

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“EFECTO DEL COMPOST AGRÍCOLA Y DE RESIDUOS  
SOLIDOS MUNICIPAL BIODEGRADABLES EN EL  
RENDIMIENTO DEL FRIJOL CHAUCHA (*Phaseolus vulgaris* L.)  
EN UN SUELO Dystropepts DE TINGO MARÍA”**

**TESIS**

**Para optar el título de:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**EDEN EDWARD ALVAREZ RAMOS**

**Tingo María – Perú**

**2017**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



Av. Universitaria Km 1.5 Telf. (062) 562341 (062) 561136 Fax. (062) 561156 E.mail: [fagro@unas.edu.pe](mailto:fagro@unas.edu.pe)

"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**Nº 013-2017-FA-UNAS**

BACHILLER : **ALVAREZ RAMOS, EDEN EDWARD.**

TÍTULO : "EFECTO DEL COMPOST AGRÍCOLA Y DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPAL BIODEGRADABLES EN EL RENDIMIENTO DEL FRIJOL CHAUCHA (*Phaseolus vulgaris* L.) EN UN SUELO *Dystropepts* DE TINGO MARÍA"

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. HUGO ALFREDO HUAMANÍ YUPANQUI  
VOCAL : Ing. M.Sc. VICTORINO RIVAS PULACHE  
VOCAL : Ing. JAIME JOSSEPH CHÁVEZ MATÍAS

ASESOR : Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 19 DE JUNIO DE 2017

HORA DE SUSTENTACIÓN : 5:00 P.M.

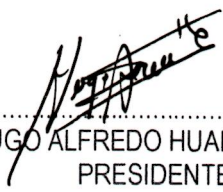
LUGAR DE SUSTENTACIÓN : SALA DE AUDIOVISUALES DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

CALIFICATIVO : MUY BUENO


RESULTADO : APROBADO


OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 19 DE JUNIO DE 2017.

  
.....  
Dr. HUGO ALFREDO HUAMANÍ YUPANQUI  
PRESIDENTE



  
.....  
ING. VICTORINO RIVAS PULACHE  
VOCAL

  
.....  
ING. JAIME JOSSEPH CHÁVEZ MATÍAS  
VOCAL

  
.....  
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO  
ASESOR

## DEDICATORIA

A Dios por estar presente y  
derramar sus bendiciones sobre  
mis seres queridos.

A mis queridos padres: Eden  
Edward Alvarez Herrada y Rosa  
Angélica Ramos Fasabi; por ser los  
primeros maestros de mi vida,  
gestores de mi emotividad, con  
profunda admiración y cariño.

A mis hermanos: Darwing Brian  
Alvarez Ramos, Rosa Isabel Alvarez  
Ramos, Maicol Brian Alvarez  
Ramos por su apoyo y comprensión  
en todo momento en mi formación  
profesional.

A mi abuelita con gran cariño y  
aprecio, Teresa Fasabi Saavedra  
por su apoyo y comprensión en todo  
momento y sobre todo por sus  
críticas constructivas en el día a día

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios por estar conmigo en cada paso que doy por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y Facultad de Agronomía por ser el alma mater de mi formación profesional.
- A mi asesor Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano y co-asesor Ing. M.Sc Rafael Robles Rodríguez; por su amistad, enseñanza, dedicación, y consejos en la ejecución, redacción y sustentación del presente trabajo de investigación de tesis.
- A mis jurados de mi tesis Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui, Ing. M.Sc Victorino Rivas Pulache y al Ing. Jaime Joseph Chávez Matías por las recomendaciones y sugerencias para mejorar la presente tesis.
- A mis amigos Henry Bartra Lescano, Gustavo Esteban Maylle, Nikolai José Ccoicca Iturri y Marcos Aliaga Paredes.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1. Generalidades sobre el cultivo de frijol Chaucha.....	16
2.2. Fertilización de los frijoles.....	21
2.3. Enmiendas orgánicas.....	24
2.4. Importancia de la materia orgánica en los suelos.....	25
2.5. Compost.....	43
2.6. Residuos sólidos biodegradables.....	45
2.7. Trabajos realizados en frijol Chaucha y otras variedades.....	47
2.8. Relación beneficio – costo y/o análisis de rentabilidad.....	50
2.9. Suelos tipo Dystropepts.....	51
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
3.1. Lugar de ejecución.....	52
3.2. Materiales.....	54
3.3. Metodología del experimento.....	56
3.4. Variables independientes.....	58
3.5. Variables dependientes.....	58
3.6. Tratamientos en estudio.....	59
3.7. Diseño experimental.....	59
3.8. Características del campo experimental.....	61
3.9. Datos a registrar.....	63

3.10. Relación beneficio costo.....	66
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1. Efecto del compost agrícola (CoA) y compost residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) en las características biológicas, físicas y químicas del suelo en estudio.....	68
4.2. Determinación de la influencia del compost agrícola y compost de residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB) en las características biométricas de la planta del frijol Chaucha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	82
4.3. Efecto del compost y las dosis de abonamiento en el rendimiento del peso de 100 semillas (g), la producción del frijol Chaucha (kg ha <sup>-1</sup> ) y la relación beneficio costo de los tratamientos en estudio.....	113
V. CONCLUSIONES.....	130
VI. RECOMENDACIONES.....	131
VII. RESUMEN.....	132
VIII. ABSTRACT.....	133
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
X. ANEXO.....	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1. Monolito del suelo para muestreo de la macrofauna.....	35
2. Mapa de ubicación fuente google earth 2008.....	52
3. Precipitación (mm) y de temperatura media (°C) durante el periodo experimental.....	54
4. Croquis de distribución del experimento.....	61
5. Promedio de la densidad de lombrices (número m <sup>-2</sup> ) por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	71
6. Promedio de biomasa de lombriz (g m <sup>-2</sup> ) por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	74
7. Promedio de altura de planta (cm) por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	85
8. Tendencia de la altura media de planta (cm) en cada quincena de evaluación, analizada en los nueve tratamientos con sus respectivas regresiones polinómicas.....	88

9.	Promedio del volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) de planta en la etapa de floración, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	94
10.	Promedio del volumen radicular (cm <sup>3</sup> ) de planta en la etapa de cosecha, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	95
11.	Promedio de número de nódulos en la raíz en la etapa de floración, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	101
12.	Promedio de número de nódulos en la raíz en la etapa de cosecha, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	102
13.	Promedio del peso fresco de planta (g) en la etapa de floración, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	106
14.	Promedio del peso seco de planta (g) en la etapa de floración, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	108

15.	Promedio del peso fresco de planta (g) en la etapa de cosecha, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	110
16.	Promedio del peso seco de planta (g) en la etapa de cosecha, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	111
17.	Promedio de peso de 100 semillas (g), por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.....	116
18.	Producción de frijol Chaucha (kg ha <sup>-1</sup> ) por efecto de tipos de abono y dosis de aplicación (CoA: compost agrícola; (CRSMB: compost de residuo sólido municipal biodegradable) y su tendencia polinomial.....	120

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Datos meteorológicos registrados durante la ejecución del experimento correspondiente a los meses de septiembre del 2015 hasta enero del 2016.....	53
2. Descripción de los tratamientos en estudio.....	59
3. Esquema del análisis de variancia DBCA con arreglo factorial.....	61
4. Análisis de varianza para la densidad (número de lombrices por metro cuadrado) por efecto de los tratamientos (compost y dosis).....	69
5. Densidad (número de lombrices por metro cuadrado) correspondiente al contraste de factorial versus testigo (sin abonamiento). (promedio $\pm$ error estándar).....	70
6. Análisis de varianza para la biomasa de lombrices ( $\text{g m}^{-2}$ ) por efecto de los factores (compost y dosis).....	72
7. Biomasa ( $\text{g m}^{-2}$ ) correspondiente a cada tratamiento (promedio $\pm$ error estándar).....	73
8. Efecto de los abonos orgánicos y/o compost agrícola y de residuos sólidos biodegradables municipales en la modificación de la densidad aparente y la clase textural.....	75
9. Colores del suelo en base húmedo y seco de los tratamientos....	77
10. Nutrientes (totales) y metales pesados (totales) (N, P, K, Cd y Pb), en los compost orgánicos (CoA) y residuos sólidos	

	municipal biodegradables (CRSMB) antes de su aplicación al suelo.....	78
11.	Nutrientes y metales pesados totales (N, P, K, Cd y Pb) encontrados en los tratamientos al final del experimento.....	79
12.	Análisis de variancia para la altura de planta (quinta evaluación) del frijol Chaucha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	83
13.	Efecto de los factores compost y dosis sobre la altura de planta (cm). (promedio $\pm$ error estándar).....	84
14.	Altura media de planta (cm) entre los contrastes de factorial versus testigo (0 t ha <sup>-1</sup> de abonamiento). (promedio $\pm$ error estándar).....	86
15.	Análisis de variancia para el volumen de raíz (cm <sup>3</sup> ) en la etapa de floración y cosecha del frijol Chaucha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	90
16.	Volúmen medio de raíz (cm <sup>3</sup> ) en la etapa de floración por efecto del compost y dosis de abonamiento en plantas de frijol Chaucha (promedio $\pm$ error estándar).....	91
17.	Volúmen medio de raíz (cm <sup>3</sup> ) en la etapa de floración y cosecha entre plantas del factorial versus el testigo (promedio $\pm$ error estándar).....	93
18.	Análisis de variancia para la evaluación de los nódulos transformados (log(10)) en la etapa de floración y cosecha en el cultivo del frijol Chaucha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	97
19.	Promedio de nódulos en las plantas en la etapa de floración por efecto del tipo de compost y dosis de abonamiento (promedio $\pm$	

	error estándar).....	98
20.	Promedio de nódulos en plantas entre los tratamientos del factorial versus testigo en la etapa de floración y cosecha (promedio $\pm$ error estándar).....	100
21.	Análisis de variancia para el peso fresco y seco de la planta (g) en la etapa de floración, por efecto del tipo de compost y la dosis aplicada en el cultivo del frijol Chaucha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)...	104
22.	Peso promedio fresco y seco por planta (g) por efecto del contraste entre factorial versus testigo (promedio $\pm$ error estándar).....	105
23.	Análisis de variancia para el peso fresco y seco de la planta (g) en la etapa de cosecha, por efecto del tipo de compost y la dosis aplicada en el cultivo del frijol Chaucha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)...	109
24.	Peso promedio fresco y seco por planta (g) en la etapa de cosecha, por efecto del contraste entre factorial versus testigo (promedio $\pm$ error estándar).....	112
25.	Análisis de variancia para el rendimiento de 100 semillas (g) por efecto del tipo de compost y la dosis aplicada en el cultivo del frijol Chaucha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	113
26.	Peso promedio de 100 semillas (g) por efecto del tipo de compost y dosis de abonamiento (promedio $\pm$ error estándar)....	114
27.	Peso promedio de 100 semillas (g) entre los contrastes del factorial versus testigo (promedio $\pm$ error estándar).....	116

28.	Análisis de variancia para la producción (kg/ha) por efecto del tipo de compost y dosis aplicada en el cultivo del frijol Chaucha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	117
29.	Producción promedio (t ha <sup>-1</sup> ) de frijol Chaucha por efecto del tipo de compost y dosis de abonamiento (promedio ± error estándar).....	118
30.	Producción promedio (kg ha <sup>-1</sup> ) de frijol Chaucha entre los tratamientos del factorial versus testigo.....	121
31.	Análisis de correlación entre la producción (kg ha <sup>-1</sup> ) con las variables de evaluación.....	123
32.	Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para la variable dependiente producción (kg ha <sup>-1</sup> ) y las variables regresoras.....	124
33.	Rango de valores permisibles para las variables regresoras, que se ajustan al modelo de regresión lineal múltiple (R <sup>2</sup> =0.86).....	126
34.	Costo fraccionado hasta por seis cultivos de frijol Chaucha por tratamiento.....	127
35.	Análisis del rendimiento económico de los diferentes tratamientos en estudio del frijol Chaucha por hectárea, bajo el esquema de fraccionamiento del costo de abonamiento.....	129

## I. INTRODUCCIÓN

El frijol de la variedad Chaucha, es uno de los granos de leguminosas de mayor consumo en el mercado nacional, en razón a sus extraordinarias características culinarias, buen sabor, suavidad y por su excelente calidad inclusive para la industria alimentaria de conservas. Es la variedad que más se consume debido al bajo precio al alcance de la mayoría de la población, aunado las propiedades nutritivas como un adecuado suplemento alimenticio.

Es un frijol muy precoz, pero muy sensible al ataque de plagas y enfermedades por razones del inadecuado manejo agronómico que recibe, donde no se ofrece los nutrientes necesarios para la planta, esta situación es un factor que desalienta esta actividad en la zona tropical. Debido a ello, existe la necesidad de probar fuentes externas de fertilización que estén al alcance del productor rural, con el fin de promover esta actividad, satisfacer la demanda de alimentos y generar mayores incrementos económicos que conlleven a mejorar la calidad de vida del productor rural.

En los últimos años la enmienda orgánica y natural del suelo ha adquirido gran importancia en el Alto Huallaga, principalmente en Tingo María se trata de aprovechar el Compost Agrícola (CoA) preparado por el propio agricultor en sus parcelas o chacras y del compost de residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB), este último por su alta disponibilidad en la ciudad de Tingo María, donde de las 42 toneladas diarias de basura colectadas, 30 pueden convertirse en abono orgánico; además de tener la

ventaja de mejorar las propiedades físicas y químicas y biológicas del suelo incrementando la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes que requiere la planta; por ello, nos preguntamos ¿Cuál es el efecto con la inclusión de niveles de compost y residuos sólidos municipales biodegradables (CRSMB) en los parámetros bioeconómicos del cultivo del frijol Chaucha y en las características del suelo?

Para eso nos planteamos la siguiente hipótesis: Los diferentes niveles del compost agrícola y residuos sólidos municipales biodegradables (CRSMB) aplicados en diferentes niveles al cultivo del frijol Chaucha incrementan el desarrollo, producción y rentabilidad del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.), y mejorará las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo tanto perseguimos los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

- Evaluar el efecto del compost agrícola (CoA) y del compost de Residuos Sólidos Municipal Biodegradables (CRSMB) en la producción o rendimiento del cultivo del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.) en un suelo Dystropepts de Tingo María.

**Objetivo específico:**

- Determinar el efecto del compost agrícola y de residuos sólidos municipales biodegradables en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en estudio.

- Determinar la influencia del compost agrícola (CoA) y del compost de residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB) en las características biométricas de la planta del frijol Chaucha.
- Determinar la influencia del compost en la producción o rendimiento del frijol Chaucha y su relación beneficio costo en los diferentes tratamientos en estudio.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Generalidades sobre el cultivo de frijol Chaucha**

#### **2.1.1. Características del frijol**

HUERTA y JARDINERIA (2012), indican que estas leguminosas pueden ser arbustivas (enanas) o trepadoras y ciclos cortos, medios o tardíos. Se consumen cuando están verdes y han alcanzado su desarrollo máximo, aprovechando así las semillas aún incipientes y blandas, junto con las vainas que las contienen, cuando las vainas están maduras se lignifican y las semillas endurecen. El aspecto y color de las vainas es muy variado dependiendo de la variedad. Pueden ser rectas o curvadas, cortas o muy largas, de sección redondeada, aplanada o acintada; color verde, amarillo o jaspeados. El cultivo de Chaucha es sencillo y rendidor en unas 20 plantas se puede obtener cantidad de vainas suficientes para el consumo normal de una familia.

#### **2.1.2. Características morfológicas del frijol Chaucha**

##### **Raíz y tallo**

INFOAGRO (2012), menciona que el sistema radical del frijol Chaucha es muy ligero y poco profundo. Constituido por una raíz principal y gran número de raíces secundarias, elevado grado de ramificación y tallo herbáceo, en variedades enanas presenta un porte erguido y altura aproximada de 30 a 40 cm, mientras que en las judías de enrame alcanza una altura de 2 a 3 m siendo voluble y dextrógiro.

IICA (2009) y GARCÍA (2012), indican que la planta está

formada por una sucesión de nudos y entrenudos que se origina del meristemo apical del embrión de la semilla. Los estudios sobre el desarrollo radicular son de gran valor práctico, que albergan bacterias que convierten el nitrógeno de la atmósfera en compuestos que las plantas pueden utilizar directamente. La cantidad de nutrientes y agua absorbida por las raíces de las plantas, dependen de la extensión, distribución y actividad de las mismas.

### **Flores y frutos**

ADRA (2002), refiere que las flores nacen sobre racimos cortos axilares o terminales con pedúnculo erguido y algo veloso, cada pedúnculo lleva numerosas flores (30). Son de color variable: blanco y morado principalmente, estos aparecen a las siete u ocho semanas de siembra. Asimismo, INFOAGRO (2012), refiere que el fruto es una legumbre de color, forma y dimensiones variables, en cuyo interior se disponen de 4 a 6 semillas.

### **Hojas, vainas y semillas**

INFOAGRO (2012), indica que la primera hoja es sencilla, lanceolada y acuminada, las demás hojas son de tamaño variable según la variedad; las yemas se encuentran en las axilas de las hojas compuestas formando tríadas; vainas sub-cilíndricas de 5-10 cm de longitud y 0.9-1.4 cm de ancho, rectas o ligeramente curvas, contenido de 10 a 20 pequeñas semillas color verdoso que se vuelven negras a la madurez. Son de forma cilíndrica y vellosa en su estado tierno con 6 a 16 granos; los cotiledones son epigeos; en un kilo hay aproximadamente 20,000 semillas siendo 40 gramos el peso de 100

semillas. El número de semillas puede oscilar entre 11 y 12, muestran variación importante en su color, tamaño y medida.

### **2.1.3. Condiciones edafoclimáticas**

INFOAGRO (2012), refiere que el manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta, es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo; ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de estos incide sobre el resto. Esta planta es de clima húmedo y suave, dando las mejores producciones en climas cálidos.

ADEX (2001) y ADELUSI *et al.* (2013), mencionan que el frijol se cultiva en periodos secos de la sierra con fines semilleros; son sensibles a heladas y se pueden realizar varias cosechas al año; en la selva, la siembra se puede realizar desde enero a junio; según como se presenta la época de lluvia a veces es abundante y otras escasas. La germinación de las semillas puede ser afectada y controlada por varios o diversos factores biológicos (especie, viabilidad de la semilla, latencia de las semillas, tamaño de las semillas) y ambientales (humedad disponible, temperatura, humedad relativa, intensidad de la luz y duración). La mayoría de las variedades se cultivan en climas cálidos y templados, no resisten el frío.

#### **Temperatura y humedad**

INFOAGRO (2012), indica que cuando la temperatura oscila entre 12 y 15°C la vegetación es poco vigorosa, y por debajo de 15°C la

mayoría de los frutos quedan en forma de “ganchillo”. Por encima de los 30°C aparecen deformaciones en las vainas y se produce el aborto de flores, la humedad relativa óptima del aire en el invernadero durante la primera fase de cultivo es del 60 % a 65 %, pero oscila entre el 65 % y 75 %. La humedad relativa muy elevada favorece al desarrollo de enfermedades aéreas, dificultan la fecundación y aumentan la posibilidad de caimiento de flores.

### **Precipitación**

ADRA (2002), menciona que se cultivan en periodos regiones semiáridas con un periodo de lluvia inferior a los 600 mm año<sup>-1</sup>; los tipos de duración medio y largo se cultivan en regiones con lluvia comprendidas entre los 600 y 1,500 mm. La lluvia excesiva no favorece al cultivo durante su vegetación especialmente cuando las semillas están germinando; más aún si coinciden con la floración y el llenado de las vainas del cultivo.

### **Suelo**

INFOAGRO (2012), refiere que el frijol puede crecer en una amplia variedad de suelos, de preferencia los de textura franca-limosa o ligeramente arenosa y tolera bien suelos francos-arcillosos, siempre que estén bien drenados, pues no toleran el encharcamiento, no aguantan la salinidad, razonablemente tolerante a la acidez, pH de 5.5 - 6.5. Así también GARCÍA (2012), refiere que su requerimiento nutricional es de 20 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, 40 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Vestigios de oligoelementos suficientes para un comportamiento normal, pero la carencia de B, Co y más de

Mo producen un bloque de actividad rizobiana.

#### **2.1.4. Densidad de siembra**

ADEX (2001) y ESPINOZA (2009) manifiestan que depende del grado de fertilidad del campo, la resistencia del vuelco y de la variedad; porque hay variedades que ofrecen poca resistencia al vuelco o ramificarse, producirán más si la densidad es mayor. El incremento de la densidad en la hilera tiende a aumentar la altura de planta; la cantidad de ramas, vainas y semillas, por lo general disminuye al aumentar la densidad. El frijol Chaucha tiene un periodo vegetativo corto de 80 a 90 días entonces se trata de una planta precoz por lo que se debe usarse distancias de 0.60 m entre líneas y 0.30 m entre plantas, dando una densidad aproximada de 147 mil plantas por hectárea, considerando tres semillas por golpe.

#### **2.1.5. Producción y rendimiento del frijol**

MINAG (2004), refiere que la producción mundial de hace más de 50 años ha alcanzó los 11 millones de toneladas. Hoy en día sobrepasa los 19 millones de toneladas. En el Perú, el año 2003 la producción llegó a 76,596 toneladas, rendimiento promedio de  $1,024 \text{ kg/ha}^{-1}$  y un precio promedio en chacra S/. 1.45, entonces se dice que la producción a nivel nacional del frijol es variable, siendo la más alta en Moquegua con  $2,889 \text{ kg/ha}^{-1}$  y el más bajo en Jaén con  $582 \text{ kg/ha}^{-1}$ , la producción en le región Huánuco se mantuvo en  $904 \text{ kg/ha}^{-1}$ .

ESPINOZA (2009), menciona que el cultivo de frijol dura de 100 a 120 días a la cosecha y con un rendimiento de  $2,500 \text{ kg/ha}^{-1}$ , usualmente extrae del suelo entre 60 a 80 kg de nitrógeno y  $40 \text{ kg/ha}^{-1}$  de fósforo. PRA (2003), indica que en el Perú el rendimiento del frijol llegó de 2000 a 4000  $\text{kg/ha}^{-1}$  y el peso aproximado de 100 semillas es de 40 g. La semilla debe tener buena forma, calidad y color uniforme. IICA (2009), afirma que con el solo hecho de usar semilla de buena calidad el rendimiento se incrementa en 30 %.

FAO (2010), refiere que la producción del frijol en el mundo se concentra en 129 países de los cinco continentes. Entre 1961 y 2007, se produjo en promedio un poco menos de 15 millones de ton/año. Entre el 2002 y 2007 el volumen estuvo por encima de 18.7 millones de toneladas. El crecimiento de la producción anual fue de 2.8 % para el periodo 2000 - 2010. Situándose el 2010, en 23.2 millones de toneladas. Los principales países productores de frijol en el mundo 2000 - 2010, fueron: Brasil con 16 %, India con 15.9 %, Myanmar con 10.5 %; China con 8.9 % y México con 5.8 %. El rendimiento promedio mundial durante 2000 - 2009 del frijol se situó en  $1.27 \text{ t/ha}^{-1}$ . En Estados Unidos fue de 1.86 y  $1.53 \text{ t/ha}^{-1}$  respectivamente. Los principales consumidores fueron Brasil, la India y México.

## **2.2. Fertilización de los frijoles**

MINAG (2004), indica que el nitrógeno es un elemento importante; pero se debe recordar que el cultivo es capaz de tomar el aire mediante los nódulos en su raíz. Es necesario pequeñas cantidades de fósforo; en la mayoría de los

casos, no se encuentra disponible en el suelo. El cultivo tiene necesidades grandes de potasio y calcio y requiere de una relación K: Ca de 15:1 en la parte apical. Por otro lado, CABRERA (2004) refiere que estos elementos y otros se pueden suplir por medio del abonamiento con fórmulas comerciales. Tres son los elementos nutritivos más importantes, cuando se encuentran ausente uno de estos nutrientes, no es posible el crecimiento vegetal si uno de ellos existe en cantidades anormales que, tampoco puede esperarse un buen rendimiento

DRAL (2013), indica que las necesidades de la planta y las condiciones del suelo, el clima, el muestreo del suelo antes de la siembra y de acuerdo con el resultado se formulará la dosis del fertilizante. También tratar de incorporar residuos de la cosecha anterior que mejora la calidad del suelo y los rendimientos. También se puede recomendar aplicar las fórmulas: Urea: 60, Fosfato Diamónico: 90, Sulfato de Potasio: 120. Nitrato de Amonio: 80, Fosfato Diamónico: 90, Sulfato de Potasio: 120 y Sulfato de Amonio: 140, Fosfato Diamónico: 90 y Sulfato de Magnesio: 250. Mientras que el DRAP (2012), sugiere aplicar de 30 a 40 de N, 40 a 60 de P y 30 de K. Pese a que MANAYAY (2004) demuestra que los requerimientos de macro y micro elementos nutricionales del frijol se aplican de acuerdo a la ley de la fertilización, que dice: “los rendimientos de las cosechas son proporcionales a la cantidad de elemento fertilizante que se encuentra al mínimo en el suelo en relación con las necesidades de las plantas”.

