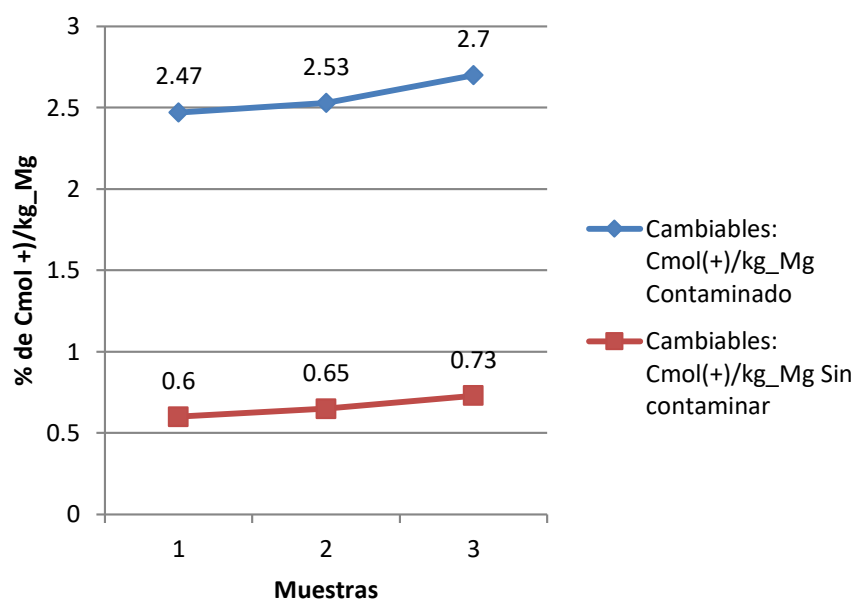


Figura 14. Comparación de bases cambiables Cmol (+)/kg de magnesio de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

La figura 14 nos muestra la comparación de bases cambiabile Cmol (+)/kg de Magnesio para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 37. ANOVA con respecto a la bases cambiables Cmol (+)/kg de magnesio.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Magnesio	Contaminado	3	2.5667	0.1193	0.06888
	No contaminado	3	0.6600	0.06557	0.03786

En el cuadro N° 38 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,000$ , por lo tanto, los valores de bases cambiables Cmol (+)/kg de Magnesio en el suelo contaminado es diferente a los valores de bases cambiables Cmol (+)/kg de Magnesio en los suelos no contaminados.

Cuadro 38. Prueba T en valores de la bases cambiables Cmol (+)/kg de magnesio

Prueba de muestras independientes										
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Mg	Se asumen varianzas iguales	1.566	.279	24.258	4	.000	1.90667	.07860	1.68844	2.12489
	No se asumen varianzas iguales			24.258	3.107	.000	1.90667	.07860	1.66135	2.15198

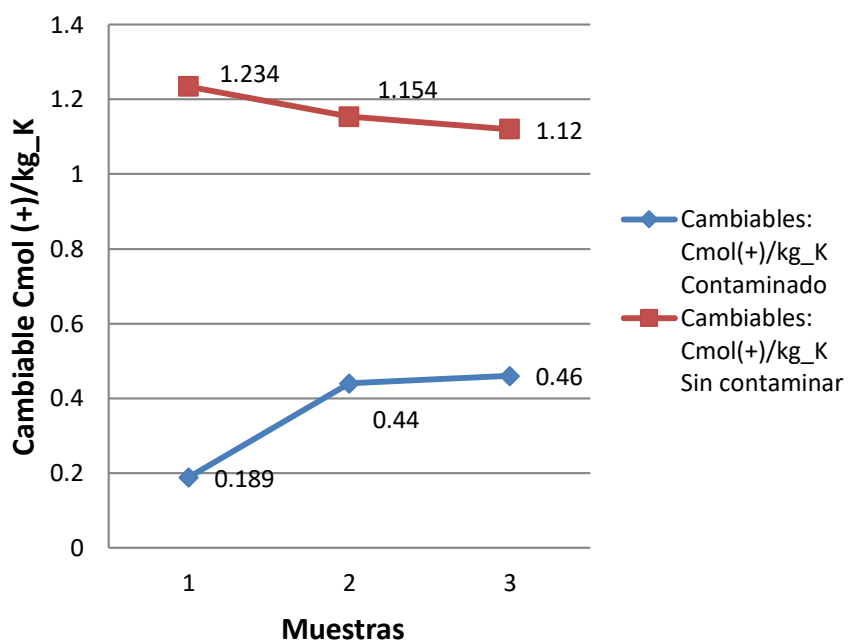


Figura 15. Comparación de bases cambiables Cmol (+)/kg de potasio de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

La figura 15 nos muestra la comparación de bases cambiables Cmol (+)/kg de Potasio para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo no contaminado.

Cuadro 39. ANOVA con respecto a la bases cambiables Cmol (+)/kg de potasio

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo		Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Potasio	Contaminado	3	0.3630	0.15102	0.08719

No contaminado	3	1.1693	0.05853	0.03379
-------------------	---	--------	---------	---------

En el cuadro 40 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,001$ , por lo tanto los valores de bases cambiables Cmol (+)/kg de potasio en el suelo contaminado es diferente a los valores de bases cambiables Cmol (+)/kg de potasio en los suelos no contaminados.

Cuadro 40. Prueba T en valores de la bases cambiables Cmol (+)/kg de potasio

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
K	Se asumen varianzas iguales	4.888	.092	-8.623	4	.001	-.80633	.09351	-1.06596	-.54671
	No se asumen varianzas iguales			-8.623	2.587	.006	-.80633	.09351	-1.13265	-.48002

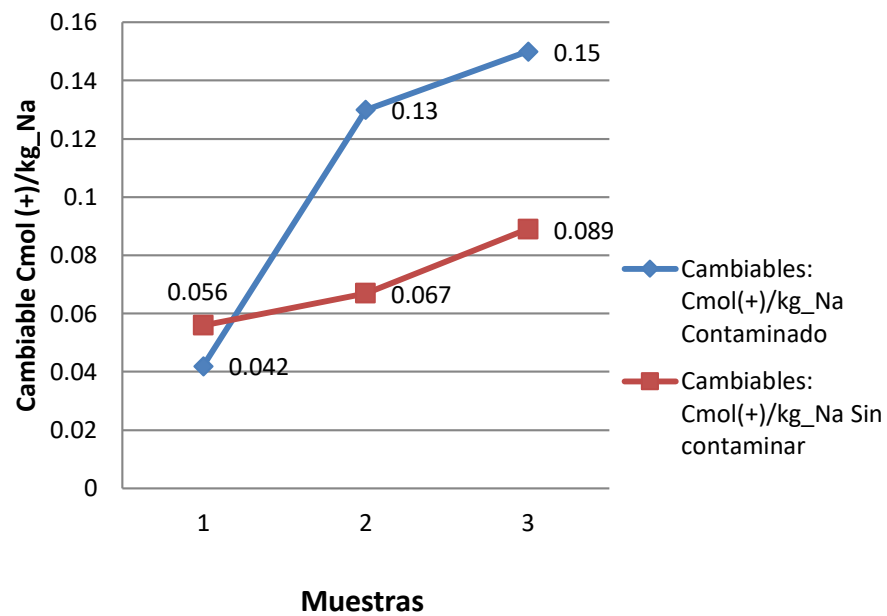


Figura 16. Comparación de bases cambiables Cmol (+) /kg de sodio (Na) de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

