

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Aplicación de abonos orgánicos en un suelo de  
disposición final de residuos sólidos municipales y  
su efecto en las propiedades físico-químicas y  
formación de materia seca de maíz (*Zea mays* L.).  
San Jerónimo de Tunán, 2017**

Catty Sheila Torres Barahona

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Dr. Andrés Alberto Azabache Leyton

## **AGRADECIMIENTO**

A la Municipalidad Distrital de San Jerónimo de Tunán, por haber permitido realizar este trabajo, en su sitio de disposición final de residuos sólidos municipales.

Al Dr. Andrés Alberto Azabache Leyton, asesor de esta investigación, por su constante guía, paciencia, por compartir su experiencia y punto de vista objetiva, así como alentadora, durante esta investigación.

A los docentes de la Escuela Académica de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, que compartieron sus experiencias y conocimientos, dándome las herramientas que he utilizado en la presente investigación.

A mis jurados revisores, quienes con sus observaciones y sugerencias aportaron en la mejora del presente trabajo de investigación.

A todas aquellas personas que aportaron en el desarrollo de la presente investigación.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación, está dedicado a mis padres Evaristo Torres y Justina Barahona, por su apoyo incondicional durante toda mi formación, por su esfuerzo en brindarme una educación integral; a mis hermanos Doris y Roly, por su confianza, paciencia y sus palabras de aliento.

## ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE .....	V
LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>14</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	14
1.1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.1.2. Formulación del problema .....	16
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. General.....	16
1.2.2. Específicos .....	16
1.3. Justificación e importancia .....	17
1.3.1. Justificación .....	17
1.3.2. Importancia de la investigación .....	18
1.4. Hipótesis.....	18
1.4.1. General.....	18
1.4.2. Específicas .....	19
1.5. Descripción de variables .....	19
1.5.1. Variable independiente.....	19
1.5.2. VariableS dependientes .....	19
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	22
2.2. Base normativa.....	26
2.2.1. Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos ...	26
2.2.2. Decreto Legislativo n° 1278.- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	26
2.2.3. Decreto Supremo n° 014-2017-MINAM. -Reglamento del Decreto Legislativo n°	
1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos ...	26
2.2.4. Decreto Legislativo n° 1501.- Decreto Legislativo que Modifica el Decreto	
Legislativo n° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos .....	27
2.3. Base teórica.....	27
2.3.1. Los residuos sólidos municipales y sus efectos en el suelo .....	27
2.3.2. Propiedades físicas del suelo.....	29
2.3.3. Las propiedades químicas del suelo .....	30
2.3.4. Los abonos orgánicos .....	37
2.4. Definición de términos básicos.....	43
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....</b>	<b>46</b>
3.1. Método y alcance de la investigación.....	46
3.1.1. Método de la investigación .....	46
3.1.2. Alcances de la investigación .....	47
3.2. Diseño de la investigación.....	47
3.3. Población y muestra .....	51
3.3.1. Población.....	51
3.3.2. Muestra.....	51

3.4.	Técnicas de recolección de datos .....	52
3.5.	Tratamiento de datos.....	53
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>54</b>
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	54
4.1.1.	Caracterización del suelo del experimento .....	54
4.1.2.	pH del suelo.....	55
4.1.3.	Carbonato de calcio en el suelo .....	56
4.1.4.	Materia orgánica en el suelo .....	58
4.1.5.	Capacidad de intercambio catiónico del suelo .....	59
4.1.6.	Contenido de arena en el suelo .....	61
4.1.7.	Contenido de limo en el suelo .....	62
4.1.8.	Contenido de arcilla en el suelo .....	64
4.1.9.	Materia seca de la parte aérea de maíz.....	65
4.2.	Discusión de resultados .....	66
4.2.1.	Características del suelo del experimento .....	66
4.2.2.	pH del suelo.....	67
4.2.3.	Carbonato de calcio en el suelo .....	68
4.2.4.	Materia orgánica del suelo .....	69
4.2.5.	Capacidad de intercambio catiónico del suelo .....	70
4.2.6.	Contenido de arena en el suelo .....	71
4.2.7.	Contenido de limo en el suelo .....	71
4.2.8.	Contenido de arcilla en el suelo .....	71
4.2.9.	Materia seca de la parte aérea de maíz.....	72
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>73</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>74</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>75</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>78</b>
<b>PANEL FOTOGRÁFICO.....</b>		<b>91</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de las variables en estudio.....	21
Tabla 2: Tratamientos en estudio.....	48
Tabla 3: Cantidad de enmiendas orgánicas que se utilizaron por tratamiento.....	50
Tabla 4: Georreferenciación del área experimental.....	52
Tabla 5: Métodos de análisis de suelo.....	52
Tabla 6: Resultados del análisis de caracterización del suelo del experimento.....	54
Tabla 7: pH del suelo al final del experimento.....	55
Tabla 8: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el pH del suelo.....	55
Tabla 9: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. pH del suelo al final del experimento.....	55
Tabla 10: Variación del pH del suelo, respecto al pH inicial.....	56
Tabla 11: Carbonato de calcio en el suelo al final del experimento.....	56
Tabla 12: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de carbonato de calcio.....	56
Tabla 13: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Contenido de carbonato de calcio en el suelo al final del experimento.....	57
Tabla 14: Variación del contenido de carbonato de calcio en el suelo, respecto al contenido inicial.....	57
Tabla 15: Materia orgánica en el suelo al final del experimento.....	58
Tabla 16: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de materia orgánica del suelo.....	58
Tabla 17: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Contenido de materia orgánica en el suelo al final del experimento.....	58
Tabla 18: Variación del contenido de materia orgánica en el suelo, respecto al contenido inicial.....	59
Tabla 19: Capacidad de intercambio catiónico en el suelo (meq/100 g) al final del experimento.....	59
Tabla 20: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para la capacidad de intercambio catiónico del suelo.....	59
Tabla 21: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Capacidad de intercambio catiónico del suelo al final del experimento.....	60
Tabla 22: Variación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, respecto al contenido inicial.....	60
Tabla 23: Contenido de arena en el suelo (%) al final del experimento.....	61
Tabla 24: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de arena en el suelo.....	61
Tabla 25: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Contenido de arena en el suelo al final del experimento.....	62
Tabla 26: Variación del contenido de arena en el suelo, respecto al contenido inicial.....	62
Tabla 27: Contenido de limo en el suelo (%) al final del experimento.....	62
Tabla 28: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de limo en el suelo.....	63
Tabla 29: Prueba de Kruskal-Wallis para promedio de tratamientos. Contenido de limo en el suelo (%).....	63
Tabla 30: Variación del contenido de limo en el suelo, respecto al contenido inicial.....	63
Tabla 31: Contenido de arcilla en el suelo (%) al final del experimento.....	64
Tabla 32: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de arcilla.....	64
Tabla 33: Prueba de Kruskal-Wallis para promedio de tratamientos. Contenido de arcilla en el suelo (%).....	64
Tabla 34: Variación del contenido de arcilla en el suelo, respecto al contenido inicial.....	65
Tabla 35: Materia seca de la parte aérea de maíz (g/2.1 m <sup>2</sup> ) al final del experimento.....	65
Tabla 36: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de materia seca de la parte aérea de maíz.....	65



Tabla 37: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Contenido de materia seca de la parte aérea de maíz al final del experimento. ....	66
Tabla 38: Variación del contenido de materia seca de la parte aérea de maíz, respecto al testigo. ....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Puntos (X) de toma de muestra simple de suelo para obtener muestra compuesta y caracterizar física y químicamente el suelo del experimento. ....	48
Figura 2: Disposición experimental en campo EV = estiércol de vacuno. HL = humus de lombriz. C = compost. T = testigo. ....	48
Figura 3: Características dimensionales del área experimental. ....	50
Figura 4: Ubicación del área experimental. Distrito de San Jerónimo de Tunán. ....	51

## RESUMEN

Entre enero y junio de 2017, se desarrolló el presente trabajo de investigación con los objetivos de determinar las propiedades físico-químicas del suelo de disposición final de residuos sólidos municipales y la formación de materia seca de maíz (*Zea mays L.*) con aplicación de abonos orgánicos. Las propiedades del suelo evaluadas fueron: textura, pH, materia orgánica, carbonato de calcio y capacidad de intercambio catiónico. La materia seca de maíz tuvo como indicador gramos de materia seca de la parte aérea. Los tratamientos fueron: humus de lombriz, compost, estiércol de vacuno y un tratamiento sin abono orgánico, dispuestos en un diseño de bloques completamente al azar con un total de 4 tratamientos y 3 repeticiones, totalizando 12 unidades experimentales. Después de aplicado los tratamientos se sembró maíz (*Zea mays L.*) variedad San Jerónimo, con un espaciamiento entre planta de 40cm, dejando tres semillas/golpe. Los resultados muestran que el pH vario de  $7.517 \pm 0.107$  a  $7.807 \pm 0.074$ ; el contenido de carbonato de calcio tuvo un rango de  $3.367 \pm 1.266$  % y  $5.733 \pm 1.122$ ; el contenido de materia orgánica tuvo un rango entre  $1.757 \pm 1.131$  % (nivel bajo, tratamiento testigo) y  $5.277 \pm 2.103$  % (nivel alto, compost), habiéndose incrementado la materia orgánica entre 31.47% y 64.91% debido a la aplicación de abonos orgánicos. La capacidad de intercambio catiónico varió de  $14.827 \pm 1.868$  meq/100 (tratamiento testigo) a  $17.173 \pm 1.124$  (humus de lombriz); las proporciones de arena, limo y arcilla no tuvieron variación significativa entre los tratamientos evaluados, variando la arena entre  $48.333 \pm 3.06$  %  $52.333 \pm 3.06$  %, el limo entre  $26.67 \pm 1.155$  %  $30.00 \pm 2.00$  % y la arcilla entre  $22.33 \pm 3.06$  %  $21.00 \pm 2.00$  %; la formación de materia seca de maíz, medido a través de los gramos de materia seca de la parte aérea varió entre  $110.000 \pm 45.826$  g/2.1 m<sup>2</sup> y  $141.667 \pm 109.810$  g/2.1 m<sup>2</sup>, sin diferencias significativas entre los tratamientos de abonos orgánicos. El suelo fue calificado de fertilidad media.

**Palabras clave:** suelos de disposición final de residuos sólidos municipales, propiedades físico-químicas del suelo, materia seca de maíz.

## ABSTRACT

Between January and June of 2017, this research work was developed with the objectives of determining the physical-chemical properties of the final disposal soil of municipal solid waste and the yield of *Zea mays L.* with the application of organic fertilizers. The properties of the soil evaluated were: texture, pH, organic matter, calcium carbonate and cation exchange capacity. The dry matter of corn had as an indicator for grams of dry matter of the aerial part. The treatments were: earthworm humus, compost, cow dung and a treatment without organic fertilizer, arranged in a design of Blocks Completely Random. With to total of 4 treatments and 3 repetitions, totaling 12 experimental units. After applying the treatments, corn (*Zea mays L.*) variety San Jerónimo was planted, with a spacing between plants of 40 cm, leaving three seeds/knock. The results show that the pH varied from  $7,517 \pm 0.107$  to  $7,807 \pm 0.074$ ; the content of calcium carbonate had a range of  $3,367 \pm 1,266\%$  and  $5,733 \pm 1,122$ ; the content of organic matter had a range between  $1.757 \pm 1.131\%$  (low level, control treatment) and  $5.277 \pm 2.103\%$  (high level, compost), having increased the organic matter between 31.47% and 64.91% due to the application of organic fertilizers. The cation exchange capacity varied from  $14,827 \pm 1,868$  meq / 100 (control treatment) to  $17,173 \pm 1,124$  (earthworm humus); the proportions of sand, silt and clay did not have significant variation among the evaluated treatments, varying the sand between  $48.333 \pm 3.06\%$  -  $52.333 \pm 3.06\%$ , the silt between  $26.67 \pm 1.155\%$  -  $30.00 \pm 2.00\%$  and the clay between  $22.33 \pm 3.06\%$  -  $21.00 \pm 2.00\%$ ; the formation of dry matter of maize, measured through the grams of dry matter of the aerial part varied between  $110,000 \pm 45,826$  g /  $2.1$  m<sup>2</sup> and  $141,667 \pm 109,810$  g /  $2.1$  m<sup>2</sup>, without significant differences between the treatments of organic fertilizers. The soil was rated as medium fertility.

**Keywords:** final disposal soil of municipal solid waste, physical-chemical soil properties, corn dry matter.

## INTRODUCCIÓN

Los lugares de deposición final de Residuos Sólidos Municipales (RSM) son una característica regular en áreas rurales y urbanas de nuestra sociedad. Aunque la composición de los RSM puede variar de una localidad a otra, ello dependerá mayormente de la naturaleza de los residuos generados por la población que a su vez está basada en sus actividades económicas, así como lo que ellos consumen. Sin embargo, la composición de los lugares de deposición final de RSM, variada o diversa, contendrá residuos biodegradables y no biodegradables. En algunos lugares organizados, es posible encontrar residuos dispuestos sobre la base de biodegradabilidad y no biodegradabilidad, pero es común en nuestra sociedad hallar residuos dispuestos sin esta separación. Un carácter común acerca de la mayoría de los sitios de disposición final de RSM es hallar vegetación que exhibe exuberancia, y dando la impresión de que todo está bien en los constituyentes y la nutrición de la planta. Un lugar de deposición final de residuos municipales es aquel donde los habitantes de una ciudad arrojan materiales que ya no son necesarios. Los residuos pueden ser sólidos, líquidos o gases. Estos residuos terminan interactuando con el sistema suelo, por lo tanto, cambian las propiedades físicas y químicas del suelo (1).

En las últimas décadas, la aplicación de residuos orgánicos al suelo, con un alto contenido de materia orgánica, tales como estiércol de animales (2), lodos de depuradora (3,4), basura de ciudades (5,6), compost (7,8), residuos de cultivo (9,10) y subproductos (11,12) es una práctica ambiental común para mantener la materia orgánica del suelo, recuperar suelos degradados, y suministrar nutrientes a las plantas (13).

Los abonos orgánicos mejoran las propiedades del suelo y a la vez aportan nutrientes al suelo para su aprovechamiento por las plantas. En este contexto se plantea evaluar las propiedades de suelos donde se depositan residuos sólidos municipales, a los cuales se aplicó tratamientos de abonos orgánicos, después de haber desarrollado el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), en el distrito de San Jerónimo de Tunán.

La investigación consta de cuatro capítulos, el Capítulo I corresponde al planteamiento del estudio, donde se plantea y formula el problema de investigación, para determinar las propiedades físico-químicas de los suelos de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán y la formación de materia seca de maíz (*Zea mays L.*). Se plantean los objetivos, la justificación e importancia, las hipótesis y descripción de variables. Por consiguiente, en la investigación se plantea como objetivo general, determinar las propiedades físico-químicas de un suelo de disposición final de residuos

sólidos municipales y la formación de materia seca de maíz (*Zea mays L.*), después de la aplicación de abonos orgánicos, en San Jerónimo de Tunán.

La hipótesis de la investigación refiere a que un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán, donde se aplicó abonos orgánicos, variará sus propiedades físico-químicas y afectará la formación de materia seca de maíz (*Zea mays L.*), en función del tipo de abono orgánico.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico, con los antecedentes del problema, las bases teóricas basadas en las propiedades físico-químicas del suelo y la definición de términos básicos.

El Capítulo III comprende la metodología del estudio, habiéndose utilizado el método general de investigación hipotético-deductivo, el tipo aplicado y nivel de investigación explicativo, así mismo señala el diseño de la investigación como experimental, se indica la población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y tratamientos de datos.

El capítulo IV presenta los resultados y discusión, presentando los valores de las propiedades físico-químicas del suelo, y su discusión con los antecedentes reportados.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las propiedades físico-químicas de los suelos determinan su calidad y el uso que se les pueden dar, es decir, la textura, la densidad, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, entre otras propiedades permiten el funcionamiento del suelo para el crecimiento de las plantas, regulación del agua que llega al suelo, actividad y población de los organismos del suelo, inclusive la tasa de liberación y almacenamiento de los gases de efecto invernadero (14).

Las propiedades de un suelo pueden ser fácilmente alteradas, como son las propiedades químicas, y otras son difícilmente alterables como la textura (propiedad física), como consecuencia del uso y tratamiento de los suelos, afectando su funcionamiento, incluyendo la contaminación; en esta situación, la deposición de residuos municipales, va a afectar las propiedades del suelo, debido a la mezcla descompuesta de sólidos orgánicos e inorgánicos, generación de lixiviados y otros residuos de difícil descomposición que se almacenan en el suelo.

La recuperación de estos suelos, tiene a la materia orgánica como una fuente alternativa para mejorar sus propiedades. La materia orgánica tiene diferentes fuentes, algunas naturales (estiércoles) y otras procesadas (humus de lombriz, compost). Las fuentes orgánicas, una vez aplicados al suelo, interactúan con los componentes sólidos, líquidos y gaseosos del suelo y mejoran las diferentes propiedades, y de esta manera afectando al crecimiento de las plantas, que puede

dar lugar a la recuperación de estos suelos. El establecimiento de una cubierta vegetal en lugares contaminados puede retener contaminantes in situ, reduciendo así pérdidas por erosión y percolación a través del perfil de suelo. Cuando la revegetación de suelos contaminados se combina con el agregado de enmiendas como materia orgánica, la movilidad de los contaminantes en el suelo puede ser reducida a futuro (15).