### 2.2.1 Nódulos en leguminosas

La fijación biológica de nitrógeno es uno de los procesos más importantes para mantener la vida en el planeta. La inoculación con cepas de bacterias formadoras de nódulos en leguminosas (BFNFNL) altamente eficientes y adaptadas a condiciones ambientales, se utiliza en algunos países con un selecto grupo de leguminosas, con el propósito de reemplazar el uso de fertilizantes químicos de nitrógeno. Asimismo, la biodiversidad del suelo puede afectar el comportamiento de la formación de nódulos de manera positiva o negativa, debido a las múltiples interacciones que se dan entre organismos del suelo y plantas (Burns y Hardy, 1975, citado por MOREIRA, 2007).

Lanusse (1987), citado por MANAYAY (2004), indica que la formación de nódulos en las raíces de las leguminosas, es una de las etapas de fundamental importancia en el proceso de fijación biológica de nitrógeno. Existe una perfecta relación de simbiosis entre la planta (leguminosa) y las bacterias del género *Rhizobium* o *Bradyrhizobium*. Esta simbiosis consiste en que el *Rhizobium* entrega a la planta nitrógeno en forma asimilable y a su vez, la planta suministra sustancias nutritivas que necesita el *Rhizobium* para cumplir funciones vitales. NÚÑEZ (2011) determinó que hay formación de nódulos al incorporarse cepas de *Rhizobium* sp. en plantas de frijol de variedad canario en la costra peruana, resultando que la formación de nódulos es estimulada llegando a contar entre 2 a 23 nódulos por planta. Es importante indicar que PAREDES (2013), refiere que existen dos géneros de bacterias fijadoras de nitrógeno en leguminosas, las cuales solo las endosimbióticas

forman nódulos en las raíces, de las cuales destacan los géneros de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*.

### **2.3. Enmiendas orgánicas**

CUEVAS *et al.* (2006), menciona que los residuos de origen animal y vegetal que adicionados a los suelos mejoran sus características químicas, físicas y biológicas. Una vez incorporada al suelo, o luego de someterse a un proceso la materia orgánica es descompuesta por la acción de los microorganismos. La última etapa en la descomposición de la materia orgánica es la mineralización y en ella la liberación de nitrógeno y de otros nutrientes, los cuales pasan a formar parte de la solución del suelo, quedando disponibles para las plantas nuevamente.

La FAO (2010), indica que los micronutrientes o microelementos son el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el molibdeno (Mo), el cloro (Cl) y el boro (B). Ellos son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta que son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño. Su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo. El Cobalto (Co) es importante en el proceso de fijación de N de las leguminosas. Algunos micros elementos pueden ser tóxicos para las plantas a niveles sólo algo más elevados de lo normal.

#### **2.4. Importancia de la materia orgánica en los suelos**

La importancia de la materia orgánica reposa en su contribución a la capacidad de intercambio catiónico del suelo y por ende en la retención de los nutrimentos, su función como una fuente importante de nitrógeno y fósforo, y su rol en el mantenimiento de la agregación, estructura física y retención de agua del suelo. Una de las contribuciones más importante de la materia orgánica a la fertilidad de suelo es su capacidad de suplir nutrimentos, especialmente nitrógeno, fosforo y azufre. Los nutrimentos son secuestrados y liberados de la materia orgánica por dos procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K). Una consecuencia del alto contenido de materia orgánica en el suelo es la elevada concentración de nitrógeno total, por lo tanto, el porcentaje de nitrógeno total es un índice de la posible deficiencia del nitrógeno inorgánico que constituye la parte más directamente asequible a las plantas (CATIE, 2003; BENITES y FRIEDICH, 2009).

JULCA *et al.* (2006), mencionan que los abonos orgánicos y su efecto sobre las propiedades químicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo, favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas.

CUEVAS *et al.* (2006), manifiestan que la materia orgánica constituye un almacén de nutrientes, especialmente de N, P, S, los cuales se van liberando lentamente, facilitando su aprovechamiento; aumenta la CIC del suelo; evita su

pérdida por lixiviación, aumentan su disponibilidad; proporciona energía para los microorganismos, incrementando la actividad biológica de los suelos y favorece una buena estructura del suelo o estructura estable del agua.

BIBLIOTECA EL CAMPO (2002), manifiesta que la materia orgánica se convierte en una verdadera reserva de nutrientes, optimizan la capacidad del suelo para mantener nutrientes (capacidad de cambio iónico) y cederlos a microorganismos y plantas. Hacen que el suelo se torne menos propenso a cambiar sus condiciones químicas como el pH, es decir, evita que los suelos se vuelvan ácidos o alcalinos, tendencias a las que están sometidos los suelos tropicales. Forman conjuntos orgánicos que atrapan elementos como el hierro, el magnesio, el manganeso y evita que estos se pierdan al ser arrastrados y que las raíces no los aprovechen.

INFOAGRO (2009), indica que la biofertilización consiste en aumentar el número de microorganismos de un suelo, a través de la incorporación de abonos orgánicos al suelo, para de esta forma, acelerar todos los procesos microbianos, aumentar la cantidad de nutrientes asimilables por la planta, etc.

La materia orgánica, según Hinrich (1993), citado por MANDUJANO (2008), es la fracción químicamente más activa del suelo. Almacena varios elementos esenciales, estimula la estructura adecuada del suelo; asimismo, es una fuente con capacidad de intercambio catiónico y regula los cambios de pH;

proporciona relaciones convenientes entre el aire y el agua en los suelos y su enorme depósito geoquímico de carbono.

Con respecto al tiempo de transformación, la materia orgánica puede agruparse en dos categorías: la primera como humus, que es más estable, resistente a la rápida transformación; y la segunda, aquellos materiales orgánicos sujetos a una transformación rápida. Por ello, Skerman (1992), mencionado por CABRERA (2004), explica que los residuos vegetales con elevado contenido de lignina y otros polifenoles son más resistentes a la descomposición que los materiales pobres en estos compuestos y ricos en compuestos nitrogenados fácilmente descomponibles.

Al mencionar la velocidad de descomposición de la materia orgánica, esta tiene que ver mucho con el contenido de carbono y nitrógeno, llamado relación carbono nitrógeno (C/N). Por ejemplo, la hojarasca de especies arbóreas con elevada relación C/N y ricas en polifenoles se descomponen con relativa lentitud, si se compara con hojarasca de plantas ricas en nitrógeno y carbohidratos solubles pobres en polifenoles como las leguminosas (Mora, 1998, mencionado por MANAYAY (2004). La lignina es un polímero aromático de unidades de fenilpropano y su heterogeneidad estructural de la lignina constituye su particular resistencia a la degradación microbial (CUEVAS *et al.*, 2006).

Al incorporar la materia orgánica al suelo se produce una serie de procesos que permiten la mineralización de los componentes hasta ácido carbónico, agua amoniaco, y otros productos asimilables por las plantas, según CUEVAS *et al.* (2006), su transformación está regulada por diferentes factores como la temperatura, el pH del suelo, la humedad, la disponibilidad de oxígeno, los nutrientes orgánicos, la accesibilidad a los sustratos entre otros.

#### **2.4.1. Propiedades de los abonos orgánicos**

Los abonos orgánicos por sus características en su composición son formadores de humus y enriqueciendo al suelo, modificando algunos de las propiedades y características del suelo como su reacción, con cargas variables, capacidad de intercambio iónico (CIC), quelatación de elementos; con alta disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio y potasio. Los abonos orgánicos, aumenta la población microbiana, induciendo un buen desarrollo y rendimiento de los cultivos, abatiendo la acidez intercambiable ( $Al^{3+}$  y  $H^+$ ) y Al y Fe extractables en los suelos ácidos que llegan a influir en retención de fosfatos y otros aniones, disminuyendo la disponibilidad de ellos; mejora su fertilidad física, química, biológica y productividad (SEGARPA, 2000).

##### **a. Propiedades químicas**

La composición química de los abonos varía de acuerdo al origen de éstos; las plantas, los residuos de cosecha y los estiércoles, etc., difieren grandemente en cuanto a elementos que contienen (SEGARPA, 2000). Los abonos orgánicos aumentan el poder de la absorción del suelo y reducen

las oscilaciones de pH de éste, lo que permite mejorar la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), con lo que aumenta la fertilidad (MOSQUERA, 2010). De acuerdo con el pH del abono están disponibles en mayor o menor medida los iones de unos u otros minerales; así, por ejemplo, con un pH bajo están poco disponibles los iones de calcio, azufre y potasio, y que a un pH alto son poco asimilables los iones de fósforo, hierro, etc., por estos motivos el pH de un abono debe estar alrededor de 6.5, ya que este es el punto de máxima disponibilidad de nutrientes (Suquilanda 1996, citado por PUIALES *et al.*, 2008).

Cuando los compuestos orgánicos se oxidan producen ácido sulfúrico, nítrico, carbónico, ceniza y otros productos que favorecen la fertilidad del suelo. La materia orgánica activa como agente quelatante, formando compuestos de fácil absorción de los micronutrientes (PAREDES, 2013).

#### **b. Propiedades físicas**

El abono orgánico por su color oscuro llega a absorber más las radiaciones solares, por lo tanto, el suelo adquiere más temperatura, que permite absorber con mayor facilidad los nutrientes, mejorando la estructura y textura del suelo, haciendo más ligero a los suelos arcillosos y compactos a los suelos arenosos (PAREDES, 2013). También les permite mejorar la permeabilidad del suelo ya que eso influye en el drenaje y aireación de éste, cuando llueve y contribuye a reducir el uso de agua para riego por la mayor

absorción del terreno; además de ello, disminuye la erosión ya sea por efectos del agua y viento (MOSQUERA, 2010). Aumenta la porosidad y la capacidad del suelo para retener el agua incrementando, también la velocidad de la infiltración de agua en el suelo; una investigación reportó que con una sola aplicación de 66 t/ha de estiércol de ganado al suelo, la velocidad de la infiltración pasó de 8 a 9.6 cm/hora (SEGARPA, 2000).

### **c. Propiedades biológicas**

Los abonos orgánicos favorecen la aireación y la oxigenación del suelo y aumenta la actividad radicular de los microorganismos aerobios, producen sustancias inhibidoras y activadoras de crecimiento, incrementan desarrollo de los microorganismos benéficos, tanto para degradar la materia orgánica del suelo para así favorecer el desarrollo del cultivo (MOSQUERA, 2010). Los estiércoles que contienen grandes cantidades de compuestos de fácil descomposición, cuya adición resulta en un incremento de la actividad biológica; los microorganismos influyen en muchas propiedades del suelo y ejercen efectos directos en el crecimiento de las plantas. El resultado del aumento de la actividad biológica, logrando tener un medio biológicamente activo, logrando una relación positiva entre el número de microorganismos y el contenido de materia orgánica en el suelo (SEGARPA, 2000).

#### **2.4.2. Características físicas del suelo**

##### **Textura, color de suelos y densidad**

ENCARTA (2009), menciona que la textura depende de la

proporción de partículas minerales de diverso tamaño presentes en el suelo, que se clasifican por tamaño: Arena: diámetro entre 0,05 a 2 mm son ásperos al tacto y no forman agregados estables; limo: diámetro entre 0,002 y 0,5 mm es como la harina o el talco, y tiene alta capacidad de retención de agua y arcilla: diámetro inferior a 0,002 mm. Al ser humedecida es plástica y pegajosa; cuando seca forma terrones duros.

SAGAN (2002), manifiesta que la textura de un suelo es la propiedad que ayuda al abastecimiento de los nutrientes, agua y aire que son fundamentales, para la vida de la planta. Los suelos arenosos son inertes desde el punto de vista químico, carecen de las propiedades coloidales y de reservas de nutrientes. En cuanto a las propiedades físicas presentan mala estructuración, buena aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua. Por el contrario, los suelos arcillosos son muy activos desde el punto de vista químico, adsorben iones y moléculas, son floculantes (la fracción arcilla permanece inmóvil) y se dispersan (migran), muy ricos en nutrientes, retienen mucha agua, son bien estructurados, pero son impermeables y asfixiantes. Los suelos limosos tienen una nula estructuración, sin propiedades coloidales, son impermeables y con mala aireación. Los suelos francos son los equilibrados con propiedades compensadas.

BENÍTES y FRIEDRICH (2009), indican que la estructura del suelo no es un factor de crecimiento para las plantas, pero el suelo ejerce influencia en el aporte de agua y aire a las raíces, en la disponibilidad de

nutrientes, en la penetración y desarrollo de las raíces y en el desarrollo de la macrofauna del suelo; si las propiedades físicas se ven afectadas por incorporación de abonos orgánicos, la capacidad de retención de agua y la densidad y otras propiedades como la porosidad, la aireación, la infiltración están ligadas a las modificaciones de la estructura. Sin embargo, este efecto depende circunstancialmente de la calidad y cantidad incorporada, de los factores climáticos y de las características del suelo.

RUCKS (2009), manifiesta que el color, es una característica física del suelo fácil de observar y de uso cómodo para identificar un tipo de suelo. Las sustancias que confieren el color de suelo son: el humus, compuestos minerales, óxidos, sulfuros, sulfatos y carbonatos; los, cuerpos blancos reflejan más radiación calorífica que reciben, contrariamente ocurre con los cuerpos negros que absorben 80% de radiación solar y esta absorción desciende hasta 30% en suelos claros, por otro la densidad aparente es la relación que hay entre el peso seco (105° C) de una muestra y el volumen del suelo.

HERNÁNDEZ *et al.* (2010), mencionan que halló una densidad aparente ( $\text{g/cm}^{-3}$ ) de 0.83 a  $1.02 \text{ g/cm}^{-3}$  y considera que los factores que intervienen en la densidad real, así como la densidad aparente son importantes para determinar el grado de porosidad del suelo y características de los suelos. IBARRA (2005), menciona que la densidad aparente es una propiedad directamente relacionada con la estructura del suelo que indica el grado de

compactación del suelo y su valor medio es  $1.35 \text{ g/cm}^{-3}$  ( $1.1$  y  $1.7 \text{ g/cm}^{-3}$ ). SHOJI *et al.* (1993) y BROQUEN *et al.* (2000), mencionan que datos menores a  $0.9 \text{ g/cm}^{-3}$  denota suelos orgánico rico en humus cerca de las características de un suelo franco considerando como suelos *andisols*, así indica al hallar en su trabajo una densidad aparente de  $0.84$  y  $1.17 \text{ g/cm}^{-3}$ .

#### **2.4.3. Características biológicas del suelo**

JULCA *et al.* (2006), mencionan que un suelo naturalmente fértil, es aquél en el que los organismos edáficos van liberando nutrientes inorgánicos, a partir de las reservas orgánicas. La actividad biológica de los suelos es la resultante de funciones fisiológicas de los organismos que proporciona a las plantas un ambiente adecuado para su desarrollo de bacterias, lombrices, nematodos, hongos, algas, ácaros, hormigas, etc.

NAVARRETE *et al.* (2011), mencionan que la gran importancia de la evaluación de las propiedades biológicas del suelo se encuentra relacionado estrechamente con la descomposición de la materia orgánica, derivada de los residuos vegetales y animales, así como del reciclaje de la misma, ya que los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas, y químicas de los suelos. De forma general, se refieren a la abundancia, y subproductos de los organismos, incluidos las bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Según TAPIA *et al.* (2002), la macrofauna del suelo incluye a los invertebrados visibles que, a simple vista, viven en total o parcialmente, dentro del suelo o inmediatamente.

Doran y Parkin (1994) citados por NAVARRETE *et al.* (2011), indican que las propiedades biológicas del suelo son dinámicas, por lo que tienen la ventaja de servir de señales tempranas de degradación o de mejoría del suelo; también consideran como indicadores biológicos a la población de lombrices y el gran rendimiento de los cultivos. Las propiedades biológicas y bioquímicas (respiración del suelo, biomasa microbiana, microorganismos y otros) son más sensibles y son parámetros valiosos en la interpretación de la dinámica de la materia orgánica y procesos de transformación de los residuos orgánicos. Además de ello, dan rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo, son sensibles a los estreses ambientales y son fáciles de medir. La materia orgánica atrae la acción de microorganismos del suelo: hongos, actinomicetos, bacterias, levaduras entre otros.

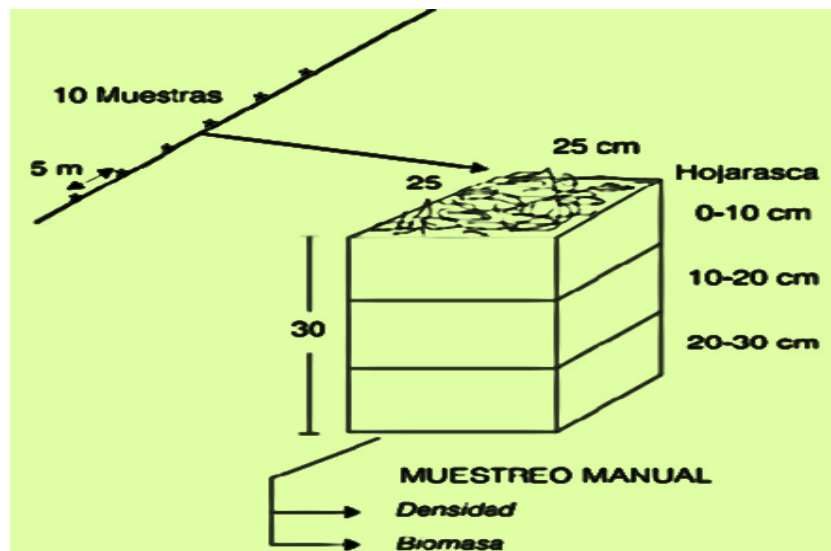
**a. Macrofauna del suelo**

Jones *et al.* (1994), citados por REÁTEGUI (2009), manifiestan que los organismos macro invertebrados son parte de la fracción orgánica del suelo, estos animales son visibles a la vista con diámetro variable, generalmente mayor a 2 mm de diámetro y longitud de 1 a 2 cm o más; desarrollan parte de su ciclo de vida en el suelo o el llamado mantillo superficial (hojarasca, tronco de la vegetación). Son importantes por su actividad en los procesos de depredación de microbios, modificación de la estructura del suelo, descomposición de la materia orgánica; por ello han sido clasificados de acuerdo a su función en el suelo.

Los macro invertebrados son los llamados ingenieros del suelo (Formicidae, Oligochaeta e Isoptera), los saprófagos (Diplopoda, Isopoda y Blattaria), predadores (Aranea, Chilopoda, Dermaptera), los herbívoros (Hemiptera, Hymenoptera, Orthoptera), las larvas de Coleoptera y Lepidoptera, y otros insectos como los Coleoptera, Gasteropoda, Pseudoescorpionidae y Enquitreido. Según TAPIA (2004), la estructura y abundancia de la macrofauna del suelo son muy sensibles a las modificaciones de la cobertura vegetal del suelo.

#### b. Metodología del estudio de la macrofauna del suelo

Anderson e Ingram (1993), citados por LINARES (2007), indican que el muestreo de la macrofauna del suelo debe seguir la metodología del Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Figura 1).



**Figura 1.** Monolito del suelo para muestreo de la macrofauna.

El muestreo consiste en la colecta de los organismos directamente del suelo luego de trazar una línea recta (transepto), donde los puntos de muestreo se distribuyen a una distancia mínima de 5 m entre sí; el número de muestras es no menor de cinco muestras por sistema en el uso del suelo, para estudios científicos. Además, esta metodología no es rígida y podrá ajustarse según sea la necesidad del investigador, por ejemplo, PASHANASI (2001) trabajó con 10 muestras para cada sistema de uso del suelo, mientras que TAPIA (2004) consideró cinco muestras en un estudio y en otro, sólo tres muestras; ambos usaron la metodología del TSBF.

**Macrofauna y sus efectos sobre el suelo, MORALES y SARMIENTO (2002)**, explican que los macro invertebrados del suelo son importantes reguladores de muchos procesos del ecosistema, tiene efectos positivos en la conservación de la estructura del suelo; actúan sobre el microclima, la humedad y aireación del suelo, activando o inhibiendo a los microorganismos, y están directamente involucrados en la conservación y el ciclado de nutrientes. Guild (1948), citado por CAMPOS (2010), menciona que la textura mediana del suelo es óptima para la mayoría de las especies.

Benites (2008), citado por CAMPOS (2010), revela que la cantidad de los organismos está determinada por la disponibilidad de los alimentos, como la materia orgánica, los cultivos presentes, la cantidad y calidad de los residuos en la superficie, humedad, temperatura del suelo,

textura, etc. También se indica que el papel de los organismos del suelo es de fragmentadores de la hojarasca y reguladores del estrés biótico.

ZERBINO y ALTIER (2013), indican que los macro invertebrados mejoran la descomposición de la materia orgánica y la disposición de nutrientes en la rizosfera, y modifican la estructura del suelo a través de la formación de macroporos y agregados, lo que afecta la tasa de infiltración y aireación. RENDÓN *et al.* (2011), indican que los invertebrados pueden ser considerados como indicadores de la calidad del suelo, integrando gran cantidad de factores como, la abundancia y los subproductos de los macro invertebrados.

**Funciones de algunas especies de la macrofauna,** RENDÓN *et al.* (2011), manifiestan que la mayor cantidad de los macro invertebrados se encuentra en los primeros 10 cm. La composición y la abundancia de las comunidades de macro invertebrados son muy sensibles a las diferentes prácticas de manejo del suelo. La población de éstos, pueden variar de una localidad a otra dependiendo del tipo, uso, función y de los factores de formación del suelo.

CATIE (2013), menciona que las hormigas y los isópodos, comen de todo en el suelo, hacen humus, cavan, mejorando la infiltración y la aireación. Entre los Coleoptera, algunos son depredadores, descomponen materia orgánica, hacen humus y transportan semillas. Los Isoptera, comen

madera, descomponiendo la materia orgánica, hacen humus, cavando, mejorando la infiltración y aireación del suelo.

DOMÍNGUEZ *et al.* (2009), indican que las lombrices representan la mayor biomasa animal en la mayoría de ecosistemas templados terrestres, influyendo significativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, jugando un papel muy importante en la modificación de la estructura del suelo, en la aceleración y descomposición de la materia orgánica, y del reciclado de nutrientes. Ibáñez *et al.* (2004), citados por RENDÓN *et al.* (2011), sustentan que las lombrices son de especial interés dentro de la fauna edáfica por su mayor presencia y biomasa, cumpliendo un importante papel estructural, ya que sus galerías facilitan el crecimiento de las raíces, sus excrementos retienen agua y contienen importantes nutrientes para las plantas, dentro de un ecosistema.

BENÍTES y FRIEDRICH (2009), indican que los abonos orgánicos, influyen sobre la actividad biológica del suelo por el efecto físico sobre la variación de la temperatura y por el mantenimiento de buenas condiciones de humedad del suelo, la presencia de material orgánico es el factor que más influye en la actividad y población de microorganismos. La densidad aparente es otro valor físico de los suelos importantes.

#### **2.4.4. Características químicas del suelo**

ENCARTA (2009), menciona que entre las deficiencias del suelo

que afectan a la productividad, la falta de nutrientes es especialmente problemática. Los nutrientes más necesarios para un correcto crecimiento de las plantas son el nitrógeno, el potasio, el fósforo, el hierro, el calcio, el azufre y el magnesio, todos los cuales están presentes en la mayoría de los suelos en cantidades variables. Además, la mayor parte de las plantas requiere diminutas cantidades de sustancias llamadas elementos traza, presentes en el suelo en cantidades muy pequeñas, entre los que se encuentran el Mg, Zn, Cu y el B.

NAVARRETE *et al.* (2011), indican que, entre las propiedades químicas propuestas como indicadores, se señalan aquellas que inciden en la relación suelo/planta como: calidad del agua, capacidad amortiguadora del suelo y la gran disponibilidad de nutrimentos, para las plantas; la capacidad de intercambio catiónico (CIC), reducen la presencia de cambios drásticos en el pH y la disminución en la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. CHEN (2000) y NAVARRETE *et al.* (2011), proponen como indicadores el contenido de materia orgánica (% M.O), carbono y nitrógeno orgánico, pH, conductividad eléctrica (C.E) y el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) disponible.

### **El pH del suelo**

MOLINA (1998), menciona que la acidez del suelo afecta de una forma particular y determinante a algunas características biológicas y químicas del suelo de modo que, reduce el crecimiento de la planta; la disponibilidad de algunos nutrimentos: Ca, K, P y Mg; favorece la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el  $Al^{+++}$  y Mn. ECOPLEXITY (2009), menciona

que suelos muy ácidos o demasiado alcalinos no favorecen la solución de compuestos, por lo tanto se restringen la presencia de iones de nutrientes esenciales para las plantas.

BERNIER y ALFARO (2006), mencionan que cuando las precipitaciones son entre 1,200 a 3,200 mm anuales aumenta la acidez y provocan lixiviación de cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na) generando su acidificación. El frijol Chaucha prospera mejor en suelos livianos o medios, bien drenados y fértiles. Los suelos pesados y sin drenajes limitan su crecimiento y desarrollo. Los límites óptimos de pH oscilan entre 5.5 y 7 a mayores de pH 7.5 las plantas sufren clorosis por carencia de magnesio (Mg) y zinc (Zn).