La figura 16 nos muestra la comparación de bases cambiables Cmol (+)/kg de Sodio para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 41. ANOVA con respecto a la bases cambiables Cmol (+)/kg de sodio.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Sodio	Contaminado	3	0.1073	0.05746	0.03317
	No contaminado	3	0.0707	0.01680	0.0097

En el cuadro N° 42 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,349$ , por lo tanto, los valores de bases cambiables Cmol (+)/kg de sodio en el suelo contaminado es igual a los valores de bases cambiables Cmol (+)/kg de sodio en los suelos no contaminados.

Cuadro 42. Prueba T en valores de la bases cambiables Cmol (+)/kg de sodio.

Prueba de muestras independientes										
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Na	Se asumen varianzas iguales	5.731	.075	1.061	4	.349	.03667	.03456	-.05929	.13263
	No se asumen varianzas iguales			1.061	2.340	.386	.03667	.03456	-.09316	.16649

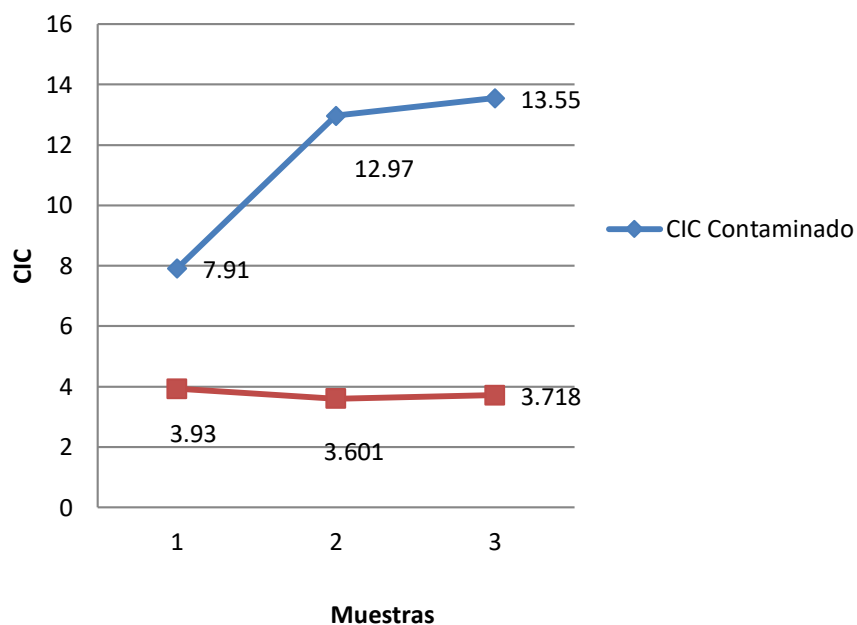


Figura 17. Comparación de bases cambiables CIC de suelo contaminado vs suelo no contaminado del botadero La muyuna.

La figura 17 nos muestra la comparación de bases cambiables CIC para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 43. ANOVA con respecto a las bases cambiables CIC del suelo.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo		Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
CIC	Contaminado	3	11.4767	3.10241	1.79118

No contaminado	3	7.3800	1.07782	0.62228
-------------------	---	--------	---------	---------

En el cuadro N° 44 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,097$ , por lo tanto, los valores de bases cambiables CIC en el suelo contaminado son igual a los valores de bases cambiables CIC en los suelos no contaminados.

Cuadro 44. Prueba T en valores de las bases cambiables CIC del suelo.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
CIC	Se asumen varianzas iguales	5.431	.080	2.160	4	.097	4.09667	1.89619	-1.16801	9.36134
	No se asumen varianzas iguales			2.160	2.476	.138	4.09667	1.89619	-2.72909	10.92243

#### 4.2. Determinación de las características microbiológicas

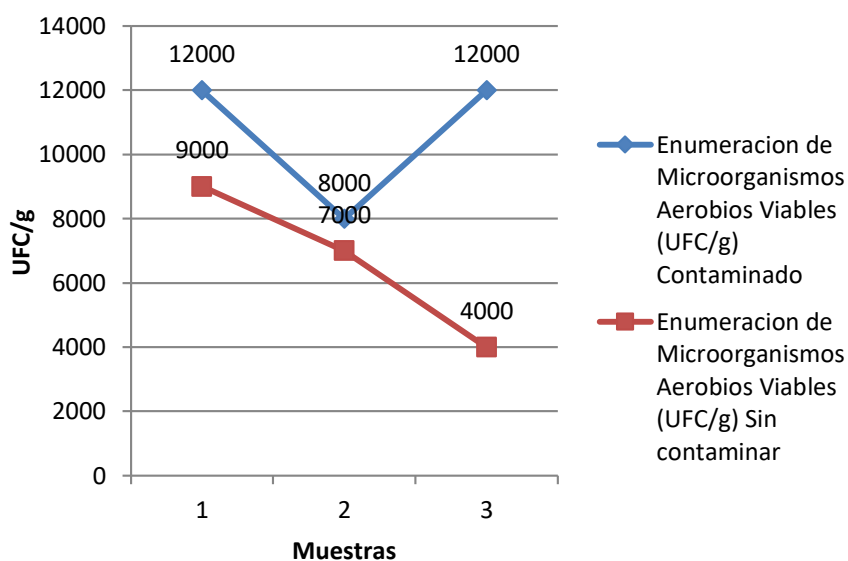


Figura 18. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de enumeración de microorganismos aerobios viables.

La figura 18 nos muestra la comparación de enumeración de microorganismos aerobios viables para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 45. ANOVA con respecto a la enumeración de microorganismos aerobios viables.

Estadísticos de grupo					
Tipo de suelo		Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Aeróbios	Contaminado	3	10666.6667	2309.40108	1333.3

No contaminado	3	6666.6667	2516.61148	1452.9
----------------	---	-----------	------------	--------

En el cuadro N° 46 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p=0,112$ , por lo tanto, los valores de enumeración de microorganismos aerobios viables en el suelo contaminado son igual a los valores de enumeración de microorganismos aerobios viables en los suelos no contaminados.