Las enmiendas orgánicas tienen alto poder adsorbente, debido a sus cargas eléctricas negativas y positivas, y a la vez compleja elementos metálicos, influyendo de esta manera la movilidad y disponibilidad de los contaminantes y alterando el poder absorbente de las plantas. Cuando un contaminante del suelo es más soluble, tiene mayor movilidad y está más disponible para los organismos que lo asimilan (biota del suelo y plantas); contrariamente cuando un contaminante del suelo está adsorbido o complejado a la fase sólida, es menos móvil y está menos disponible para los organismos del suelo (16).

La generación de residuos urbanos supera la evacuación y como resultado las personas usan sus propias localidades para acumularlos. La mayoría de estos lugares de acumulación de basura urbana son ilegales y se desarrollan peligrosamente alrededor de las comunidades. Las fuentes de mejora del suelo deben ser baratas y accesibles. Una de las opciones que las personas han recurrido es el uso de abonos de botaderos de residuos municipales; sin embargo, no hay información científica disponible del uso de estos materiales, y existe el riesgo que no sea apropiadamente balanceados y mezclados con metales pesados (17).

El lugar de disposición final de residuos de San Jerónimo de Tunán se encuentra en un terreno que sirve de botadero controlado, ubicado a quince minutos del distrito de San Jerónimo de Tunán, cerca de las orillas del río Mantaro en el lado oeste del mencionado distrito. El botadero controlado no está acondicionado adecuadamente como relleno sanitario (58). La caracterización físico-química de estos suelos, antes y después de la aplicación de abonos orgánicos, dará sustento al efecto de la aplicación de materiales orgánicos en la recuperación de sus propiedades físico-químicas del suelo de disposición final de residuos sólidos municipales, después de haber desarrollado el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).



## 1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### a. Problema general

¿En qué medida la aplicación de abonos orgánicos en un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales tiene efecto en las propiedades físico-químicas y formación de materia seca de maíz (*Zea mays L.*) en San Jerónimo de Tunán, 2017?

### b. Problemas específicos

¿En qué medida un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán, enmendado con humus de lombriz, compost y estiércol de vacuno, variará sus propiedades físico-químicas?

¿Qué efecto tiene la aplicación de abonos orgánicos en un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales en la formación de materia seca de la parte aérea de maíz (*Zea mays L.*), en San Jerónimo de Tunán?

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. GENERAL

Determinar las propiedades físico-químicas de un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales y la formación de materia seca de maíz (*Zea mays L.*), después de la aplicación de abonos orgánicos, en San Jerónimo de Tunán.

### 1.2.2. ESPECÍFICOS

Determinar las propiedades físico-químicas: textura, pH, carbonato de calcio, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, de un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales, con aplicación de humus de lombriz, compost y estiércol de vacuno, en San Jerónimo de Tunán.

Determinar la formación de materia seca de la parte aérea de maíz (*Zea mays L.*) en un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales donde se aplicó abonos orgánicos, en San Jerónimo de Tunán.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

### **1.3.1. JUSTIFICACIÓN**

La aplicación de materiales orgánicos a suelos de botaderos municipales va a influir en sus propiedades físico-químicas de tal manera que se pueden recuperar estos suelos, evitando de esta manera su degradación o pérdida de sus propiedades debido a la generación de productos complejos orgánica e inorgánicamente, resultado de la oxidación, reducción, acidificación, o descomposición de los diferentes materiales que componen los residuos urbanos y que se almacenan en el suelo en un determinado periodo de tiempo.

En la presente investigación se trabajó con la planta de maíz (*Zea mays L.*), que es una planta comúnmente cultivada en San Jerónimo de Tunán, debido a que se adapta bien a las condiciones del lugar.

Se trabajó con una planta, puesto que, cuando se instala en el suelo una planta, esta al interactuar con el sistema suelo, altera las características del suelo, al crecer sus raíces empiezan a absorber nutrientes, empiezan a generar exudados. Además, de la función de las raíces de las plantas como órganos para la absorción de agua y nutrientes y el anclaje en los suelos, las raíces también son capaces de liberar una amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos en la rizosfera (59). La planta a través de estos exudados puede disolver compuestos del suelo, alterando propiedades del suelo como el pH y la cantidad de nutrientes. El suelo testigo no tendrá las mismas características, después que se siembra una planta.

Las propiedades físico-químicas del suelo, después que este ha sido utilizado como lugares de disposición final de residuos sólidos municipales, va a afectar no solo al crecimiento de una planta o cubierta vegetal que se instale allí, sino también a la actividad microbial del suelo; entonces la aplicación de materia orgánica, en sus diferentes fuentes, como en este caso, estiércol de vacuno, humus de lombriz y compost, al incorporar al suelo material ricos en carbono, fuente energética para los organismos del suelo y carga microbial, influyen en la actividad biológica del suelo, descomponiendo materiales orgánicos, liberando elementos inorgánicos y mejorando sus propiedades, resultando en una mejora de la vida y salud del suelo.

El efecto de los abonos orgánicos en suelos de diferente tipo, constituye una información valiosa para observar y medir propiedades en el suelo con fines de mejora. Cuando el hombre genera residuos sólidos en su actividad diaria, su destino

final será el suelo; estos materiales orgánicos son muy dinámicos, pues debido a la actividad de los microorganismos, se descomponen generando materia orgánica descompuesta, que da al suelo mejores propiedades físico-químicas. Al aplicar abonos orgánicos a suelos de disposición final de residuos municipales se incrementa la interacción suelo-materia orgánica y las propiedades variarán en función de los componentes del suelo y de los residuos agregados.

### **1.3.2. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La evaluación de las propiedades físico-químicas de suelos de disposición final de residuos sólidos municipales es un aporte al conocimiento aplicado del uso del suelo, que permitirá evaluar una alternativa de recuperación de estos suelos con tratamientos accesibles y de bajo costo.

Varios autores refieren que la presión para disposición de residuos sobre la tierra antes que el agua frecuentemente resulta en diseños ingenieriles forzados para sistemas de tratamiento con poca información científica rigurosa para ello. Uno de los principales problemas es que es tal el amplio rango de materiales de residuos con características físicas, químicas y biológicas que es inapropiado transferir las indicaciones de eliminación de residuos de un sistema a otro (18).

Pero también es cierto que las enmiendas orgánicas han sido propuestas como un método efectivo para mejorar propiedades de los suelos. Los estudios reportan (19,20) efectos positivos de los residuos orgánicos sobre las propiedades físicas (retención de agua y conductividad hidráulica). La mejora de estas propiedades se debe mayormente en el incremento del carbono orgánico en los suelos (21).

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. GENERAL**

Un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán, donde se aplicó abonos orgánicos, variará sus propiedades físico-químicas y afectará la formación de materia seca de maíz (*Zea mays L.*), en función del tipo de abono orgánico.

### 1.4.2. ESPECÍFICAS

El suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán, donde se aplicó humus de lombriz, compost y estiércol de vacuno, mejorará sus propiedades físico-químicas, en función del tipo de abono orgánico.

La aplicación de abonos orgánicos en un suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán, incrementará la formación de materia seca de la parte aérea de maíz (*Zea mays L.*), en función del tipo de abono orgánico.

## 1.5. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

### 1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

X = suelo de disposición final de residuos sólidos municipales con abonos orgánicos

**Definición:** Cuerpo natural sobre la superficie terrestre afectado por los factores y procesos de formación con características propias y que sirven para el crecimiento de las plantas, que ha almacenado residuos municipales en un periodo de tiempo determinado.

**Dimensiones:** tipo de suelo

**Indicador:** suelo con humus de lombriz, compost y estiércol de vacuno

### 1.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Y<sub>1</sub> = propiedades físico-químicas del suelo

**Definición:** Componentes de la fase sólida y líquida del suelo en permanente interacción: pH, carbonato de calcio, textura, CIC, cationes cambiabiles y saturación de bases (14).

**Dimensiones:** clases de propiedades físico-químicas

**Indicador:** pH, carbonato de calcio, materia orgánica, textura, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Y<sub>2</sub> = Materia seca de maíz (*Zea mays L.*)

**Definición:** Materia orgánica total que es producida por actividades esenciales de fotosíntesis y metabolismo de proteínas. Se refiere al rendimiento biológico total que

incluye hojas, tallos, raíces y otras partes de la planta que pueden ser usadas económicamente, como granos tubérculos y frutos (53).

**Dimensiones:** cantidad de materia seca

**Indicador:** gramos de materia seca de la parte aérea.

**Tabla 1: Operacionalización de las variables en estudio.**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR
X = suelo de disposición final de residuos sólidos municipales con abonos orgánicos	Cuerpo natural sobre la superficie terrestre afectado por los factores y procesos de formación con características propias y que sirven para el crecimiento de las plantas, que ha almacenado residuos municipales en un periodo de tiempo determinado	Suelo con propiedades físico-químicas, que determinan su funcionamiento.	Tipo de suelo	Suelo con abonos orgánicos: humus de lombriz, compost, estiércol de vacuno.
		porcentaje de arena, limo y arcilla, medido por el método del hidrómetro	Clases texturales	Textura del suelo
Y1 = Propiedades físico-químicas del suelo	Componentes de la fase sólida y líquida del suelo en permanente interacción: pH, CaCO <sub>3</sub> , textura, CIC, cationes cambiabiles y saturación de bases (14)	concentración de iones H <sup>+</sup> en la solución suelo, medido por el método del potenciómetro	Acidez, neutralidad o alcalinidad	pH
		Contenido de carbonato de calcio, medido por el método gaso-volumétrico	Niveles altos, bajos o medios (%)	Contenido de CaCO <sub>3</sub>
		Capacidad de intercambio catiónico, medido por el método del acetato de amonio	Niveles altos, medios o bajos (meq/100g)	CIC
		Materia orgánica del suelo (MOS), medido por el método de Walkley y Black	Niveles altos, medios o bajos (%)	Contenido de MOS
Y2 = Materia seca de maíz	Materia orgánica total que es producida por actividades esenciales de fotosíntesis y metabolismo de proteínas. Se refiere al rendimiento biológico total que incluye hojas, tallos, raíces y otras partes de la planta que pueden ser usadas económicamente, como granos tubérculos y frutos (53).	Peso seco de planta después de secada	Cantidad de materia seca	Gramos de materia seca de la parte aérea

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

En el trabajo de investigación titulado: *“Geostatistical investigation of a reclaimed dumpsite soil with emphasis on aluminum”* mencionan que la heterogeneidad espacial de suelos de botaderos municipales difiere de la de los suelos naturales debido a su origen antropogénico, lo cual hace más complicado la descripción de sus propiedades. Estos investigadores estudiaron la distribución espacial e interrelaciones entre las propiedades básicas del suelo y dos formas de aluminio, mediante una combinación de análisis de factores y geoestadística, en un suelo antropogénico de un botadero recuperado en el norte de Bohemia (Checoslovaquia). Se encontraron patrones de distribución similares para pH del suelo, acidez intercambiable, contenido de carbono oxidable, carbono orgánico extractable con pirofosfato y aluminio lábil. El parámetro de calidad de humus (relación A400/A600, A = Absorbancia) y aluminio extractable con pirofosfato de sodio mostró diferentes distribuciones espaciales. Los rangos de los modelos de variograma para la mayoría de estas variables estuvo entre 280 y 290 m; sus patrones de distribución estuvieron relacionados al manejo de recuperación de la capa arable. En el análisis de factores, fueron seleccionados tres factores explicaron el 83.8% de la variación total. El primer factor tomando en cuenta por los efectos positivos de recuperación del suelo, incluyendo la disminución de la acidez del suelo y el contenido de aluminio lábil, mientras que la influencia de la reforestación, especialmente en la cantidad y calidad del humus, estuvo bien pronunciado en el segundo factor. El efecto del depósito, indicado por la elevación, fue probablemente expresado en el tercer factor que influencia el contenido de aluminio extractable con pirofosfato de sodio. La geoestadística ha probado ser útil para

suelos antropogénicos o áreas recuperadas donde la distribución espacial de las propiedades del suelo es más determinada por actividades humanas que por evolución natural (22).

En el trabajo de investigación titulado: "*Evaluation of naturally decomposed solid wastes from municipal dump sites for their manurial value in southwest Nigeria*", se reporta que Ibadan, al igual que otros centros urbanos está caracterizado por un gran número de botaderos ilegales de residuos sólidos. Estos botaderos de residuos se descomponen bajo el calor tropical, planteando serios problemas de contaminación a los ecosistemas y al mismo tiempo son transformados naturalmente en "abonos" o compost sobre un periodo de estancia y degradación bajo el sol tropical. La rápida disminución de la fertilidad natural del suelo bajo climas tropicales junto con el alto costo de los fertilizantes químicos hace de estos abonos muy atractivos para los agricultores pobres como una fuente alternativa de fertilizantes o acondicionadores de suelo. Estos autores evaluaron el valor nutriente de residuos descompuestos de seis diferentes botaderos municipales de diferente edad entre 6 meses y 20 años. Se condujo un experimento usando cultivos de arena para estudiar los efectos de la aplicación de estos abonos sobre el crecimiento y rendimiento de un vegetal de hojas verdes, *Amaranthus caudatus*. Estos abonos fueron también comparados con fertilizantes órgano-minerales (preparados con residuos sólidos municipales y estiércol de vacuno enmendado con nitrógeno mineral y sin enmienda) usado normalmente por los agricultores. Los resultados mostraron que los abonos de botaderos son ricos en C, N, P y K, lo cual promueve el crecimiento de la planta comparado al compost normal (23).

En el trabajo de investigación titulado: "*The physical properties of soils within major dumpsites in Abakaliki urban, southeastern Nigeria, and their implications to groundwater contamination*", se tuvo como objetivos entender el impacto de las propiedades físicas del suelo en la pluma de migración de lixiviados, así como tratar de identificar los lugares de deposición de residuos sólidos propensos a infiltración de lixiviados basados en las propiedades físicas y hacer recomendaciones apropiadas sobre los mejores lugares para deposición final de residuos. Las propiedades físicas estudiadas incluyeron la densidad de volumen, porosidad total, contenido de humedad gravimétrica, conductividad hidráulica y textura. Se colectaron tres muestras de suelo de cada lugar (Water Works, New Layout, Ricemill y Iyiokwu), a una profundidad de 0-60 cm usando un muestreador de núcleo unido a una barrena de suelo. Los resultados de los cuatro lugares mostraron que todos tienen textura arenosa, alta porosidad total (Water Works 53.1%, New layout 58.3%, Ricemill 60.4% y Iyiokwu 54.2%), alta conductividad hidráulica (63.2 cm/h para Water Works, 125.3 cm/h para New Layout, 47.8 cm/h para Ricemill y 59.4 cm/h para Iyiokwu), alta afinidad



para la humedad del suelo debido a su contenido de humedad generalmente bajo (33.9% para Water Works, 42.3% para New Layout, 38.1% para Ricemill y 30.6% para Iyokwu). Por lo tanto, todos los suelos son susceptibles a la infiltración. Sin embargo, los altos contenidos de arcilla (307/1000 para Water Works, 190/1000 para New Layout, 240/1000 para Ricemill y 163/1000 para Iyokwu) y alta densidad de volumen para Water Works e Iyokwu podría causar mínima tasa de infiltración, recomendándose que New Layout y Ricemill sean reubicados a otros lugares para prevenir potenciales amenazas a la napa freática (24).

En el trabajo de investigación titulado: “*A study of physico-chemical properties and heavy metals in contaminated soils of municipal waste dumpsites at Allahabad, India*”, se tuvo como objetivos cuantificar los cambios en las propiedades del suelo bajo lugares de disposición final de residuos municipales comparándolo con propiedades de suelos de áreas adyacentes bajo usos normales. Los tres sitios de estudio fueron: Daraganj, Naini y Phaphamu, localizados en el centro, sur y norte de la ciudad, respectivamente. Estos lugares contenían una mezcla de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. El muestreo del suelo fue realizado desde marzo 2010 hasta febrero 2011 en un intervalo de cuatro meses. La profundidad de muestreo fue de 10-20 cm, el muestreo fue compuesto y por triplicado, analizándose un total de 75 muestras. El pH de los suelos de disposición final de residuos sólidos municipales varió de  $6.42 \pm 0.46$  a  $7.16 \pm 0.81$  lo cual tiende a neutro o alcalino. La capacidad de retención de agua y contenido de humedad en los sitios evaluados estuvieron en buenas cantidades ( $30.43 \pm 1.33$  a  $48.58 \pm 1.19$  y  $35.53 \pm 1.79$  a  $50.77 \pm 1.32\%$  respectivamente). La materia orgánica fue alta ( $1.60 \pm 0.39$  a  $2.25 \pm 0.48\%$ ) en los lugares de disposición final de residuos sólidos municipales comparado a sus áreas adyacentes. La clase textural jugó un rol significativo en la diferenciación normal de los suelos de áreas adyacentes que en los suelos de disposición final de residuos municipales. Se obtuvo altos niveles de metales pesados en los lugares de disposición de residuos ( $32.46 \pm 1.07$  a  $108.85 \pm 3.99$  mg/kg) en el orden de:  $Pb > Zn > Fe > Ni > Cu > Cr > Cd$ , impartiendo alta contaminación en Daraganj mientras que Phaphamau fue el menos contaminado. Las propiedades físico-químicas y las concentraciones de metales pesados de cada lugar fueron correlacionadas uno con otro y se encontró muchas correlaciones significativas. Las concentraciones de Zn estuvieron altamente correlacionadas con las concentraciones de Cu, Ni y Pb ( $r = -0.66$  a  $0.86$ ,  $p < 0.05$ ). Las concentraciones de Cr estuvieron también significativamente correlacionadas con Ni y Pb ( $r = -0.62$ ,  $-0.69$ ,  $p < 0.05$ ) (25).