### **Fósforo**

ASOPROL (2009), citado por IICA (2009), refiere que el fósforo es el principal elemento nutritivo que necesita el frijol para expresar su potencial productivo. VIVAS *et al.* (1999), afirman que el fósforo, trata de un componente esencial de los compuestos que transportan energía en la planta. Esta fijación de P es un problema especial en los suelos rojos y gestados trópicos que son bajos en valor pH (altos en ácido). VALLADARES (2000), menciona que el fósforo no es lixiviable sino en suelos muy arenosos. Muchos agricultores aplican los abonos de P muy encima del suelo y muy poco llega a las raíces, en cuanto al fósforo se ha encontrado una tendencia positiva en lo que se refiere al rendimiento, lo indica que responde al abonamiento fosfatado.

### **Potasio**

VALLADARES (2000), menciona que las deficiencias de K no son tan extendidas como las del N y el P: La gran parte de los suelos volcánicos tienen cantidades disponibles. Sólo el 1 o 2 % del total de K en el suelo está en forma disponible, pero esto a veces es suficiente para satisfacer las necesidades de algunos cultivos. La buena noticia es que la separación de los abonos K no es muy seria y nunca forma el problema que presenta el P. Las partículas de arcilla y humus cargados negativamente actúan como imanes y atraen al K de carga-positiva para reducir la lixiviación.

Potash y Phosphate Institute (1998), citado por TUESTA (2004), refiere que el potasio (K) es un nutriente vital para la planta, que no puede ser remplazado por ningún otro nutriente. Es absorbido del suelo en su forma iónica  $K^+$  y es importante para la fotosíntesis. Cuando hay deficiencia de potasio la fotosíntesis disminuye.

### **Nitrógeno**

ESPINOZA (2009), indica que los mejores rendimientos se han obtenido con fertilizantes nitrogenadas, no debiendo sobrepasarse la dosis adecuada, que por lo general debe ser baja su exceso deprime la cosecha del grano haciéndose la planta más susceptible al ataque de plagas y enfermedades. PAREDES (2013), refiere su importancia: Absorben nitratos y amonio que utilizan en la síntesis de proteínas; el nitrógeno varía según condiciones de drenaje, vegetación, topografía, cantidad de M.O., textura,

actividad del hombre etc.; la cantidad de (N) disminuye a medida que aumenta la profundidad debido a la influencia de factores; el clima determina el nivel de nitrógeno de los suelos a través del efecto de la temperatura y la humedad sobre el desarrollo de las plantas y microorganismos y valores de C/N bajos, indican presencia de mayor cantidad de nitrógeno inorgánico, y de  $\text{NH}_4^+$ . La relación C/N y el pH se encuentran inversamente relacionados.

### **Cadmio y plomo**

Adriano (1992), citado por MEJÍA (2011), indica que la acumulación de Cd en el suelo por el uso de fertilizantes fosfatados es una materia relevante desde el punto de vista ambiental y de la salud humana, dado que la concentración total de cadmio en el suelo normalmente fluctúa entre valores menores de 1 a 3 ppm y aplicaciones sucesivas podrían incrementar valores afectando la salud humana. HERRERA (2011), menciona que el uso agrícola de lodos residuales aporta cantidades de Cd a los suelos; normativas internacionales que exigen el cumplimiento de estándares de calidad de los alimentos y el uso agrícola. Suelos con un nivel de Cd que podría considerarse dentro de límites normales y algunas plantas pueden concentrar el elemento y llegar a tener niveles mucho mayores que las del suelo; por lo que se requiere un mayor control de las concentraciones de cadmio en los alimentos.

ALLOWAY (1995), sostiene que existen muchas fuentes de plomo y entre ellas podemos mencionar de actividades mineras, abonos, aguas

residuales, tuberías, conductos, soldaduras y la contaminación procedente de los tubos de escape de los automóviles, etc. Es tóxico para mamíferos y aves y se concentra en todos los organismos acuáticos. Así también MANARA (2012), refiere que se han observado problemas en la reproducción, una menor supervivencia y limitaciones en el crecimiento con niveles tan bajos como 1.0 - 5.1  $\mu\text{m/l}$  de Pb en agua. El cadmio presente en el compost no tiene función biológica esencial y tanto como sus compuestos son muy tóxicos para las plantas y animales.

## **2.5. Compost**

ROMÁN *et al.* (2013), mencionan que el compost permite el reciclaje de residuos orgánicos, reduciendo la contaminación y el costo de fertilizantes como insumo para la producción agrícola. El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad. La utilización de material que no ha finalizado bien el proceso de compostaje, puede acarrear riesgos como: fitotoxicidad, bloqueo biológico del nitrógeno, exceso de amonio, nitrato en la planta y contaminación de fuentes de agua. Por otra parte. LABRADOR *et al.* (2006), afirman que el compost es uno de los mejores abonos orgánicos ya que permite mantener la fertilidad de los suelos con excelentes resultados en el rendimiento de los cultivos.

El compost no solo presenta aportes altos de nutrientes para la planta según su composición química, sino que incide positivamente sobre la actividad microbiana del suelo, así como influye indirectamente sobre los ciclos de

movilización y ayuda a disminuir la inmovilización de macro elementos, minerales como el fósforo, azufre, nitrógeno, calcio, potasio, aumentando la mineralización del suelo y reduciendo la inmovilización de nutrientes normales del cultivo (HIRZEL y RODRÍGUEZ, 2004).

PRAVIA y MGA (2012), afirman que los compost es un material que nos permite mantener la materia orgánica dentro del ciclo natural. Es un mejorador de suelos, sumamente útil en el combate a la erosión, en la mejora de los cultivos en cuanto a cantidad y calidad de los mismos. Por otro lado, OCHOA (2009), indica que el color del compost es oscuro casi negro; olor agradable parecido al de la tierra húmeda, mejorador del crecimiento de las plantas y un excelente sustituto a la tierra de hoja y agrega elementos esenciales al suelo y no nitrifica ni acidifica el terreno como suele ocurrir con fertilizantes químicos. Mejora las propiedades físicas, químicas del suelo y aumenta la población microbiana o sea da mayor fertilidad al suelo.

### **2.5.1. Componentes del compostaje**

OCHOA (2009), menciona que los componentes del compostaje se clasifican: compost de maleza: se usa vegetación de bosque, normalmente es cobertura del suelo, los restos jóvenes son ricos en nitrógeno y pobre en carbono. De material vegetal con estiércol: procede de restos vegetales, malezas y estiércol de equinos o pequeños rumiantes; el estiércol debe dejarlo madurar antes de incorporarlo a su labor. Tipo Quick- Return: compuesto de restos vegetales, rocas en polvo, paja, tierra, algas; se añade rocas para suplir

carencias de ciertas tierras y compost activado con levadura de cerveza: se mezcla de restos vegetales, mezclado con levadura fresca de cerveza, tierra, agua y azúcar.

## **2.6. Residuos sólidos biodegradables**

GONZÁLES *et al.* (2006), manifiestan que el término residuos sólidos incluye a todos los materiales sólidos desechados de las actividades municipales, industriales o agrícolas, que no son transportados por agua y que han sido rechazados porque no se van a utilizar; Basura: desechos de alimentos putrescibles (biodegradables). Desechos: residuos sólidos no putrescibles, que incluyen diversos materiales, pudiendo ser combustibles (papel, plástico, textiles, etc.) o no combustibles (vidrio, metal, mampostería, etc.). Especiales: cascajo de las construcciones, las hojas de los árboles y basura callejera, automóviles abandonados y aparatos viejos. También es conocida como basura doméstica biodegradable, los cuales, según FERRERAS *et al.* (2009), pueden contener contaminantes que perjudiquen la calidad del suelo.

DIGESA (2006), define a los residuos sólidos como toda sustancia u objeto que, una vez generado por la actividad humana, no se considera útil o se tiene la intención u obligación de deshacerse de él o en el marco de la definición global de residuo, se tiene un sistema que permite clasificar a los residuos de acuerdo a su peligrosidad y en función a ello los residuos pueden ser: Residuos no peligrosos, aquellos que al manipularse no representan

riesgos a la salud y al ambiente y residuos peligrosos, aquellos que por sus características intrínsecas representan riesgos a la salud y al ambiente. DÍAZ y TAVERA (2013), mencionan que los desechos sólidos biodegradables son, aquellos desechos que se pueden descomponer por medio de la acción de microorganismos, a través de un sistema natural aeróbico. Estos pequeños animalillos tan útiles son: las lombrices, hongos y bacterias.

### **2.6.1. Residuos sólidos municipales biodegradables**

GONZÁLES *et al.* (2006), mencionan que los residuos sólidos municipales comprenden, todos los residuos que provienen de actividades principalmente humanas desarrolladas en los núcleos de concentración poblacional, tales como capitales, municipios y pequeñas poblaciones. Donde se genera una masa heterogénea producto de la actividad doméstica, comercial y de servicios, así como los procedentes de la limpieza de calles, parques y jardines. Se pueden clasificar según su procedencia o fuentes de generación y su naturaleza.

BUSTAMANTE (2014), indica que los residuos biodegradables se pueden encontrar comúnmente en los residuos municipales (a veces llamados residuos municipales biodegradables) como los residuos verdes, residuos de alimentos, residuos de papel y plástico biodegradable. Otros residuos biodegradables son los desechos humanos, el estiércol, aguas residuales y desechos de mataderos.

### **2.6.2. Composición de los residuos sólidos municipales**

GARCÍA y TORO (2000), mencionan que la mayoría de los sistemas de tratamiento, en especial los que hacen referencia a la incineración y al compostaje, se diseñan a partir de una composición tipo de residuos, de ahí la enorme importancia que tiene el conocer la composición de los residuos dado que su conocimiento permite dimensionar las instalaciones de una forma lo más adecuada posible; además constituye una información de partida para conocer el valor de los productos que pueden ser reutilizados en plantas de reciclaje.

Al igual que en el caso de la producción de residuos, en la composición y características de los mismos influyen numerosos factores, tales como: las características de la población, el clima, la estación del año, el modo y nivel de vida de la población y sus hábitos de consumo (FINCYT, 1998; GARRIGUEZ, 2003). ZAVALA (2014), afirma que el compost de residuos sólidos municipales no tiene la misma efectividad, que sí los tiene el compost orgánico (gallinaza).

### **2.7. Trabajos realizados en frijol Chaucha y otras variedades**

ZAVALA (2014), menciona que al evaluar el frijol Chaucha sometidos a abonos de gallinaza y residuo sólido municipal biodegradables (RSMB), reportó resultados con respecto a la altura de planta utilizando dosis de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de abono de gallinaza y de RSMB, utilizando dosis de  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , cuyos valores fueron 54.07 y 40.93, respectivamente. La gallinaza resultó con mayor

influencia sobre el peso fresco/planta que el abono RSMB (202.94 y 54.96 g) respectivamente. Los tratamientos que recibieron gallinaza a 20 t ha<sup>-1</sup>, muestran rendimiento mayor que los que recibieron (RSMB) 25 t ha<sup>-1</sup>, cuyo rendimiento fue 746.50 kg ha<sup>-1</sup> y 490.50 kg ha<sup>-1</sup> y obteniendo un beneficio/costo para el caso de gallinaza de 1.13 y para el caso de residuos sólidos biodegradables de 1.02. MANAYAY (2004), utilizó abono orgánico, incluyendo la basura orgánica biodegradable en dosis de hasta 90 t ha<sup>-1</sup>, aunque lo utilizó en el cultivo de la col china, los resultados muestran el efecto positivo de altas dosis de abonamiento.

PUPIALES *et al.* (2008), afirman la respuesta del frijol variedad Lima (*Phaseolus vulgaris* L.) a la fertilización con base en la preparación de residuos sólidos. Se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ); para altura de planta, número y granos de vainas, para peso de 100 semillas, en este último no encontraron significación estadística. Tal es así que el T<sub>7</sub> fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos sólidos de fique + estiércol de vaca + melaza + urea igualó a los T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> (63.3, 62.4 y 61.5 cm) respectivamente para la altura de planta, y el más bajo crecimiento T<sub>5</sub> y T<sub>3</sub> con (47.3 y 42.7cm); el número de vainas T<sub>1</sub>, fue mejor (8.8) en relación al T<sub>3</sub> (4.93); y para granos por vaina fue mejor el T<sub>7</sub> (4.8), para el peso de 100 semillas fue T<sub>1</sub> (51.10) mejor en relación al T<sub>4</sub>, pero estadísticamente no se halló significación. El T<sub>1</sub> la variable rendimiento se encontró que T<sub>3</sub> (testigo) presentó los más bajos promedios en todas las variables analizadas. El T<sub>1</sub> (1.59 t/ha<sup>-1</sup>) obtuvo el mejor rendimiento a partir de residuos sólidos de fique descompuesto ofreció una tasa de retorno

marginal atractiva con 86.6 % en comparación con T<sub>1</sub> con urea que presentó una tasa de retorno marginal de 38.6 %.

ORTÍZ (2010), menciona que evaluó tres tipos de fertilizantes en niveles de 100, 200 y 300 ml de compost (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>) , humus (T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub>) y caldo súper cuatro (T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub> y T<sub>9</sub>) y el T<sub>10</sub> ( testigo), para el crecimiento y rendimiento del frijol variedad Cerinza; los resultados llevados al análisis de varianza, encontró diferencias significativas entre los fertilizantes evaluados, siendo el humus que presentó un efecto superior sobre la tasa de crecimiento y rendimiento del frijol, seguido del compost y caldo súper cuatro respectivamente. Así también presentó diferencias significativas superiores los tratamientos con fertilizantes a las plantas control, pero no presentaron diferencias significativas entre las dosis evaluadas los fertilizantes orgánicos.

CABRERA (2004), menciona que evaluó el efecto de seis densidades de siembra en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en suelos ácidos, encontró mejor beneficio/ costo en tratamientos con mayores distanciamientos por planta (0.60 x 0.30m) y en los de menor distancia (0.50 x 0.20) los índices de rentabilidad fueron negativo. Asimismo, la densidad de siembra con mayor distancia se obtuvo el rendimiento de grano seco de frijol Chaucha fue 1346.76 kg/ha<sup>-1</sup> y 1317 kg/ha<sup>-1</sup> a las plantas cultivadas en mayor distancia; en cambio JARA (2004), al evaluar también seis densidades de siembra, logró rendimientos menores (846 kg/ha<sup>-1</sup>) a mayor densidad de siembra (300,000 plantas ha<sup>-1</sup>) que a menor densidad de siembra (200,000 plantas/ha<sup>-1</sup>) logrando un rendimiento

de 1364 kg/ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, MANDUJANO (2008) evaluó nueve densidades en la producción del frijol Chaucha, logrando rendimientos menores a los obtenidos por JARA (2004) y CABRERA (2004), en menores densidades, llegando a un rendimiento de 606 a 979 kg/ha<sup>-1</sup> en densidades de 154,000 a 185,000 plantas/ha<sup>-1</sup> respectivamente.

TUESTA (2004), menciona que en su trabajo de fertilización fosfopotásica en frijol Chaucha, utilizó la fertilización fosfórica (A), fertilización potásica (B), en cuatro tratamientos y cuatro niveles y un tratamiento testigo. Obtuvo mejor rendimiento con las aplicaciones de los fertilizantes en relación al testigo, para los parámetros productivos no se halló respuestas significativas y el mejor índice beneficio/ costo fue para los tratamientos testigo con 1.80 y 1.61 respectivamente.

ORTÍZ (2010), evaluó el rendimiento del frijol de la variedad Cerinza, bajo el efecto de tres fertilizantes orgánicos en condiciones de agricultura urbana. Logrando resultados favorables a comparación del testigo.

## **2.8. Relación beneficio – costo y/o análisis de rentabilidad**

GIL (2009), menciona que el Ratio Beneficio – Costo (B/C) es el cociente entre el valor absoluto de los costos y los beneficios. La ratio beneficio/costo es un índice que señala si los flujos de caja cubren o no la inversión. La interpretación del Ratio Beneficio/Costo (B/C).

- $(B/C) > 1$ ; supera la inversión.
- $(B/C) = 1$ ; es igual a la inversión.
- $(B/C) < 1$ ; no supera la inversión

Fórmula utilizada para determinar el Beneficio – Costo (B/C)

$$B/C = \left( \frac{BENEFICIO(YT - CT)}{COSTOS\ TOTALES(Cd + Ci)} \right)$$

Dónde:

YT = Ingresos totales

CT = Costos totales

Cd = Costos directos

Ci = Costos indirectos (ZEGARRA, 2014).

## 2.9. Suelos tipo Dystropepts

Los suelos Typic Dystropepts se localizan en la parte media de las lomas, son bien drenados, moderadamente profundos, texturas medias sobre finas; se han formado a partir de lutitas. La secuencia de horizonte del perfil es de tipo A / B / C; el horizonte A es 12 cm, de color pardo oscuro, textura franco arcillosa y estructura en bloques subangulares; el horizonte B es de color pardo, textura arcillosa, estructura en bloques subangulares medios; el C aparece a 40 cm, tiene color pardo oscuro, textura arcillosa y estructura masiva. La reacción es fuertemente ácida, en contenido de materia orgánica es bajo, la fertilidad natural es baja (Baver 1991, citado por MANDUJADO, 2008).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

El presente trabajo se llevó a cabo en la localidad de bajo Afilador, kilómetro 2 carretera Tingo María - Huánuco, sector Las Lomas, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. A una altitud de 660 msnm; Ubicado en Latitud sur  $9^{\circ} 19'22''$  y Longitud oeste:  $75^{\circ} 59'28''$  (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de Ubicación. Fuente Google Earth 2008.

##### 3.1.2. Registros meteorológicos

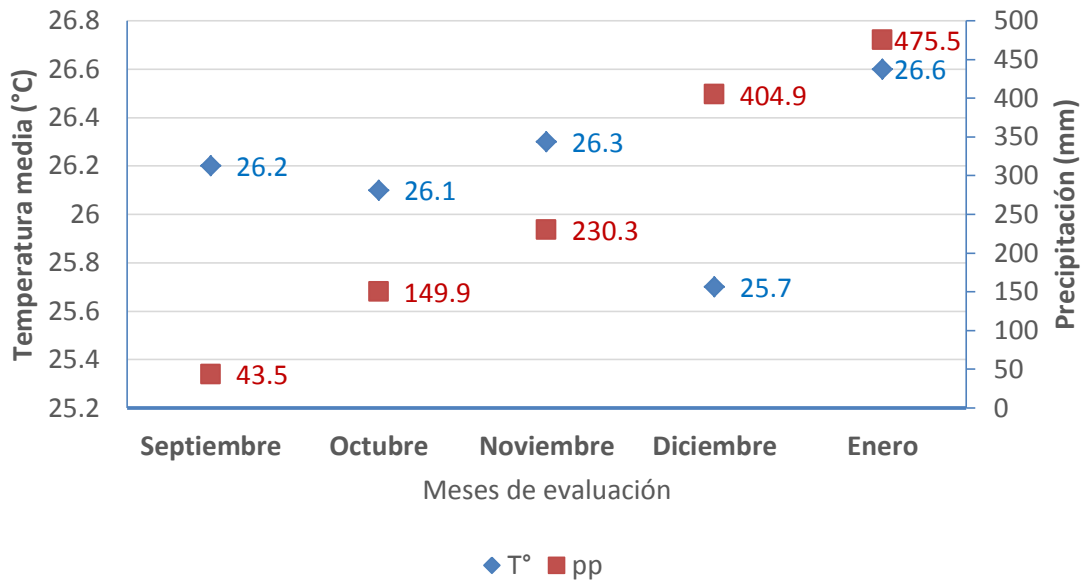
En el Cuadro 1 se presentan los datos meteorológicos correspondientes al tiempo de ejecución del proyecto, durante los meses de

setiembre del 2015, hasta enero del 2016. Donde se tuvo una precipitación media de 260.82 mm; una humedad relativa media de 81.60%; y una temperatura media de 26.18 °C. La Figura 3, explica temporalmente la variabilidad de las temperaturas y precipitaciones registradas durante el experimento. Durante el experimento se tuvo una temperatura media de 26.18 °C y durante diciembre pareciera una reducción de la temperatura significativa por el gráfico, sin embargo, es solo una reducción de medio grado con respecto al mes anterior. Esta reducción de la temperatura media, corresponde al mes menos caluroso, registrando una temperatura máxima de 30.3 °C significando un grado menos con respecto al mes anterior. En términos generales esta reducción de medio grado resulta no significativo.

**Cuadro 1.** Datos meteorológicos registrados durante la ejecución del experimento correspondiente a los meses de septiembre del 2015 hasta enero del 2016.

Meses	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	Precipitación mensual (mm)
	Min	Max	Media		
Septiembre	20.1	32.4	26.2	80	43.5
Octubre	20.6	31.7	26.1	81	149.9
Noviembre	21.3	31.3	26.3	82	230.3
Diciembre	21.1	30.3	25.7	83	404.9
Enero	21.5	31.7	26.6	82	475.5
<b>Promedio</b>	<b>20.92</b>	<b>31.48</b>	<b>26.18</b>	<b>81.60</b>	<b>260.82</b>

Fuente: estación de meteorología y climatología (Universidad Nacional Agraria de la Selva- Tingo María- Huánuco- Perú) del 2015 al 2016



**Figura 3.** Precipitación (mm) y de temperatura media (°C) durante el periodo experimental.

### 3.1.3. Período de ejecución

El presente trabajo de investigación tuvo una duración de 119 días, desde el 17 de septiembre del 2015 con labores como; limpieza del terreno, incorporación de los compost en estudio; para realizar la siembra propiamente el 11 de octubre; la cosecha se realizó el 13 de enero del 2016. También se realizó el análisis de suelo respectivo tanto al inicio y final del estudio.

## 3.2. Materiales

### 3.2.1. Material vegetativo

#### Cultivo

Semilla del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Chaucha.

**Enmiendas orgánicas:** Compost agrícola (CoA), con niveles de 15, 30, 45 y 60 t/ha<sup>-1</sup>. Compost residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB), con niveles de 15, 30, 45 y 60 t/ha<sup>-1</sup>.

Las enmiendas orgánicas utilizadas, fueron adquiridas de instituciones que se dedican a la venta de dichos productos, por ello, escasa información proporcionaron sobre el proceso e insumos utilizados; sin embargo, alguna información sobre su proceso se describe a continuación.

**Compost agrícola:** Utiliza, residuos orgánicos vegetales, roca fosfórica, dolomita, estiércol de ganado y microorganismos eficientes, de la Municipalidad Provincial Leoncio Prado.

**Compost de Residuos Sólidos Municipales Biodegradables:** Utiliza residuos sólidos orgánicos de la basura, y microorganismos eficientes.

Las composiciones químicas de ambos productos son descritas en el anexo 1 (Análisis del compost agrícola (CoA) y compost residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB)).

### **3.2.2. Materiales de equipos y herramientas**

Herramientas de campo (machete), Wincha, Metro, Regla graduada en cm, carretilla, fumigadora, implementos sanitarios, vernier digital, alambres, estacas, balanza analítica, cilindro y probeta.

### **3.3. Metodología del experimento**

#### **3.3.1. Trabajos preliminares**

Se realizó la limpieza del terreno retirando todas las malezas o residuos que se encontraban en dicho terreno experimental. Para realizar los análisis de suelo al inicio del experimento, se tomaron 25 sub muestras en forma de zig zag obteniendo 1 kg de muestra de toda el área experimental.

#### **3.3.2. Demarcación de las parcelas**

Se procedió a hacer la limpieza manual utilizando el machete. Luego se demarcó las parcelas de acuerdo al croquis de la distribución de las parcelas (Figuras 4 y 19).

#### **3.3.3. Aplicación de los abonos orgánicos en investigación**

La aplicación del compost agrícola (CoA) y los compost residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB) se hizo al inicio del trabajo de investigación y fue al voleo en el área de cada tratamiento. La incorporación de los compost al suelo, se realizó con un azadón a 15 cm de profundidad.

#### **3.3.4. Siembra y demás evaluaciones durante el experimento**

El inicio de la siembra fue aproximadamente el 11 de octubre del 2015 a los 15 días después de la aplicación de los compost. Se evaluaron las variables botánicas cada quince días hasta el final del experimento evaluando; la altura de planta, número de vainas, número de nódulos, peso de 100 semillas, etc.

Se registró la fecha y porcentaje de emergencia, después de la siembra, considerando el 50% de las plantas emergidas de cada parcela. Así mismo el inicio de la floración y fructificación se realizó cuando casi el 50 % de las plantas presentaron flores y frutos respectivamente.

El control de maduración se realizó cuando la planta llegó a su madurez fisiológica. Los controles con pesticidas se aplicaron como preventivo el día 22 de octubre del 2015 y curativo el 12 de noviembre y 12 de diciembre del 2015, para ello se aplicó Metamas (fungicida) para curar antracnosis (*Colletotricum lindemuthianum*), chupadera (*Rhizoctomia solani*, *Fusarium* sp. y *Pythium* sp.). Estas aplicaciones corresponden al periodo de mayor precipitación, sin embargo, para reducir cierta influencia sobre los tratamientos, se les aplicó a todas las parcelas en investigación en los tres bloques.

### **3.3.5. Control de malezas**

El control de malezas se hizo manualmente al inicio del experimento manteniéndolo luego cada 20 días hasta el final del trabajo. Para dicha actividad se utilizó machete, azadón y lampa.