Cuadro 46. Prueba T en valores de la enumeración de microorganismos aerobios viables

Prueba de muestras independientes										
		prueba t para la igualdad de medias								
		Prueba de Leve de calidad de varianzas								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Aerobios	Se asumen varianzas iguales	.000	1	2.028	4	.112	4000	1972.0265	-1475.22	9475.223
	No se asumen varianzas iguales			2.028	3.971	.113	4000	1972.0265	-1491.12	9491.124

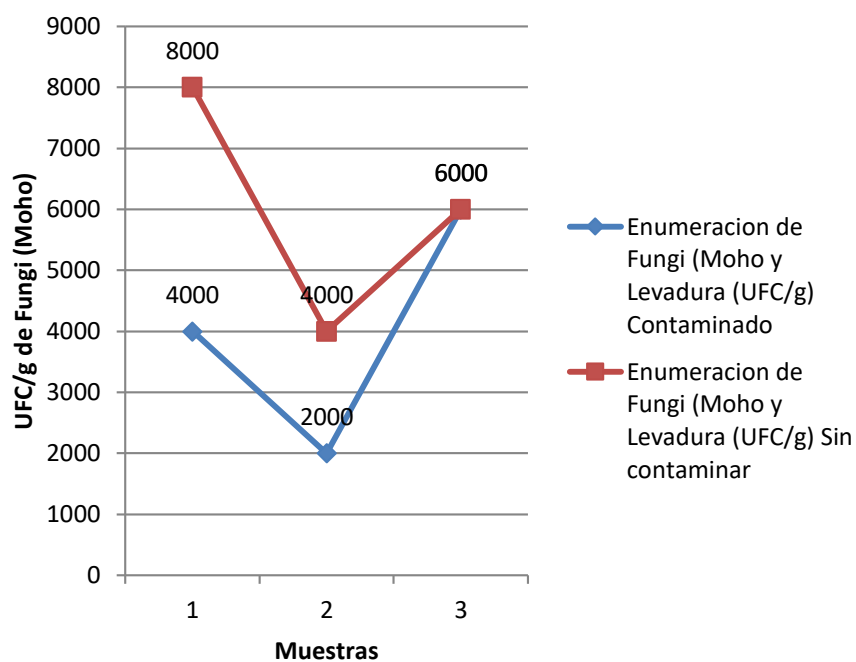


Figura 19. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de enumeración de fungi del botadero La muyuna.

La figura 19 nos muestra la comparación de enumeración de fungi para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo no contaminado.

Cuadro 47. ANOVA con respecto a la enumeración de fungi

Estadísticos de grupo				
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Fungi Contaminado	3	4000.0000	2000.0000	1154.70054

No contaminado	3	6000.0000	2000.0000	1154.70054
-------------------	---	-----------	-----------	------------

En el cuadro N° 48 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p=0,288$ , por lo tanto, los valores de enumeración de fungi en el suelo contaminado son igual a los valores de enumeración de fungi en los suelos no contaminados.

Cuadro 48. Prueba T en valores de la enumeración de fungi

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Leve de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Fungi	Se asumen varianzas iguales	0.000	1	-1.225	4	.288	-2000	1632.993	-6533.915	2533.915
	No se asumen varianzas iguales			-1.225	4.000	.288	-2000	1632.993	-6533.915	2533.915

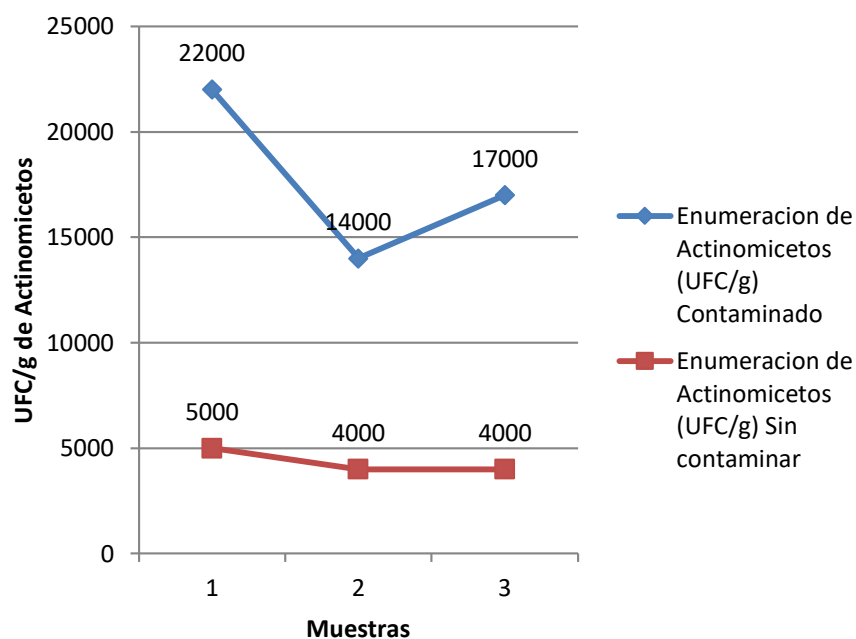


Figura 20. Comparación de suelo contaminado vs suelo no contaminado de enumeración de actinomicetos del botadero La muyuna.

La figura 20 nos muestra la comparación de enumeración de actinomicetos para las muestras de suelo contaminado y suelo no contaminado, evidenciándose una marcada diferencia en los valores existiendo un mayor porcentaje en las muestras de suelo contaminado.

Cuadro 49. ANOVA con respecto a la enumeración de actinomicetos

Estadísticos de grupo				
Tipo de suelo	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Actinomicetos Contaminado	3	17666.6667	4041.45188	2333.3333

No contaminado	3	4333.3333	577.35027	333.33333
----------------	---	-----------	-----------	-----------

En el cuadro N° 50 de resultados de la prueba t, se encuentra un valor de significación igual a  $p= 0,005$ , por lo tanto, los valores de enumeración de actinomicetos en ambos suelos son diferente.

Cuadro 50. Prueba T en valores de la enumeración de actinomicetos

Prueba de muestras independientes										
		prueba t para la igualdad de medias								
		Prueba de Leve de calidad de varianzas								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Actinomiceto	Se asumen varianzas iguales	4.65	.09	5.65	4	.005	13333.33	2357.022	6789.18	19877.47
	No se asumen varianzas iguales			5.65	2.08	.027	13333.33	2357.022	3563.48	23103.18

#### 4.3. Determinación de los parámetros biológicos

En el cuadro 51 podemos observar una relación de posibles especies a encontrar en las muestras de suelo tomada en el mismo foco del botadero La Muyuna, sin embargo, se puede apreciar que no se encontró ninguna especie.

Cuadro 51. Macrofauna colectada en suelo contaminado.