En el trabajo de investigación titulado: “*Effect of municipal solid waste on the growth of maize*” (*Zea mays L.*), se tuvo como objetivo evaluar como los residuos municipales pueden afectar el crecimiento de maíz. Esta investigación fue conducida en la Granja de Enseñanza e Investigación del colegio de Artes y Ciencias del estado de Bayelsa, Agudama-Epie, Yenagoa, Nigeria. Los residuos sólidos municipales y los suelos fueron colectados al azar de cada localidad, a una profundidad de 0-30 cm con la ayuda de una barrena. La muestra control fue colectada de parcelas en descanso de cada localidad a una distancia de 100 m del lugar de disposición final de residuos sólidos municipales. Dos kg de suelo fueron apropiadamente preparados y se les agregó 50 g de residuos sólidos municipales en cada tratamiento, igualmente para la muestra control, cada uno con tres repeticiones. Las muestras fueron mantenidas húmedas diariamente por 20 días hasta antes de la siembra. Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de Bloques Completamente Randomizados y se analizó los siguientes parámetros de plantas: porcentaje de emergencia, número de hojas, altura de planta y área foliar. El suelo de cada unidad experimental fue muestreado a una profundidad de 0-7 cm a las seis semanas después de la siembra, analizando pH, materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico efectiva, nitrógeno total, fósforo disponible y cationes cambiabiles. Los parámetros de crecimiento de la planta disminuyeron con el incremento del ciclo del cultivo. El crecimiento de maíz en los suelos de disposición de residuos sólidos municipales fue mejor que en las muestras control. Se observó un incremento en altura de planta, área foliar y número de hojas por planta en un rango de 16.82 cm a 12.87 cm, 5 a 4 y 64.69 cm a 59.88 cm para los suelos con disposición final de residuos municipales y las muestras control respectivamente. El pH del suelo, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y capacidad de intercambio catiónico efectiva disminuyeron con el incremento del ciclo del cultivo respectivamente. La muestra de suelo de disposición de residuos sólidos municipales registró altos valores promedio que el control ( $P < 0.05$ ). Todo indica que los residuos sólidos municipales son benéficos para la planta solo si son apropiadamente y cuidadosamente clasificados y separados de residuos peligrosos (26).

## **2.2. BASE NORMATIVA**

### **2.2.1. GUÍA TÉCNICA PARA LA CLAUSURA Y CONVERSIÓN DE BOTADEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS**

El 2014, el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPI/OPS) ponen a disposición la Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos con la finalidad de contribuir a la conversión y clausura de los botaderos del Perú.

### **2.2.2. DECRETO LEGISLATIVO N° 1278.- LEY DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Aprobado mediante decreto legislativo, el viernes 23 de diciembre del 2016. En el artículo 45 hace referencia a la recuperación y reconversión de áreas degradadas por residuos, el artículo 65 menciona cuales son las infraestructuras para el manejo de residuos sólidos.

### **2.2.3. DECRETO SUPREMO N° 014-2017-MINAM. -REGLAMENTO DEL DECRETO LEGISLATIVO N° 1278, DECRETO LEGISLATIVO QUE APRUEBA LA LEY DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Aprobado mediante decreto supremo, el jueves 21 de diciembre del 2017. En el artículo 41 y 42 hace referencia que, la disposición final de residuos deben ser realizadas en rellenos sanitarios, en el artículo 108 menciona las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos, el artículo 112 indica los aspectos mínimos que se debe tener en cuenta para el plan de cierre de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos, el artículo 113 menciona acerca de la prohibición del uso del área de disposición final como habilitación urbana y la construcción de edificaciones de cualquier naturaleza y el artículo 120 menciona acerca de la recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos.

#### **2.2.4. DECRETO LEGISLATIVO N° 1501.- DECRETO LEGISLATIVO QUE MODIFICA EL DECRETO LEGISLATIVO N° 1278, QUE APRUEBA LA LEY DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Aprobado mediante decreto legislativo, el lunes 11 de mayo del 2020. Modifica artículos del Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos; entre los artículos que modifica, modifica el artículo 65, el cual refiere acerca de las infraestructuras para el manejo de residuos sólidos.

### **2.3. BASE TEÓRICA**

#### **2.3.1. LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y SUS EFECTOS EN EL SUELO**

La disposición final de basura es una de las prácticas más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de deshacerse de los residuos que él mismo produce en sus diversas actividades. Se le llama lugar de disposición final de residuos sólidos municipales, al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural, etc. Allí no existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente, el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemas y humos, polvo y olores nauseabundos (27).

Los residuos sólidos municipales son subproductos no deseados de la vida moderna, generado por personas que viven en las áreas urbanas. Estos pueden ser agregados al suelo para su mejora (28). La disponibilidad de nutrientes para las plantas es fuertemente influenciada por la cantidad de carbono y otros nutrientes, especialmente nitrógeno. La materia orgánica (que contiene principalmente carbono) es agregada al suelo por la incorporación de materiales vegetales, estiércol de residuos animales, lodos de depuradora o residuos municipales (26). Las enmiendas orgánicas no solo influyen directamente en la fertilidad del suelo, sino también afectan la composición y actividad de los organismos del suelo (29). Se ha reportado que los residuos sólidos municipales tienen la habilidad de mejorar los suelos que han sido cultivados por muchos años, pero que pueden ser deficientes

en nutrientes como boro, zinc, cobre, y el compost de residuos sólidos municipales mitiga tales deficiencias (30).

Otro beneficio de la aplicación de materiales orgánicos incluye la mejora de las características físicas del suelo, tales como capacidad de retención de nutrientes y estimulación de actividades microbiales que pueden mejorar el crecimiento de la planta y disminuir la lixiviación de contaminantes en los suministros de residuos. El compost de los residuos sólidos municipales ha sido usado para mantener por largo tiempo la productividad de agro-ecosistemas y para proteger el ambiente suelo del sobre cultivo (29).

Los residuos son sustancias u objetos que habiendo llegado al final de su vida útil se desechan, procediendo a tratarlos y depositarlos en lugares previamente señalados. Entre los principales impactos ambientales que puede generar la disposición final de los residuos se pueden señalar los siguientes (31):

- Afectación de la calidad del agua y alteración de las características hidráulicas, tanto superficiales como subterráneas;
- Alteración de la cantidad de biomasa, del tipo de vegetación y fauna;
- Alteración de las propiedades físicas, químicas y de fertilidad de los suelos;
- Emisiones atmosféricas de dioxinas y furanos, sulfuros de hidrógeno, entre otros;
- Emisión de gases de efecto invernadero, como metano y dióxido de carbono, fruto de los procesos de degradación anaeróbica en los rellenos sanitarios;
- Enfermedades provocadas por vectores sanitarios, cuya aparición y permanencia pueden estar relacionados en forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas del manejo de los residuos;
- Impactos paisajísticos;
- Riesgo de accidentes, tales como explosiones o derrumbes;
- Deterioro anímico y mental de las personas directamente afectadas por la cercanía de residuos;
- Mal olor;
- Contaminación acústica derivada del transporte de residuos.

## **2.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**

### **2.3.2.1. La textura**

El conocimiento de las proporciones de partículas de diferente tamaño en un suelo (es decir la textura del suelo) es crítico para el entendimiento del manejo y comportamiento del suelo. Cuando se investigan los suelos en un lugar, la textura de diferentes horizontes del suelo es frecuentemente lo primero y la más importante propiedad que se determina, para un científico del suelo puede esquematizar muchas conclusiones desde esta información. Además, la textura de un suelo en el campo no es fácilmente sujeta de cambio, de tal manera que es considerada una propiedad básica en un suelo (14).

A través de largos periodos de tiempo, los procesos pedológicos, tales como la iluviación y la meteorización mineral pueden alterar las texturas de ciertos horizontes de suelo. Igualmente, la erosión y subsecuente deposición descendente puede remover o depositar selectivamente partículas de cierto tamaño. Sin embargo, las prácticas de manejo generalmente no alteran la clase textural de un suelo en el campo. Los cambios de la textura de un suelo dado podrían necesitar la mezcla con otro material suelo de diferente clase textural. Por ejemplo, podrían considerarse, la incorporación de grandes cantidades de arena para cambiar las propiedades físicas de un suelo arcilloso para uso en recipientes de invernadero o para césped para cambiar la textura del suelo. Sin embargo, agregar turba o compost a un suelo mientras se mezcla un substrato no constituye un cambio en textura, desde que esta propiedad física se refiere solo a las partículas minerales (14).

En general el cambio de textura es poco práctico en el campo, excepto en áreas muy pequeñas, tales como campos de golf o recipientes (macetas) con suelo. Las cantidades de arcilla o arena a ser agregadas son demasiado grandes. Cuando se agrega arena a un suelo arcilloso para hacerlo más suelto, las partículas de arcilla rodean a las partículas de arena y llena cualquier poro que pueda ser creado. Como resultado, el suelo continúa comportándose como arcilloso. Para modificar la arcilla,

se debe agregar suficiente arena para hacer que los granos de arena se junten unos con otros para formar puentes que excluyan la arcilla de los poros entre los granos de arena. Una manera de mejorar los suelos arcillosos es agregar materia orgánica. La materia orgánica puede mejorar las texturas extremas haciendo los suelos arenosos sean menos áridos y más fértiles y haciendo más sueltos los suelos arcillosos. Esta debe ser considerada una de las reglas del manejo del suelo: agregar materia orgánica para mejorar el suelo. Se debe tener en cuenta que la materia orgánica no cambia la textura del suelo, sin embargo, modifica otras propiedades muy importantes (32).

### **2.3.3. LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO**

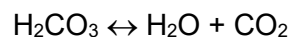
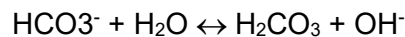
#### **2.3.3.1. El pH**

El grado de acidez o alcalinidad del suelo, expresado como pH, es una variable maestra que afecta un amplio rango de propiedades químicas y biológicas del suelo. Esta variable química mayormente influye en la probabilidad que las raíces de las plantas absorban elementos nutrientes y tóxicos. El pH del suelo también tiene un pronunciado impacto sobre las comunidades de microorganismos del suelo y sus actividades. La mezcla de especies que domina un paisaje bajo condiciones naturales frecuentemente refleja el pH del suelo. Muchos factores complejos afectan el pH del suelo, pero ninguno más que dos balances simples: el balance entre cationes ácidos y no ácidos sobre las superficies coloidales y el balance entre iones hidrógeno y oxidrilos en la solución suelo. Estos balances, a su vez, son mayormente controlados por la naturaleza de los coloides del suelo. Por lo tanto, la comprensión y manejo de la acidez del suelo, es esencial para tener un buen sustento de los conceptos de superficies coloidales cargadas e intercambio catiónico (14).

El pH del suelo resulta de la interacción de los minerales del suelo, iones en solución, e intercambio catiónico. En términos simples, el pH alto es causado por la reacción del agua y compuestos básicos de calcio, magnesio, y sodio para formar iones hidróxido. El pH bajo es causado por la percolación de agua levemente ácida, que neutraliza las bases y

reemplaza los cationes básicos en el complejo de intercambio con iones hidrógeno. Los suelos muy básicos están saturados con más del 100% de bases, es decir, no solo todos los sitios de intercambio con cationes básicos, si no el suelo contiene partículas libres de minerales carbonato, tales como carbonato de calcio o caliza. El pH muy alcalino de los suelos resulta de las reacciones de los carbonatos con agua para formar iones hidroxil. Esta reacción con agua se denomina hidrólisis. Es importante notar que el carbonato actúa como la base, no el calcio, a pesar de la terminología confusa de llamar calcio como catión básico. La hidrólisis del carbonato de calcio resulta en un pH en el rango de 8.0 a 8.5 (32).

Los aniones que generan oxhidrilos ( $\text{OH}^-$ ) y elevan el pH del suelo son principalmente carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). Estos aniones se originan de la disolución de minerales como calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) o de la disociación del ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), según las siguientes reacciones (14):



En esta serie de reacciones de equilibrio unidas, el carbonato y bicarbonato actúan como bases debido a su reacción con el agua para formar hidroxil y así elevar el pH (14).

La reacción o pH del suelo es también un factor importante, sino un determinante, en temas ambientales. Controla el destino de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el suelo, afectando su degradación o descomposición, solubilidad, y precipitación por la formación de compuestos complejos, y muchos más. La adsorción de metales pesados por los coloides del suelo se incrementa con el pH. Dependiendo del pH los contaminantes orgánicos pueden estar presentes en la solución suelo en forma catiónica, aniónica o molecular. La forma en que ello ocurra determina la tasa y grado de adsorción y, por lo tanto, su movilidad en el suelo (33).



El pH del suelo es influenciado por varios factores, incluyendo material parental, precipitación pluvial, descomposición de la materia orgánica, fijación de nitrógeno, vegetación nativa, especies de planta, profundidad del suelo, fertilización nitrogenada y anegamiento. Se reporta el efecto de algunos factores. Los suelos desarrollados de material parental de rocas básicas, como serpentina, generalmente tienen un pH alto que aquellos formados de rocas ígneas ácidas, como granito. Conforme el agua de lluvia pasa a través del suelo, los nutrientes básicos como el calcio y magnesio son lixiviados. Ellos son reemplazados por elementos ácidos incluyendo aluminio e hidrógeno. Por lo tanto, los suelos formados sobre el mismo material parental bajo condiciones de alta precipitación pluvial son más ácidos que aquellos formados bajo condiciones secas. La materia orgánica del suelo que ha sido acumulada, por ejemplo, a través del mejoramiento de pastos es continuamente afectada por los organismos del suelo hay un rango de organismos del suelo que gradualmente lo cambian a humus. El efecto neto de esta actividad de los microorganismos y reacciones químicas es que el hidrógeno es liberado y el suelo se hace más ácido. Los suelos frecuentemente se hacen más ácidos cuando los cultivos son cosechados debido a que los álcalis de la planta, asociados con potasio, calcio y magnesio, en particular, son removidos. La cantidad de álcali removido varía con el cultivo particular. Las plantas leguminosas generalmente tienen altos niveles de bases que las plantas no leguminosas; también hay diferencia en la cantidad de cationes y álcalis removidos, dependiendo de la porción de la planta cosechada. La paja y el forraje tienden a contener alta concentración de álcalis que los granos o semillas (34).

El alto pH del suelo tiene algunos problemas en algunas partes del mundo donde el suelo es demasiado alcalino para las plantas, comúnmente en las zonas áridas. Aquí el exceso de cal o sodio mantiene el pH alto. Los suelos sobre encalados también pueden hacerse alcalinos. En estos suelos se encuentra bastante molibdeno, y puede hacerse tóxico. Desafortunadamente cuando se necesita acidificar el suelo, es un desafío muy grande, debido a los altos costos, siendo más práctico instalar cultivos que se adapten a pH altos (32).

### 2.3.3.2. Carbonato de calcio

Los suelos calcáreos contienen cantidades medibles de mineral nativo de  $\text{CaCO}_3$ . Estos suelos comúnmente se presentan en regiones áridas y semiáridas donde la precipitación anual es menor de 500 mm y el valor de pH es  $>7.2$ . Casi el 6% de los suelos sobre la superficie terrestre son clasificados como calcáreos. Conforme la precipitación pluvial se incrementa desde regiones semiáridas a húmedas, la profundidad para el  $\text{CaCO}_3$  presente en el suelo se incrementa. Generalmente, cuando la precipitación anual excede los 700 a 1000 mm, la cal libre no está presente en la zona radicular de las plantas. El pH de un suelo conteniendo  $\text{CaCO}_3$  en equilibrio con el  $\text{CO}_2$  atmosférico es 8.5, sin embargo, si el contenido de  $\text{CO}_2$  en el aire del suelo disminuye en 10 veces el pH es de 7.2 a 7.5. La presencia de  $\text{CaCO}_3$  generalmente no reduce la productividad de las plantas. Sin embargo, los problemas observados comúnmente en suelos calcáreos incluyen baja disponibilidad de fósforo y micronutrientes, especialmente con plantas menos tolerantes a bajos niveles de estos nutrientes (35).

Los suelos calcáreos contienen  $\text{CaCO}_3$  libre, cal no disuelta, con un pH generalmente entre 7.3 a 8.5. Con un buen manejo, los suelos calcáreos pueden ser altamente productivos. La presencia de cal libre puede tener un efecto en algunas prácticas de manejo como el uso de herbicidas, ubicación del fósforo aplicado al suelo, y disponibilidad de zinc, manganeso y hierro. Bajar el pH de suelos calcáreos no es usualmente económica (34).