### **3.3.6. Cosecha**

Se realizó tres cosechas, la primera a los 87 días de iniciada la siembra, a los 91 días, y al final del experimento de manera manual que fue a los 95 días.

### 3.4. Variables independientes

Factor A: Compost

- **(a<sub>1</sub>)** Compost agrícola (CoA)
- **(a<sub>2</sub>)** Compost residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB)

Factor B: Dosis

- **(b<sub>1</sub>)** 15 t ha<sup>-1</sup>
- **(b<sub>2</sub>)** 30 t ha<sup>-1</sup>
- **(b<sub>3</sub>)** 45 t ha<sup>-1</sup>
- **(b<sub>4</sub>)** 60 t ha<sup>-1</sup>

### 3.5. Variables dependientes

**De la planta:**

- Altura de planta (cm)
- Volumen de raíz (cm<sup>3</sup>)
- Peso fresco y seco de la planta (g)
- Rendimiento (t ha<sup>-1</sup>)
- Relación beneficio/costo

**Del suelo:**

- Características físicas: color, textura y densidad aparente
- Características biológicas: macrofauna
- Características químicas: Nitrógeno, fósforo, potasio, cadmio y plomo.

### 3.6. Tratamientos en estudio

El presente experimento contó con 9 tratamientos tal como se puede observar en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamientos	Interacción	Descripción	
		(abonos)	Dosis (t ha <sup>-1</sup> )
T <sub>0</sub>	Testigo adicional	-	0
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> * b <sub>1</sub>	COA	15
T <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> * b <sub>1</sub>	CRSMB	15
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> * b <sub>2</sub>	COA	30
T <sub>4</sub>	a <sub>2</sub> * b <sub>2</sub>	CRSMB	30
T <sub>5</sub>	a <sub>1</sub> * b <sub>3</sub>	COA	45
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> * b <sub>3</sub>	CRSMB	45
T <sub>7</sub>	a <sub>1</sub> * b <sub>4</sub>	COA	60
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> * b <sub>4</sub>	CRSMB	60

Fuente: Elaboración propia. CRSMB= Compost de residuos sólidos municipal biodegradables, CoA: compost agrícola

### 3.7. Diseño experimental

Para el presente estudio se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar con arreglo factorial 2 x 4 con 3 repeticiones y un testigo adicional, para las variables respuesta consideradas en lo biológico del suelo y las características físicas de las plantas, así como el rendimiento. La comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ). El testigo adicional se comparará con los tratamientos del factorial, generando una fuente de variación de *Factorial versus testigo*.

### 3.7.1. Modelo aditivo lineal

**Diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial:**

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta) + \gamma_k + E_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Es la respuesta obtenida en la k-ésima repetición, a la cual se aplicó el i-ésimo compost con el j-ésimo dosis de abonamiento

$\mu$  = Es el efecto de la media general

$\alpha_i$  = Es el efecto del *i-ésimo* compost

$\beta_j$  = Es el efecto del *j-ésimo* dosis de abonamiento

$\gamma_k$  = Es el efecto de la *K-ésima* repetición (bloque)

$(\alpha \beta)$  = Es el efecto de la interacción entre el *i-ésimo* compost con el *j-ésimo* dosis de abonamiento

$E_{ijk}$  = Es el efecto aleatorio del error experimental obtenida en la k-ésima repetición, a la cual se aplicó el *i-ésimo* compost con el *j-ésimo* dosis de abonamiento

Para:

$i = 1, 2$  tipo de compost

$j = 1, 2, 3, 4$  dosis de abonamiento

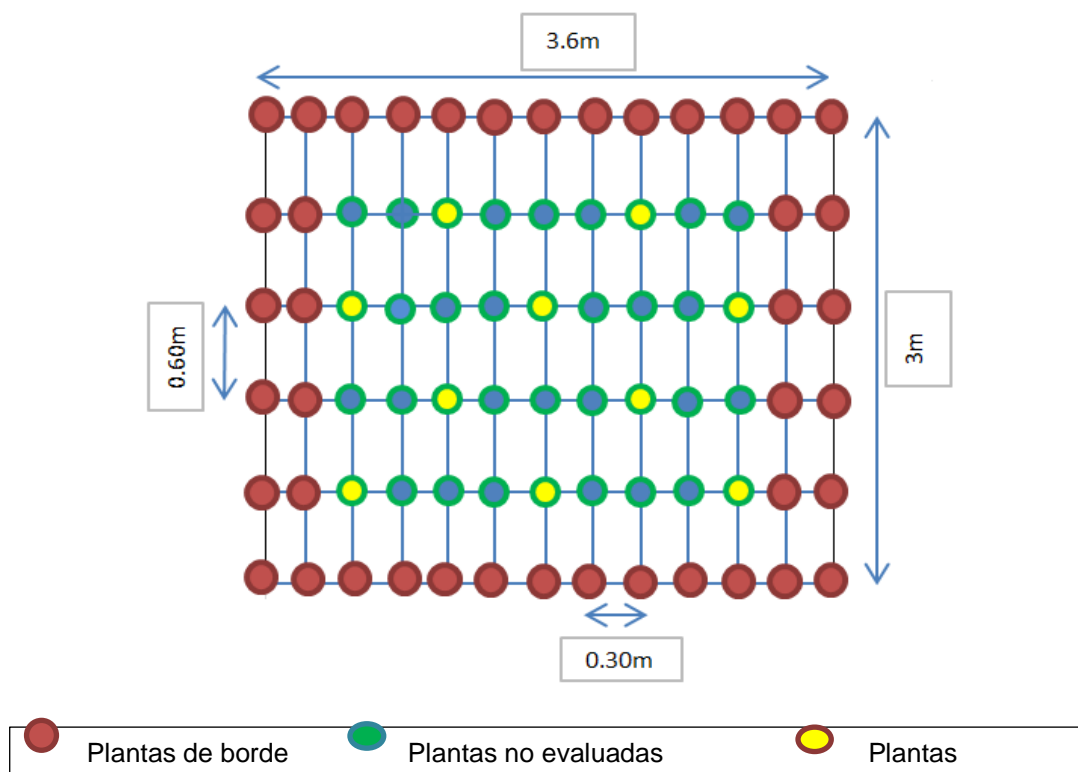
$k = 1, 2, 3$  repeticiones

Se consideró realizar análisis de correlación entre las variables dependientes, así como intervalos de confianza para los efectos principales.

**Cuadro 3.** Esquema del análisis de variancia DBCA con arreglo factorial

Fuente de variación		G.L.
Bloques	$r-1$	2
Factorial	$ab-1$	7
A	$(a-1)$	1
B	$(b-1)$	3
AXB	$(a-1)(b-1)$	3
Factorial Vs Testigo		1
Error experimental	$(ab-1)(r-1)$	14
TOTAL	$(abr)-1$	23

Fuente: Elaboración propia esquema de análisis de varianza en estudio,  $r=3$ ;  $a=2$ ;  $b=4$



**Figura 4.** Croquis de distribución de la parcela

### 3.8. Características del campo experimental

#### a. Bloques:

- Número de bloque : 3

- Ancho de bloques : 3 m
- Largo de bloque : 36 m
- Área de bloques : 108 m<sup>2</sup>
- Separación entre bloques : 1 m

**b. Parcelas:**

- N° de parcelas / bloque : 9
- Largo de parcelas : 4 m
- Ancho de parcelas : 3 m
- Área de parcelas : 12 m<sup>2</sup>

**c. Hileras:**

- N° de hilera/parcela : 6
- Largo de hileras : 3.60 m
- Distancia entre hilera : 0.60 m
- Distancia entre golpes : 0.30 m
- N° de golpe por hilera : 13

**d. Dimensiones del campo experimental:**

- Largo : 38 m
- Ancho : 13 m
- Área total de experimento : 494 m<sup>2</sup>
- Área neta de experimento : 324 m<sup>2</sup>

### **3.9. Datos que registrar**

#### **3.9.1 Altura de planta**

La evaluación de altura de planta se midió desde la base del suelo hasta el ápice de la hoja más alta de la planta utilizándose una regla graduada en centímetros (cm); esto fue cada 15 días después del sembrado, hasta una semana antes de la cosecha.

#### **3.9.2 Volumen de raíz**

Se utilizaron tres golpes al azar por tratamiento durante la floración y cosecha, donde cada golpe presentaba tres plantas; se tomó las medidas de volumen en (cm<sup>3</sup>) sumergiéndoles las raíces en una probeta con agua.

#### **3.9.3 Nódulos**

Igualmente, las muestras para volumen de raíz fueron las mismas utilizadas para el conteo y pesado de los nódulos o sea 3 golpes por tratamientos.

#### **3.9.4 Peso fresco y seco de la planta**

Se tomaron tres golpes dentro de cada tratamiento al momento de la floración para determinar el peso fresco y el peso seco de la planta se sometieron las muestras a una estufa de 70 °C por 48 horas para luego registrar el peso seco por planta haciendo uso de la balanza analítica.

### 3.9.5 Peso de 100 semillas

Se tomó 100 semillas de la producción de cada tratamiento experimental para ser pesados y ajustados al 14 % de humedad de grano.

### 3.9.6 Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>)

Para determinar el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Chaucha, se utilizó mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{N^{\circ}.G.Ha \times P.T.N^{\circ}.G.E}{N^{\circ}.G.E} / 1000$$

Dónde:

R	=	Rendimiento
N°.G.Ha.	=	Número de golpes por hectárea
P.T.N°.G .E	=	Peso total de número de golpes evaluadas
N°.G.E	=	Número de golpes evaluadas

$$N^{\circ} G. Ha = \frac{S}{I \times a}$$

N°.G.Ha.	=	Número de golpes por hectárea
S	=	Superficie a sembrar
I	=	Distancia surco o calle
a	=	Distancia entre planta

### 3.9.7 Características físicas del compost en el suelo

a. **Color.** Se evaluó al inicio y final del experimento utilizando la tabla Munshell.

b. **Clase Textural.** Se evaluó al inicio y final del experimento a través del método del hidrómetro en el laboratorio de análisis de suelo de la UNAS.

c. **Densidad aparente.** La densidad aparente se determinó utilizando el método del cilindro al final del experimento y para la densidad real con el método de la probeta.

$$D.A = \frac{\text{Peso de los solidos de la muestra o peso seco (a)}}{\text{Volumen de los solidos de la muestra}}$$

Dónde:

D.A. = Densidad aparente

El volumen se determina por medio de la fórmula del volumen de un cilindro:

$$V = \pi r^2 \times h$$

Donde:

V = volumen

$\pi$  = pi (3.141516)

$r^2$  = Radio al cuadrado

h = Altura del cilindro

### **3.9.8 Efecto de los compost en sus propiedades biológicas del suelo**

Para evaluar la macrofauna se consideró evaluar las lombrices de tierra en sus variables densidad y biomasa por metro cuadrado, siguiendo la metodología del TSBF. Para ello se tuvo como muestras áreas de 0.25 x 0.25 metros por 30 cm de profundidad.

### **3.9.9 Efecto del compost en sus propiedades químicas del suelo (análisis de suelo)**

Se realizó utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica y lámparas pesadas como cadmio y plomo, asimismo los niveles NPK. Estas se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

### **3.10 Relación beneficio costo**

Se realizó el beneficio/costo (B/C) y el índice de rentabilidad de acuerdo a la determinación de los costos fijos y demás gastos económicos desde el antes, durante y después del trabajo de investigación por cada tratamiento con los diferentes niveles de la aplicación del compost agrícola (CoA) y compost residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB).

$$\text{Índice de rentabilidad} = \frac{\text{utilidad neta}}{\text{Costo de producción}}$$

Dónde:

$$\text{Utilidad neta} = \text{Ingreso Total} - \text{costo de producción}$$

$$\text{Ingreso total} = \text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} \times \text{precio}$$

$$\text{Beneficio costo} = \frac{\text{Ingreso Total}}{\text{Costo de producción}}$$

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Efecto del compost agrícola (CoA) y compost residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) en las características biológicas, físicas y químicas del suelo en estudio**

#### **4.1.1. Componentes biológicos (macrofauna)**

##### **Densidad y biomasa de lombrices**

Para evaluar la macrofauna se consideró evaluar las lombrices de tierra en sus variables densidad y biomasa por metro cuadrado, siguiendo la metodología del TSBF. Para ello se tuvo como muestras áreas de 0.25 x 0.25 metros por 30 cm de profundidad. Para realizar el análisis de varianza los valores hallados se transformaron a  $\sqrt{x}$  por ser de condición discreta (conteo) y no tener una distribución normal; para las pruebas de medias los datos fueron transformados a sus valores originales (ver Anexo 11).

En el Cuadro 4 se muestra el análisis de varianza para la densidad (número de lombrices por metro cuadrado). Por lo que el análisis corresponde a un DBCA con arreglo factorial 2 x 4, siendo los factores tipos de abonos (CoA y CRSMB) y dosis de aplicación (15, 30, 45 y 60 t ha<sup>-1</sup>). Los resultados muestran que no existe diferencias estadísticas entre los factores de estudio ( $p > 0.05$ ), sin embargo, se resalta la diferencia estadística entre los tratamientos del factorial y el testigo. El modelo presenta un adecuado ajuste ( $R^2 = 0.75$ ) con una moderada homogeneidad entre las variables (CV = 17.67 %).

**Cuadro 4.** Análisis de varianza para la densidad (número de lombrices por metro cuadrado) por efecto de los tratamientos (compost y dosis).

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor	
Modelo	10	622.11	62.21	4.91	0.0025	S
Bloque	2	94.25	47.13	3.72	0.0473	S
Factorial	7	80.29	11.47	0.65	0.7074	NS
Compost	1	0.0023	0.0023	0.0001	0.991	NS
Dosis	3	31.73	10.58	0.6	0.6229	NS
Compost x Dosis	3	48.55	16.18	0.92	0.4528	NS
Factorial Vs Testigo	1	447.57	447.57	35.29	<0.0001	AS
<b>Error</b>	16	202.90	12.68			
<b>Total</b>	26					

**R<sup>2</sup>=0.75**

**CV= 17.67%**

NS: No Significativo; S: Existe diferencia significativa; AS: Existe diferencia altamente significativa

En el Cuadro 5 se muestra el análisis de los contrastes entre los tratamientos que recibieron algún tipo de abono y dosis, versus aquel tratamiento testigo que no recibió abono. Como puede observarse, los tratamientos que recibieron algún tipo de compost y en alguna dosis de abonamiento (factorial) presentan una densidad media de 270 lombrices por metro cuadrado. Estos resultados coinciden a los encontrados por CABRERA *et al.* (2011) en suelos de pastizales (531 ind m<sup>-2</sup>), suelos de cultivos en limpio (294 ind m<sup>-2</sup>) y cañaverales (280 ind m<sup>-2</sup>). El tratamiento testigo, presentó una densidad de 15 lombrices por metro cuadrado. Esto demuestra que la incorporación de la materia orgánica es considerada como buenas enmiendas que mejoran las condiciones del suelo porque participan en la degradación de los compost y deshechos tal como lo menciona BUSTAMANTE (2014).

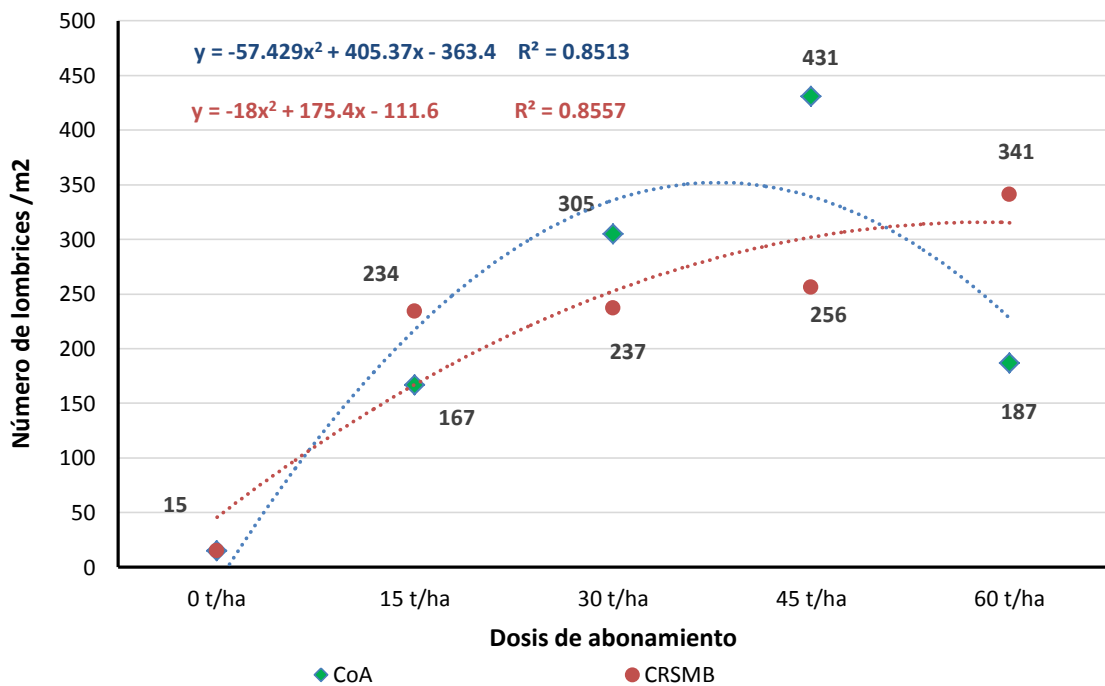
**Cuadro 5.** Densidad (Número de lombrices por metro cuadrado) correspondiente al contraste de Factorial versus testigo (sin abonamiento). (Promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	Número de lombrices /m <sup>2</sup>		
<b>Contrastes</b>			
Factorial	270.00	$\pm$ 17	a
Testigo	15.00	$\pm$ 2	b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

En la Figura 5 detalla mejor estos resultados por cuanto se observa la variabilidad de las lombrices encontradas en las parcelas con distintas dosis de abonamiento en cada tipo de compost. Se observa al utilizar el compost agrícola un crecimiento sostenido logrando una mayor densidad de lombrices a 45 t ha<sup>-1</sup>; sin embargo, esta tiende a descender al incrementarse a 60 t ha<sup>-1</sup>. El comportamiento del compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) presenta al contrario del CoA, un crecimiento de la población de lombrices sostenido conforme se incrementa la dosis empleada; esto es debido a la disponibilidad de mayores nutrientes en el compost. Se incorpora en la figura la tendencia polinomial de estas curvas, donde en ambos casos, la tendencia conlleva a la disminución del número de lombrices, en forma más severa con el compost agrícola y disminución paulatina con el compost de residuos sólidos municipal biodegradable conforme se incrementa la dosis de abonamiento. En ambas ecuaciones polinomiales presentan un 85% de ajuste al modelo, es decir, que el 85% de los datos, representan esta tendencia.

La tendencia decreciente entre 45 y 60 t ha<sup>-1</sup> del CoA, se debe principalmente a la relación C/N donde a mayor relación su degradación es baja, por lo que la población de lombrices disminuye, de acuerdo a la disponibilidad de lombrices (BENITES y FRIEDICHT, 2009), además de un ligero incremento de metales pesados que causaría toxicidad al suelo (MANARA, 2012).



**Figura 5.** Promedio de la densidad de lombrices (número m<sup>-2</sup>) por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

Con respecto a la biomasa (peso de las lombrices por metro cuadrado), al ser evaluadas no presentaron una distribución normal, por lo que se tuvo que transformarla para ejecutar el análisis de varianza. La

transformación fue dada por la ecuación:  $\sqrt{x}$  para lograr la normalidad de los datos y poder así realizar el análisis de varianza, para la prueba de media se transformaron los datos a sus valores originales (ver Anexo 11). El resultado del análisis de varianza se muestra en el Cuadro 6, donde se puede observar que no existe significancia por efecto de los factores ni su interacción ( $p > 0.05$ ), resultando solo el contraste entre los tratamientos del factorial y el testigo que muestra significancia ( $p < 0.05$ ), es decir, se comprueba el efecto de aplicar abono en cuanto a la biomasa de lombriz. El modelo tiene un moderado ajuste ( $R^2 = 0.62$ ), y una alta variabilidad entre las observaciones ( $CV = 28.33\%$ ).

**Cuadro 6.** Análisis de varianza para la biomasa de lombrices ( $\text{g m}^{-2}$ ) por efecto de los factores (compost y dosis).

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>p-valor</b>	
Modelo	10	131.55	13.16	2.60	0.0429	S
Bloque	2	21.56	10.78	2.13	0.1513	NS
Factorial	7	28.52	4.07	0.67	0.6935	NS
Compost	1	0.13	0.13	0.02	0.8861	NS
Dosis	3	14.88	4.96	0.82	0.5030	NS
Compost x Dosis	3	13.52	4.51	0.74	0.5422	NS
Factorial Vs Testigo	1	81.47	81.47	16.1	0.001	S
<b>Error</b>	16	80.97	5.06			
<b>Total</b>	26					

**$R^2 = 0.62$**

**$CV = 28.33\%$**

NS: No existe diferencia significativa; S: Existe diferencia significativa

Se realizó la prueba de media para los contrastes de la biomasa de lombriz, el cual indica una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre las medias de los tratamientos del factorial versus el testigo, el cual es mostrado en el Cuadro 7. Como puede observarse, los tratamientos que recibieron algún tipo de

compost y a una determinada dosis de abonamiento (factorial), presentaron mayor biomasa de lombrices estadísticamente superior ( $p < 0.05$ ) con aquel tratamiento testigo que no recibió alguna incorporación de materia orgánica. Los resultados son superiores a los reportados por CABRERA *et al.* (2011), tanto para pastizales, como para suelo de cultivos en limpio ( $7.71$  y  $8.79 \text{ g m}^{-2}$  respectivamente). Estos resultados se pueden deber a las condiciones favorables del clima y suelo que presenta el trópico húmedo, tal como lo señala BUSTAMANTE (2014).

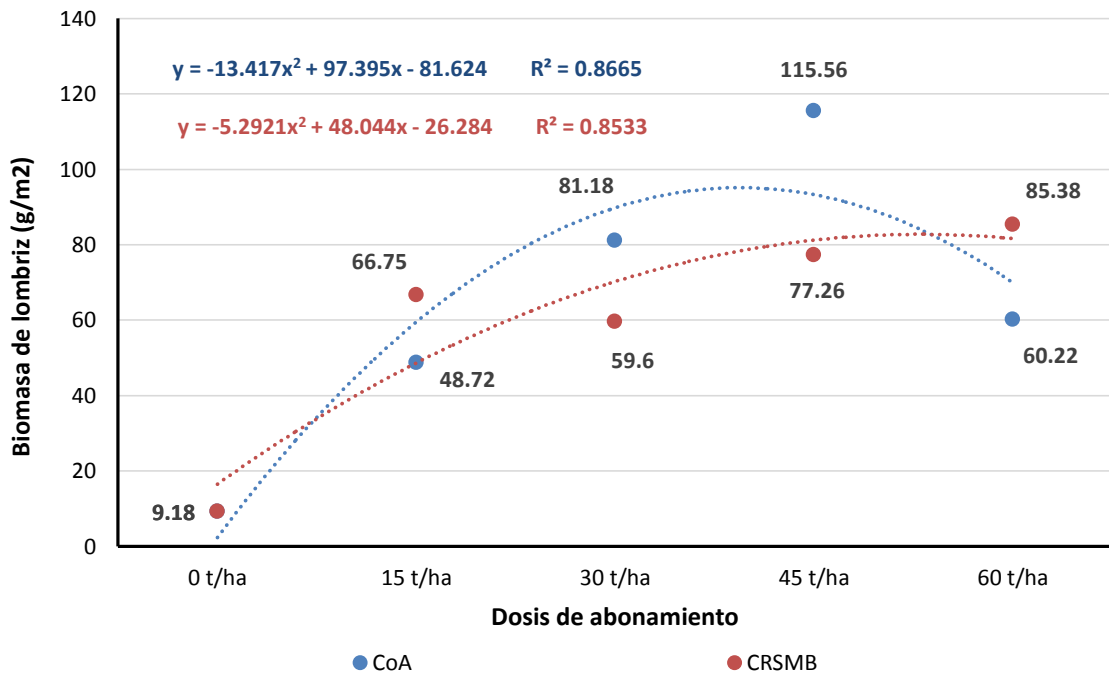
**Cuadro 7.** Biomasa ( $\text{g m}^{-2}$ ) correspondiente a cada tratamiento (promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	Biomasa de lombriz ( $\text{g m}^{-2}$ )		
<b>Contrastes</b>			
Factorial	78.43	$\pm 8.11$	a
Testigo	10.98	$\pm 4.88$	b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

La Figura 6 muestra gráficamente el comportamiento de la biomasa conforme se incrementa la dosis de aplicación y por tipo de compost. Este comportamiento es similar a lo reportado para curvas de crecimiento BUSTAMANTE (2014). La tendencia es representada por ecuaciones polinomiales de segundo grado con un ajuste de 85 a 86% ( $R^2$ , para CRSMB y CoA respectivamente), el cual demuestra, similarmente a las curvas de densidad, un decrecimiento conforme se incrementa las dosis de abonamiento. Si bien es cierto, pareciera que existe mayor biomasa en el compost de residuos sólidos municipal biodegradables conforme se incrementa la dosis de

abonamiento, al compararse con el compost agrícola (CoA), esta no representa alguna diferencia estadística. Por otra parte, la reducción drástica de la biomasa de lombriz cuando se aplica la mayor dosis de abonamiento de compost agrícola (CoA), se deba a factores no controlados, o errores de muestreo, debido a que la disponibilidad de materia orgánica es similar en ambos compost. Esta tendencia similar, coincide con la densidad de lombrices, de ella se considera el efecto descrito por MANARA (2012), el cual puede ser un factor limitante para el desarrollo de lombrices.