Especie	Código	Cantidad
Oligochaeta	Sp 1	0
Hymenoptera	Sp 2	0
Aracnidos	Sp 3	0
Chilopoda	Sp 4	0
Saltamonte	Sp 5	0
Orthoptera	Sp 6	0
Coleoptera	Sp 7	0
Isoptera	Sp 8	0

Como se puede observar en el cuadro 52, se nos muestra los índices hallados en función a la cantidad de macrofauna encontrada en la muestra del suelo contaminado, dichos estos todos tienen un valor a 0 lo cual se explicaría debido a que no se encontró ningún tipo de macrofauna en esta muestra de suelo

Cuadro 52. Cálculo de índices en muestras de suelo contaminado

Índices	Código	Valor
Índice de Shannon winner	H	0
Diversidad Máxima	Hmax	0
Índice de Pielou	J	0

En el cuadro 53 podemos observar una relación de 52 individuos de las cuales se le pudo clasificar en 8 especies las cuales provienen de la muestra de suelo tomada alejado del foco del botadero La Muyuna, lo cual explicaría una mayor variedad a diferencia de la muestra tomada del mismo botadero.

Cuadro 53. Macrofauna colectada en suelo sin contaminar.

Especie	Código	M1	M2	M3	n	pi	lnpi	pi*lnpi	pi <sup>(2)</sup>		
Oligochaeta	SP 1	2	4	5	11	0.12	-2.068	-0.261	0.016	-2.983	-0.377
Hymenoptera	SP 2	4	2	3	9	0.10	-2.268	-0.234	0.010	-3.273	-0.338
Aracnidos	SP 3	2	0	0	2	0.02	-3.772	-0.086	0.000	-5.442	-0.125
Chilopoda	SP 4	3	1	2	6	0.06	-2.674	-0.184	0.004	-3.858	-0.266
Saltamonte	SP 5	2	2	1	5	0.05	-2.856	-0.164	0.003	-4.121	-0.236
Orthoptera	SP 6	3	2	0	5	0.05	-2.856	-0.164	0.003	-4.121	-0.236
Coleoptera	SP 7	4	3	1	8	0.09	-2.386	-0.219	0.008	-3.442	-0.316
Isoptera	SP 8	4	0	2	6	0.06	-2.674	-0.184	0.004	-3.858	-0.266
					52						-2.1633

En el cuadro 54 podemos observar los valores de los índices obtenidos en las muestras tomadas en un punto alejado del punto de contaminación en la cual podemos apreciar un valor de 2.16 en el índice de Shannon Winner, 2.08 en diversidad Máxima y 1.04 en el índice de Pielou.

Cuadro 54. Cálculo de índices en muestras de suelo sin contaminar.

Índices	Código	Valor
Índice de Shannon Winner	H	2.16
Diversidad Máxima	Hmax	2.08
Índice de Pielou	J	1.04

#### 4.4. Determinar el índice de calidad de suelos.

En función a los datos obtenidos de las muestras se tomaron indicadores para poder evaluar la calidad del suelo tanto del botadero La Muyuna como un suelo sin contaminar.

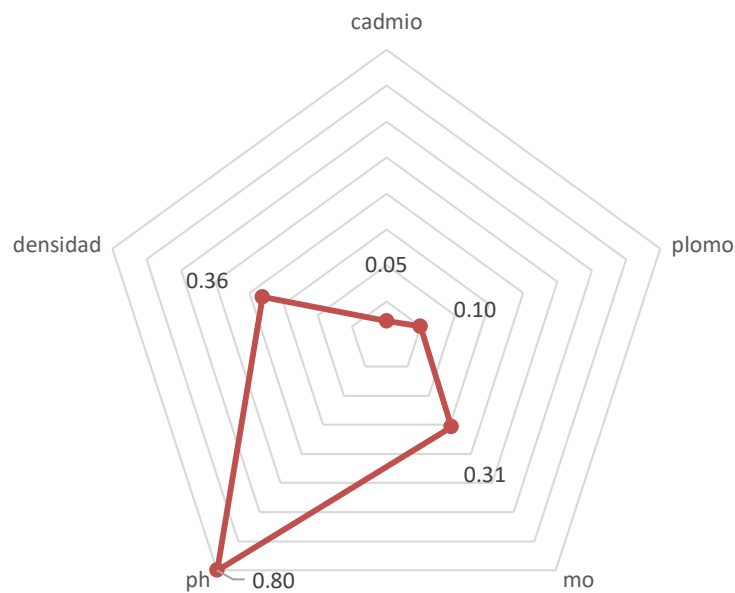


Figura 21. Valores de indicadores normalizados en suelo contaminado

La figura 21 nos muestra los valores normalizados de los indicadores para el tipo de suelo contaminado, siendo lo más resaltante los valores de metales pesados cadmio y plomo con valores de 0.05 y 0.1 respectivamente el cual indica que su calidad en esos indicadores es baja; en el siguiente punto se observa que el indicador pH con un valor de 0.8 es considerado óptimo.

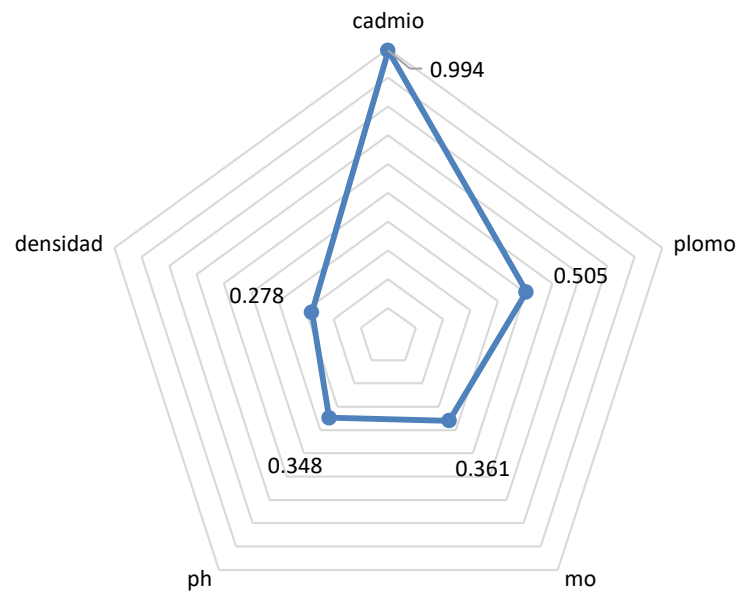


Figura 22. Valores de indicadores normalizados en suelo no contaminado

La figura 22 nos muestra los valores normalizados de los indicadores para la muestra de suelo no contaminado, siendo lo más resaltante los valores de metales pesados cadmio y plomo con valores de 0.994 y 0.505 respectivamente el cual indica que su calidad en esos indicadores es alta; por otro lado se observa que el indicador pH con un valor de 0.348 es considerado media.