La disolución de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) origina aniones carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), que generan iones  $\text{OH}^-$  que causan una elevación del pH del suelo. Cuando el  $\text{CaCO}_3$  precipita, debido a la concentración alta de iones calcio en solución, se remueve el calcio de la solución suelo, disminuyendo el pH del suelo. Debido a la limitada solubilidad del carbonato de calcio, el pH de la solución no puede elevarse más allá de 8.4 cuando el  $\text{CO}_2$  en solución está en equilibrio con la atmósfera. El pH al cual el  $\text{CaCO}_3$  precipita en el suelo está típicamente entre 7 y 8 dependiendo de la concentración de  $\text{CO}_2$  (14).

### 2.3.3.3. Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en un epipedón varía de menos de 1% en suelos de regiones áridas, a más del 10% en suelos de pradera y más del 30% en todos los horizontes de suelos orgánicos. Los factores que influyen en el contenido de materia orgánica son los siguientes (36):

- a. **Vegetación:** determina la cantidad de necromasa aportada anualmente y su calidad (composición y presencia de compuestos inhibidores). Los residuos de planta aportados al suelo varían según el ecosistema de que se trate.
- b. **Clima:** condiciona el tipo de especies vegetales, la producción de biomasa y el grado de actividad microbiana. En zonas áridas y semiáridas: poca vegetación, por consiguiente, poca materia orgánica. En zonas frías la materia orgánica tiende a acumularse. En zonas tropicales húmedas: muchos aportes, pero también mineralización muy rápida.
- c. **Organismos del suelo:** intervienen en la alteración de la materia orgánica y en su mezcla con la materia mineral (bioturbación). Cabe destacar la acción de artrópodos, oligoquetos, bacterias, hongos y otros.
- d. **Posición en una ladera:** efecto solana-umbría.
- e. **Drenaje:** la materia orgánica se descompone mal y tiende a acumularse en suelos mal aireados en los que falta oxígeno; en aquellos que están permanentemente saturados de agua se puede formar un suelo orgánico (turbera, Histosol).
- f. **Textura:** los suelos de textura arcillosa pueden tener más materia orgánica al retener más agua y nutrientes, lo que favorece la producción de biomasa. Pueden estar mal aireados.
- g. **Composición mineralógica de las arcillas:** es importante por la distinta afinidad de adsorción o complejación de las moléculas orgánicas, lo que puede suponer un efecto protector frente a la acción de los microorganismos.
- h. **Estructura del epipedón:** aireación, enraizamiento, etc.

- i. **Laboreo:** la puesta en cultivo con roza, tumba y quema o el paso de pradera a cultivo implican una pérdida de materia orgánica, ya sea por menores aportes de materia orgánica al suelo, por pérdida de erosión o por una mayor entrada de oxígeno al labrar. La disminución del laboreo, por lo general, incrementa el almacenamiento (secuestro) del carbono y el consiguiente contenido de materia orgánica del suelo.

El contenido de materia orgánica del suelo oscila entre el 1-2 % en seco y el 2-4% en regadío. Sin embargo, no es el contenido lo que más interesa, sino que la velocidad con la que la materia orgánica se transforma. La velocidad y el equilibrio de los procesos de transformación de la materia orgánica dependen de la actividad de los microorganismos encargados de estas transformaciones, que a su vez viene condicionada por diversos factores, entre los que destacan los siguientes (37):

- a. **La naturaleza de los residuos orgánicos.** Algunas sustancias se descomponen con rapidez, mientras que otras se descomponen con lentitud. Estas últimas son las que se transforman en humus.
- b. **La temperatura.** Las transformaciones son más rápidas con temperaturas altas, debido a que los microorganismos proliferan con más rapidez en estas condiciones.
- c. **La humedad.** La humedad excesiva es poco favorable para el desarrollo microbiano. Por eso, en regiones de climas húmedos se acumula en el suelo mayor cantidad de materia orgánica que en regiones áridas.
- d. **La aireación del suelo.** Las condiciones que favorecen la aireación del suelo (laboreo, drenaje) estimulan la actividad de los microorganismos, con lo cual aumenta la velocidad de las transformaciones.
- e. **El contenido de nitrógeno.** Los residuos ricos en nitrógeno se descomponen con mayor rapidez que aquellos con menor contenido, debido a que los microorganismos necesitan de este elemento.

- f. **La acidez del suelo.** Los suelos ácidos no son favorables para el desarrollo de los microorganismos transformadores. El pH más adecuado está comprendido entre 6 y 7.2. El encalado mejora notablemente la actividad de los suelos ácidos.

#### **2.3.3.4. Capacidad de intercambio catiónico**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de una muestra de suelo dada está determinada por la cantidad relativa de diferentes coloides en el suelo y por la CIC de cada uno de estos coloides. Los suelos arenosos, que son generalmente bajos en material coloidal, tiene baja CIC comparado a aquellos exhibidos por los suelos franco limosos y franco arcillosos. También se debe precisar que la alta CIC está asociada con el humus que aquellos exhibidos por las arcillas inorgánicas, especialmente caolinita y óxidos de hierro y aluminio. La CIC proveniente del humus generalmente juega un rol muy prominente, y algunas veces un rol dominante, en reacciones de intercambio catiónico en horizontes A (14).

La llamada capacidad de intercambio catiónico se expresa como una medida de la cantidad de moles de carga positiva por unidad de masa. Esta puede expresarse en unidades del Sistema Internacional en términos de centimol de carga positiva por kg de suelo (cmol/kg). Si un suelo tiene una capacidad de intercambio catiónico de 20 cmol/kg significa que puede adsorber o intercambiar 20 centimoles de  $H^+$  por cualquier otro catión univalente ( $K^+$  o  $Na^+$ ). Para un catión divalente como  $Ca^{+2}$  o  $Mg^{+2}$ , este valor es la mitad de la cifra mencionada, (10 cmol), ya que la adsorción o intercambio se efectúan en base a equivalentes químicos. Para un ion trivalente este valor es un tercio. La capacidad de intercambio catiónico puede medirse sin necesidad de estimar la cantidad de elementos individuales que intervienen, y su determinación es frecuente en análisis de suelos. Muchos autores aún expresan la capacidad de intercambio catiónico en términos de meq/100 g de suelo. Como 1 meq/100 g de suelo es igual a un cmol de carga positiva (o negativa) por kg de suelo el valor numérico expresado en meq/100 g de suelo y en cmol/kg es igual. Debería observarse, sin embargo, que para

mantenerse estrictamente dentro de las unidades del Sistema Internacional, la CIC debería expresarse como cmol/kg (38).

Muchos de los componentes de la fase sólida del suelo retienen moléculas o iones, en forma más o menos permanente. Algunos de estos procesos son reversibles, y los diferentes iones se retienen en cantidades aproximadamente equivalentes. Para analizar estos procesos, se acostumbra utilizar el término de “cambio o intercambio de iones”. Aunque estos fenómenos se conocen hace más de un siglo y medio, todavía quedan muchas preguntas sin respuesta precisa; en parte porque en los suelos ocurren, al mismo tiempo, fenómenos de diversos tipos de adsorción, pero también debido a que, no siempre es posible definir si los procesos que suceden son de cambio, de adsorción o de otro tipo. Se sabe, además, que la retención de iones puede producirse por diferentes tipos de reacciones, particularmente en el caso de suelos de cargas variables. Por su fuerte influencia sobre las propiedades de los suelos, tanto químicas como físicas y biológicas, es de importancia un buen conocimiento de estos fenómenos, los que ya han sido ampliamente estudiados en condiciones de clima templado (39).

Se necesita una capacidad efectiva de intercambio catiónico de por lo menos 4 meq/100 g para retener la mayoría de los cationes contra la lixiviación. Valores mayores de CIC son aún mejores, especialmente si los cationes intercambiables presentes son divalentes. Debido a la presencia de minerales altamente meteorizados o a texturas arenosas, muchos suelos tropicales corrientemente tienen valores de CIC efectiva menores de 4. En esos suelos el incremento de la CIC es un objetivo importante de manejo. Ello puede lograrse mediante dos procesos: encalando suelos ácidos con sistemas de óxidos y de silicatos laminares con revestimiento de óxido, y aumentando el contenido de materia orgánica del suelo (40).

#### **2.3.4. LOS ABONOS ORGÁNICOS**

Por los efectos favorables que los abonos orgánicos proporcionan al suelo, se podría decir que estos deben ser imprescindibles en el uso y manejo de este recurso para mejorar y mantener su componente orgánico, sus características de una

entidad viviente, su fertilidad física, química y biológica y finalmente su productividad. Los efectos de los abonos orgánicos sobre las características del suelo son las siguientes (48):

- a. Sobre las características físicas del suelo. Los abonos orgánicos influyen favorablemente sobre las características físicas del suelo (fertilidad física); estas características son: estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención de agua, infiltración, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados. Un aumento en la porosidad aumenta la capacidad del suelo para retener el agua incrementando simultáneamente la velocidad de infiltración de esa misma agua en el suelo.
- b. Sobre las características químicas del suelo. La composición química de los abonos orgánicos por supuesto variará de acuerdo al origen de éstos, las plantas, los residuos de cosecha, los estiércoles, etc. Difieren grandemente en cuanto a los elementos que contiene. Las características químicas del suelo que cambian por efecto de la aplicación de abonos orgánicos son obviamente el contenido de materia orgánica; derivado de esto aumenta el porcentaje de nitrógeno total, la capacidad de intercambio de cationes, el pH y la concentración de sales.
- c. Sobre las características biológicas del suelo. Se debe a que los estiércoles contienen grandes cantidades de compuestos de fácil descomposición, cuya adición casi siempre resulta en un incremento de la actividad biológica. Los microorganismos influyen en muchas propiedades del suelo y también ejercen efectos directos en el crecimiento de las plantas. En la mayoría de los casos, el resultado del incremento de la actividad biológica, repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo por efecto de la agregación que los productos de la descomposición ejercen sobre las partículas del suelo; las condiciones de fertilidad aumentan lo cual hace que el suelo tenga la capacidad de sostener un cultivo rentable. Asimismo, se logra tener un medio biológicamente activo, en donde existe una correlación positiva entre el número de microorganismos y el contenido de materia orgánica del suelo. En relación con la disponibilidad de nutrientes, la actividad biológica del suelo juega un papel importante en la oxidación y reducción de los elementos esenciales, convirtiéndolos de formas no aprovechables a formas aprovechables por las plantas.

Conforme los residuos orgánicos aplicados al suelo, se descomponen, se forman ácidos orgánicos e inorgánicos. Estos pueden reducir el pH del suelo si el material orgánico es bajo en calcio y otros cationes no ácidos (14).

#### **2.3.4.1. El humus de lombriz**

El humus de lombriz, también denominado “*vermicompost*”, es el resultado de la transformación de materiales orgánicos por las lombrices, tanto la de los estercoleros “*Eisenia foetida*” como “*Lombricus rubellus*” o híbridos próximos, comercialmente denominada como “Lombriz roja de California”. El proceso de transformación se produce al pasar el material orgánico por su intestino; en este, se mezcla con elementos minerales, microorganismos y fermentos, que provocan la transformación bioquímica de la materia orgánica. El producto de sus deyecciones queda así enriquecido y predigerido, con lo que se acelera la mineralización y la humificación de las sustancias orgánicas que lo componen. Las cantidades de elementos minerales del producto resultante son muy variables; sin embargo, como ventajas conviene destacar su mayor velocidad de transformación en el suelo, originando una rápida disponibilidad de elementos minerales y orgánicos para el cultivo, y los efectos activadores que ejerce sobre el metabolismo microbiano y vegetal (47).

Como características favorables del abono de lombriz se tiene: (i) incrementa la flora microbiana y fauna del suelo en los terrenos de cultivo, (ii) los elementos nutritivos (N, P, K, Ca, Mg y B), están disponibles para las plantas, (iii) favorece la retención de agua del suelo, (iv) mejora las características físicas, químicas y estructurales del suelo. En general, se puede considerar que la lombricomposta presenta un amplio rango en lo que a contenido nutrimental se refiere. La cantidad de abono de lombriz por aplicar a un suelo particular dependerá del análisis químico de este, sin embargo, un criterio general es el de aplicar de 2 a 4 t/ha de lombricomposta para suelos con buen contenido de materia orgánica (49).



### 2.3.4.2. El compost

Aunque hacer compost puede involucrar más trabajo y costo que la aplicación de materiales no compostados directamente al suelo, ofrece varias ventajas (14):

- a. El compost provee un medio de almacenamiento seguro de materiales orgánicos con un mínimo de liberación de olor hasta su conveniente aplicación a los suelos.
- b. El compost es fácil de manipular respecto a los materiales frescos con una reducción del 30-60% en volumen y mayor uniformidad del material resultante.
- c. Para residuos con alto nivel inicial de C/N, el compostaje asegura que ningún periodo de depresión de nitratos se presente en la pila del compost, evitando deficiencia inducida de nitrógeno para la planta.
- d. Cuando se aplica al suelo, los materiales compostados generalmente descomponen y mineralizan mucho más lentamente que un material orgánico no compostado.
- e. El co-compostaje de materiales orgánicos de baja relación C/N (estiércol de vacuno y lodos de depuradora) con materiales orgánicos de alta relación C/N (aserrín, astillas de madera, hojas de árboles senescentes, o residuos sólidos municipales) proporcionan suficiente carbono a los microbios para inmovilizar el exceso de nitrógeno y minimizar cualquier riesgo de lixiviación de nitratos de los materiales con baja relación C/N. Esta mezcla también proporciona suficiente nitrógeno para acelerar la descomposición de materiales con alta relación C/N.
- f. Las altas temperaturas durante el estado termofílico en un compost bien manejado elimina organismos patógenos y semillas de malezas en pocos días.
- g. Los compuestos tóxicos que pueden estar presentes en los residuos orgánicos (pesticidas o productos químicos fitotóxicos) son destruidos para el momento que el compost está maduro y listo para usar.

- h. Algunos compost contienen microorganismos que pueden suprimir efectivamente enfermedades de plantas que están en el suelo.
- i. Debido a que el compost es hecho a base de materiales de residuos orgánicos que recientemente han utilizado CO<sub>2</sub> en el proceso de su producción (fotosíntesis de la planta), el compost es considerado un carbono neutro, haciendo mucho más ambientalmente sustentable la selección que la turba.

La preferencia en la utilización del compost como fuente de nutrimentos para los cultivos en lugar de residuos frescos como excretas de animales, se debe a la disminución de olores (45), efectos tóxicos sobre los cultivos, disminución en la contaminación de aguas y eliminación de patógenos y semillas de malezas que se logra con el compost (44). Sin embargo, es claro que la velocidad con que los residuos frescos entregan nutrimentos es más rápida que un compost (46), esto es una ventaja si las demandas de los cultivos son inmediatas, pero se debe considerar los riesgos ya mencionados.

Al considerar el compost como un abono es importante mencionar que la disponibilidad de nutrimentos (capacidad de ofrecer nutrimentos en forma asimilable para las plantas) va a variar mucho con el tipo de compost, dependiendo de la materia prima utilizada, el método de compostaje, y el grado de madurez del producto final (42).

#### **2.3.4.3. El estiércol de vacuno**

El reciclaje de residuos orgánicos es una función primaria del suelo, y previo al desarrollo de fertilizantes, los estiércoles de animales fueron una principal fuente de nutrientes para la producción de cultivos. Algunos de los efectos benéficos de los estiércoles son los siguientes (41):

- a. Una fuente de nutrientes disponibles para las plantas.
- b. Incrementa la materia orgánica del suelo, capacidad de intercambio catiónico, y capacidad tampón.
- c. Incrementa la movilidad y disponibilidad de P y micronutrientes debido a la complejación de la materia orgánica.

- d. Incrementa la capacidad de retención de nutrientes y agua en el suelo.
- e. Mejora la estructura, disminuye la densidad de volumen, e incrementa la infiltración.
- f. Incrementa el pH del suelo y reduce la toxicidad de aluminio en suelos ácidos por complejación con la materia orgánica.

El uso de estiércol de vacuno es una práctica muy antigua. Su composición depende del tipo de animal y de la alimentación. Se usa con frecuencia y éxito en hortalizas. El estiércol fresco contiene entre 30 y 85 % de aguas. Un novillo de 410 kg de peso en confinamiento y bajo una dieta adecuada produce en promedio una cantidad de estiércol (heces y orina) de 27.2 kg /día, equivalente al 4.5 kg de peso seco (41).

La calidad del estiércol depende varios factores (37):

- a. El producto empleado para las camas. El producto más empleado es la paja de los cereales, pero también se emplean otros, tales como: helecho, brezo, aserrín.
- b. La especie de ganado alojado. La especie animal y su régimen de alimentación influyen en la calidad del estiércol. Una alimentación a base de forrajes da lugar a unas deyecciones ricas en nitrógeno. La alimentación a base de grano produce unas deyecciones ricas en fósforo. Cuando la alimentación se basa en raíces y tubérculos se producen unas deyecciones ricas en potasio.
- c. Las pérdidas producidas durante la elaboración. Durante el proceso de transformación se pueden producir pérdidas importantes de nitrógeno, que pasa a la atmosfera en forma de amoníaco. Para reducir estas pérdidas en el alojamiento se extiende sobre la cama superfosfato de cal, a razón del 5 al 8% del peso de la cama; de esta forma, además de reducir las pérdidas, el estiércol queda enriquecido en fósforo. Para reducir las pérdidas de amoníaco en el estercolero conviene apelmazar el montón de estiércol.