**Figura 6.** Promedio de biomasa de lombriz ( $\text{g m}^{-2}$ ) por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

#### 4.1.2. Componentes físicos (textura, color densidad aparente)

En el Cuadro 8, se muestra la variación de las características físicas de los suelos como la densidad aparente y la clase textural del suelo. Para la clase textural del suelo podemos decir que se desarrolló en un suelo de textura franco arenoso como testigo, la cual tuvo una densidad aparente de  $1.52 \text{ g cm}^{-3}$ , y con las aplicaciones de la materia orgánica (Compost agrícola y de residuos sólidos municipales biodegradables) la densidad aparente de los suelos disminuyó hasta  $0.95 \text{ g cm}^{-3}$ , con aplicación de  $60 \text{ t ha}^{-1}$  de compost agrícola (T7), presentando una clase textural de características de suelo orgánico; para  $60 \text{ t ha}^{-1}$  de residuos sólidos municipales biodegradables (T8), la densidad aparente se redujo hasta  $1.05 \text{ g cm}^{-3}$ , y la clase textural fue franco arcilloso. Asimismo, el frijol puede crecer en clases texturales desde franco hasta arenoso y franca arcillosa como refieren BENÍTES y FRIEDRICH (2009) y INFOAGRO (2012).

**Cuadro 8.** Efecto de los abonos orgánicos y/o compost agrícola y de residuos sólidos biodegradables municipales en la modificación de la densidad aparente y la clase textural

Tratamientos	Clase textural	D.A. ( $\text{g cm}^{-3}$ )
T <sub>0</sub> Testigo 0 t ha <sup>-1</sup>	Franco-arenoso	1.52
T <sub>1</sub> CoA 15 t ha <sup>-1</sup>	Franco-arenoso	1.48
T <sub>2</sub> CRSMB 15 t ha <sup>-1</sup>	Franco	1.35
T <sub>3</sub> CoA 30 t ha <sup>-1</sup>	Franco	1.32
T <sub>4</sub> CRSMB 30 t ha <sup>-1</sup>	Franco-arcillo	1.20
T <sub>5</sub> CoA 45 t ha <sup>-1</sup>	Franco-arcillo	1.12
T <sub>6</sub> CRSMB 45 t ha <sup>-1</sup>	Franco-arcillo	1.15
T <sub>7</sub> CoA 60 t ha <sup>-1</sup>	Orgánico	0.95
T <sub>8</sub> CRSMB 60 t ha <sup>-1</sup>	Franco-arcillo	1.05

Fuente: Elaboración propia. CRSMB: compost de residuos sólidos municipal biodegradables. CoA: compost agrícola

La densidad aparente (D.A.) encontrada en el Cuadro 8, fue de 1.52 a 0.95 g cm<sup>-3</sup>, resultados similares obtuvieron HERNÁNDEZ *et al.* (2010), quienes hallaron una densidad aparente que va desde 0.83 a 1.029 g cm<sup>-3</sup>. El tratamiento testigo que no recibió ningún tipo de materia orgánica ha mantenido mayor densidad aparente en relación a los demás tratamientos.

Baver (1991), mencionado por MANDUJANO (2008), manifiesta que la densidad aparente fue modificada por la aplicación de los diferentes compost y sus diversos niveles, han mejorado las características físicas, biológicas y químicas del suelo, modificando la estructura del suelo. Supuestamente se da mejor resultados a mayores dosis de abonamiento tanto para el compost agrícola y al compost de residuos sólidos municipales biodegradables, pero hay que tener en cuenta que el éxito está en la forma y el tipo de preparación de los compost y residuos (GONZALES *et al.*, 2006; OCHOA, 2009).

Asimismo el Cuadro 9, nos muestra a los diversos tratamientos el valor-color de los suelos ubicándose en su mayoría en suelos marrón amarillento oscuro (Light yellowish Brown) en seco a marrón amarillento (Dark yellowish Brown) en húmedo; el color del suelo es una característica muy importante, las parcelas presentaron ser suelos de color marrón oscuro, según la fuentes bibliográficas, en suelos oscuros suscita mayor absorción de los rayos solares reflejándose en mejoras cuantitativas y cualitativas del cultivo (RUCKS, 2009).

**Cuadro 9.** Colores del suelo en base húmedo y seco de los tratamientos.

Tratamientos	Seco	valor-color	húmedo	valor-color
T <sub>0</sub> Testigo 0 t ha <sup>-1</sup>	5/4 7.5 YR	Brown (Marrón)	3/4 7.5 YR	Dark Brown (Marrón oscuro)
T <sub>1</sub> CoA 15 t ha <sup>-1</sup>	5/4 7.5 YR	Brown (Marrón)	3/4 7.5 YR	Dark Brown (Marrón oscuro)
T <sub>2</sub> RSMB 15 t ha <sup>-1</sup>	5/4 7.5 YR	Brown (Marrón)	3/4 7.5 YR	Dark Brown (Marrón oscuro)
T <sub>3</sub> CoA 30 t ha <sup>-1</sup>	6/4 10 YR	Light yellowish Brown (Marrón amarillento claro)	3/4 10 YR	Dark yellowish Brown (marrón Amarillento oscuro)
T <sub>4</sub> RSMB 30 t ha <sup>-1</sup>	6/4 10 YR	Light yellowish Brown (Marrón amarillento claro)	3/4 10 YR	Dark yellowish Brown (marrón Amarillento oscuro)
T <sub>5</sub> CoA 45 t ha <sup>-1</sup>	4/4 10 YR	Dark yellowish Brown (Marrón amarillento oscuro)	4/2 10 YR	Dark grayish Brown (Pardo grisáceo oscuro)
T <sub>6</sub> RSM 45 t ha <sup>-1</sup>	4/4 10 YR	Dark yellowish Brown (Marrón amarillento oscuro)	4/3 10 YR	Dark Brown (Marrón oscuro)
T <sub>7</sub> CoA 60 t ha <sup>-1</sup>	4/4 10 YR	Dark Brown (Marrón oscuro)	3/4 10 YR	Dark yellowish Brown (marrón Amarillento oscuro)
T <sub>8</sub> RSMB 60 t ha <sup>-1</sup>	4/3 10 YR	Dark Brown (Marrón oscuro)	3/4 10 YR	Dark yellowish Brown (marrón Amarillento oscuro)

Fuente: Elaboración propia, CRSMB: compost de residuos sólidos municipal biodegradables. CoA: compost agrícola

#### 4.1.3. Características químicas (N, P, K, Cd, Pb)

El Cuadro 10, muestra las características químicas de los compost evaluados, compost agrícolas (CoA) y compost residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB), mientras que el Cuadro 11, muestra las características químicas de los suelos con la aplicación de compost agrícola y el compost de residuos sólidos municipales biodegradables. Existe diferencias entre ambos cuadros en cuanto a su composición debido a que en el Cuadro 11, es la composición química tanto del compost aplicado como del suelo en

estudio, por ello, la composición es mucho menor al contenido propio de los abonos (Cuadro 10). Básicamente el suelo actúa como diluyente de las altas concentraciones de los metales pesados (Cadmio y plomo), mientras que para los macro elementos como fósforo y potasio, se incrementan debido a que el suelo incorpora su propio contenido, y el nitrógeno se reduce.

**Cuadro 10.** Nutrientes (totales) y metales pesados (totales) (N, P, K, Cd y Pb), en los compost orgánicos (CoA) y residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB) antes de su aplicación al suelo.

Compost	Nitrógeno (%)	Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)	Cadmio (ppm)	Plomo (ppm)	pH
CoA	1.70	0.16	0.28	1.66	48.50	8.00
CRSMB	1.81	0.13	0.50	1.33	33.00	8.80

Fuente: Elaboración propia, CRSMB: compost de residuos sólidos municipal biodegradables. CoA: compost agrícola

Esto nos conlleva a entender que el suelo presenta unas reservas de fósforo y potasio. Asimismo, el potencial de hidrogeno, se reduce en el suelo al adicionarse el compost debido a la acción de mineralización de la materia orgánica que en un principio disgrega en ácidos con radicales oxidrilos, carboxilos, ácidos húmicos y fúlvicos que son causantes de la acidez del suelo (BERNIER y ALFARO, 2006).

Es importante indicar las altas reservas de potasio y fósforo existentes en el suelo, el cual permite disponer de macro elementos importantes para la fotosíntesis, la respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división celular y alargamiento celular.

**Cuadro 11.** Nutrientes y metales pesados totales (N, P, K, Cd y Pb) encontrados en los tratamientos al final del experimento.

Tratamientos t ha <sup>-1</sup>	Nitrógeno (%)	Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)	Cadmio (ppm)	Plomo (ppm)	pH
T <sub>0</sub>	0.08	3.01	141.44	0.03	0.10	4.4
T <sub>1</sub> : (CoA) 15	0.22	4.04	142.94	0.12	0.18	5.4
T <sub>2</sub> : (CRSMB) 15	0.20	3.39	139.94	0.10	0.20	5.4
T <sub>3</sub> : (CoA) 30	0.17	4.18	111.45	0.09	0.16	5.3
T <sub>4</sub> : (CRSMB) 30	0.20	4.32	139.94	0.09	0.17	5.2
T <sub>5</sub> : (CoA) 45	0.20	6.23	149.43	0.10	0.19	5.6
T <sub>6</sub> : (CRSMB) 45	0.20	6.78	101.96	0.10	0.21	5.3
T <sub>7</sub> : (CoA) 60	0.22	7.94	113.45	0.21	0.21	6.0
T <sub>8</sub> : (CRSMB) 60	0.20	7.35	203.37	0.20	0.22	5.5

Fuente: Elaboración propia, CRSMB: compost de residuos sólidos municipal biodegradables. CoA: compost agrícola.

En el Cuadro 11, podemos ver los nutrientes disponibles así como los metales pesados cadmio y plomo disponibles en el suelo, al finalizar el experimento de investigación se notó que al aplicar los compost agrícolas y de residuos sólidos municipales biodegradables el nitrógeno se encuentra de 0.08 % en el testigo (T<sub>0</sub>) que es un nivel bajo, hasta 0.22 % en el tratamiento con aplicación de 15 t ha<sup>-1</sup> de compost agrícola (T<sub>1</sub>) y similar al aplicar 60 t ha<sup>-1</sup> de compost agrícola (T<sub>7</sub>) que es un nivel alto, esto debido posiblemente al efecto del compost agrícola. Por otro lado los niveles de fósforo disponibles también se incrementan desde 3.01 ppm testigo (T<sub>0</sub>) hasta 7.94 ppm con aplicaciones de 60 t ha<sup>-1</sup> de compost agrícola (T<sub>7</sub>), debido al aporte del fósforo orgánico total que presentan los compost aun cuando existió una absorción de nutrientes por parte del frijol, por otro lado el potasio disponible se incrementa

en los tratamientos con aplicación de compost agrícola así como de residuos sólidos municipales biodegradables pero en algunos casos hubo extracción de nutrientes por parte del cultivo de frijol o posiblemente el potasio se halló perdido por lixiviación o lavado para el tratamiento aplicado 15 t ha<sup>-1</sup> de residuos sólidos municipales biodegradable (T<sub>2</sub>), 30 t ha<sup>-1</sup> de compost agrícola (T<sub>3</sub>), 30 t ha<sup>-1</sup> de residuos sólidos municipales biodegradables (T<sub>4</sub>), 45 t ha<sup>-1</sup> de residuos sólidos municipales (T<sub>6</sub>) y 60 t ha<sup>-1</sup> compost agrícola (T<sub>7</sub>) la cual presentó niveles de potasio más bajos que el testigo.

Con respecto a los metales pesados el compost agrícola presenta un nivel de 1.66 ppm de cadmio y de residuos sólidos municipales biodegradables un nivel de 1.33 ppm. Esto debido al proceso que se obtuvo en los dos tipos de compost la cual incrementa el nivel de cadmio en el suelo (disponible) desde 0.03 ppm testigo (T<sub>0</sub>) hasta 0.21 ppm con aplicaciones de 60 t ha<sup>-1</sup> de compost agrícola (T<sub>7</sub>), así como 0.20 ppm con 60 t ha<sup>-1</sup> de residuos sólidos municipales biodegradables (T<sub>8</sub>).

La misma tendencia ocurre con el plomo en la que al aplicar compost agrícola y de residuos sólidos municipales biodegradables el nivel de plomo sube de 0.10 ppm testigo (T<sub>0</sub>) hasta 0.22 ppm con aplicaciones de 60 t ha<sup>-1</sup> de residuos sólidos municipales biodegradable (T<sub>8</sub>) y solamente en el tratamiento de 30 t ha<sup>-1</sup> de compost agrícola (T<sub>3</sub>) se incrementa a 0.16 ppm. Finalmente, la reacción del suelo en el pH tuvo una variación incrementándose de 4.4 testigo (T<sub>0</sub>) hasta 6.0 aplicaciones de 60 t ha<sup>-1</sup> de compost agrícola (T<sub>7</sub>)

esto debido posiblemente al aporte de las bases oxidrilos generados por la aplicación de compost agrícola y de residuos sólidos municipales biodegradables ya que se utilizó estos dos tipos de compost en forma bien descompuesta así mismo posiblemente no haya sufrido un lavado de las bases cambiables, ni el incremento de los ácidos

Los tenores de nitrógeno y fosforo son bajos en todos los tratamientos, sin embargo, para el contenido de potasio se encuentran en condición media y alta 203.37 ppm en la aplicación de 60 t ha<sup>-1</sup> de residuos sólidos municipales biodegradables (T<sub>8</sub>). Con respecto a los niveles de cadmio y plomo, a pesar que ambos compost inicialmente contienen altos niveles de cadmio y plomo presentes por diversas fuentes, sea del propio abono, o fuente de agua, como indica DIGESA (2006), estos deben ser bien manipulados y pasar por un control de calidad para evitar poner en riesgo a la salud y al ambiente.

Finalmente, los niveles de cadmio y plomo se muestran en baja proporción particularmente el plomo, lo que podríamos asumir que han sido absorbidos por las plantas; que si bien aparentemente no ha causado variación cuantitativa o cualitativa al cultivo; pues su nivel natural en el suelo es menor de 1 a 3 ppm, y su exceso son tóxicos para las plantas y animales (HERRERA 2011; MEJÍA, 2011).

## **4.2. Determinación de la influencia del compost agrícola y compost de residuos sólidos municipales biodegradables (CRSMB) en las características biométricas de la planta del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.)**

### **4.2.1. Altura de planta**

Para la variable altura de planta se realizaron cinco evaluaciones, siendo la última evaluación determinante para el análisis de varianza. El Cuadro 12, muestra el análisis de varianza para la quinta evaluación (evaluación final). Se puede decir que el modelo propuesto resultó significativo, es decir, parte de sus componentes resultaron significativos. El modelo tiene un  $R^2$  de 0.81, por lo que podemos afirmar que el modelo explica un 81% de la variabilidad de las observaciones, considerándose aceptable. Por otra parte, la variabilidad expresada de las observaciones solo llegan a un 8.85% (Coeficiente de variabilidad) por lo que se afirma una homogeneidad entre las observaciones. Al analizar el componente factorial, se observa que el efecto simple, es decir, la interacción, resultó no significativo, por lo que las conclusiones deberán basarse exclusivamente sobre los efectos principales (compost y dosis) analizados independientemente. De estos efectos principales resultó significativo ( $p < 0.05$ ) el factor dosis, confirmando que la altura de la planta se deba al efecto de las dosis, mas no del tipo de compost utilizado ( $p > 0.05$ ). El contraste entre Factorial y testigo resultó altamente significativo ( $p < 0.05$ ), demostrando con ello que la altura de planta se afecta por al menos un factor en estudio (compost o dosis).

**Cuadro 12.** Análisis de variancia para la altura de planta (quinta evaluación) del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.).

Fuentes de Variación	GL	CM	p-valor	
<b>Modelo</b>	10	125.78	0.0004	AS
Bloque	2	0.35	0.9809	NS
Factorial	7	88.62	0.0028	AS
Compost	1	12.75	0.3965	NS
Dosis	3	180.05	0.0004	AS
Compost x Dosis	3	22.47	0.2970	NS
Factorial Vs Testigo	1	636.78	<0.0001	AS
<b>Error</b>	16	18.59		
<b>Total</b>	26			

**R<sup>2</sup>=0.81**

**CV=8.85%**

NS: No existe diferencia significativa; AS: Existe diferencia altamente significativa

Al determinar el efecto de la dosis empleada sobre la altura de planta, se procedió a realizar la prueba de medias para determinar la dosis que influyó para una mayor altura de planta. Se aplicó el comparador de Duncan a un 5% de nivel de significancia donde se analizó la altura por efecto de los factores, tanto del compost como por las dosis. Como se observa en el Cuadro 13, el efecto de compost no refleja diferencias estadísticas entre el compost agrícola (CoA) versus el compost de residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB) sobre la altura de planta en la quinta evaluación. Las alturas logradas entre el compost agrícola y el compost de residuos sólidos municipal biodegradables no difieren entre ellas (49.69 y 51.15 cm respectivamente).

El efecto de los compost ejercieron similar efecto sobre la altura. Los componentes de los nutrientes en ambos abonos orgánicos

indudablemente estruvieron en descomposición que favorecieron el crecimiento de las plantas, tal como lo aseveran CUEVAS *et al.* (2006)

**Cuadro 13.** Efecto de los factores compost y dosis sobre la altura de planta (cm). (promedio  $\pm$  error estándar)

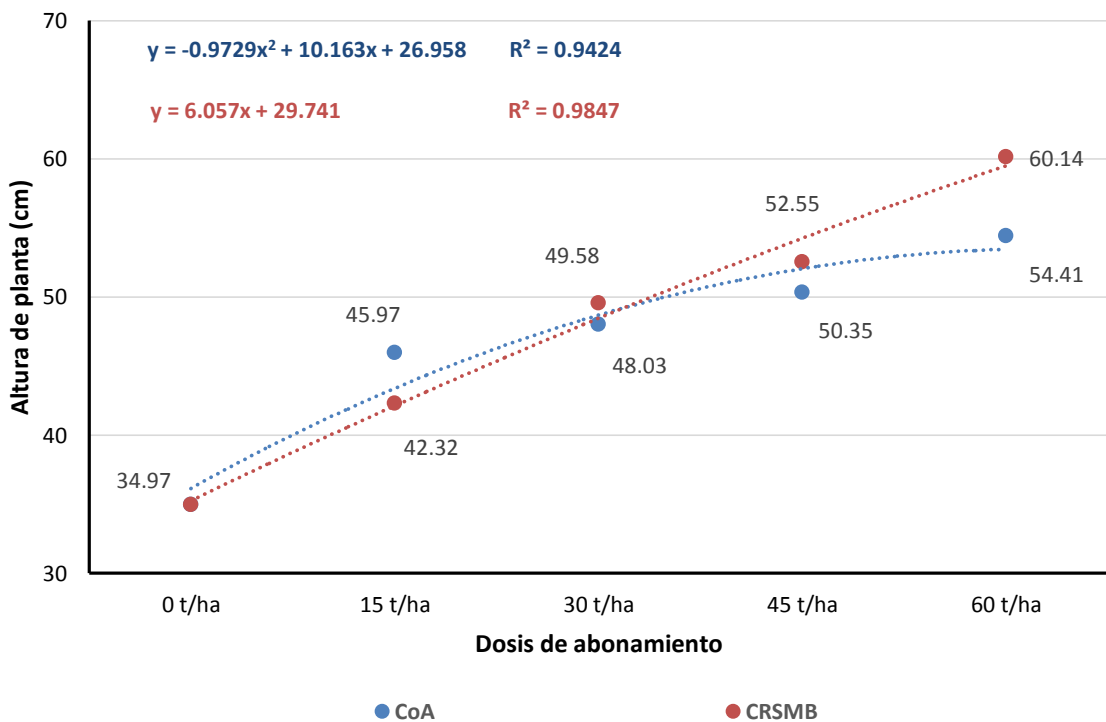
Efectos principales		Altura de planta (cm)		
<b>Compost</b>				
	CRSMB	51.15	$\pm 2.02$	a
	CoA	49.69	$\pm 1.60$	a
<b>Dosis</b>				
	60 t ha <sup>-1</sup>	57.28	$\pm 1.67$	a
	45 t ha <sup>-1</sup>	51.45	$\pm 1.35$	b
	30 t ha <sup>-1</sup>	48.81	$\pm 1.70$	b
	15 t ha <sup>-1</sup>	44.15	$\pm 2.03$	c
	0 t ha <sup>-1</sup>	34.97	$\pm 3.65$	

CRSMB= compost residuos sólidos municipal biodegradables, CoA: compost agrícola. *Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.*

La dosis empleada si logra determinar influencia directa sobre la altura de planta. Tal como se observa, a mayor dosis, se logra mayor altura de planta; mientras que una dosis de 15 t ha<sup>-1</sup> logra una altura media de 44.15 cm, la dosis de 60 t ha<sup>-1</sup> alcanza una altura de 57.28 cm. Es importante observar que la aplicación de 30 o 45 t ha<sup>-1</sup> logran alturas estadísticamente similares. Esto concuerda con la ley de la fertilización propuesta por Liebig descrita por Voisin (1979), mencionado por MANAYAY (2004) donde indica que los rendimientos son proporcionales a la cantidad de elemento fertilizante utilizado. La disponibilidad de mayores macro y microelementos nutricionales estimulan

el crecimiento de la planta, encontrándose en ambos compost la disponibilidad para ello, tal como lo describe LABRADOR *et al.* (2006)

En la Figura 7 se muestra la altura de planta de acuerdo a la dosis recibida y al tipo de compost. Como se observa las plantas que reciben el compost de residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB) alcanzan mayor altura que aquellas que reciben el compost agrícola (CoA) a partir de las 30 t ha<sup>-1</sup> hasta 60 t ha<sup>-1</sup>.



**Figura 7.** Promedio de altura de planta (cm) por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

La tendencia que mantienen las plantas con el CRSMB es lineal ( $R^2= 98.47\%$ ); mientras que la tendencia que mejor se ajusta a las plantas que reciben el CoA es polinómica ( $R^2= 94.2\%$ ), mostrando una tendencia de decrecimiento a posibles mayores dosis de abonamiento.

Considerando que este cultivar es exigente en nutrientes como Nitrógeno, Fosforo y Potasio, los abonos aplicados permiten que las plantas logren presentar alturas medias a la quinta semana que superan a las alturas promedio de 30 a 40 cm (INFOAGRO, 2012).

Cabe resaltar que, los niveles de aplicación de los compost, juegan un rol importante en el crecimiento de la planta (OCHOA, 2009), es decir a mayor concentración de compost mayor crecimiento de la planta. Debido a esto, se observa una curva creciente con respecto a las dosis aplicadas, indudablemente por la mayor cantidad de microelementos como Zn, Cu y Mn que contiene en su composición, importantes para el crecimiento de la planta, tal como indica FAO (2010).