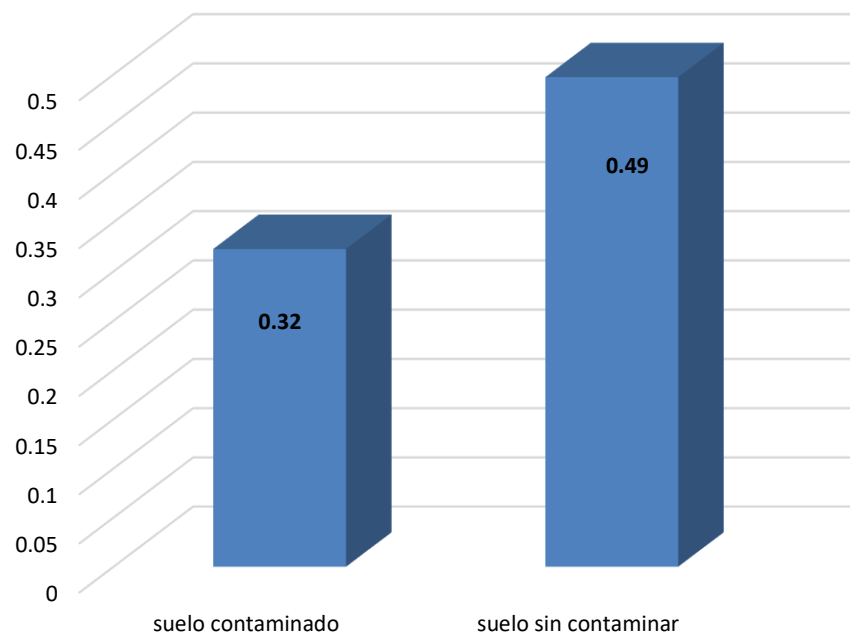


Figura 23. Índice de calidad de suelo para suelo contaminado y no contaminado.

Con los valores normalizados para cada indicador de ambas muestras (suelo contaminado y sin contaminar) se procedió a calcular el índice de calidad de suelo. La figura 23 nos muestra que el suelo contaminado obtuvo un índice de 0.32 clasificándolo como un suelo de Baja calidad por otro lado la muestra de suelo sin contaminar mostro un valor de 0.49 clasificándolo como un suelo de Moderada calidad.

## V. DISCUSIÓN

SPARLING (1997), manifiesta que la densidad aparente representa la compactación del suelo, estableciendo la relación entre sólidos y espacio poroso. Siendo esta una manera de analizar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. De allí, que la densidad aparente se altera con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica. Esto indica que la densidad puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes. En este sentido, se observa que la densidad aparente es mayor en el suelo contaminado, debido a que no hay presencia de especies vegetales lo cual generaría que al no haber elongación de las raíces exista menor porosidad disminuyendo oxigenación y drenaje del mismo.

Se puede observar una mayor concentración de pH en las muestras de suelo contaminado, esto se debe que por ser un botadero donde existe todo tipo de residuos mezclados en un mismo lugar entre ellos residuos orgánicos, en el momento de su descomposición generan amoníaco, alcalinizando así el medio. Según MATOS (2003), este parámetro afecta de una manera significativa el desarrollo de los cultivos, dependiendo del pH del suelo presentan características distintas: suelos con pH ácido: Suelen ser cortos en bases de

cambio:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^{++}$ ; esto lo podemos evidenciar en las muestras de suelo contaminado que tuvo una mayor concentración con valores de 10,25, 2,7 y 1,234 Cmol (+)/kg de calcio, magnesio y potasio respectivamente a diferencia de las muestras sin contaminar las cuales alcanzan concentración con valores 2,04, 0,73 y 0,46 Cmol (+)/kg de calcio, magnesio y potasio respectivamente; lo cual rectifica lo expuesto por el autor.

Otro de los efectos de un pH ácido es la reducción de la actividad microbiana, según los resultados existe una mayor cantidad de presencia microbiana en suelos contaminados con hasta valores de 12000, 8000 y 22000 UFG/g de microorganismos aerobios, fungi y actinomicetos.

Según MATOS (2003), la cantidad de materia orgánica del suelo depende del material vegetal, de la textura del suelo y del pH. Se puede observar un mayor porcentaje de materia orgánica en los suelos sin contaminar los cuales favorecen el desarrollo de una buena estructura, mejorando la aireación del suelo y la capacidad de retención del agua, debido a que en lugares contaminados existe una alta presencia de xenobióticos los cuales alteran el equilibrio del ecosistema edáfico.

Algunos indicadores químicos propuestos (Nitrógeno, potasio y fósforo) se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (SQI,

1996). Como se pudo observar en los resultados obtenidos existe una mayor concentración de nitrógeno y potasio (0,22 ppm y 445,3 ppm respectivamente) en las muestras sin contaminar esto debido a que en este tipo de suelo se cuenta con la presencia de microorganismo los cuales cumplen la función asimilación y solubilización de nitrógeno sin verse afectado su desarrollo por la presencia de xenobióticos.

Mientras tanto se puede observar una mayor concentración de fosforo en las muestras de suelo contaminado alcanzando su pico más alto 37,91 ppm, debido que los lixiviados que se generan en el botadero La Muyuna contiene un alto porcentaje de fosfatos lo cual incrementa los valores la concentración de fosforo en los análisis del mismo.

Los metales pesados son uno de los más importantes contaminantes ambientales. Éstos están presentes en suelo, ya sea como componentes naturales o como el resultado de la actividad humana (MANZANARES, 2006). Según MINAM, 2017 plantea como Estándares de Calidad ambiental para el suelo a los valores permitidos para el cadmio y plomo total son de 10 y 140 mg/kg respectivamente, en los resultados obtenidos en el suelo contaminado excede considerablemente a los planteados por los Estandares de calidad ambiental con un total de 14,5 mg/kg de cadmio y 274,5 mg/kg de plomo total.

En lugares como los botaderos se expone un profundo nivel de contaminación, reduciendo la calidad de vida de los habitantes a sus alrededores

y originan diversos efectos negativos entre los que se citan la reproducción y escape violento de lixiviados, la reproducción de vectores sanitarios, la falta de fijación geotécnica y cambios en la estructura de la flora y la fauna. (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2002; citado por Sánchez, 2010). Ello se ve notoriamente en los resultados del presente informe el cual en los diversos parámetros evaluados visualizamos una alteración debido a la presencia del botadero la Muyuna degradando el suelo y el ecosistema del mismo.

Según MORENO (2001), indica que en la mayoría de los ecosistemas naturales el índice de Shannon Winner va a variar entre 0,5 y 5, pero sus valores normales están entre los rangos de 2 y 3; si se tiene valores menores a 2 su diversidad es baja pero si son superiores a 3 son altos en diversidad de especies. No van a tener un límite superior en la base del logaritmo. Se calculó dicho índice para muestras de suelo el primero ubicado en el foco de contaminación y el otro alejado del mismo con niveles de 0 y 2.16 respectivamente, en función a ello podemos interpretar una marcada diferencia.