## 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Textura del suelo.** Se llama textura de un suelo a la proporción que contiene de arena, limo y arcilla. Los suelos que contienen un alto porcentaje de arena se llaman arenosos, los que tienen un alto porcentaje de limo se llaman limosos y los que contienen una gran cantidad de arcilla se llaman arcillosos. Un suelo donde no predomina ninguno de los tres tipos de partículas se denomina suelo franco. Este último tipo de suelo tiene la ventaja que le proporcionan las diferentes clases de partículas, a la vez que se eliminan sus inconvenientes (37).
- **Botadero.** Acumulación inapropiada de residuos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Estas acumulaciones existen al margen de la ley y carecen de autorización (52).
- **Botadero Controlado.** Lugar de disposición final de residuos sólidos que no cuenta con la infraestructura necesaria ni suficiente para ser considerado como un relleno sanitario. Puede ser usado de manera temporal debido a una situación de emergencia. En el botadero controlado se darán las condiciones mínimas de operación para que los residuos no se encuentren a cielo abierto; estos residuos deberán ser compactados en capas para reducir su volumen y serán confinados periódicamente con material de cobertura (60).
- **Relleno Sanitario.** Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos municipales a superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental (52).
- **Arena.** La arena constituye la más grande separata del suelo, compuesta principalmente de granos meteorizados de cuarzo y otros minerales. Los granos individuales de arena son visibles al ojo humano. Son ásperos al tacto. No se unen uno a otro, y actúan como granos individuales en el suelo. Suficiente arena crea grandes poros en el suelo y mejora la infiltración del agua y aireación. Por otro lado, grandes cantidades de arena disminuyen la habilidad del suelo para retener agua y nutrientes (32).
- **Limo.** El limo es la separata de tamaño medio del suelo. Las partículas de limo son sedosas o suaves al tacto, similar al talco. Los granos de limo no se unen uno a otro. De todas las separatas del suelo, el limo tiene la mejor habilidad para retener grandes cantidades de agua en una forma que las plantas pueden usarla (32).

- **Arcilla.** La arcilla es la más pequeña separata del suelo, consistiendo mayormente de cristales laminares delgados. Las partículas de arcilla resultan de reacciones químicas entre minerales meteorizados para formar partículas delgadas de nuevos minerales. Estos nuevos minerales son capaces de enlazar nutrientes químicamente a sus superficies, reteniendo nutrientes de las plantas, en el suelo (32).
- **Acidez del suelo.** La acidez del suelo se debe a la presencia de cationes hidrógeno, que están contenidos en la solución del suelo y adsorbidos al complejo de cambio. Los contenidos en la solución del suelo determinan la acidez actual, y los contenidos en el complejo de cambio determinan la acidez cambiante (37).
- **pH.** En forma precisa, pH es el valor del logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno en moles por litro, donde “p” significa el logaritmo negativo y “H” significa la concentración de ion hidrógeno (32).
- **Adsorción.** Se entiende por adsorción el fenómeno por el cual una sustancia se une a una superficie, al ser atraída (la primera) por fuerzas que pueden ser: electrostáticas, de Van der Waals o químicas, por un periodo más o menos largo. Cuando las fuerzas que intervienen son predominantemente electrostáticas, los procesos son más o menos reversibles y se les designa como cambio iónico, debido a que además de la adsorción de un ion se libera una cantidad equivalente de otro. Cuando la unión se debe a fuerzas de Van der Waals, se tiene una adsorción física, y en estos casos no se tiene que liberar una sustancia adsorbida. Es útil recordar que estas fuerzas son aditivas y de corta distancia. La retención también puede ocurrir por medio de la precipitación, fijación o quimisorción, pero estos últimos procesos son poco reversibles (39).
- **Compost.** Proceso biológico controlado de transformación de la materia orgánica a humus a través de la descomposición aeróbica. Se denomina compost al producto resultante del proceso de compostaje (42).
- **Lombricompost.** También denominado vermicompost, resulta del proceso biológico de transformación de la materia orgánica a humus, a través de una descomposición aeróbica realizada principalmente por lombrices (42).
- **Lombricultura.** Se conoce como lombricultura a la biotecnología orientada a la utilización de la lombriz como una herramienta de trabajo para el reciclaje de todo tipo de materia orgánica (43,44).

- **Abono orgánico.** Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos; el suelo, con la descomposición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas (48).
- **Suelo.** (i) un cuerpo natural dinámico compuesto de sólidos orgánicos y minerales, gases, líquidos y organismos vivos que puede servir como medio para el crecimiento de las plantas. (ii) La colección de cuerpos naturales ocupando partes de la superficie terrestre que es capaz de sustentar el crecimiento de las plantas y que tiene propiedades resultantes de los efectos integrados de clima y organismos vivos actuando sobre el material parental condicionado por la topografía, sobre periodos de tiempo (50).
- **Efecto de Borde.** El efecto de borde con frecuencia se presenta en los experimentos agrícolas. Muchas veces existen diferencias en el crecimiento y la producción de las plantas que están situadas en los perímetros de la parcela en relación con aquellas plantas situadas en la parte central; esta diferencia es llamado efecto de borde y puede causar sobre-estimación o sub-estimación de las respuestas de los tratamientos, llegando con esto a comparaciones sesgadas entre ellos. El efecto de borde puede ser causado por (i) Vecindad de las parcelas o áreas no cultivadas, que hace que las plantas en los perímetros tengan menor competencia de luz y nutrientes, (ii) Competencia entre tratamientos, que depende de la naturaleza de los tratamientos vecinos. Para controlar el efecto de borde se acostumbra a evaluar solamente las plantas centrales para los fines experimentales. Estas plantas centrales constituyen lo que se llama parcela neta experimental (55).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **a. Método general de la investigación**

Hipotético-deductivo, basado en la hipótesis que los suelos de disposición final de residuos sólidos municipales varían sus propiedades físico-químicas si son enmendados con abonos orgánicos y la aplicación de estos abonos, afectan la formación de materia seca de maíz (*Zea mays L.*) en función del tipo de abono orgánico.

El método de Investigación hipotético-deductivo, consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos (57).

##### **b. Método específico de la investigación**

Se utilizó el método de análisis: el suelo de disposición final de residuos sólidos municipales fue caracterizado inicialmente y al final del experimento, fue analizado en sus propiedades físico-químicas, donde se desarrolló el cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

### **3.1.2. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a. Tipo de investigación**

La investigación es aplicada, donde se aplicó las bases teóricas del efecto de los abonos orgánicos en las propiedades físico-químicas del suelo (textura, pH, materia orgánica, carbonato de calcio y capacidad de intercambio catiónico), así como en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

#### **b. Nivel de investigación**

La investigación es explicativa, porque el interés está en explicar de qué manera la variable independiente (suelo de disposición final de residuos sólidos municipales con abonos orgánicos) influye en las propiedades físico-químicas del suelo y la materia seca de maíz (*Zea mays L.*).

### **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

En la presente investigación se planteó un diseño experimental. El 07 de febrero de 2017, en el suelo de disposición final de residuos sólidos municipales del distrito de San Jerónimo de Tunán, se aplicó tres abonos orgánicos: humus de lombriz, compost, estiércol de vacuno y se instaló el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), con el objetivo de determinar las propiedades físico-químicas del suelo, así como la formación de materia seca de la parte aérea de maíz (*Zea mays L.*).

Antes de la instalación del experimento, del suelo de disposición final de residuos sólidos municipales del distrito de San Jerónimo de Tunán, se obtuvo una muestra de suelo, mediante un muestreo aleatorio, que consistió en la obtención de 21 muestras simples representadas por (x) en la figura 1, de un peso promedio de 1 kg, las cuales fueron colectadas y colocadas en una manta de yute para su mezcla, esto se hizo uniformemente, después se procedió al cuarteo y se obtuvo una muestra compuesta de un peso aproximado de 1 kg, la cual fue etiquetada con los datos de: fecha, nombre de la tesista, tipo de análisis a realizar y ubicación del área experimental (54).



Figura 1: Puntos (X) de toma de muestra simple de suelo para obtener muestra compuesta y caracterizar física y químicamente el suelo del experimento.



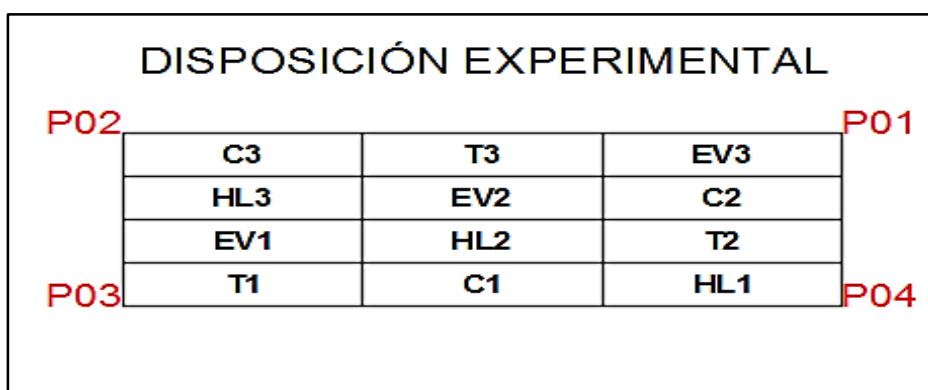
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Tratamientos en estudio

N°	TRATAMIENTO
1	Testigo absoluto (0% )
2	Humus de lombriz (20 t/ha)
3	Compost (20 t/ha)
4	Estiércol de vacuno (20 t/ha)

Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Disposición experimental en campo EV = estiércol de vacuno. HL = humus de lombriz. C = compost. T = testigo.



Los tratamientos fueron dispuestos en un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con un total de 4 tratamientos y 3 repeticiones, totalizando 12 unidades experimentales.

**Modelo aditivo lineal del diseño experimental (56):**

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$\gamma_{ij}$  = Cualquier observación del experimento

$\mu$  = Media poblacional

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo bloque

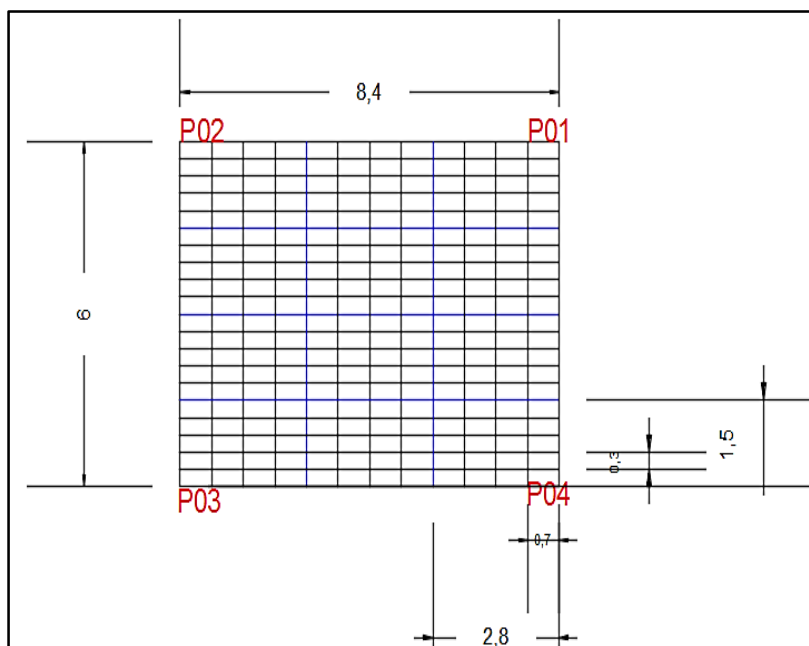
$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

**Procedimiento experimental**

Se trazaron las parcelas experimentales, con las siguientes características:

Número de tratamientos	: 4
Número de repeticiones	: 3
Total de unidades experimentales	: 12
Longitud de surco/parcela	: 1.5 m
Espaciamiento entre surco	: 0.70 m
N° de surcos/parcela	: 4
Ancho de parcela	: 2.8 m
Área parcelar	: 4.2 m <sup>2</sup>
Área total	: 50.4 m <sup>2</sup>

**Figura 3: Características dimensionales del área experimental.**



Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos de enmiendas orgánicas fueron aplicados a cada unidad experimental, considerando la dosis y fuentes de cada enmienda orgánica (Tabla 3).

**Tabla 3: Cantidad de enmiendas orgánicas que se utilizaron por tratamiento.**

Tratamiento	Dosis (t/ha)	kg/parcela	Kg/3 repeticiones
1: testigo	0	0	0
2: Humus de lombriz	20	8.4	25.2
3: Compost	20	8.4	25.2
4: estiércol de vacuno	20	8.4	25.2

Después de aplicado los tratamientos, se sembró maíz (*Zea mays* L.) variedad San Jerónimo, proporcionada por la Estación Experimental Agropecuaria El Mantaro, de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú, con un espaciamiento entre planta de 40 cm, dejando 3 semillas/golpe. Después de haber emergido las plantas, se dieron todos los cuidados para evitar que sean dañadas por insectos o enfermedades, hasta el término del experimento. En la semana 18, después de la instalación del experimento, por cada unidad experimental se recogió al azar 10 plantas de maíz (*Zea mays* L.) en forma manual, en los dos surcos centrales de cada parcela (2.1 m<sup>2</sup>) para evitar el efecto de borde. Para controlar el efecto de borde se acostumbra a

evaluar solamente las plantas centrales para los fines experimentales. Estas plantas centrales constituyen lo que se llama parcela neta experimental (55).

### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.3.1. POBLACIÓN

La **población** estuvo constituida por los suelos de disposición final de residuos sólidos municipales del distrito de San Jerónimo de Tunán, donde se instaló el experimento.

#### 3.3.2. MUESTRA

La **muestra** estuvo constituida por los puntos de muestreo de suelos de cada unidad experimental, para el suelo y cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

**Figura 4: Ubicación del área experimental. Distrito de San Jerónimo de Tunán.**



**Tabla 4: Georreferenciación del área experimental.**

<b>Código</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altitud</b>
PO1	0467737	8678643	3275
PO2	0467729	8678638	3272
PO3	0467733	8678632	3275
PO4	0467739	8678638	3275

Fuente: Elaboración propia.

### **3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Las muestras de suelo fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de suelos, aguas y plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Las plantas de maíz (*Zea mays L.*) recolectadas, se colocaron en bolsas de papel kraft y colocadas en una estufa a 60 °C para obtener el peso seco de la parte aérea de la planta, para el respectivo pesado de la parte aérea de cada unidad experimental, se utilizó una balanza analítica debidamente calibrada. Estas mediciones se realizaron en el laboratorio de química y biología de la Universidad Continental.

Los datos evaluados al final del experimento fueron:

1. Suelo:

Textura, pH, carbonato de calcio, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico.

2. Planta:

Gramos de materia seca de la parte aérea del maíz (*Zea mays L.*) (g).

**Tabla 5: Métodos de análisis de suelo**

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad de expresión</b>
Textura	Hidrómetro	Clase textural
pH	Potenciómetro	Unidad pH
Carbonato de Calcio	Gasovolumétrico	%
Materia Orgánica	Walkley-Black	%
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio 1 N pH 7	meq/100 g

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

### **3.5. TRATAMIENTO DE DATOS**

Al finalizar el experimento se sistematizaron los resultados obtenidos y se analizaron los datos a través del Análisis de Variancia y se aplicará la prueba de significación de Duncan ( $p=0,05$ ) para comparar los tratamientos entre medias, también se aplicará la prueba de kruskal-Wallis y se utilizará el software INFOSTAT (51).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

##### 4.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DEL EXPERIMENTO

**Tabla 6: Resultados del análisis de caracterización del suelo del experimento.**

Parámetro	Contenido	Calificación
pH	7.53	Ligeramente alcalino
Conductividad Eléctrica (dS/m)	2.57	Ligeramente salino
CaCO <sub>3</sub> (%)	4.80	Medio
Materia Orgánica (%)	3.20	Medio
Arena (%)	54	-
Limo (%)	30	-
Arcilla (%)	16	-
Clase textural	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 g)	12.00	Bajo
Nitrógeno total (%)	0.16	Medio
Fósforo disponible (ppm)	77.1	Alto
Potasio disponible (ppm)	353	alto
Relación K/Mg	0.47	Deficiencia Mg
Relación Ca/Mg	7.18	Normal
Saturación de bases (%)	100.00	-

**Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.**

#### 4.1.2. PH DEL SUELO

Tabla 7: pH del suelo al final del experimento.

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
T1: compost (20%)	7.37	7.64	7.72
T2: Estiércol de vacuno (20%)	7.64	7.46	7.45
T3: Humus de lombriz (20%)	7.41	7.66	7.68
T4: Testigo	7.75	7.78	7.89

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Tabla 8: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el pH del suelo.