**Cuadro 14.** Altura media de planta (cm) entre los contrastes de Factorial versus testigo ( $0 \text{ t ha}^{-1}$  de abonamiento). (promedio  $\pm$  error estándar)

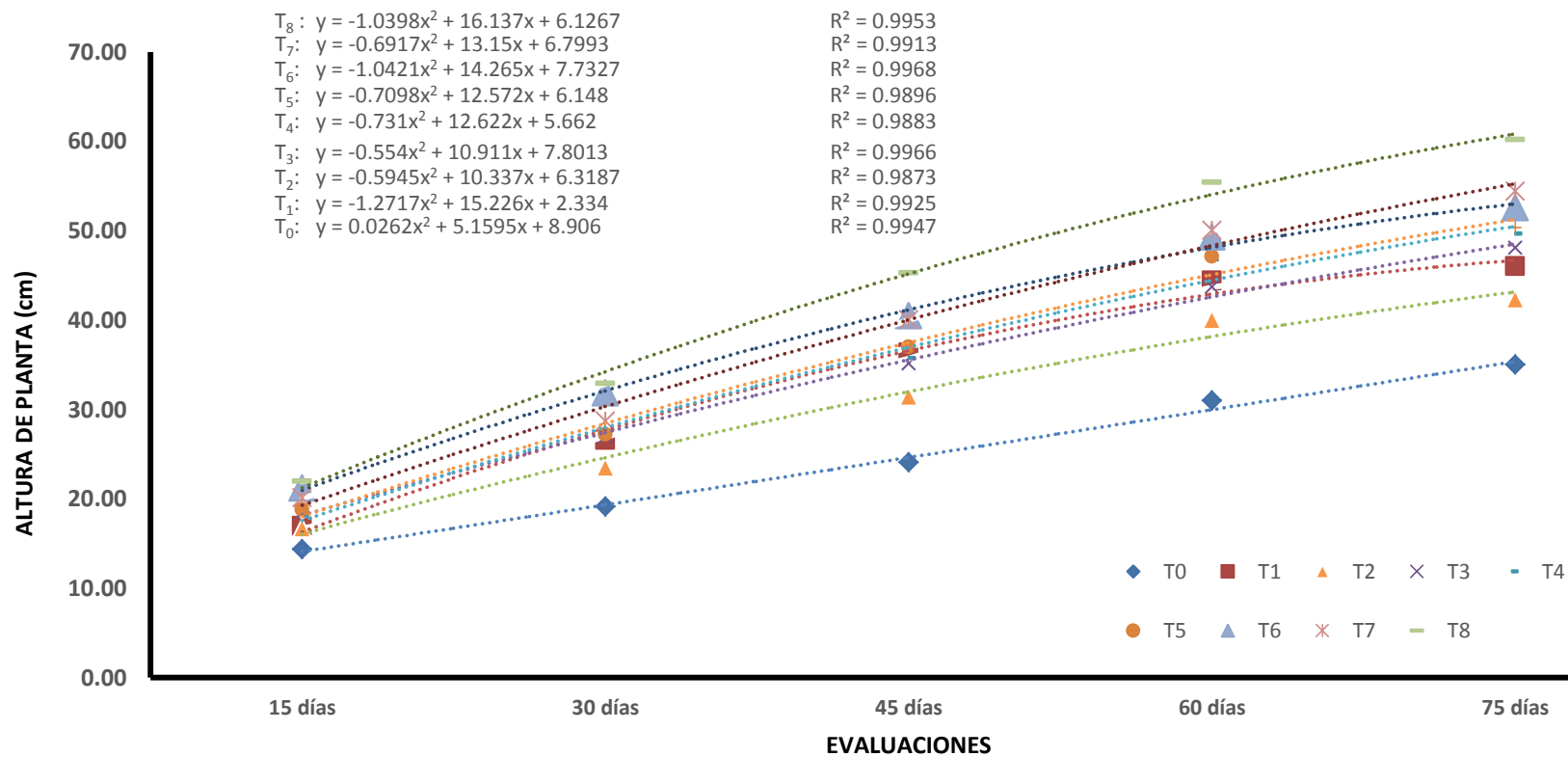
Descripción	Altura de planta (cm)		
<b>Contrastes</b>			
Factorial	50.42	$\pm 1.29$	a
Testigo	34.97	$\pm 3.65$	b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

El análisis de los contrastes permite entender que al aplicarse cualquier dosis de cualquier compost (factorial) a comparación con la no aplicación de ningún abono (testigo) se logra una alta diferencia estadística a favor del factorial.

El Cuadro 14 detalla que las plantas que recibieron al menos una dosis de algún compost logran alcanzar una altura media de 50 cm a comparación del testigo que solo logra una altura cercana a 35 cm. Esto puede entenderse a que el compost presenta una concentración de minerales y nutrientes que hayan influenciado sobre el crecimiento de la planta, tal como se describe en los cuadros 10 y 11, creando un ambiente apropiado para que se desarrolle mejor algunos microorganismos como afirma BENÍTES y FRIEDRICH (2009) principalmente aquellas fijadoras de nitrógeno atmosférico. Comparando los resultados obtenidos por ZAVALA (2014) al utilizar CRSMB (compost de residuo sólidos municipal biodegradable) en dosis de 40 t/ha, alcanzó una altura de planta (40.93 cm) siendo inferior a lo alcanzado a dosis de hasta 30 t ha<sup>-1</sup>; mientras PUIALES *et al.* (2008) alcanzó una altura media de 63.3 cm a similar dosis, lo cual está más cercano a lo obtenido en el presente experimento.

El análisis temporal de las evaluaciones de las alturas cada quincena logra demostrar un crecimiento sostenido de las plantas de frijol durante las cinco quincenas. La Figura 9 demuestra que los nueve tratamientos (incluido el testigo) siguen un ascendente crecimiento.



**Figura 8.** Tendencia de la altura media de planta (cm) en cada quincena de evaluación, analizada en los nueve tratamientos con sus respectivas regresiones polinómicas.

Se incluye además en la misma figura las curvas de crecimiento polinómica para cada tratamiento en estudio. En ella se expresan sus ecuaciones predictoras, así como su correspondiente ajuste de modelo ( $R^2$ ) que en los tratamientos con dosis de  $60 \text{ t ha}^{-1}$  de abono, representan a la totalidad de sus observaciones (100%). Se puede observar mayor tasa de crecimiento precisamente en dosis mayores de aplicación, independientemente de la fuente orgánica (CoA o CRSMB)

#### **4.2.2. Volumen de raíz (floración y cosecha)**

Para la variable volumen de la raíz ( $\text{cm}^3$ ) se realizaron en dos etapas: en la etapa de floración y en etapa de cosecha. Para la etapa de floración, el análisis de varianza (Cuadro 15), presenta un 76% de ajuste al modelo (r-cuadrado), con una moderada heterogeneidad de las observaciones ( $\text{CV} = 22.71\%$ ). Asimismo, se observa que los efectos simples resultan no significativos, por lo que las conclusiones se basarán exclusivamente por el análisis de los efectos principales independientemente. De ello resulta que el factor compost ejerce influencia sobre el volumen radicular ( $p < 0.05$ ); mientras que el factor dosis, no se logra identificar influencia sobre el volumen radicular. Por otra parte, el contraste entre el factorial y el testigo resultó altamente significativo lo cual demuestra que las plantas que recibieron algún tratamiento superan en volumen radicular con las plantas testigos.

Con respecto a la etapa de la cosecha, (Cuadro 15) de igual modo no se logra identificar significancia entre los efectos simples ni

principales, debido a que el modelo se ajusta en un 47% de las observaciones realizadas ( $R^2= 0.47$ ) y a la alta heterogeneidad entre ellas ( $CV= 27.98\%$ ). Sin embargo, existe evidencia estadística ( $p<0.05$ ) para afirmar la existencia de diferencias del volumen de raíz en los contrastes del factorial versus el testigo, lo cual nos indica que la aplicación de cualquier tipo de compost, mejora los parámetros agronómicos y productivos.

**Cuadro 15.** Análisis de variancia para el volumen de raíz ( $\text{cm}^3$ ) en la etapa de floración y cosecha del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.).

Fuentes de Variación	Floración				Cosecha		
	GL	CM	p-valor		CM	p-valor	
<b>Modelo</b>	10	6.33	0.0020	AS	3.86	0.2603	NS
Bloque	2	11.93	0.0018	AS	1.17	0.6589	NS
Factorial	7	2.97	0.4099	NS	1.97	0.6518	NS
<b>Compost</b>	1	8.92	0.0164	S	1.49	0.3519	NS
Dosis	3	3.25	0.0721	NS	1.21	0.7224	NS
Compost x Dosis	3	0.70	0.6490	NS	2.55	0.4431	NS
<b>Factorial Vs Testigo</b>	1	18.70	0.0013	AS	22.51	0.0112	S
<b>Error</b>	16	1.24			2.74		
<b>Total</b>	26						

$R^2=0.76$   $CV=22.71\%$

$R^2= 0.47$   $CV=27.98\%$

NS: No existe diferencia significativa; S: Existe diferencia significativa; AS: Existe diferencia altamente significativa

En el Cuadro 16 se muestran las pruebas de medias para el tipo de compost, que resultó significativo en la etapa de floración. Como puede observarse el compost de residuos sólidos municipal biodegradables logra mayor volumen de raíz que el compost agrícola en la etapa de floración (5.81 y 4.59  $\text{cm}^3$  respectivamente). Esto debido a las características propias del compost de residuos sólidos municipal biodegradables, en cuanto a su riqueza

composicional de nutrientes como N, P, Mg, Mn, Zn y Cu, estos últimos elementos menores lo cual permite mayor oferta de nutrientes, que favorecen el desarrollo de la raíz. Por otra parte, para el factor dosis de abonamiento, no se logra tener evidencia suficiente para afirmar una influencia sobre el volumen de raíz por las dosis de abonamiento ( $p > 0.05$ ), a pesar de presentar una diferencia de una unidad entre la dosis de  $45 \text{ t ha}^{-1}$  versus la dosis de  $0 \text{ t ha}^{-1}$ . Esto se debe precisamente al amplio rango del error estándar entre ambas dosis.

**Cuadro 16.** Volúmen medio de raíz ( $\text{cm}^3$ ) en la etapa de floración por efecto del compost y dosis de abonamiento en plantas de frijol Chaucha (promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	(Volumen de raíz - $\text{cm}^3$ )		
<b>Compost</b>			
CRSMB	5.81	$\pm 0.58$	a
CoA	4.59	$\pm 0.28$	b
<b>Dosis</b>			
$45 \text{ t ha}^{-1}$	6.19	$\pm 0.89$	a
$60 \text{ t ha}^{-1}$	5.18	$\pm 0.58$	a
$30 \text{ t ha}^{-1}$	5.02	$\pm 0.75$	a
$15 \text{ t ha}^{-1}$	4.42	$\pm 0.34$	a
$0 \text{ t ha}^{-1}$	2.55	$\pm 0.93$	

CRSMB= compost residuos sólidos municipal biodegradables, CoA: compost agrícola, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

Esta diferencia entre compost podría deberse a la composición química presentes en el compost de residuos sólidos municipal biodegradables, que son ricos en elementos menores como Cu, Zn y Mn y con mayores tenores de nitrógeno y fósforo (Ver Cuadros 10 y 11) que indudablemente a su mayor

aplicación al suelo, haya incorporado mayor cantidad de nutrientes y la planta a través de sus raíces, podrá optimizar mejor algunas funciones y también mayor capacidad del cambio iónico, y mejor capacidad de retención nutricional de la planta, como indican (INFOAGRO, 2009 y BIBLIOTECA EL CAMPO, 2002). Esta diferencia es debida, posiblemente por tener mayor cantidad de N, P, K y bases intercambiables, así como ácidos y radicales.

El compost de residuos sólidos municipal biodegradables se mantiene superior al compost agrícola a la característica del volumen de raíz que por lo general está relacionada a la longitud, diámetro, biomasa y crecimiento de la planta como sostiene FAO (2010) y posiblemente mayores cantidades del compost de residuos sólidos municipal biodegradables aplicadas al suelo haya suplido ciertas exigencias del cultivo del frijol exclusivamente de la relación potasio y calcio (PAREDES, 2013).

Con respecto al contraste entre los tratamientos del factorial versus el testigo se observa en el Cuadro 17 para las dos etapas (floración y cosecha), que se comprueba que, al aplicarse alguna dosis de algún tipo de compost se puede mejorar el volumen de la raíz en casi el doble con aquellas plantas que no recibieron nada de abono (5.20 y 2.55 cm<sup>3</sup> respectivamente). Tanto en la etapa de floración como de cosecha las diferencias entre ambas es alta, lo cual confirma que el uso de cualquier fuente de materia orgánica permite un desarrollo de la planta, principalmente de la raíz.

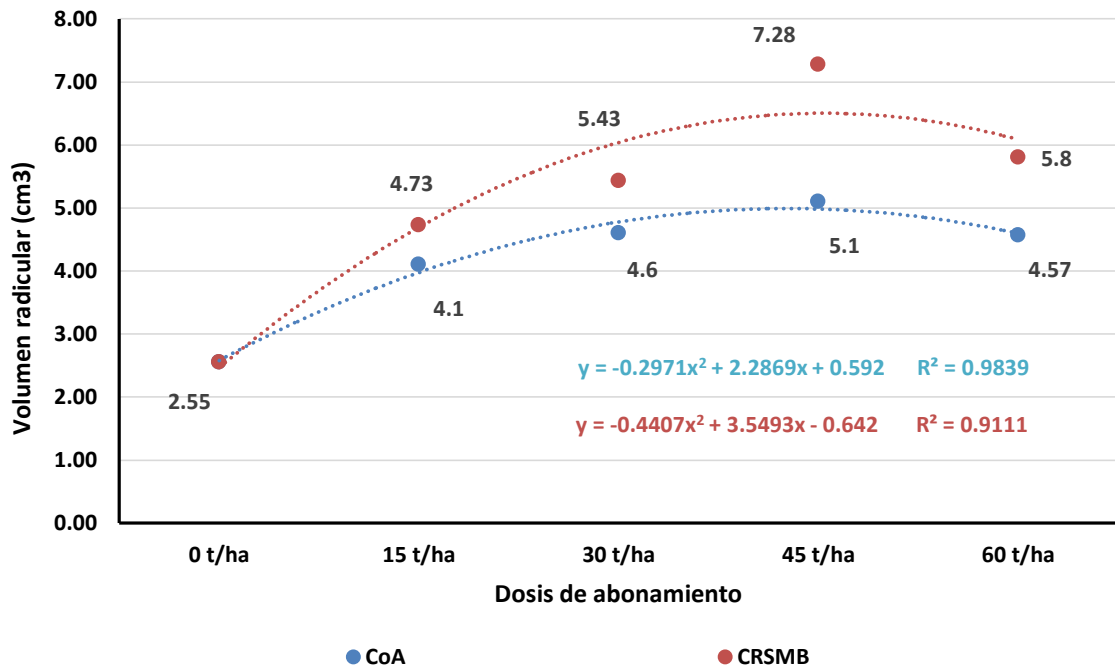
**Cuadro 17.** Volúmen medio de raíz ( $\text{cm}^3$ ) en la etapa de floración y cosecha entre plantas del factorial versus el testigo (promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	Floración			Cosecha		
	Volumen de raíz ( $\text{cm}^3$ )			Volumen de raíz ( $\text{cm}^3$ )		
<b>Contrastes</b>						
Factorial	5.20	$\pm 0.33$	a	6.24	$\pm 0.32$	a
Testigo	2.55	$\pm 0.93$	b	3.33	$\pm 0.69$	b

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.*

En el Cuadro 16, se muestra que entre las dosis evaluadas no existe diferencias estadísticas, pero si, entre los tipos de compost, en la etapa de floración. La Figura 9, detalla mejor este comportamiento. Como puede observarse, existe una clara diferenciación entre los volúmenes radiculares cuando se aplican desde 15, 30, 45 y 60  $\text{t ha}^{-1}$ , siendo estos dos últimos, con mayor diferenciación entre los compost. Presentando mayor volumen radicular las plantas con el compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) a comparación con el compost agrícola (CoA). La mayor diferencia ocurre al aplicar una dosis de 45  $\text{t ha}^{-1}$ , donde van desde 7.28 a 5.1  $\text{cm}^3$ , entre el CRSMB y CoA respectivamente, para luego disminuir a una dosis de 60  $\text{t ha}^{-1}$ . Los volúmenes radiculares expresados en cada tipo de compost y en cada dosis de aplicación, expresan un comportamiento polinomial, que conforme se incrementa la dosis se reduce el volumen radicular. Esta reducción del volumen radicular puede deberse, tal como lo indica PAREDES (2013) a ciertas características de la basura doméstica que entre ellas destacan los metales pesados como cadmio y plomo, que causarían cierta toxicidad en el suelo y planta (MANDUJANO, 2008). La planta, según MANAYAY (2004) expresa su

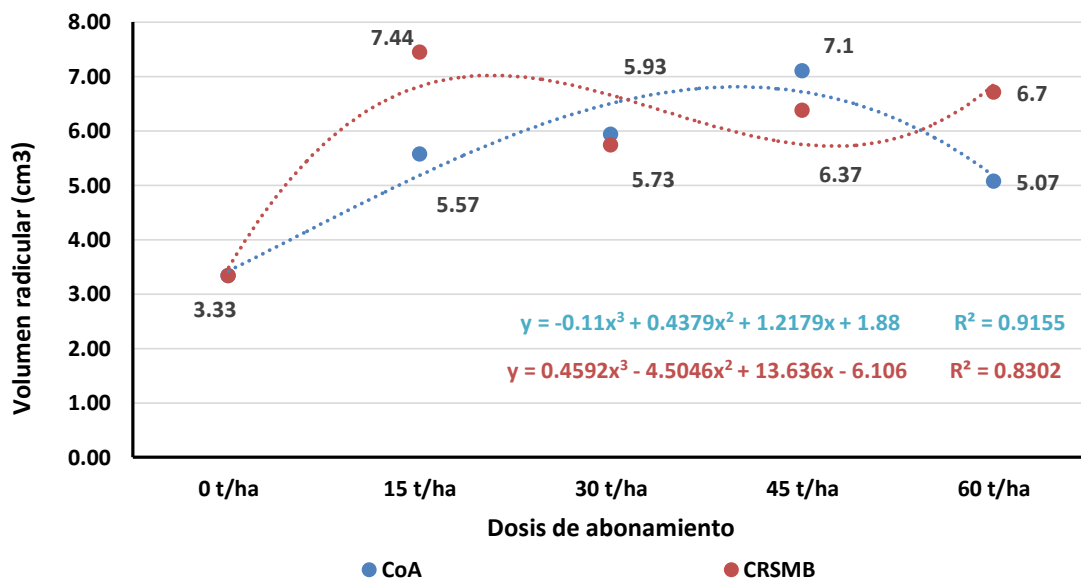
comportamiento de acuerdo a las características propias del suelo, por ello, la tendencia hacia la reducción del volumen radicular de las plantas al aplicar en ambos tipos de compost, supone más una interacción propia del suelo con la planta, donde intervienen muchos factores propios del ecosistema.



**Figura 9.** Promedio del volumen radicular (cm<sup>3</sup>) de planta en la etapa de floración, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

La Figura 10 muestra el comportamiento del volumen radicular de las plantas en la etapa de cosecha, y se puede observar un crecimiento del volumen al compararse en la etapa de floración. Según el Cuadro 15 (ANVA), en la etapa de floración no existen diferencias estadísticas entre los tipos de compost, así como en las dosis evaluadas, por lo que se asume que el

volumen radicular está influenciado por la aplicación de cualquier compost en cualquier dosis. Al aplicarse sus tendencias polinomiales, se observa que a mayor dosis de compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) tiende a un crecimiento (ecuación predictora de grado 3, con  $R^2 = 83\%$ ) paulatino versus el compost agrícola (CoA), que tiene un decrecimiento. Esto puede deberse a la diferencia entre los contenidos nutricionales y su relación C/N de los compost (PAREDES, 2013), donde por lo general el compost agrícola (CoA), su relación C/N es más alto por sus contenidos de lignina, que limitan la capacidad de mineralización de la materia orgánica.



**Figura 10.** Promedio del volumen radicular ( $\text{cm}^3$ ) de planta en la etapa de cosecha, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

La lignina como describen PUIALES *et al.* (2008) constituye su particular resistencia a la degradación microbial, en cambio la materia orgánica

compuesta por residuos de basura domestica, son productos ricos en compuestos nitrogenados facilmente descomponibles, siendo mucho mas disponible los micronutrientes para la planta. Sin embargo pese a las tendencias, cabe recordar que no existen diferencias estadísticas entre los volúmenes radiculares cuando se aplican ambos compost.

#### **4.2.3. Nódulos en la fase de floración y cosecha**

Para realizar el análisis de varianza de la variable número de nódulos, tanto en la fase de floración como de cosecha, al ser una variable discreta y sin una tendencia normal, se procedió a transformarla a través de la ecuación:  $\text{Log}_{(10)}X + 0.5$  en vista de presentar valores extremos, y por la reducción de la variabilidad. Los resultados para la fase de floración (Cuadro 18) muestran un 63 % de los datos ajustados al modelo ( $R^2= 0.63$ ) y una variabilidad de moderada de las observaciones encontradas ( $CV= 28.4\%$ ), lo cual permiten encontrar la significancia ( $p<0.05$ ) del factor dosis y el contraste Factorial Versus testigo. No se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) para los efectos simples (interacción de los efectos principales), por lo que las conclusiones finales posiblemente se basarán solo al efecto principal Dosis en forma independiente.

El análisis de varianza en la etapa de cosecha con respecto al número de nódulos (Cuadro 18), tuvo el mismo comportamiento estadístico que en la etapa de floración. El modelo tuvo un 79% de ajuste ( $R^2=0.79$ ) con una moderada variabilidad de las observaciones ( $CV= 18.47\%$ ). Resultaron

significativos ( $p < 0.05$ ) el efecto principal dosis y el contraste factorial versus testigo. De igual modo, el efecto simple de interacciones resultó no significativo ( $p > 0.05$ ), por lo que las conclusiones se basaron solo en el efecto dosis analizado independientemente de los tipos de compost.

**Cuadro 18.** Análisis de variancia para la evaluación de los nódulos transformados ( $\text{Log}_{(10)}$ ) en la etapa de floración y cosecha en el cultivo del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.).

Fuentes de Variación	Floración				Cosecha		
	GL	CM	p-valor		CM	p-valor	
<b>Modelo</b>	10	0.97	0.036	S	1.25	0.0009	AS
Bloque	2	0.05	0.867	NS	0.09	0.6535	NS
Factorial	7	0.59	0.178	NS	0.55	0.0497	S
Compost	1	$3.6 \times 10^{-7}$	0.999	NS	0.16	0.3969	NS
Dosis	3	1.31	0.032	S	1.20	0.0068	S
Compost x Dosis	3	0.08	0.871	NS	0.02	0.9527	NS
Factorial Vs Testigo	1	5.48	0.001	S	8.52	<0.0001	AS
<b>Error</b>	16	0.36			0.21		
<b>Total</b>	26						

**R2= 0.63**

**CV=28.40%**

**R2=0.79**

**CV=18.47%**

NS : No existe diferencia significativa; S: Existe diferencia significativa; AS : Existe diferencias altamente significativas

Se procedió a realizar la prueba de medias para determinar la dosis con mayor número de nódulos en las dos etapas. El Cuadro 19, muestra que en la etapa de floración, para el efecto dosis, se determinó tres grupos estadísticamente diferenciados, correspondiendo la dosis de mayor aplicación ( $60 \text{ t ha}^{-1}$ ) la que logra mayor número de nódulos (224 nódulos); mientras que las dosis de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  y  $30 \text{ t ha}^{-1}$  logran los menores conteos de nódulos (32 y 20 nódulos). La dosis de  $45 \text{ t ha}^{-1}$  logra una posición intermedia de 81 nódulos.

Asimismo, se detalla para la etapa de cosecha que para el efecto dosis, se observa que se tienen dos grupos estadísticamente diferenciados. El primer grupo con el mayor número de nódulos están representados las dosis de 45, 30 y 60 t ha<sup>-1</sup> (275, 251 y 234 nódulos respectivamente), mientras que el segundo grupo está representado por la menor dosis de abonamiento (15 t ha<sup>-1</sup>) el cual presenta un menor número de nódulos en la etapa de cosecha (32 nódulos).

**Cuadro 19.** Promedio de nódulos en las plantas en la etapa de floración por efecto del tipo de compost y dosis de abonamiento (promedio ± error estándar).

Descripción	Floración Número de nódulos			Cosecha Número de nódulos	
<b>Compost</b>					
CRSMB	59	± 0	a	182	± 0 a
CoA	59	± 1	a	126	± 0 a
<b>Dosis</b>					
60 t ha <sup>-1</sup>	224	± 1	a	234	± 0 a
45 t ha <sup>-1</sup>	81	± 0	b	275	± 0 a
15 t ha <sup>-1</sup>	32	± 0	c	32	± 1 b
30 t ha <sup>-1</sup>	20	± 1	c	251	± 0 a
0 t ha <sup>-1</sup>	2	± 1		2	± 1

CRSMB: compost de residuos sólidos municipal biodegradables; CoA:compost agrícola, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

La importancia de mayor número de nódulos se basa en el proceso de fijación biológica de nitrógeno a través de las bacterias fijadoras del género *Rhizobium*, que son componentes funcionales del ecosistema del suelo y su disponibilidad puede limitar el crecimiento de las plantas, pero los resultados de este parámetro nos indica que independientemente del tipo de

compost, la aplicación de mayor dosis influenciará directamente sobre la formación de estos importantes nódulos que una característica de las leguminosas (GARCÍA, 2012; PAREDES, 2013). Las cantidades de nódulos encontrados por dosis de abonamiento son superiores a los hallados por NÚÑEZ (2011), a pesar de realizar implantes de cepas de *Rhizobium* en plantas de frijol.

Se explica que a mayores dosis de abonamiento mayor número de nódulos, lo cual es posible que sea por factores de la disponibilidad de bacterias o microorganismos a mayores dosis de aplicación, según HIRZEL y RODRÍGUEZ (2004) y PAREDES (2013), señalan que el compost no solo presenta aportes altos de nutrientes para la planta según su composición química, sino que incide positivamente sobre la actividad microbiana del suelo, no solo bacterias endosimbióticas (bacterias que forman nódulos) sino también bacterias diazótrofes (que viven alrededor de las raíces).

Posteriormente, el análisis de varianza muestra, para el contraste Factorial versus testigo (Cuadro 20), contundentemente que el uso del compost, sea de origen agrícola o de residuos sólidos municipal biodegradables, y a diferentes dosis de abonamiento, produce mayor número de nódulos que aquellas plantas que no recibieron ninguna aplicación de compost (testigo) tanto en la etapa de floración (2 y 59 nódulos respectivamente) como de cosecha (2 y 151 nódulos respectivamente). Por lo tanto, existe prueba razonable para demostrar que a pesar de que las

leguminosas poseen capacidad de formar nódulos en su sistema radicular, estas se ven favorecidas por la aplicación de materia orgánica que acompaña con nutrientes que son absorbidas por las raíces. Este resultado podría deberse posiblemente a que el frijol como leguminosa contienen nódulos en sus raíces que albergan gran cantidad de bacterias que convierten el nitrógeno en compuestos que las plantas lo utilizan directamente y una perfecta relación simbiótica como indica GARCÍA, (2012).