## VI. CONCLUSIÓN

1. La calidad del suelo en el botadero La Muyuna, en sus condiciones y factores se ha visto afectada severamente por la actividad de disposición de deshechos.
2. Se determinaron las características físico-químicas (textura, densidad, pH, CIC, materia orgánica, nitrógeno total, fosforo disponible, potasio disponible, metales pesados) del suelo del botadero La Muyuna.
3. Se determinaron las características microbiológicas (microorganismos aerobios viables con mayor presencia en suelo contaminado; presencia de fungi con mayor presencia en suelo no contaminado y de actinomicetos con mayor presencia en suelo contaminado) en el suelo del botadero La Muyuna.
4. Se determinó el índice biológico (para suelos contaminado y no contaminado se calculó el índice de Shannon Winner, Diversidad Máxima e Índice de Pielou, donde se obtuvo un valor de 0.00 para los 3 índices biológicos para suelo contaminado; y para suelo no contaminado se obtuvo 2.16; 2.08 y 1.04) del suelo del botadero La Muyuna.

5. Se determinó la calidad de suelo con un índice de 0.32 clasificándolo como un suelo de baja calidad para suelo contaminado y un índice de 0.49 clasificándolo como un suelo de moderada calidad para un suelo no contaminado en el botadero La Muyuna.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Promover acciones correctivas ante la situación actual que viene generando la existencia del botadero municipal La Muyuna.
2. Seguir realizando evaluaciones de la contaminación del suelo causada por los residuos sólidos en el botadero La Muyuna.
3. Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado la pronta construcción de un Relleno Sanitario, esto no solo para mitigar la contaminación del suelo sino también para mitigar la contaminación del agua y aire dentro de la zona denominada La Muyuna.

## **VIII. ABSTRACT**

The objective of this research is to evaluate the quality of the soil of the Muyuna dump in the central focus (contaminated sample) and surroundings (non-contaminated sample) using statistical analysis to determine the physicochemical, microbiological and biological characteristics; thus comparing each characteristic between the samples. To evaluate the quality of the soils, the number of indicators were taken into account and, on the other hand, the properties that for the basin and the type of soil met the criteria that were considered most relevant were chosen. Thus, the soil quality index, resulting in the contaminated soil sample obtained an index of 0.3 classifying it as a Low quality soil, likewise the uncontaminated soil sample showed a value of 0.49 classifying it as a soil of Moderate quality.

Keywords: soil quality, indices, physicochemical, microbiological, biological.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adriaanse, A. (1993). Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.

Arshad, M., & Coen, G. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture .

Bowen, M. (1979). Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London. France. 137 p.

Budd, W. (1992). What capacity the land. Editorial Soil Water Conservation 47: 28-31 p.

Buol, S. (1995). Sustainability of soil use. Annual Review of Ecology and Systematic.

Carter, M., Gregorich, E., Anderson , D., Doran, J., Janzen, H., & Pierce, F. (1997). Concepts of soil quality and their significance. En Soil quality for

crop production and ecosystem health (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands. 76 p.

Cheng, H., Zheng, C., & Zhou, D. (2001). Studies on loading capacity of agricultural soils for heavy metals and its applications in China. *Applied Geochemistry*. United States.

De la Peña, V. (2014). Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelo superficial de parques y plazas públicas, en tres municipios del área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Mexico.

Doran, J., & Parkin, B. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of América, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

FAO. (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo*. Línea de Base del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales .

- Guzman, G., & Alonso, A. (2004). El manejo del suelo en el olivar ecológico. En: Manual de olivicultura ecológica. Editorial Instituto de Sociología y estudios campesinos. Universidad de Córdoba. . España.
- Hillel, D. (1998). Fundamental of soil physics. Academic New York. United States. 238 p. New York.
- Hunnemeyer, J., de Camino, R., & Mullers, S. (1997). Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Ingraham, L. (1998). Introduccion a la microbiologia. Barcelona, España: Reverte S.A.
- Manzanares, E., Vega, H., Salas, M., Hernandez, V., Letechipia, C., & Bañuelos, R. (2006). Niveles de plomo en la población de alto riesgo y su entorno en San Ignacio, Fresnillo y Zacatecas. México. Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal. 219 p.
- Matos, M. (2003). Aplicación y Selección de Indicadores de Calidad Ecológica En La Utilización De Fertilizantes Orgánicos Para La Producción De Forraje. Universidad Santiago de Compostela. España. 243 p.

MINAN. (2013). Decreto Supremo N° 002-2013-MINAN, Guía para muestreo de suelos. Lima.

Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. España.

PCM. (24 de julio de 2004). Decreto Supremo N°057-2004-PCM.2004, Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos. Obtenido de Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos. 68 p. [En línea]: (<http://sial.segat.gob.pe/normas/reglamento-ley-general-residuos-solidos>,

Plant. (2001). Absorción de iones metálicos y ácidos húmicos.

Roming, D., Garlynd, M., Harris, R., & Mcsweeney, K. (1995). How farmers assess soil health and quality. J. Soil Water Conservation .

Semarnat. (2000). Indicadores para la Evaluación del Desempeño Ambiental. Mexico: Instituto Nacional de Ecología.

Singer, M., & Ewing, S. (s.f.). Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida. United States.

Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo. (1984). Glosario de términos de la ciencia del suelo. Madison. 38 p. Madison.

Soil Quality Institute. (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Ser.

Solans, L. (9 de noviembre de 2008). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Obtenido de (<http://www.siafa.com.ar/notas/nota91/compostaje>,

Sparling, G. (1997). Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling, as Indicators of Soil Health. En Biological Indicators of Soil Health (eds. Pankhursts, C.E., Doube, B.M. y Gupta, V.S.R.).

Tотора, J., Funke, B., & Case, C. (20017). Introduccion a la Microbiologia. Buenos Aires, Argentina.

# **ANEXOS**

## Apéndice 1. Caracterización fisicoquímica del suelo

### Anexo A. Parámetros físicos del suelo

Cuadro 55. Análisis mecánico de las muestras de suelo contaminado del botadero denominado La muyuna

Muestra	Análisis Mecánico (%)				Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
	Arena	Arcilla	Limo	Textura	
1	59.68	17.04	23.28	Franco	1.57
2	69.68	13.04	17.28	Franco	1.55
3	65.68	16.04	18.28	Franco	1.58

Cuadro 56. Análisis mecánico de las muestras de suelo no contaminado de la colina adyacente al botadero denominado La Muyuna.