Variable	N	Media	D.E.	W*	p-valor
pH del suelo	12	7.62	0.16	0.92	0.4103

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Como p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta Ho y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

#### Prueba de Duncan para promedios de tratamientos:

Hipótesis:  $\alpha = 0.05$  (k,m: tratamientos)

Ho:  $T_k = T_m$

Ha:  $T_k \neq T_m$

Tabla 9. Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. pH del suelo al final del experimento.

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio	Significación
1	T4: Testigo	7.807±0.074	a
2	T3: Humus	7.583±0.150	a b
3	T1: Compost	7.577±0.183	a b
4	T2: Estiércol	7.517±0.107	b



Decisión: Se rechaza Ho

**Tabla 10: Variación del pH del suelo, respecto al pH inicial.**

Tratamiento	Promedio	Calificación*	Variación (%)
T4 = Testigo	7.807	Moderad. alcalino	+3.68
T3 = Humus	7.583	Lig. alcalino	+0.70
T1 = Compost	7.577	Lig. alcalino	+0.62
T2 = Estiércol	7.517	Lig. alcalino	-0.17
Inicial	7.530	Lig. alcalino	-

\*MINAGRI. Guía de Calificación de Parámetros Edáficos.

#### 4.1.3. CARBONATO DE CALCIO EN EL SUELO

**Tabla 11: Carbonato de calcio en el suelo al final del experimento.**

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
T1: compost (20%)	3.20	5.80	3.50
T2: Estiércol de vacuno (20%)	3.80	3.40	4.50
T3: Humus de lombriz (20%)	4.80	2.40	2.90
T4: Testigo	5.10	8.10	4.00

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

**Tabla 12: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de carbonato de calcio.**

Variable	N	Media	D.E.	W*	p-valor
Carbonato de calcio en el suelo	12	4.29	1.54	0.91	0.3169

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Como p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta Ho y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

**Prueba de Duncan para promedios de tratamientos:**

Hipótesis:  $\alpha = 0.05$  (k,m: tratamientos)

Ho:  $T_k = T_m$

Ha:  $T_k \neq T_m$

**Tabla 13: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Contenido de carbonato de calcio en el suelo al final del experimento.**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Significación
1	T4: Testigo	5.733±1.122	a
2	T1: Compost	4.167±1.422	a
3	T2: Estiércol	3.900±0.557	a
4	T3: Humus	3.367±1.266	a

Decisión: Se acepta Ho

**Tabla 14: Variación del contenido de carbonato de calcio en el suelo, respecto al contenido inicial.**

Tratamiento	Promedio	Calificación*	Variación (%)
T4: Testigo	5.733	Alto	+19.44
T1: Compost	4.167	Medio	-13.19
T2: Estiércol	3.900	Medio	-18.75
T3: Humus	3.367	Medio	-29.85
Inicial	4.800	Medio	-

\*UNALM. Manual de Prácticas de Edafología.

#### 4.1.4. MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Tabla 15: Materia orgánica en el suelo al final del experimento.

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
T1: compost (20%)	7.70	3.93	4.20
T2: Estiércol de vacuno (20%)	3.87	6.74	4.48
T3: Humus de lombriz (20%)	4.69	4.06	3.87
T4: Testigo	1.03	1.18	3.06

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Tabla 16: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de materia orgánica del suelo.

Variable	N	Media	D.E.	W*	p-valor
Materia Orgánica en el suelo	12	4.07	1.90	0.91	0.3708

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Como p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta Ho y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

#### Prueba de Duncan para promedios de tratamientos:

Hipótesis:  $\alpha = 0.05$  (k,m: tratamientos)

Ho:  $T_k = T_m$

Ha:  $T_k \neq T_m$

Tabla 17: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Contenido de materia orgánica en el suelo al final del experimento.

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Significación
1	T1: Compost	5.277±2.103	a
2	T2: Estiércol	5.030±1.512	a b
3	T3: Humus	4.207±0.429	a b
4	T4: Testigo	1.757±1.131	b

Decisión: Se rechaza Ho

**Tabla 18: Variación del contenido de materia orgánica en el suelo, respecto al contenido inicial.**

Tratamiento	Promedio	Calificación*	Variación (%)
T1: Compost	5.277	Alta	+64.91
T2: Estiércol	5.030	Alta	+57.19
T3: Humus	4.207	Alta	+31.47
T4: Testigo	1.757	Baja	-45.09
Inicial	3.200	Media	

\*MINAGRI. Guía de Calificación de Parámetros Edáficos.

#### 4.1.5. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DEL SUELO

**Tabla 19: Capacidad de intercambio catiónico en el suelo (meq/100 g) al final del experimento.**

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
T1: compost (20%)	14.40	16.00	15.68
T2: Estiércol de vacuno (20%)	16.00	18.08	15.04
T3: Humus de lombriz (20%)	18.24	17.28	16.00
T4: Testigo	12.80	16.48	15.20

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

**Tabla 20: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para la capacidad de intercambio catiónico del suelo.**

Variable	N	Media	D.E.	W*	p-valor
CIC del suelo	12	15.93	1.53	0.96	0.8086

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Como p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta Ho y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

### Prueba de Duncan para promedios de tratamientos:

Hipótesis:  $\alpha = 0.05$  (k,m: tratamientos)

Ho:  $T_k = T_m$

Ha:  $T_k \neq T_m$

**Tabla 21: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Capacidad de intercambio catiónico del suelo al final del experimento.**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (meq/100 g)	Significación
1	T3 = Humus	17.173±1.124	a
2	T2 = Estiércol	16.373±0.847	a
3	T1 = Compost	15.360±1.554	a
4	T4 = Testigo	14.827±1.868	a

Decisión: Se acepta Ho.

**Tabla 22: Variación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, respecto al contenido inicial.**

Tratamiento	Promedio	Calificación*	Variación (%)
T3 = Humus	17.173	Mod. Alta	+43.11
T2 = Estiércol	16.373	Mod. Alta	+36.44
T1 = Compost	15.360	Mod. Alta	+28.00
T4 = Testigo	14.827	Mod. Alta	+23.56
Inicial	12.000	Bajo	

\*UNALM. Manual de Prácticas de Edafología.

#### 4.1.6. CONTENIDO DE ARENA EN EL SUELO

Tabla 23: Contenido de arena en el suelo (%) al final del experimento.

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
T1: compost (20%)	49	51	53
T2: Estiércol de vacuno (20%)	47	47	53
T3: Humus de lombriz (20%)	55	49	53
T4: Testigo	51	45	49

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Tabla 24: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de arena en el suelo.

Variable	N	Media	D.E.	W*	p-valor
Contenido de arena en el suelo	12	50.17	3.01	0.94	0.6280

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Como p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta Ho y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

#### Prueba de Duncan para promedios de tratamientos:

Hipótesis:  $\alpha = 0.05$  (k,m: tratamientos)

Ho:  $T_k = T_m$

Ha:  $T_k \neq T_m$

**Tabla 25: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Contenido de arena en el suelo al final del experimento.**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Significación
1	T3 = Humus	52.333±3.06	a
2	T1 = Compost	51.000±2.00	a
3	T2 = Estiércol	49.000±3.46	a
4	T4 = Testigo	48.333±3.06	a

Decisión: Se acepta  $H_0$ .

**Tabla 26: Variación del contenido de arena en el suelo, respecto al contenido inicial.**

Tratamiento	Promedio	Variación (%)
T3 = Humus	52.333	-1.667
T1 = Compost	51.000	-3.000
T2 = Estiércol	49.000	-5.000
T4 = Testigo	48.333	-5.667
Inicial	54.000	-

#### 4.1.7. CONTENIDO DE LIMO EN EL SUELO

**Tabla 27: Contenido de limo en el suelo (%) al final del experimento.**

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
T1: compost (20%)	28	28	28
T2: Estiércol de vacuno (20%)	30	32	28
T3: Humus de lombriz (20%)	26	26	28
T4: Testigo	26	30	32

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

**Tabla 28: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de limo en el suelo.**

Variable	N	Media	D.E.	W*	p-valor
Contenido de limo en el suelo	12	28.50	2.11	0.84	0.0466

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Como p-valor es menor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta Ha y se concluye que los datos no están distribuidos normalmente.

**Tabla 29: Prueba de Kruskal-Wallis para promedio de tratamientos. Contenido de limo en el suelo (%).**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Significación
1	T2 = Estiércol	30.00±2.00	a
2	T4 = Testigo	29.33±3.055	a
3	T1 = Compost	28.00±0.00	a
4	T3 = Humus	26.67±1.155	a

Decisión: Se acepta Ho.

**Tabla 30: Variación del contenido de limo en el suelo, respecto al contenido inicial.**

Tratamiento	Promedio	Variación (%)
T2 = Estiércol	30	0
T4 = Testigo	30	0
T1 = Compost	28	-2
T3 = Humus	26	-4
Inicial	30	-



#### 4.1.8. CONTENIDO DE ARCILLA EN EL SUELO

Tabla 31: Contenido de arcilla en el suelo (%) al final del experimento.

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
T1: compost (20%)	23	21	19
T2: Estiércol de vacuno (20%)	23	21	19
T3: Humus de lombriz (20%)	19	25	19
T4: Testigo	23	25	19

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Tabla 32: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de arcilla.

Variable	N	Media	D.E.	W*	p-valor
Contenido de arcilla en el suelo	12	21.33	2.39	0.79	0.0080

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Como p-valor es menor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta Ha y se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 33: Prueba de Kruskal-Wallis para promedio de tratamientos. Contenido de arcilla en el suelo (%).

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Significación
1	T1 = Compost	21.00±2.00	a
2	T2 = Estiércol	21.00±2.00	a
3	T3 = Humus	21.00±3.46	a
4	T4 = Testigo	22.33±3.06	a

Decisión: Se acepta Ho.

**Tabla 34: Variación del contenido de arcilla en el suelo, respecto al contenido inicial.**

Tratamiento	Promedio	Variación (%)
T1 = Compost	21.00	+5.00
T2 = Estiércol	21.00	+5.00
T3 = Humus	21.00	+5.00
T4 = Testigo	22.33	+6.33
Inicial	16.00	-

#### 4.1.9. MATERIA SECA DE LA PARTE AÉREA DE MAÍZ

**Tabla 35: Materia seca de la parte aérea de maíz (g/2.1 m<sup>2</sup>) al final del experimento.**

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
T1: compost (20%)	105	170	85
T2: Estiércol de vacuno (20%)	15	200	210
T3: Humus de lombriz (20%)	65	200	110
T4: Testigo	70	100	160

**Tabla 36: Prueba de homogeneidad de variancias (Shapiro-Wilks) para el contenido de materia seca de la parte aérea de maíz.**

Variable	N	Media (g)	D.E.	W*	p-valor
Materia seca de la parte aérea de maíz	12	124.17	62.73	0.91	0.3643

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Como p-valor es mayor que 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), se acepta Ho y se concluye que los datos siguen una distribución normal.

#### **Prueba de Duncan para promedios de tratamientos:**

Hipótesis:  $\alpha = 0.05$  (k,m: tratamientos)

Ho:  $T_k = T_m$

Ha:  $T_k \neq T_m$

**Tabla 37: Prueba de comparación múltiple de Duncan para tratamientos. Contenido de materia seca de la parte aérea de maíz al final del experimento.**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (g)	Significación
1	T2 = Estiércol	141.667±109.810	a
2	T3 = Humus	125.000±68.739	a
3	T1 = Compost	120.000±44.441	a
4	T4 = Testigo	110.000±45.826	a

Decisión: Se acepta Ho.

**Tabla 38: Variación del contenido de materia seca de la parte aérea de maíz, respecto al testigo.**

Tratamiento	Promedio (g)	Variación (%)
T2 = Estiércol	141.667	+28.79
T3 = Humus	125.000	+13.64
T1 = Compost	120.000	+9.091
T4 = Testigo	110.000	-

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DEL EXPERIMENTO

El suelo de disposición final de residuos sólidos municipales del distrito de San Jerónimo de Tunán, tiene pH ligeramente alcalino, lo cual se puede atribuir a la naturaleza y composición de los materiales orgánicos que le confieren al suelo en general buenas propiedades para el crecimiento de las plantas al favorecer la disponibilidad de nutrientes; la conductividad eléctrica muestra al suelo como ligeramente salino, con algunas limitaciones para el desarrollo de las plantas; el contenido de CaCO<sub>3</sub> (caliza) es calificada como medio, que se relaciona con el pH alcalino; el contenido medio de materia orgánica es el resultado de la acumulación y mezcla de residuos orgánicos agregados al suelo; la clase textural moderadamente gruesa le da al suelo un carácter favorable para su utilización en

el crecimiento de plantas; la capacidad de intercambio catiónico fue baja, resultado del poco contenido de arcilla y contenido medio de materia orgánica; el contenido medio de nitrógeno total tiene relación con el contenido medio de materia orgánica; los contenidos altos de fósforo y potasio se atribuyen a la naturaleza y composición de los residuos sólidos orgánicos depositados en este suelo con alto contenido de estos dos elementos; las relaciones catiónicas, muestran una probable deficiencia de magnesio, debido al desbalance con potasio antes que con calcio; la saturación de bases es alta. Este suelo se calificaría de fertilidad media, debido al contenido medio de nitrógeno total y materia orgánica. Estos datos se presentan en la tabla 6.

Estos datos tienen alguna similitud con los encontrados en suelos de la India (25), donde el pH varió de 6.42 a 7.16, pero el contenido de materia orgánica fue alto (1.60 a 2.25).

Estos resultados demuestran que los suelos con deposición final de residuos municipales tienen mayor contenido de nutrientes, especialmente fósforo y potasio, como es el caso de los suelos de San Jerónimo de Tunán, respecto a suelos sin deposición final de residuos sólidos municipales.

#### **4.2.2. PH DEL SUELO**

El pH del suelo al final del experimento varió de  $7.517 \pm 0.107$  a  $7.807 \pm 0.074$  en las diferentes unidades experimentales, siendo el tratamiento testigo el que sobresale significativamente, como se observa en los datos de la tabla 9. El pH de los tratamientos con abonos orgánicos (humus, compost y estiércol) no presentó diferencias estadísticas significativas entre sí, siendo calificados como ligeramente alcalinos, similar al pH del suelo que se tuvo inicialmente, antes del experimento. El pH del tratamiento testigo es calificado como moderadamente alcalino (más alto que los anteriores), atribuible al carácter alcalino de los materiales orgánicos mezclados que llegaron a este suelo como residuos sólidos municipales.

El pH del suelo al final del experimento tuvo un cambio ascendente en un porcentaje de 3.68% respecto al pH del suelo antes del experimento; siendo menor el cambio ascendente en el tratamiento con humus de lombriz (+0.70%), compost (+0.62%) y disminuyó (-0.17%) con el tratamiento con estiércol de vacuno.

Una de las razones que puede explicar el incremento del pH después del experimento es el pH ligeramente alcalino a neutro de los abonos orgánicos

aplicados, a una dosis de 20 t/ha. Normalmente el pH disminuye en el suelo con la aplicación de abonos orgánicos o enmiendas similares como se reportó cuando se sembró maíz, y en las evaluaciones sucesivas durante el ciclo del cultivo el pH se hizo más ácido (26).

El pH del tratamiento testigo varió de 7.53 (inicial: ligeramente alcalino) a 7.8 (final: ligeramente alcalino), debido a la presencia de  $\text{CaCO}_3$  en el suelo, que tuvo un valor de 4.8%. Esto se sustenta en las reacciones del  $\text{CaCO}_3$  con el agua del suelo, que genera carbonatos y bicarbonatos, elevando así el pH del suelo (14).

Los datos encontrados al final del experimento son cercanos a los encontrados al evaluar propiedades físico-químicas de suelos de disposición final de residuos sólidos municipales en la India, donde el pH varió de  $6.42 \pm 0.46$  a  $7.16 \pm 0.81$  lo cual tiende a neutro o alcalino (25).

#### **4.2.3. CARBONATO DE CALCIO EN EL SUELO**

El contenido de carbonato de calcio en el suelo de disposición final de residuos sólidos municipales tuvo un promedio de  $4.29 \pm 1.54$  %, calificado como nivel medio, ligeramente inferior al contenido inicial de  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{CaCO}_3 = 4.8\%$ ), pero dentro del mismo nivel de calificación, como se observa en las tablas 12 y 6.

Los tratamientos de abonos orgánicos aplicados al suelo presentaron un contenido de Carbonato de calcio entre  $3.367 \pm 1.266\%$  y  $5.733 \pm 1.122\%$ , sin diferencias estadísticas entre sí, indicando que los abonos orgánicos no influyeron en la variación del contenido de calcáreo en el suelo, como se observa en la tabla 13.

En el tratamiento testigo se observó un incremento de 19.44% de  $\text{CaCO}_3$  respecto al contenido inicial, mientras que en los tratamientos con abonos orgánicos, estos valores fueron negativos (disminuyeron) en un rango de 13.44% y 29.85%, respecto al contenido inicial de carbonato de calcio en el suelo, como se observa en la tabla 14. Estos cambios encontrados no tienen significación estadística.

El contenido de carbonato de calcio tiene una relación directa con el pH del suelo (32, 34), y su presencia tiene como fuente a la composición de los residuos sólidos municipales almacenados en el suelo, pues la disolución de carbonato de calcio origina iones carbonatos y bicarbonatos, que generan oxhidrilos y elevan el pH del suelo (14), como en el caso del testigo. En el caso de los tratamientos con abonos orgánicos, los cuales cuando se incorporan al suelo, forman ácidos orgánicos e

inorgánicos, pueden bajar el pH del suelo (14), como se observó en este experimento.