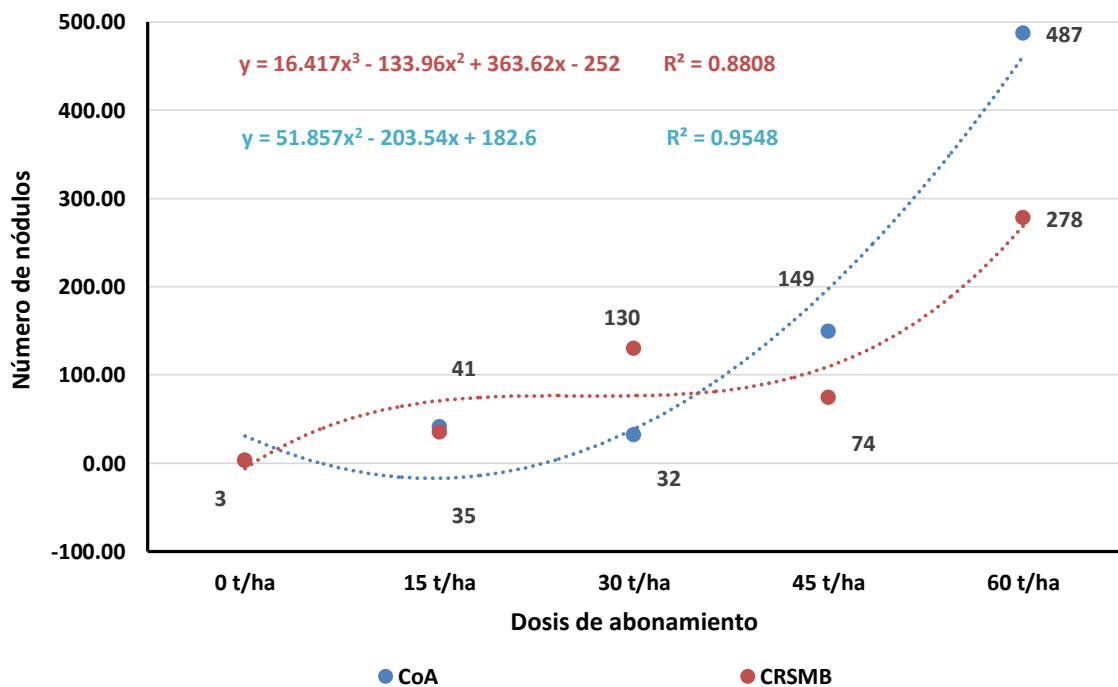
**Cuadro 20.** Promedio de nódulos en plantas entre los tratamientos del factorial versus testigo en la etapa de floración y cosecha (promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	Floración			Cosecha		
	Número de nódulos			Número de nódulos		
<b>Contrastes</b>						
Factorial	59	$\pm 0$	a	151	$\pm 0$	a
Testigo	2	$\pm 1$	b	2	$\pm 1$	b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

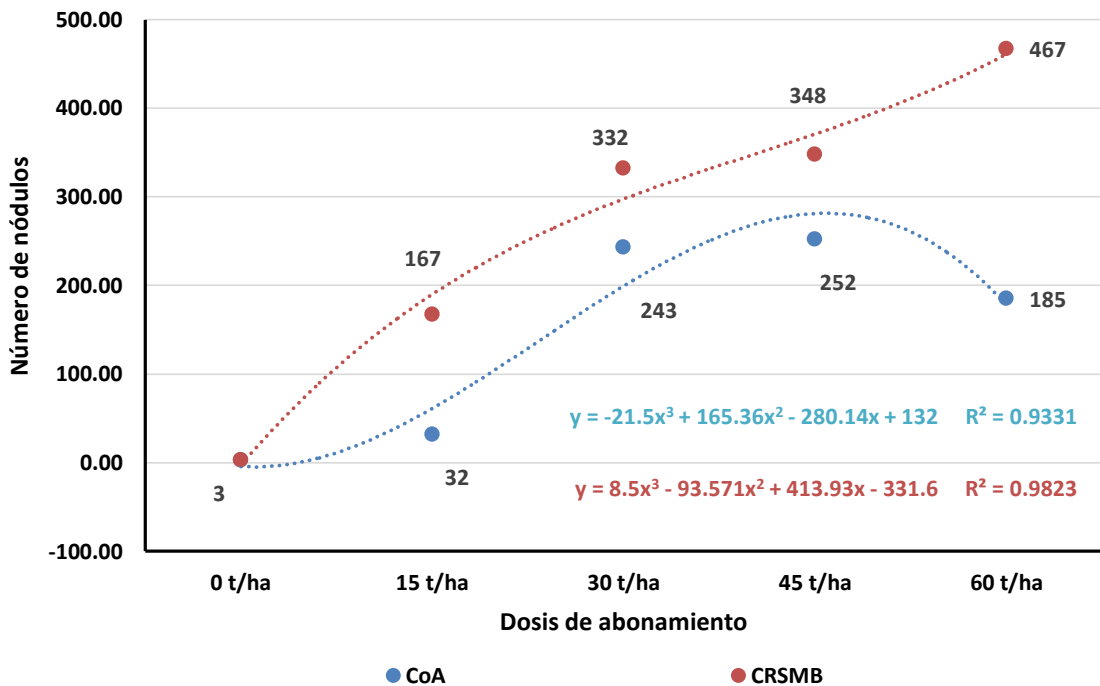
La mayor dosis aplicadas mantiene mayor número de nódulos probablemente la diversidad de suelos sea también un factor influyente en la formación de nódulos como indica (MOREIRA, 2007) debido a múltiples interacciones que se dan entre suelo y cultivo. Se puede apreciar que una dosis alta de aplicación de compost, resulta con mayores números de nódulos, creando importancia a la materia orgánica en los suelos por sus propiedades químicas, capacidad de intercambio, nutrientes, etc. Importantes para el cultivo vegetal (JULCA *et al.*, 2006).

La Figura 11, describe el comportamiento del número de nódulos hallados de acuerdo a las dosis de aplicación. Los que se observa que se tienen ambos compost una tendencia polinomial creciente, siendo que a dosis de 60 t ha<sup>-1</sup>, los nódulos se triplican a comparación al aplicarse una dosis de 45 t ha<sup>-1</sup>, en ambos tipos de compost. Por otra parte, existe mayor número de nódulos en el compost agrícola (CoA) que en el compost de residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB). Esto puede deberse a la propia composición del compost agrícola, que incluye estiércol de vacuno, cuya composición es alta en microorganismos (MANAYAY, 2004).



**Figura 11.** Promedio de número de nódulos en la raíz en la etapa de floración, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

La Figura 12, describe los números de nódulos en la etapa de cosecha, el cual es una evaluación posterior. En ella se observa que la tendencia que mantenía en la etapa de floración cambió rápidamente en la etapa de cosecha. La tendencia polinomial es creciente cuando se aplica compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB), llegando 467 nódulos a una dosis de 60 t ha<sup>-1</sup>; mientras que cuando se aplica el compost agrícola (CoA) tiene una tendencia decreciente con 185 nódulos a una dosis de 60 t ha<sup>-1</sup>.



**Figura 12.** Promedio de número de nódulos en la raíz en la etapa de cosecha, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

Este comportamiento descrito por la Figura 12, puede ser explicada en el sentido que la composición propia del compost agrícola (CoA) que incluye estiércol de vacuno, presenta dosis de metales pesados mucho más altos que el compost de residuos sólidos municipales biodegradable (CRSMB), según el Cuadro 10. El contenido de cadmio no tiene función biológica esencial y sus compuestos son muy tóxicos para la planta y los animales (MANARA, 2012).

#### **4.2.4. Peso fresco y seco de la planta (g) en floración y cosecha**

##### **En floración**

El Cuadro 21 muestra el análisis de varianza para el peso fresco y seco de la planta en floración, expresada en gramos. Para el peso fresco resultó significativo al contraste entre tratamientos del factorial versus el testigo ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, no resultó significativo ( $p > 0.05$ ) el factorial expresado en sus efectos principales y el efecto simple. El modelo tuvo una explicación del 65 % ( $R^2 = 0.65$ ), con una alta variabilidad ( $CV = 29.95\%$ ) entre las observaciones que dificultan la búsqueda de significancia.

Con respecto al peso seco de la planta, el mismo cuadro muestra que los resultados coinciden en gran parte con los resultados en peso fresco, sin embargo, el modelo presenta una alta variabilidad entre las observaciones ( $CV = 39.87\%$ ), pero que por tener un ajuste del 62 %, podemos inferir sobre los resultados. Por otra parte, resulta significativo ( $p < 0.05$ ) solo el contraste del factorial versus el testigo, lo que permite presumir una diferencia

entre ellos. Los tratamientos del factorial incluyendo los efectos principales y simples resultaron no significativos ( $p > 0.05$ ), lo cual permite entender que el peso seco de la planta está influenciado por la presencia de abono orgánico, que presenta nutrientes básicos como N, P y K y elementos menores, como también una buena base de cationes cambiabiles, el cual a distintas dosis se logran pesos semejantes.

**Cuadro 21.** Análisis de variancia para el peso fresco y seco de la planta (g) en la etapa de floración, por efecto del tipo de compost y la dosis aplicada en el cultivo del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.).

Floración	Peso fresco				Peso seco		
	Fuentes de Variación	GL	CM	p-valor	CM	p-valor	
<b>Modelo</b>	10	146.24	0.0236	S	30.10	0.0411	S
Bloque	2	160.89	0.0617	NS	47.23	0.0359	S
Factorial	7	59.18	0.5308	NS	16.54	0.4603	NS
Compost	1	75.97	0.2988	NS	7.04	0.5213	NS
Dosis	3	50.98	0.5254	NS	12.94	0.5169	NS
Compost x Dosis	3	61.78	0.4453	NS	23.30	0.2729	NS
Factorial Vs Testigo	1	726.37	0.0013	S	90.74	0.0124	S
<b>Error</b>	16	48.29			11.44		
<b>Total</b>	26						

**R2= 0.65**

**CV=29.95%**

**R2=0.62**

**CV=39.87%**

NS: No existe diferencia significativa    S: Existe diferencia significativa

**Cuadro 22.** Peso promedio fresco y seco por planta (g) por efecto del contraste entre factorial versus testigo (promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	Peso promedio fresco por planta (g)			Peso promedio seco por planta (g)		
<b>Contrastes</b>						
Factorial	25.04	$\pm$ 1.63	a	9.13	$\pm$ 0.83	a
Testigo	8.53	$\pm$ 2.60	b	3.30	$\pm$ 1.61	b

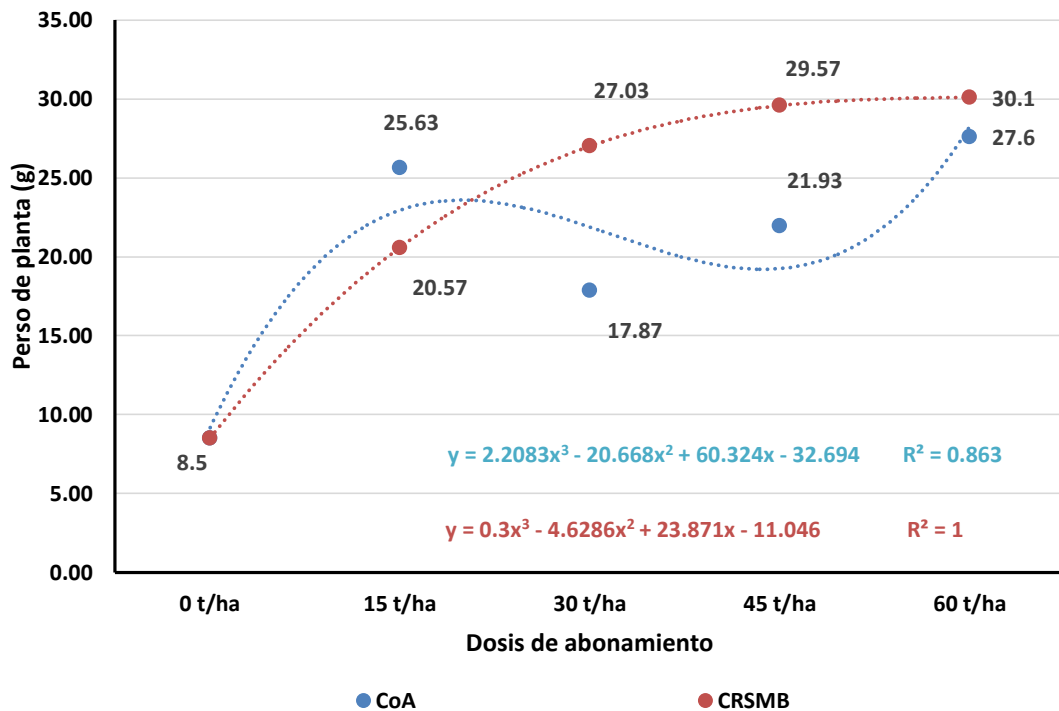
Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

Se realizó la prueba de medias para el contraste entre los tratamientos del factorial versus el testigo al mostrar significancia tanto en el peso fresco y seco, mostrando el Cuadro 22 las diferencias entre ellas (25.04 y 8.53 g en peso fresco respectivamente y 9.13 y 3.30 g en peso seco respectivamente).

A pesar de no existir significancia entre tipos de compost y dosis de abonamiento con respecto al peso fresco de planta en la etapa de floración (Cuadro 21), en la Figura 14 se trata de explicar el comportamiento polinomial del peso fresco en las dosis evaluadas por cada tipo de compost.

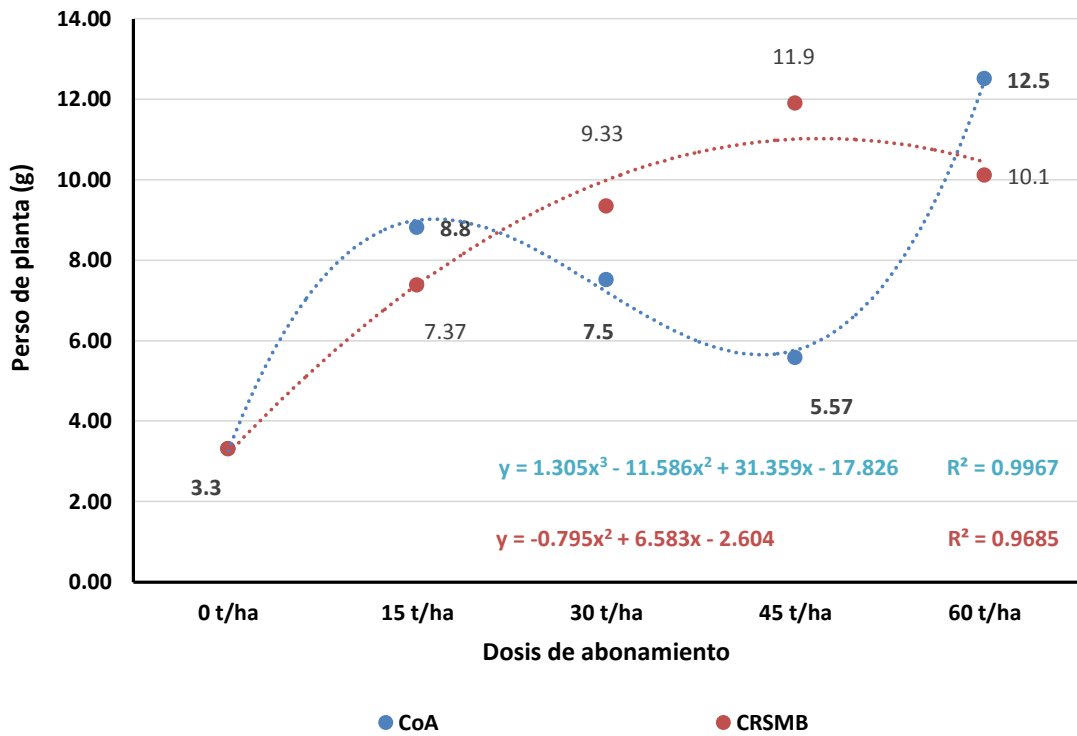
Se observa que el compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) presenta mayor altura relativa de planta que el compost agrícola (CoA) a partir de dosis superiores a  $30 \text{ t ha}^{-1}$ ; sin embargo, tiene tendencia decreciente a mayores dosis ( $R^2= 100 \%$ ), mientras que mayores dosis de compost agrícola (CoA) tiene una tendencia creciente.

Aunque la altura de planta es una variable agronómica, es de suma importancia para evaluar la condición de planta con relación a la disponibilidad de nutrientes. Esta tendencia en ambos casos, puede deberse a que el CRSMB, llega a un tope y superiores dosis no pueden ejercer mayor altura de planta, por su propia función biológica de la planta, mientras que, para el CoA, es creciente porque aún no logra la altura máxima lograda por la planta, tal como es descrito por INFOAGRO (2012) y GARCÍA (2012), donde la altura promedio de la planta es de 30 a 40 cm.



**Figura 13.** Promedio del Peso fresco de planta (g) en la etapa de floración, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

Con respecto al peso seco de la planta en la etapa de floración. En la Figura 14 se muestran las tendencias, el cual describe una posición invertida. Los resultados muestran solo que el contenido de humedad es mayor en las plantas que fueron aplicadas con compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB), por ello su situación inversa a comparación de las plantas aplicadas con compost agrícola (CoA). La materia orgánica contenida en el compost de residuos sólidos municipal biodegradables son más ricas en carbohidratos (ZAVALA, 2014), por lo tanto mucho más soluble o degradable, permitiendo que la materia orgánica disponible proporcione relaciones convenientes entre el aire y el agua en el suelo y su enorme depósito geoquímico de carbono. Con ello, las plantas presentaban mayor humedad debido a esta relación.



**Figura 14.** Promedio del peso seco de planta (g) en la etapa de floración, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

### En cosecha

El Cuadro 23 muestra el análisis de varianza para el peso fresco y seco de la planta en la etapa de cosecha, expresada en gramos. En el peso fresco, no resultó significativo ( $p > 0.05$ ) el efecto principal y simple del factorial, es decir, no se puede afirmar que exista una influencia sobre el peso fresco y seco en la etapa de cosecha, por efecto del tipo de abono o dosis empleada. Resultó significativo ( $p < 0.05$ ) solo el contraste entre los tratamientos del factorial versus el testigo. El modelo para el peso fresco tiene un 0.70 como  $R^2$ ,

el cual corresponde al ajuste del modelo con una explicación del 70%; por otra parte, las observaciones presentan una variabilidad moderada (24.74% de CV).

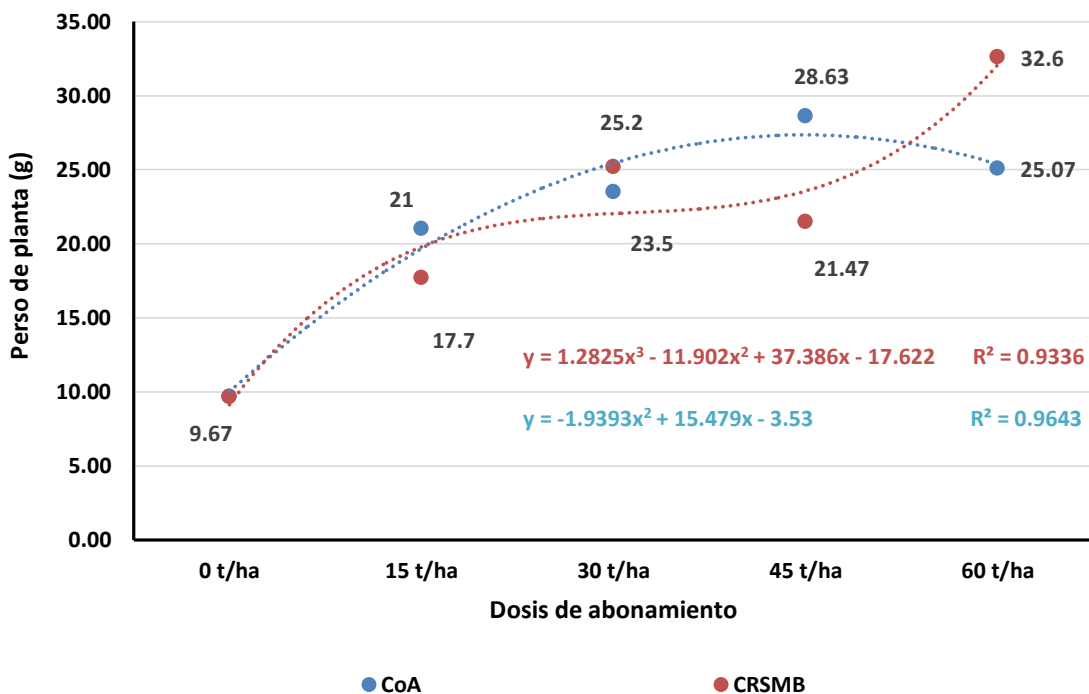
**Cuadro 23.** Análisis de variancia para el peso fresco y seco de la planta (g) en la etapa de cosecha, por efecto del tipo de compost y la dosis aplicada en el cultivo del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.).

Cosecha		Peso fresco			Peso seco		
Fuentes de Variación	GL	CM	p-valor		CM	p-valor	
<b>Modelo</b>	10	116.97	0.010	S	6.67	0.0274	S
Bloque	2	67.44	0.151	NS	5.04	0.1425	NS
Factorial	7	65.19	0.193	NS	3.19	0.4037	NS
Compost	1	0.57	0.906	NS	0.11	0.8498	NS
Dosis	3	91.16	0.116	NS	3.18	0.3767	NS
Compost x Dosis	3	60.76	0.244	NS	4.24	0.2595	NS
Factorial Vs Testigo	1	578.53	0.001	S	34.24	0.0013	S
<b>Error</b>	16	31.7			2.28		
<b>Total</b>	26						
<b>R2= 0.70</b>		<b>CV=24.74%</b>			<b>R2= 0.65</b>		<b>CV=25.97%</b>

NS: No existe diferencia significativa; S: Existe diferencia significativa

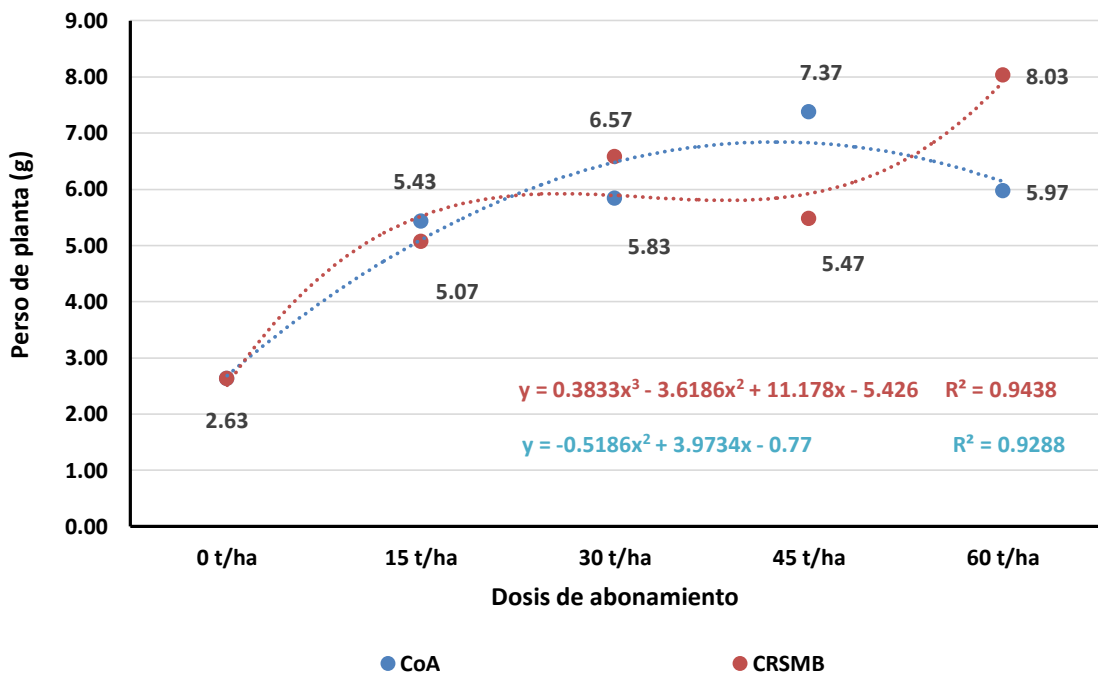
Con respecto al peso seco de la planta, el mismo cuadro muestra que los resultados coinciden en gran parte con los resultados en peso fresco. Del mismo modo resultó significativo ( $p < 0.05$ ) solo el contraste del factorial versus el testigo, lo que permite presumir una diferencia entre ellos. Los tratamientos del factorial incluyendo los efectos principales y simples resultaron no significativos ( $p > 0.05$ ). en cuanto al modelo presenta un ajuste del 65% ( $R^2 = 0.64$ ) y una variabilidad de las observaciones moderadamente homogénea (CV= 25.97%).