Muestra	Análisis Mecánico (%)				Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
	Arena	Arcilla	Limo	Textura	
1	19.28	61.08	19.04	Arcilloso	1.47
2	33.04	43.48	23.28	Arcilloso	1.45
3	27.33	55.35	17.33	Arcilloso	1.49

## Anexo B. Parámetros químicos del suelo

Cuadro 57. Análisis químico de las muestras contaminadas del suelo del botadero denominado La Muyuna

Muestra	Análisis Químico				
	pH 1:1	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
<b>1</b>	7.58	2.75	0.12	27.44	101.96
<b>2</b>	7.80	4.60	0.21	36.69	427.81
<b>3</b>	7.12	4.95	0.22	37.91	445.30

Cuadro 58. Análisis químico de las muestras no contaminado de la colina adyacente al botadero denominado La Muyuna.

Muestra	Análisis Químico				
	pH 1:1	M.O (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
<b>1'</b>	4.56	4.06	0.25	19.04	56.34
<b>2'</b>	4.44	3.36	0.15	20.05	49.28
<b>3'</b>	4.89	6.71	0.38	24.34	53.23

Cuadro 59. Análisis de metales pesados en suelo contaminado.

Muestra	Metales Pesados (ppm)	
	Cadmio total	Plomo total
1	0.68	31.97
2	14.5	274.5
3	13.52	254.78

Cuadro 60. Análisis de metales pesados en suelo no contaminado.

Muestra	Metales Pesados (ppm)	
	Cadmio total	Plomo total
1'	0.39	5.66
2'	0.52	4.87
3'	0.45	6.23

Cuadro 61. Análisis de bases cambiables de muestras de suelo contaminado del botadero denominado La Muyuna.

Muestra	CIC	Cambiabiles: Cmol(+)/kg				% BasCamb.	% Ac. Camb.	% Sat. Camb.
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K	Na			
1	7.91	5.21	2.47	0.189	0.042			
2	12.97	9.87	2.53	0.44	0.13			
3	13.55	10.25	2.70	0.46	0.15			

### Anexo C. Análisis Microbiológicos del suelo

Cuadro 62. Análisis de bases cambiables de muestras de suelo no contaminado de la colina adyacente al botadero denominado La Muyuna

Muestra	CIC	Cambiabiles: Cmol(+)/kg				% BasCamb.	% Ac. Camb.	% Sat. Camb.
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K	Na			
1	3.93	2.04	0.60	1.234	0.056			
2	3.601	1.73	0.65	1.154	0.067			
3	3.718	1.69	0.73	1.120	0.089			

Cuadro 63. Identificación de microorganismos en el suelo contaminado

Muestras	Microorganismos Aislados		
	Bacterias	Actinomicetos	Fungi
1	Bacillus sp.	Actinomyces sp.	Aspergillus sp.
	Enterobacter aerogenes		Geotrichun sp.
	Pseudomona sp.		Penecillo sp.
	Staphylococcus Auleos		
2	Bacillus sp.	Actinomyces sp.	Aspergillus sp.
	Pseudomona sp.		Geotrichun sp.
	Staphylococcus Auleos		Penecillo sp.
			Botrytis sp.
3	Bacillus sp.	Actinomyces sp.	Aspergillus sp.
			Geotrichun sp.
	Staphylococcus Auleos		Penecillo sp.
			Botrytis sp.

Cuadro 64. Identificación de microorganismos de las muestras de suelo no contaminado

Muestras	Microorganismos Aislados		
	Bacterias	Actinomicetos	Fungi
1'	Bacillus sp.	Actinomyces sp.	Aspergillus sp.
	Enterobacter aerogenes		Geotrichun sp.
	Pseudomona sp.		Penecillo sp.
	Staphylococcus Auleos		
2'	Bacillus sp.	Actinomyces sp.	Aspergillus sp.
	Pseudomona sp.		Geotrichun sp.
	Staphylococcus Auleos		Penecillo sp.
			Botrytis sp.
3'	Bacillus sp.	Actinomyces sp.	Aspergillus sp.
			Geotrichun sp.
	Staphylococcus Auleos		Penecillo sp.
			Botrytis sp.

Cuadro 65. Numeración de microorganismos de suelo no contaminado.

Análisis Microbiológico	Muestras		
	1	2	3
Enumeración de Microorganismos Aerobios Viables (UFC/gr)	$9 \times 10^3$ UFC/gr	$7 \times 10^3$ UFC7/gr	$4 \times 10^3$ UFC/gr
Enumeración de Fungi (Mohos y Levadura) (UFC/gr)	$8 \times 10^3$ UFC/gr	$4 \times 10^3$ UFC/gr	$6 \times 10^3$ UFC/gr
Enumeración de Actinomicetos (UFC/gr)	$5 \times 10^3$ UFC/gr	$4 \times 10^3$ UFC/gr	$4 \times 10^3$ UFC/gr

Cuadro 66. Numeración de microorganismos en el suelo contaminado

Análisis Microbiológico	Muestras		
	1	2	3
Enumeración de Microorganismos Aerobios Viables (UFC/gr)	$12 \times 10^3$ UFC/gr	$8 \times 10^3$ UFC7/gr	$12 \times 10^3$ UFC/gr
Enumeración de Fungi (Moho y Levadura) (UFC/gr)	$4 \times 10^3$ UFC/gr	$2 \times 10^3$ UFC/gr	$6 \times 10^3$ UFC/gr
Enumeración de Actinomicetos (UFC/gr)	$22 \times 10^3$ UFC/gr	$14 \times 10^3$ UFC/gr	$17 \times 10^3$ UFC/gr

Cuadro 67. Cálculo de índice de calidad en suelo contaminado

Factores	Mínimo	Máximo	Valor	Im-lmin	Imax-lmin	Índice
Cadmio	0.4	10	9.57	9.17	9.6	0.05
Plomo	70	200	187.08	117.08	130	0.10
Mo	0.6	12	4.10	3.50	11.4	0.31
pH	5.5	8	7.50	2.00	2.5	0.80
Densidad	1.15	2.3	1.57	0.42	1.15	0.36
Índice de calidad de suelo						0.32

Cuadro 68. Cálculo de índice de calidad en suelo no contaminado

Factores	Mínimo	Máximo	Valor	Im-lmin	Imax-lmin	Índice
Cadmio	0.4	10	0.45	0.05	9.6	0.994
Plomo	70	200	5.59	-64.41	130	0.505
Mo	0.6	12	4.71	4.11	11.4	0.361
pH	5.5	8	4.63	-0.87	2.5	0.348
Densidad	1.15	2.3	1.47	0.32	1.15	0.278
Índice de calidad de suelo						0.49

Apéndice 2. Análisis de suelos



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
 AV. UNIVERSITARIA SIN - TINGO MARIA - CELULAR 982047050 - 941531359  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos  
[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