#### **4.2.4. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO**

El contenido de materia orgánica en el suelo de disposición final de residuos sólidos municipales tuvo un promedio de  $4.07 \pm 1.90$  %, calificado como alto, superior al contenido determinado antes del experimento (MOS = 3.20%, nivel medio), lo cual se puede atribuir directamente a la aplicación de los abonos orgánicos (humus de lombriz, compost y estiércol de vacuno) al suelo (48). Estos datos se presentan en las tablas 15, 16 y 6.

Los tratamientos mostraron diferencias significativas en el contenido de materia orgánica del suelo, sobresaliendo el tratamiento con compost, con un promedio de 5.277% de materia orgánica, siguiendo en orden de mérito el tratamiento con estiércol de vacuno (MOS = 5.030%), y finalmente el tratamiento con humus de lombriz (MOS = 4.207%), los tres tratamientos no mostraron diferencias estadísticas entre sí, mientras que el testigo ocupó el último lugar en orden de mérito con un promedio de materia orgánica del suelo (MOS), de solo 1.757%. Los contenidos de materia orgánica con la aplicación de abonos orgánicos se califican como niveles “altos”, mientras que el testigo presentó nivel “bajo”. Estos datos son presentados en la tabla 18.

Todos los tratamientos mostraron un incremento de materia orgánica en el suelo respecto al contenido inicial, con valores porcentuales entre 31.47% y 64.91%; el testigo mostró una disminución del 45.09%. Estos datos son similares a los encontrados en una evaluación realizada en la India (25) donde el contenido de materia orgánica en el suelo fue alto.

Uno de los factores que ha influido en el contenido de materia orgánica de los suelos de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán, es la mezcla heterogénea que se puede tener en estos materiales orgánicos que llegan al suelo, lo cual hace que su naturaleza condiciona la cantidad de materia orgánica o humus presente en el suelo; algunas sustancias se descomponen con rapidez, mientras que otras se descomponen con lentitud. Estas últimas son las que se transforman en humus (37); esto también es válido para el factor clima, del lugar del experimento, pues las bajas temperaturas promedio hacen más lenta la

descomposición e incrementan el contenido de materia orgánica (37), favorecido por la agregación de abonos orgánicos.

#### **4.2.5. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DEL SUELO**

La capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC) tuvo un promedio de  $15.93 \pm 1.53$  meq/100 g, superior al valor encontrado inicialmente, que fue de 12.00 meq/100 g, como se observa en las tablas 6, 19 y 20; esto se puede atribuir al efecto del incremento de materia orgánica en el suelo (14), pues la CIC del humus juega un rol dominante en las reacciones de intercambio catiónico.

Los tratamientos de abonos orgánicos aplicados al suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán no presentan diferencias significativas entre sí para la CIC del suelo, como se observa en la tabla 21; pero si se compara con el valor inicial de CIC del suelo, hubo un incremento porcentual de CIC entre 23.56 y 43.11 con los tratamientos de abonos orgánicos aplicados al suelo, observándose un cambio de nivel bajo a moderadamente altos (Tabla 22).

El incremento de la capacidad de intercambio catiónico del suelo es importante porque mejora la retención de iones nutrientes para las plantas, siendo un objetivo importante de manejo (40). Esto también es sinónimo de incremento de fertilidad, evidenciando que los suelos que fueron usados para deposición de residuos sólidos municipales si pueden recuperarse para fines agrarios, ya sea instalación de cultivos anuales, forestación u ornamentales, siendo un factor importante en la sostenibilidad del ecosistema.

Los datos encontrados corroboran los hallazgos realizados en suelos de disposición final de residuos sólidos municipales cultivados con maíz, donde se observó que, entre las propiedades físico-químicas, incluyendo la CIC, la muestra de suelo de disposición final de residuos sólidos municipales registró altos valores promedios que el control, indicando que los residuos sólidos municipales son benéficos para la planta solo si son adecuadamente manejados (26).

#### **4.2.6. CONTENIDO DE ARENA EN EL SUELO**

El contenido promedio de arena en el suelo fue de  $50.17 \pm 3.01\%$  inferior al contenido inicial, que fue de 54%, sin diferencias significativas entre los tratamientos de abonos orgánicos, como se observa en las tablas 6, 23-26. Estos datos encontrados se sustentan en la afirmación que las separatas del suelo, como componentes de la textura, difícilmente cambian en el suelo, más aún si solo se agregó materiales sólidos orgánicos como son los residuos sólidos de origen municipal (14).

La textura del suelo, definida como la proporción de arena, limo y arcilla (37), es una propiedad difícil de modificar y juega un rol determinante en el comportamiento del suelo, como sucedió en la evaluación físico-química en suelos de disposición final de residuos municipales en la India, donde se afirmó que la clase textural jugó un rol significativo en la diferenciación normal de los suelos (25).

#### **4.2.7. CONTENIDO DE LIMO EN EL SUELO**

La cantidad de limo promedio encontrada en el suelo del experimento fue de  $28.50 \pm 2.11\%$  ligeramente inferior al contenido inicial, que fue de 30%, como se observa en las tablas 6, 27 y 28. El contenido de limo en el suelo, entre los tratamientos con abonos orgánicos varió de  $26.67 \pm 1.55\%$  a  $30.00 \pm 2.00\%$ , sin diferencias significativas entre sí, como se observa en las tablas 29 y 30.

Estos resultados se sustentan en que la textura del suelo (donde uno de los componentes es el limo) no es fácilmente sujeta de cambio, de tal manera que es considerada una propiedad básica en un suelo (14); y el conocimiento de las proporciones de partículas de diferente tamaño en un suelo (arena, limo y arcilla) es crítico para el manejo y comportamiento del suelo.

#### **4.2.8. CONTENIDO DE ARCILLA EN EL SUELO**

El contenido de arcilla en el suelo del experimento tuvo un promedio de  $21.33 \pm 2.39\%$ , superior al contenido inicial de 16%, sin diferencias significativas entre los tratamientos con abonos orgánicos, como se presenta en las tablas 6, 31-34.

Estos resultados se sustentan en que los tratamientos de abonos orgánicos aplicados al suelo, difícilmente pueden cambiar las proporciones de las separatas del suelo, que determinan la textura, pero si lo pueden mejorar, haciendo a los



suelos arcillosos más sueltos y a los arenosos con mayor capacidad de retener agua. Se debe tener en cuenta que la materia orgánica no cambia la textura del suelo, sin embargo, modifica otras propiedades muy importantes (32).

Las pequeñas variaciones de textura, observadas en los tratamientos aplicados al suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán, se pueden atribuir al efecto de la materia orgánica en solubilizar y separar las partículas más finas (lo cual incrementaría la proporción de arcilla) y separarlas de las partículas grandes de arena (lo cual disminuiría la proporción de arena), donde estuvieron adheridas, ya que los residuos municipales agregados al suelo constituyeron una mezcla compleja y compacta que en el tiempo se va alterando, dependiendo de las condiciones del suelo, donde la distribución espacial de las propiedades del suelo es más determinada por actividades humanas que por evolución natural (22).

#### **4.2.9. MATERIA SECA DE LA PARTE AÉREA DE MAÍZ**

Al evaluar la materia seca de la parte aérea del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en el suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán se obtuvo un promedio de  $124.17 \pm 62.73$  g, sin diferencias significativas entre los tratamientos con abonos orgánicos, mostrando que los abonos orgánicos no influyeron en la formación de materia seca de la parte aérea de maíz (*Zea mays L.*) Estos datos se presentan en las tablas 35-37.

Si se compara la materia seca del testigo con los tratamientos con humus de lombriz, estiércol de vacuno y compost, se observa un incremento en el rango de 9.091% a 28.79%, lo cual evidenciaría una relativa mejora en el crecimiento de la planta de maíz (*Zea mays L.*), por efecto de los abonos orgánicos en un suelo de disposición final de residuos municipales, como lo evidenció el trabajo de investigación similar al presente, realizado en maíz, donde se observó un incremento en altura de planta, área foliar y número de hojas por planta para los suelos con disposición final de residuos sólidos municipales (26).

## CONCLUSIONES

1. Las propiedades físico-químicas de los suelos de disposición final de residuos sólidos municipales tuvieron los siguientes datos:
  - El pH promedio vario de  $7.517 \pm 0.107$  a  $7.807 \pm 0.074$ , siendo significativamente el más alto el tratamiento testigo (sin abono orgánico), calificado como moderadamente alcalino, respecto al pH ligeramente alcalino ( $\text{pH} = 7.4 - 7.8$ ) de los demás tratamientos, incluyendo el pH inicial, antes del experimento.
  - El contenido de carbonato de calcio estuvo en el rango de  $3.367 \pm 1.266$  % y  $5.733 \pm 1.122$ , sin diferencias significativas entre todos los tratamientos, teniendo el tratamiento testigo el nivel más alto de  $\text{CaCO}_3$ , respecto a los demás tratamientos que tuvieron niveles medios, incluyendo el contenido inicial, que tuvieron nivel medio.
  - El contenido de materia orgánica tuvo un rango entre  $1.757 \pm 1.131$  % (nivel bajo, tratamiento testigo) y  $5.277 \pm 2.103$  % (nivel alto, compost), habiéndose incrementado la materia orgánica entre 31.47% y 64.91% debido a la aplicación de abonos orgánicos.
  - La capacidad de intercambio catiónico varió de  $14.827 \pm 1.868$  meq/100 (tratamiento testigo) a  $17.173 \pm 1.124$  (humus de lombriz), todos de nivel moderadamente alto, superiores al valor inicial de 12 meq/100 g (nivel bajo), lográndose un incremento con la aplicación de abonos orgánicos entre 23.56% y 43.11%.
  - Las proporciones de arena, limo y arcilla no tuvieron variación significativa entre los tratamientos evaluados, variando la arena entre  $48.333 \pm 3.06$  % -  $52.333 \pm 3.06$  %, el limo entre  $26.67 \pm 1.155$  % -  $30.00 \pm 2.00$  % y la arcilla entre  $22.33 \pm 3.06$  % -  $21.00 \pm 2.00$  %.
2. La cantidad de materia seca de la parte aérea del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), medido a través de la materia seca formada al momento de la evaluación final, varió entre  $110.000 \pm 45.826$  g/2.1 m<sup>2</sup> y  $141.667 \pm 109.810$  g/2.1 m<sup>2</sup>, sin diferencias significativas entre los tratamientos de abonos orgánicos.
3. El suelo de disposición final de residuos sólidos municipales de San Jerónimo de Tunán, con base en sus propiedades físico-químicas, fue calificado de fertilidad media.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar metales pesados y contaminantes orgánicos en suelos que fueron de disposición final de residuos sólidos municipales en las provincias y distritos del valle del Mantaro.
2. Evaluar la instalación, de otras especies vegetales no agrícolas, como cubierta vegetal, con fines de recuperación.
3. Tener en cuenta que de acuerdo a lo señalado en el DS N° 014-2017- MINAN, las áreas de disposición final no deben ser utilizadas como zonas agrícolas.
4. Evaluar las propiedades de los suelos de botaderos de residuos sólidos municipales comparándolo con propiedades de suelos de áreas adyacentes.
5. Evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas, después de la instalación y desarrollo de plantas, en botaderos de residuos sólidos, luego de ser descontaminados, haciendo uso de diferentes técnicas, biológico, físico, químicos o fisicoquímicos.
6. Evaluar la disminución de lixiviados después de la aplicación de abonos orgánicos y la instalación de una cubierta vegetal, en suelos de disposición final de residuos sólidos municipales.
7. Recuperar o reconvertir el sitio de disposición final de residuos sólidos de San Jerónimo de Tunán, en una infraestructura adecuada para la disposición final de residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente segura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRANT, C., and DOBBS, A.J. *The growth and metal content of plants grown in soil contaminated by a copper chromium Wood preservative*. Environmental Pollution, 14: 213-226. 1997.
2. HAYNES R.J. and R. Naidu. *Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review*. Nutr. Cycling Agroecosyst. 51:123-137. 1998
3. FLIESSBATCH A., R. Martens, and H.H. Reber. *Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge*. Soil Biol. Biochem. 26:1201-1205. 1994.
4. ALBIACH R., R. Canet, F. Pomares and F. Ingelmo. *Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years*. Bioresour. Technol. 77:109-114. 2001.
5. GIUSQUIANI P.L., M. Pagliai, G. Gigliotti, D. Businelli and A. Benetti. *Urban waste compost: effects on physical, chemical and biochemical soil properties*. J. Environ. Qual. 24:175-182. 1995.
6. ERIKSEN G.N., F.J. Coale, and G.A. Bollero. *Soil nitrogen and maize production in municipal solid waste amended soil*. Agron. J. 91:1009-1016. 1999.
7. SIKORA L.J. and N.K. Enkiri. *Growth of tall fescue in compost/fertilizer blends*. Soil Sci. 56:125-137. 1999.
8. TEJADA M. and J.L. Gonzáles. *Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions*. Eur. J. Agron. 19:357-368. 2003.
9. DE NEVE S. and G. Hofman. *Influence of soil compaction on carbón and nitrogen mineralization of soil organoic matter and crop residues*. Biol. Fertil. Soils. 30:544-549. 2000.
10. TRINSOUTROT J., B. NICOLARDOT, E. Justes, and S. Recous. *Decomposition in field of residues of oilseed rape grown at two levels of nitrogen fertilization. Effects on the dynamics of soil mineral nitrogen between successive crops*. Nutr. Cycling Agroecosyst. 56:125-137. 2000.
11. MADEJON E., R. López, J.M. Murillo, and F. Cabrera. *Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: Effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (sw Spain)*. Agric. Ecosyst. Environ. 84:53-65. 2001.
12. TEJADA M. and J.L. Gonzáles. *Effects of application of a byproduct of the two-step olive oil mil process on maize yield*. Agron. J. 96:692-699. 2004
13. TEJADA M. and J.L. Gonzáles. *Application of diferent organic wastes non soil properties and wheat yield*. Agronomy Journal 99:1597-1606. Am. Soc. of Agronomy. Madison, WI, USA. 2007.
14. WEIL R.R. and N.C. Brady. *The nature and properties of soils*. Fifteenth edition. Pearson. New York. USA. 2016.
15. AZABACHE, A.A. *Aplicación de enmiendas orgánicas en la Disponibilidad de Cromo en un suelo contaminado de Orcotuna, Concepción, Junín*. 2017.
16. DATTA,R.,SARKAR,D.*phytoextraction of Zn and Cd from soils using hyperaccumulator plants*.New York s.n.,2005.
17. SRIDHAR M.K.C., A.O. Bammeke, and M.A. Omishakin.*A study on the characteristics of refuse in Ibadan, Nigeria*. Waste Management and Research 3:191-201. UK. 1985.
18. CAMERON K.C., H.J. Di, and R.G. McLaren. *Is soil an appropriate dumping ground for our wastes?*. Aust. J. Soil Res. 35:995-1035. 1997.
19. S Kurmar.,R.S.Malik, I.S Dahiya. *Influence of different organic wastes upon water retention, transmission and contact characteristics of a sandy soil*. Aust.J.Soil Res. 23:131-136. 1985.