**ANÁLISIS DE SUELOS**

<u>SOLICITANTE:</u>		<u>PROCEDENCIA:</u>																						
<b>RUFINO BARRON VICTOR</b>		SECTOR: <b>LA MUYUNA</b> DISTRITO: <b>RUPA RUPA</b> PROVINCIA: <b>LEONCIO PRADO</b> REGION: <b>HUANUCO</b>																						
N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA			ANÁLISIS MECÁNICO				pH	M.O.	N	P	Cd	Pb	K	CAMBIABLES Cmolt+/kg					CIC	%	%	%
		REF	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura	ppm	ppm								TOTAL ppm	Ca	Mg	K	Na				
1	M0183 2	SUELO	59.68	17.04	23.28	Francoso Arenoso	7.58	2.75	0.12	27.44	0.68	31.97	101.96	7.91	5.21	2.47	0.189	0.042	--	--	100.00	0.00	0.00	0.00

MUESTREO POR EL SOLICITANTE  
 FECHA: 20/07/2016



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 LAE ANÁLISIS DE SUELOS

*M. Sc. Bgo. Miguel Kuratya Rojas*  
 J E F E

Figura 24. Análisis de suelos en muestra 1 de suelo contaminado



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 982047050 - 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



# ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		PROCEDENCIA:																									
RUFINO BARRON VICTOR		LA MUYUNA RUPA RUPA LEONCIO PRADO HUANUCO																									
N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	M.O.	N	P	Cd	Pb	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+) / kg					CICa	%	Bas. Camb.	%	Ac. Camb.	%	Sat. Al
		REF	SUELO	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura									Ca ppm	Mg ppm	K ppm	Na	Al							
1'	M01956	REF	SUELO	19,28	61,68	19,04	Francos Arcilloso	4,56	4,06	0,25	19,04	0,39	5,66	56,34	3,93	2,04	0,60	1,234	0,056			100,00		0,00		0,00	

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

Fecha: 22/07/2016



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
LAB. ANÁLISIS DE SUELOS

M.Sc. Ego. Miguel Maruya Rojas  
JEFE

Figura 25. Análisis de suelos en muestra 1 de suelo no contaminado



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
 AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 982047050 - 941531359  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos  
[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



# ANÁLISIS DE SUELOS

<u>SOLICITANTE:</u>		<u>PROCEDENCIA:</u>																									
<b>RUFINO BARRON VICTOR</b>		SECTOR: <b>LA MUYUNA</b> DISTRITO: <b>RUPA RUPA</b> PROVINCIA: <b>LEONCIO PRADO</b> REGION: <b>HUANUCO</b>																									
N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	Cd	Pb	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+) / kg					CICe	%	Bas. Camb.	%	Ac. Camb.	%	Sat. Al
		REF	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura	ppm									ppm	ppm	Ca	Mg	K							
2'	M2040	SUELO	33.04	43.68	23.28	Fraco Arcilloso	4.44	3.36	0.15	20.05	0.52	4.87	49.28	3.601	1.73	0.65	1.154	0.067	--	--	100.00	0.00	0.00	0.00			

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

Fecha: 25/09/2016



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 LAB. ANÁLISIS DE SUELOS  
 M.Sc. Ego. Miguel Miatya Rojas  
 JEFE

Figura 26. Análisis de suelos en muestra 2 de suelo no contaminado



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
 AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 982047050 - 941631359  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos  
[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



# ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		PROCEDENCIA:																					
<b>RUFINO BARRON VICTOR</b>		SECTOR: <b>LA MUYUNA</b> DISTRITO: <b>RUPA RUPA</b> PROVINCIA: <b>LEONCIO PRADO</b> REGION: <b>HUANUCO</b>																					
N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	Cd	Pb	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg				CICe	%	%	%
		REF	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura	Arenoso									Francos	Ce ppm	Mg ppm	K ppm				
2	M2039	SUELO	69.68	13.04	17.28	Francos Arenoso	7.80	4.60	0.21	36.69	14.50	274.50	427.81	12.97	9.87	2.53	0.44	0.13	--	--	100.00	0.00	0.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

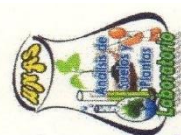
Fecha: 25/09/2016



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 LAB. ANÁLISIS DE SUELOS

M.Sc. Ego. Miguel Mataya Rojas  
 JEFE

Figura 27. Análisis de suelos en muestra 2 de suelo contaminado



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 982047050 - 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



# ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		PROCEDENCIA:																								
RUFINO BARRON VICTOR		SECTOR: LA MUYUNA DISTRITO: RUPA RUPA PROVINCIA: LEONCIO PRADO REGION: HUANUCO																								
N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	M.O.	N	P	Cd	Pb	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg					Cice	%	Ac. Camb.	%	Str. Al	%
		REF	SUELO	Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura									Ca ppm	Mg ppm	K ppm	Na	Al						
3	M2356		SUELO	65.68	16.04	18.28	Franco Arenoso	7.12	4.95	0.22	37.91	13.52	254.78	445.30	13.55	10.25	2.70	0.46	0.15	--	--	100.00	0.00	0.00	0.00	

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

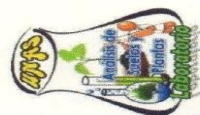
Fecha: 19/10/2016



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
LAB. ANÁLISIS DE SUELOS

M.Sc. Ego. Miguel Maraya Rojas  
JEFE

Figura 28. Análisis de suelos en muestra 3 de suelo contaminado



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 982047050 - 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisisdesuelosunas@hotmail.com



# ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		PROCEDENCIA:										SECTOR:																
RUFINO BARRON VICTOR		LA MUYUNA										RUPA RUPA																
		LEONCIO PRADO										HUANUCO																
N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	M.O.	N	P	Cd	Pb	K	CIC		CAMBIABLES Cmo(%) / kg					CICe	%	Bas. Camb.	%	Ac. Camb.	%	Sar. Al
		REF	SUELO	Arena	%	Arcilla	%								Limo	%	Textura	Ca	Mg	K	Na							
3'	M2357	SUELO	Francó Arcilloso	27.33	55.34	17.33	4.89	6.71	0.38	24.34	0.45	6.23	53.23	3.718	1.69	0.73	1.120	0.089	--	--	100.00	0.00	0.00	0.00				

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

Fecha: 19/10/2016



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
LAB. ANÁLISIS DE SUELOS  
M.Sc. Dgo. Miguel Huayra Rojas  
J E F E

Figura 29. Análisis de suelos en muestra 3 de suelo no contaminado

### Apéndice 3. Panel fotográfico



Figura 30. Botadero Municipal la Muyuna



Figura 31. Toma de muestra de suelo no contaminado



Figura 32. Toma de muestra de suelo contaminado



Figura 33. Conteo de colonias en muestras de suelo



Figura 34. Pesaje de muestras de suelo para posteriores análisis



Figura 35. Incubación de muestras para análisis