20. DIANA G., BENI C., MARCONI S. *Organic and mineral fertilization: effects on physical characteristics and boron dynamic in an agricultural soil*. Commun Soil Sci. Plant Anal. 39:1332-1351. 2008.
21. El-Aswad R.M., Said A.O., Mornag M.T. *Effect of olive oil cake on water holding capacity of sandy soils in Libya*. J.Arid Environ. 24:409-413. 1993.
22. BORUVKA L., J. KOZAK. *Geostatistical investigation of a reclaimed dumpsite soil with emphasis on aluminum*. Soil & Tillage Research 59:115-126. 2001.
23. ADEOYE, G.O., M.K.C. SRIDHAR, O.O. AdeOluwa, and N.A. Akinsoji. *Evaluation of naturally decomposed solid wastes from municipal dump sites for their manorial value in southwest Nigeria*. Journal of Sustainable Agriculture, Vol. 26(4). 2005.
24. OBASI A.I., EKPE I.I., IGWE E.O. and NNACHI Enwo E. *The physical properties of soils within major dumpsites in Abakaliki urban, southeastern Nigeria, and their implications to groundwater contamination*. International Journal of Agriculture and Forestry. 5(1):17-22. 2015.
25. TRIPATHI A. and MISRA D.R. *A study of physico-chemical properties and heavy metals in contaminated soils of municipal waste dumpsites at Allahabad, India*. International Journal of Environmental Sciences. Volume 2, N° 4. 2012.
26. SIMEON P.O. and B. Ambah. *Effect of municipal solid waste on the growth of maize (Zea mays L.)*. International Letters of Natural Sciences. Vol. 2, pp 1-10. 2013.
27. CALVO V., R.D. y LÓPEZ V., K. *Problemática de residuos sólidos en Huánuco*. Boletín Salud Ambiental. Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental Diresa-Huánuco. 2010.
28. AMUSAN A.A., IGE D.V., OLAWALE R., "Characteristics of soils and crops uptake of metals in municipal waste dump sites in Nigeria," Journal Human Ecology 17 (3), 167-171, 2005.
29. CRECCHIO Carmine, Curci M., Pizzigallo M., Riccicutti P., and RUGGIERO P. *Effects of Municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacteria*. Genetic Diversity. Pp. 1595-1605. 2004.
30. WOODBURY P.B. *Municipal solid waste composting potential effects of heavy metal in municipal solid waste compost and the environment*. Boyce Thompson Institution for Plant Research at Cornell University. Municipal Solid Waste Fact Sheet 4 of 7. 2005.
31. TERRAZA, H. *Manejo de Residuos sólidos. Lineamientos para un servicio integral, sustentable e inclusive*. Banco Interamericano de Desarrollo. Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente. Nota Técnica N° IDB-TN-101. 2009.
32. PLASTER E.J. *Soil Science and Management*. International edition. Sixth edition. Delmar. 2014.
33. TAN K.H. *Principles of soil chemistry*. Fourth edition. CRC Press. 2011.
34. PRICE G. *Australian Soil Fertility Manual*. Third edition. CSIRO Publishing. 2012.
35. HAVLIN J.L., S.L.TISDALE, W.L. NELSON Y J.D. BEATON. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management*. Eighth edition. Pearson. 2014.
36. PORTA C.J., M. LÓPEZ-ACEVEDO R., Y C. ROQUERO DE LABURU. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2003.
37. FUENTES Y., J.L. *Manual práctico sobre utilización de suelo y fertilizantes*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 2002.
38. MENGEL K. and E.A. KIKBY. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Basel, Switzerland, 2000.
39. FASSBENDER H.W. y E. BORNEMISZA. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Servicio Editorial IICA. San José, Costa Rica, 1987.
40. SÁNCHEZ P.A. *Suelos del trópico. Características y manejo*. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. 1981.
41. BERTSCH F. *La fertilidad de los suelos y su manejo*. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo. 1998.

42. MELÉNDEZ G. Y G. SOTO. Taller de abonos orgánicos. CATIE. 2003.
43. BOLLO E. LOMBRICULTURA. UNA ALTERNATIVE DE RECICLAJE. Soboc, Grafic. Ecuador. 149 p. 1999.
44. RYNK R. *On-farm composting handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service*. Cooperative Extension. New York, USA. 186 P. 1992.
45. MILLER F.C. *Minimizing odor generation*. In: Hoiting H.A.J. y Keener H.M. (ed.). *Science and Engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. 219-241 p. 1993.
46. CASTELLANOS J.Z. Y PRATT P.F. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. *Soil Science Society of America Journal*. 45: 354-357. 1981.
47. LABRADOR M. J., A. GUIBERTEAU C., L. LÓPEZ B. y j.I. REYES PABLOS. La material orgánica en los sistemas agrícolas. Manejo y utilización. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 1993.
48. TRINIDAD SANTOS A. El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Serie Cuadernos de Edafología 10. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 1987.
49. MARTÍNEZ C., C. Lombricultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2000.
50. SSSA. *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society American. Madison WI. USA. 2015.
51. BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., CASANOVES F., DI RIENZO J.A., ROBLEDO C.W. Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. 2008.
52. MINAM. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *D.L. N° 1278*. Sistema Nacional de Information Ambiental. Lima, Perú. 2016.
53. AKITA, S. *Dry matter production of rice population*, pp. 648-690. In: T. MTSUO, K, Kumazawa, R. Ishii, K. Ishihara, and H. Hirata (Eds.) *Science of rice plant: Physiology*, Vol. 2. Tokyo: Food Agric. Policy Res. Center. 1995.
54. SSSA. *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods. Jacob H. Dane and G. Clarke Topp, Co-editors. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA. 2002.
55. MORI CASTRO J.A. Métodos Estadísticos de la Investigación Agraria pp5,6. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
56. DI RIENZO J. A., CASANOVES F.; GONZÁLES L.A., TABLADA E.M., DÍAZ M.P., ROBLEDO C.W., BALZARINI M.G. Estadística para las Ciencias Agropecuarias, p228. 6ª ed., editorial Brujas, Córdoba, Argentina.2005.
57. BERNAL C. Metodología de la Investigación, p60. 3ª ed, Pearson, ISBN: 978-958-699-128-5, Colombia.2010
58. MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN JERÓNIMO DE TUNÁN. Estudio de pre inversión del proyecto de ampliación y mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos del distrito de San Jerónimo de Tunán, provincia de Huancayo, departamento de Junín. 2015
59. NEUMANN, G. and V. Romheld. *The release of root exudates as affected by the plant physiological status*. In *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface* (R. Pinton, Z. Varanini, and Z. Nanniperi, eds.) 2ª ed.,pp. 23-72. CRC Press, Boca Raton. 2007.
60. CONAM. Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos. CEPIS/OPS. Lima, Perú. 2004.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. GUÍA DE CALIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS EDÁFICOS.

### 1. Materia Orgánica (MO)<sup>1</sup>

Nivel	% MO
Bajo	< 2
Medio	2 – 4
Alto	> 4

### 2. pH<sup>1</sup>

Rangos	Clases
< 3,5	Ultra ácido
3,6 – 4,4	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino
> 9,0	Muy fuertemente alcalino



### 3. Textura<sup>1</sup>

Términos Generales		Clase textural	Símbolo
Suelos	Textura		
Arenosos	Gruesa	Arena	A.
		Arena franca	A.Fr.
Francos	Moderadamente gruesa	Franco arenoso	Fr.A.
		Franco	Fr.
	Media	Franco limoso	Fr.L.
		Limoso	L.
		Franco arcilloso	Fr.Ar.
	Moderadamente fina	Franco arcillo limoso	Fr.Ar.L.
		Franco arcillo arenoso	Fr.Ar.A.
Arcillosos	Fina	Arcillo arenoso	Ar.A.
		Arcillo limoso	Ar.L.
		Arcilloso	Ar.

### 4. Capacidad de Intercambio Catiónico<sup>2</sup>

Nivel	CIC (meq/100 g)
Muy Baja	< 4
Moderadamente Baja	4 – 8
Baja	8 – 12
Moderadamente Alta	12 – 20
Alta	> 20

## 5. Conductividad eléctrica

Clase	Calificación	Conductividad Eléctrica dS/m
0	No salino	0 – 2
1	Muy ligeramente salino	2 – 4
2	Ligeramente salino	4 – 8
3	Moderadamente salino	8 – 16
4	Fuertemente salino	≥ 16

## 6. Saturación de bases

Nivel	Suma de Cationes (%)	Acetato de Amonio (%)
Bajo	< 35	< 50
Alto	> 35	> 50

## 7. Carbonato de calcio<sup>2</sup>

Nivel	CaCO <sub>3</sub> (%)
Baja	< 1
Medio	1 – 5
Alto	5 – 15
Muy alto	> 15

## 8. Nitrógeno total

Nivel	% Nt
Bajo	< 0.1
Medio	0.1 – 0.2
Alto	> 0.2

## 9. Fósforo disponible

Nivel	P (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7 – 14
Alto	> 14

## 10. Potasio disponible

Nivel	K (ppm)
Bajo	< 100
Medio	100 – 240
Alto	> 240

(1) Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor, Lima, Perú.

(2) Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina 2002.

## ANEXO 2. ANÁLISIS DE VARIANCIA.

**Tabla 1. Análisis de variancia del pH.**

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	p-valor
Repeticiones	0.042	2	0.021	0.3642
Tratamientos	0.146	3	0.049	0.1310
Error	0.104	6	0.017	
Total	0.292	11		

**Tabla 2. Análisis de variancia del contenido de carbonato de calcio (%).**

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	p-valor
Repeticiones	2.907	2	1.453	0.567
Tratamientos	9.309	3	3.103	0.349
Error	13.973	6	2.329	
Total	26.189	11		

**Tabla 3. Análisis de variancia del contenido de materia orgánica (%).**

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	p-valor
Repeticiones	0.401	2	0.201	0.928
Tratamientos	23.243	3	7.748	0.123
Error	15.944	6	2.657	
Total	39.589	11		

**Tabla 4. Análisis de variancia del contenido de arena (%).**

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	p-valor
Repeticiones	32.667	2	16.333	0.148
Tratamientos	30.333	3	10.111	0.274
Error	36.667	6	6.111	
Total	99.667	11		

**Tabla 5. Análisis de variancia de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g).**

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	p-valor
Repeticiones	6.353	2	3.177	0.213
Tratamientos	9.854	3	3.285	0.203
Error	9.417	6	1.569	
Total	25.623	11		

**Tabla 6. Análisis de variancia del peso de materia seca (g) de la parte aérea de maíz.**

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	p-valor
Repeticiones	23279.167	2	11639.583	0.0863
Tratamientos	1575.000	3	525.000	0.9123
Error	18437.500	6	3072.917	
Total	43291.667	11		

### ANEXO 3. ANÁLISIS DE SUELO.



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



### ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : ANA SUASNABAR ZÁRATE/ KATTY TORRES BARAHONA

Departamento : JUNÍN  
 Distrito : SAN JERÓNIMO  
 Referencia : H.R. 57779-027C-17

Bolt: 124

Provincia : HUANCAYO  
 Predio : SECTOR MAYUPATA  
 Fecha : 06/03/17

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
1952		7.53	2.57	4.80	3.20	77.1	353	54	30	16	Fr.A.	12.00	9.86	1.37	0.65	0.12	0.00	12.00	12.00	100

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



*Sady García Bendezu*  
 Dr. Sady García Bendezu  
 Jefe del Laboratorio





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



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : CATYY SHEILA TORRES BARAHONA

Departamento : JUNIN  
 Distrito : SAN JERONIMO DE TUNAN  
 Referencia : H.R. 59317-082SC-17

Bol.: 492

Provincia : HUANCAYO  
 Predio : SECTOR MAYUPATA  
 Fecha : 06/07/17

Lab	Numero de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Analisis Mecanico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>			
5372	HL1	7.41	1.07	4.80	4.69	145.8	96	55	26	19	Fr.A.	18.24	14.93	2.53	0.68	0.11	0.00	18.24	18.24	100
5373	HL2	7.66	0.55	2.40	4.06	151.2	70	49	26	25	Fr.Ar.A.	17.28	14.19	2.45	0.51	0.13	0.00	17.28	17.28	100
5374	HL3	7.68	0.65	2.90	3.87	153.2	75	53	28	19	Fr.A.	16.00	12.78	2.50	0.52	0.20	0.00	16.00	16.00	100
5375	T1	7.75	0.94	5.10	1.03	47.2	90	51	26	23	Fr.Ar.A.	12.80	10.12	1.77	0.65	0.26	0.00	12.80	12.80	100
5376	T2	7.78	0.79	8.10	1.18	28.0	107	45	30	25	Fr.	16.48	12.80	2.72	0.78	0.17	0.00	16.48	16.48	100
5377	T3	7.89	1.08	4.00	3.06	54.7	143	49	32	19	Fr.	15.20	12.23	1.68	1.04	0.24	0.00	15.20	15.20	100

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

  
 Sergio Bendezi  
 Jefe del Laboratorio







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



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : CATYY SHEILA TORRES BARAHONA

Departamento : JUNIN  
 Distrito : SAN JERONIMO DE TUNAN  
 Referencia : H.R. 59317-082SC-17

Bolt. 492

Provincia : HUANCAYO  
 Predio : SECTOR MAYUPATA  
 Fecha : 06/07/17

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textura	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
5368	C1	7.37	1.12	3.20	7.70	136.8	131	49	28	23	Fr	14.40	10.75	2.63	0.87	0.15	0.00	14.40	14.40	100
5367	C2	7.64	0.83	5.80	3.93	84.2	128	51	28	21	Fr.	16.00	12.62	2.42	0.87	0.10	0.00	16.00	16.00	100
5368	C3	7.72	1.12	3.50	4.20	152.0	98	53	28	19	Fr.A.	15.68	12.17	2.60	0.71	0.20	0.00	15.68	15.68	100
5369	EV1	7.64	0.88	3.80	3.87	118.4	118	47	30	23	Fr.	16.00	12.18	2.77	0.83	0.23	0.00	16.00	16.00	100
5370	EV2	7.46	0.85	3.40	6.74	141.1	142	47	32	21	Fr.	18.08	13.82	2.90	1.02	0.24	0.00	18.08	18.08	100
5371	EV3	7.45	0.95	4.50	4.48	110.2	151	53	28	19	Fr.A.	15.04	11.19	2.65	1.03	0.17	0.00	15.04	15.04	100

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

  
 Sacha Garcia Bendezu  
 Jefe del Laboratorio

# INFORME DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA



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



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ANA SUASNABAR ZARATE / KATTY TORRES BARAHONA  
 PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ SAN JERONIMO  
 REFERENCIA : H.R. 57781  
 BOLETA : 124  
 FECHA : 09/03/17

Nº LAB	CLAVES	PH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
117	Compost	7.68	7.44	58.44	2.69	2.51	1.98
118	Estiércol de vacuno	7.95	2.07	80.33	2.37	1.52	0.89
119	Humus	6.82	2.53	56.44	2.26	2.46	0.40

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
117	Compost	4.33	1.39	61.05	0.16
118	Estiércol de vacuno	2.70	1.10	55.13	0.10
119	Humus	4.61	1.02	48.22	0.04



*Sady García Bendejé*  
 Sady García Bendejé  
 Jefe de Laboratorio

## ANEXO 4. CUESTIONARIO



### Municipalidad Distrital de San Jerónimo de Tunan

CARTA N° 003-2017-GGASP/MDSJT

San Jerónimo de Tunan, 05 de setiembre de 2017.

Srta.:

Catty Sheila Torres Barahona  
Tesisista

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y a su vez remitirle la solicitud de información sobre el lugar de disposición final de residuos sólidos municipales.

Se adjunta las respuestas:

1.- ¿Qué tipos de residuos se vierten en el lugar de disposición final de residuos sólidos?

Rpta: Residuos Municipales

2.- ¿Qué cantidad por día de residuos ingresa al lugar de disposición final de residuos sólidos?

Rpta: 5.4 toneladas/día.

3.- ¿Desde hace cuánto tiempo está en funcionamiento el lugar de disposición final de residuos sólidos?

Rpta: 20 años

4.- ¿Desde hace cuánto tiempo la plataforma en la que se está trabajando los proyectos de investigación esta con la cubierta de tierra?

Rpta: 01 año

5.- ¿Cada cuánto cubren o tapan los residuos sólidos que ingresan?

Rpta: 02 días

6.- ¿De dónde traen el material que cubren los residuos sólidos?

Rpta: Misma zona, pavimentaciones ciudadanas

7.- ¿Cuáles son los planes futuros para el lugar de disposición final de residuos sólidos?

Rpta: Reconvertir y remediar

8.- ¿Cuál es el tratamiento general que la municipalidad tiene sobre el tratamiento de estos materiales (residuos sólidos) y cuál es la instancia que regenta?

Rpta: MINAM, MINISTERIO DE SALUD

9.- ¿Sería posible que nos proporcione una copia del plano del lugar de disposición final de residuos sólidos, de no ser posible, ¿cuál sería la sugerencia para poder obtenerla?

Rpta: Levantamiento topográfico



## **PANEL FOTOGRÁFICO**



**FOTOGRAFÍA N°1-Repeticiones de 8.4Kg Humus de Lombriz**



**FOTOGRAFÍA N°2-Repeticiones de 8.4Kg Compost**



**FOTOGRAFÍA N°3-Estiercol de Vacuno-INIA**



**FOTOGRAFÍA N° 4-Sitio de disposición final de residuos sólidos San Jerónimo de Tunán**



**FOTOGRAFÍA N°5-Delimitación del área de Estudio**



**FOTOGRAFÍA N°6-Palos para el cerco de protección**





**FOTOGRAFÍA N°7-Acondicionaminto del terreno**



**FOTOGRAFÍA N°8-Cerco de protección con mantada**



**FOTOGRAFÍA N°9-Surcos**



**FOTOGRAFÍA N°10-Siembra con tres semillas por golpe**



**FOTOGRAFÍA N°11-Terreno después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°12-Doce días después de la siembra**





**FOTOGRAFÍA N°13-Segunda semana después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°14-Tercera semana después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°15-Cuarta semana después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°16-Quinta semana después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°16-Sexta semana después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°18-Séptima semana después de la siembra**





**FOTOGRAFÍA N°19-Décima semana después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°20-Panorama general en la décima semana**



**FOTOGRAFÍA N°21-Elaboración de cobertor contra la helada**



**FOTOGRAFÍA N°22-Cobertor contra la helada**



**FOTOGRAFÍA N°23-Semana doce después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°24-Semana trece después de la siembra**





**FOTOGRAFÍA N°25-Semana catorce después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°26-Semana dieciocho después de la siembra**



**FOTOGRAFÍA N°26-Recojo al Azar de 10 plantas de maíz (*Zea mays* L.) en los dos surcos centrales de cada unidad experimental**



**FOTOGRAFÍA N°27- Unidad experimental T3/ Obtención de muestra compuesta**



**FOTOGRAFÍA N°28-Unidad experimental T3/Etiquetado de muestra**



**FOTOGRAFÍA N°30-Etiquetado de las 12 muestras experimentales**