La Figura 15 describe la tendencia polinomial del peso fresco de la planta en la etapa de cosecha, como se observa, la tendencia es similar que en la etapa de cosecha. La tendencia en cuanto al aplicar el compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB), es creciente ( $R^2=93\%$ ) a mayores dosis, mientras que para el compost agrícola (CoA) tiende a ser decreciente ( $R^2= 96\%$ ), probablemente por la disponibilidad de nutrientes que como lo describe CABRERA (2004), donde por lo general el compost agrícola se descompone con relativa lentitud.



**Figura 15.** Promedio del peso fresco de planta (g) en la etapa de cosecha, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

La Figura 16, describe el peso seco de la planta en la etapa de cosecha, el cual por su mismo estado fisiológico el contenido de humedad se reduce (MANDUJANO, 2008). La tendencia polinomial para el compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) es ascendente a mayor dosis ( $R^2= 94\%$ ), mientras que para el compost agrícola (CoA) es decreciente a mayor dosis ( $R^2= 92\%$ ). Es importante recordar que no existe significancia por tipo de compost ni dosis de aplicación, y lo que se muestra es solo el comportamiento oscilante de los valores hallados.



**Figura 16.** Promedio del peso seco de planta (g) en la etapa de cosecha, por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

Se realizó la prueba de medias para el contraste entre los tratamientos del factorial versus el testigo al mostrar significancia tanto en el peso fresco y seco, mostrando el Cuadro 24 las diferencias entre ellas (25.40 y 9.67 g en peso fresco respectivamente y 6.22 y 2.63 g en peso seco respectivamente). El mayor peso tanto en fresco como en seco se obtiene en aquellas plantas que recibieron algún tipo de abono con alguna dosis de abonamiento, lo cual permite entender que el peso seco de la planta está influenciado por la presencia de abono orgánico, que presenta nutrientes básicos como N, P y K y elementos menores, como también una buena base de cationes cambiables, el cual a distintas dosis se logran pesos semejantes.

Estos resultados demuestran que la materia orgánica es la fracción químicamente más activa del suelo, almacena varios elementos esenciales para la planta (ADRA, 2002) y el suelo (ZAVALA, 2014), suministro de elementos nutritivos (BENITES Y FRIEDCHT, 2009) y aumento de la actividad microbiana (Baver, 1991, citado por MANAYAY, 2004).

**Cuadro 24.** Peso promedio fresco y seco por planta (g) en la etapa de cosecha, por efecto del contraste entre factorial versus testigo (promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	Peso promedio fresco por planta (g)			Peso promedio seco por planta (g)		
<b>Contrastes</b>						
Factorial	24.40	$\pm 1.41$	a	6.22	$\pm 0.35$	a
Testigo	9.67	$\pm 1.13$	b	2.63	$\pm 0.30$	b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.



El Cuadro 26 detalla la prueba de medias realizadas para el efecto principal Dosis, al no encontrar diferencias significativas entre el efecto principal de compost y las interacciones (efectos simples). Como puede observarse en el factor compost ambos niveles (compost de residuos sólidos municipal biodegradables y compost agrícola) de evaluación mostraron pesos estadísticamente similares (133.65 y 126.84 g respectivamente), esto permite entender que sea cual sea el tipo de compost utilizado se obtendrán resultados similares en cuanto al rendimiento de 100 semillas. En cambio, en el factor dosis de abonamiento, se observa una clara diferencia estadística entre los niveles evaluados, formándose dos grupos estadísticamente diferenciados. Los mayores pesos de 100 semillas se lograron en la aplicación de mayores dosis, es decir de 45, 60 y 30 t/ha<sup>-1</sup>, resultando similar rendimiento con la aplicación de 30 t/ha<sup>-1</sup>, o 60 t/ha<sup>-1</sup>. El segundo grupo, corresponde al menor rendimiento logrado (98.03 g) que equivale a la menor dosis de abonamiento (15 t/ha<sup>-1</sup>).

**Cuadro 26.** Peso promedio de 100 semillas (g) por efecto del tipo de compost y dosis de abonamiento (promedio ± error estándar).

Descripción	Peso 100 semillas (g)		
<b>Compost</b>			
CRSMB	133.65	± 11.23	a
CoA	126.84	± 10.09	a
<b>Dosis</b>			
45 t ha <sup>-1</sup>	154.85	± 8.21	a
60 t ha <sup>-1</sup>	143.92	± 10.60	a
30 t ha <sup>-1</sup>	124.18	± 15.38	a b
15 t ha <sup>-1</sup>	98.03	± 14.91	b
0 t ha <sup>-1</sup>	52.90	± 5.87	

CRSMB: compost de residuos sólidos municipal biodegradables; CoA: compost agrícola, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos hallados en diversos trabajos de investigación mencionado por MANDUJANO (2008) e INFOAGRO (2012). También hay que tomar en consideración la mejor respuesta del cultivo podría ser por la cantidad de nutrientes, pero también, podemos asumir que las condiciones edafoclimáticas hayan jugado un rol estrechamente influenciados en el desarrollo de la planta y en el llenado de grano.

Esto quiere decir que el compost orgánico es un mejorador del suelo y mejora el cultivo en cuanto a cantidad y calidad como asevera (ROMA *et al.*, 2013); si bien el cultivo con mayor dosis tiene mejores resultados, asumimos debido a mayores componentes de macro y micronutrientes que tiene este compost (Ver Cuadros 10 y 11) que visiblemente ha influenciado en los parámetros evaluados corroborado por (FAO, 2010).

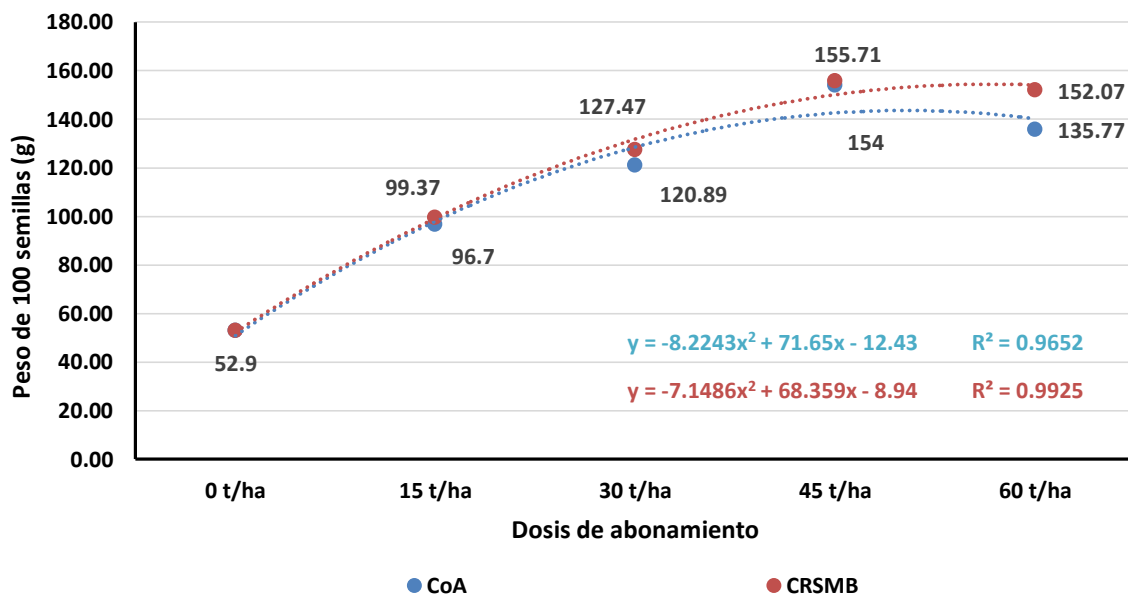
La prueba de medias realizadas para los contrastes entre los tratamientos del factorial versus el testigo se describen en el Cuadro 27. En ella se puede comprobar la alta diferencia significativa entre ambos grupos de tratamientos. Los tratamientos del factorial, aquellos que recibieron un tipo de compost y una dosis determinada de abonamiento, mostraron mayor rendimiento estadísticamente superior en las plantas testigos (sin abonamiento), por lo que se comprueba el efecto de la aplicación del abonamiento con algún tipo de compost. La diferencia es notoria entre el factorial versus el testigo (130.25 versus 52.90 g respectivamente).

**Cuadro 27.** Peso promedio de 100 semillas (g) entre los contrastes del factorial versus testigo (promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	Peso 100 semillas (g)		
<b>Contrastes</b>			
Factorial	130.25	$\pm 7.42$	a
Testigo	52.90	$\pm 5.87$	b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

La Figura 17 describe el comportamiento polinomial de ambos compost aplicados a distintas dosis de abonamiento. Se observa que ambos compost tienen el mismo comportamiento creciente a medida de la aplicación de mayor dosis y sus tendencias es decreciente a dosis mayores de 60 t/ha<sup>-1</sup>, con aproximaciones del 96 y 99 %.



**Figura 17.** Promedio de peso de 100 semillas (g), por dosis de abonamiento y tipo de compost: CoA (compost agrícola) y CRSMB (compost de residuos sólidos municipal biodegradables) y su tendencia polinomial.

La tendencia descrita por lo polinomios, pueda deberse a las leyes de Liebig, descrita por Voisin (1979), citado por MANAYAY (2004), quien señala que los rendimientos de las cosechas son proporcionales a la cantidad del elemento fertilizante que se encuentra al mínimo en el suelo en relación con las necesidades de la planta.

#### 4.3.2. Producción del frijol Chaucha (kg/ha<sup>-1</sup>)

El análisis de varianza para la producción de frijol Chaucha se detalla en el Cuadro 28. Se observa un modelo ajustado a un 68 % ( $R^2 = 0.68$ ), con una alta heterogeneidad entre las observaciones ( $CV = 34.60\%$ ), permiten mostrar la significancia ( $p < 0.05$ ) de solo el factor principal de dosis, asimismo, el contraste de los tratamientos del factorial versus el testigo.

**Cuadro 28.** Análisis de variancia para la producción (kg/ha) por efecto del tipo de compost y dosis aplicada en el cultivo del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.).

Fuentes de Variación	GL	CM	p-valor	
<b>Modelo</b>	10	632908.20	0.0157	S
Bloque	2	683623.08	0.0510	NS
Factorial	7	426713.44	0.2198	NS
Compost	1	4446.39	0.8810	NS
Dosis	3	874221.70	0.0170	S
Compost x Dosis	3	119960.87	0.6060	NS
Factorial Vs Testigo	1	1974841.77	0.0053	S
<b>Error</b>	16	189701.23		
<b>Total</b>	26			

**R<sup>2</sup> = 0.68**

**CV = 34.60%**

NS: No existe diferencia significativa; S: Existe diferencia significativa

Los otros niveles de las fuentes de variación, como el factor principal compost y la interacción, no resultaron significativos ( $p > 0.05$ ). Con ello, nos da a entender que el rendimiento no está sujeto al tipo de compost a utilizarse, sino que dependerá de la dosis de abonamiento. Químicamente la producción está sujeta a la proporcionalidad que se apliquen los abonos.

El Cuadro 29, detalla la prueba de medias realizada tanto para el tipo de compost, como para la dosis de abonamiento, analizada independientemente. Como puede observarse, se han formado dos grupos estadísticamente diferenciados, el primero correspondiendo a la dosis de 60 t ha<sup>-1</sup> la que presenta una mayor producción (1,894 kg ha<sup>-1</sup>). El resto de las dosis aplicadas, se comportan estadísticamente similares, es decir que la aplicación de la dosis de 15, 30 y 45 t ha<sup>-1</sup>, tienen una producción estadísticamente similar.

**Cuadro 29.** Producción promedio (t ha<sup>-1</sup>) de frijol Chaucha por efecto del tipo de compost y dosis de abonamiento (promedio  $\pm$  error estándar).

Descripción	Producción (kg ha <sup>-1</sup> )		
<b>Compost</b>			
CRSMB	1,340.84	$\pm 196.73$	a
CoA	1,368.07	$\pm 131.14$	a
<b>Dosis</b>			
60 t ha <sup>-1</sup>	1,894.37	$\pm 295.52$	a
45 t ha <sup>-1</sup>	1,351.31	$\pm 80.79$	ab
30 t ha <sup>-1</sup>	1,113.80	$\pm 114.66$	b
15 t ha <sup>-1</sup>	1,058.34	$\pm 227.32$	b
0 t ha <sup>-1</sup>	493.89	$\pm 32.59$	

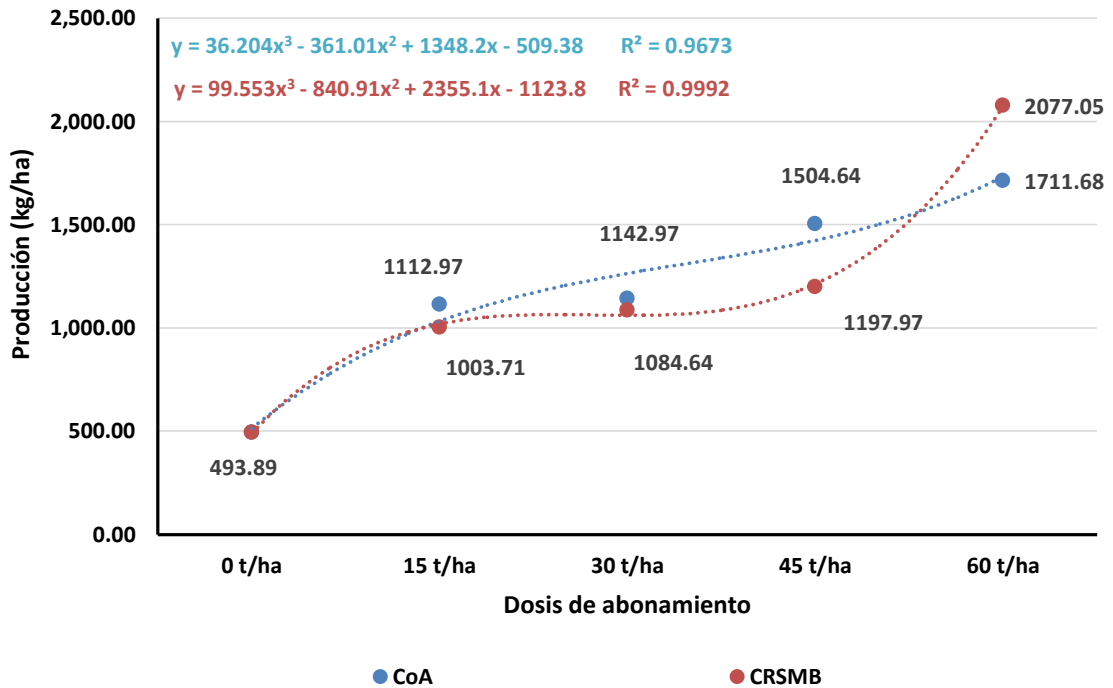
CRSMB: compost de residuos sólidos municipal biodegradables; CoA: compost agrícola, Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

La producción ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) del frijol Chaucha a la aplicación de los compost se puede apreciar, a medida que se incrementa el nivel de aplicación también aumenta la producción; con resultados superiores a CABRERA (2004) y (ZAVALA, 2014) que obtuvieron rendimientos de  $1,346.76 \text{ kg/ha}^{-1}$  y  $490.50 \text{ kg/ha}^{-1}$  respectivamente; probablemente los resultados haya sido influenciados por la calidad y cantidad de nutrientes que han mejorado los suelos (Ver Cuadros 10 y 11) corroborado por JULCA *et al.* (2006) y CUEVAS *et al.* (2006), quienes realizando una buena clasificación de los compost que influyó en los rendimientos como afirman (IICA (2009), PRAVIA y MGA (2012) y BUSTAMANTE (2014).

En la Figura 18 se describe la producción de frijol Chaucha ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) por efecto de los tipos de abono en distintas dosis de evaluación. Se observa que las tendencias polinomiales son en ambos casos crecientes con un ajuste del 96 y 99%. Resultando superior indudablemente con el uso del compost de residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB) a comparación del compost agrícola (CoA) a una dosis de  $60 \text{ t ha}^{-1}$ . Aunque no existen diferencias significativas entre ellas, se muestra la tendencia de cada promedio.

Asimismo, cuando analizamos el comportamiento productivo del compost de residuos sólidos municipales biodegradables (CRSMB) se observa un crecimiento sostenido al incremento de las dosis, mostrando un incremento mayor al pasar de  $45 \text{ t/ha}^{-1}$  a  $60 \text{ t/ha}^{-1}$  (de  $1,198$  a  $2077 \text{ kg/ha}^{-1}$

respectivamente). La mayor disponibilidad de nutrientes (ver Cuadro 11) mejora la producción.



**Figura 18.** Producción de frijol Chaucha ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) por efecto de tipos de abono y dosis de aplicación (COA: compost agrícola; CRSMB: compost de residuo sólido municipal biodegradable) y su tendencia polinomial.

El compost agrícola, presenta el mismo comportamiento ascendente, pero de forma moderada. Al compararse los dos compost en las dosis de 45 y 60  $\text{t/ha}^{-1}$ , se observa un crecimiento invertido, por cuanto a 45  $\text{t/ha}^{-1}$ , la producción con el uso de compost agrícola es mayor que con el compost de residuos sólidos municipal biodegradable (1505  $\text{kg/ha}^{-1}$  versus 1198  $\text{kg/ha}^{-1}$  respectivamente); sin embargo, al utilizarse una dosis de 60  $\text{t/ha}^{-1}$ ,

la producción se invierte a favor del compost de residuos sólidos municipal biodegradable (CoA= 1712 kg/ha<sup>-1</sup>; CRSMB= 2077 kg/ha<sup>-1</sup>). Esta variación, se debe a que a una mayor dosis (60 t/ha<sup>-1</sup>), la disponibilidad de nutrientes es mucho es mayor en el compost de residuos sólidos municipal biodegradable que en el compost agrícola, tal como lo sostiene LABRADOR *et al.* (2006).

El análisis de los contrastes también permite entender que la aplicación de cualquiera de los compost a utilizarse, logran una diferencia (cerca del 270 %) en cuanto a la producción de frijol Chaucha. El Cuadro 30 muestra la comparación estadística de la producción entre el factorial versus el testigo. Como se observa existe una clara diferencia estadística, a favor de aquellas plantas que recibieron algún tipo de compost en algún nivel de abonamiento, versus aquellas que no recibieron (1,354 y 493 kg/ha<sup>-1</sup> respectivamente). Con ello podemos confirmar el efecto positivo del uso de compost orgánico para la producción de frijol.

**Cuadro 30.** Producción promedio (kg ha<sup>-1</sup>) de frijol Chaucha entre los tratamientos del factorial versus testigo (promedio ± error estándar).

Descripción	Producción (kg ha <sup>-1</sup> )		
<b>Contrastes</b>			
Factorial	1,354.45	± 115.65	a
Testigo	493.89	± 32.59	b

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas según prueba de Duncan a un 5% de nivel de significancia.

Por ello, el compost es uno de los mejores abonos orgánicos ya que permite mantener la fertilidad de los suelos con excelentes resultados en el rendimiento de los cultivos (LABRADOR *et al.*, 2006). El compost no solo presenta aportes altos de nutrientes para la planta según su composición química, sino que incide positivamente sobre la actividad microbiana del suelo, influye indirectamente sobre los ciclos de movilización y ayuda a disminuir la inmovilización de macro elementos, minerales como el fósforo, azufre, nitrógeno, calcio, potasio aumentando la mineralización del suelo y reduciendo la inmovilización de nutrientes presentada en el frijol como condiciones normales de cultivo (HIRZEL Y RODRÍGUEZ, 2004)

#### **4.3.3. Análisis de correlación y regresión lineal múltiple con respecto a la producción ( $\text{kg/ha}^{-1}$ )**

El rendimiento del frijol Chaucha, expresado como producción ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), puede estar influenciada por las variables agronómicas realizadas. Para tal efecto se realizó en un principio, un análisis de correlación de Pearson al 5 % de nivel de significancia, el cual se muestra en el Cuadro 31.

**Cuadro 31.** Análisis de correlación entre la producción (kg/ha<sup>-1</sup>) con las variables de evaluación.

	<b>Variables</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	<b>p-valor</b>	
<b>Producción (kg/ha)</b>	Altura de planta quinta evaluación	0.70	0.0001	AS
	Volumen radicular en floración	0.46	0.0156	S
	Volumen radicular en cosecha	0.30	0.1324	NS
	Nódulos en floración	0.51	0.0064	S
	Nódulos en cosecha	0.44	0.0205	S
	Peso fresco de planta	0.65	0.0003	S
	Peso seco de planta	0.24	0.2369	NS
	Rendimiento 100 semillas	0.76	<0.0001	AS

NS: No existe correlación; S: Existe correlación significativa; AS: Existe correlación altamente significativa

Como puede observarse cuando se realiza el análisis de correlación de la variable producción (kg/ha<sup>-1</sup>) versus el resto de variables, encontramos significancia ( $p < 0.05$ ), es decir alguna dependencia o influencia de las variables altura de planta, volumen radicular en floración, número de nódulos en floración, número de nódulos en cosecha, peso fresco de planta y rendimiento de 100 semillas sobre la producción. Este análisis es de forma independiente.

Entender la Producción de frijol Chaucha (kg/ha<sup>-1</sup>) a partir de otras variables es de interés agronómico, por ello se realizó una regresión lineal múltiple considerando como variable dependiente la producción (kg/ha<sup>-1</sup>) y como variables regresoras las variables evaluadas que presentaron una mayor significancia. Las variables que resultaron significativas (ver Cuadro 31), fueron consideradas, sin embargo, la variable número de nódulos en la etapa de cosecha, a pesar de resultar significativo no fue considerada por presentar el

menor valor de correlación según el coeficiente de Pearson (0.44).

El Cuadro 32 muestra los coeficientes de regresión realizados para la variable dependiente Producción (kg/ha<sup>-1</sup>). El modelo presenta como regresoras: Número de nódulos en la etapa de floración, volumen radicular en la etapa de floración, peso fresco de planta, rendimiento de 100 semillas, altura quinta evaluación y la variable altura expresada al cuadrado, por presentar tendencia cuadrática. Como se observa, la variable rendimiento de 100 semillas resulta altamente significativo indicando con ello que la estimación de la producción (kg/ha<sup>-1</sup>) está más influenciada por el rendimiento; el resto de variables resultaron significativas presentando un ajuste del modelo con un 86 % (R<sup>2</sup>=0.86).

**Cuadro 32.** Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para la variable dependiente Producción (kg ha<sup>-1</sup>) y las variables regresoras.

Coeficientes	Estimación	Error estándar	Intervalos de confianza al 95%		p-valor	
			LI	LS		
Constante	5778.68	1740.14	2148.82	9408.55	0.0034	S
Nódulos-Flor	0.65	0.26	0.10	1.20	0.0221	S
Volumen raíz-flor	-148.01	47.27	-246.63	-49.40	0.0053	S
Peso fresco	31.70	9.46	11.97	51.44	0.0032	S
Rendimiento 100 S	11.72	2.05	7.45	15.99	<0.0001	AS
Altura-5	-255.10	75.45	-412.49	-97.71	0.0030	S
(Altura-5) <sup>2</sup>	2.63	0.77	1.02	4.23	0.0027	S

**R<sup>2</sup> = 0.86**

S: Existe correlación significativa; AS: Existe correlación altamente significativa

De acuerdo a ello la variable producción ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ) puede ser predicha a través de la siguiente ecuación predictora:

$$\text{Producción (kg ha}^{-1}\text{)} = 5778.68 + \text{NF (0.65)} - \text{VRF (148.01)} + \text{PF (31.70)} + \text{R100S (11.72)} - \text{A5 (255.10)} + (\text{A5})^2(2.63)$$

Dónde:

Producción ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ) = Es la producción estimada de frijol Chaucha en  $\text{kg ha}^{-1}$

NF = Número de nódulos en la etapa de floración (N°)

VRF = Volumen de raíz en etapa de floración ( $\text{cm}^3$ )

PF = Peso fresco de planta (g)

R100S=Rendimiento de 100 semillas (g)

A5 = Altura de planta en la quinta evaluación (cm)

$(\text{A5})^2$  = Altura de planta en la quinta evaluación elevada al cuadrado (cm)

Es necesario considerar que la producción ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ), puede ser predicha por las variables regresoras en un 86 % de efectividad, sin embargo, para ello, las variables regresoras deben estar ajustadas a un rango de valores permisibles con límite inferior y límite superior, el cual lo describe el Cuadro 33.

**Cuadro 33.** Rango de valores permisibles para las variables regresoras, que se ajustan al modelo de regresión lineal múltiple ( $R^2=0.86$ ).

Variables regresoras	Rango de valores	
	LI	LS
Número de nódulos en la etapa de floración (n°)	1	818
Volumen radicular en la etapa de floración (cm <sup>3</sup> )	2.22	9.94
Peso fresco de planta (gr)	4.00	38.80
Rendimiento 100 semillas (gr)	46.30	189.72
Altura en la quinta evaluación (cm)	31.50	59.33

LI= límite inferior; LS= límite superior

#### 4.3.4. Relación beneficio costo

El análisis de relación beneficio costo resulta negativo si se pretende evaluar en una sola cosecha, por el costo de los compost comerciales, que están entre 300 y 400 soles la tonelada de compost de residuos sólidos municipal biodegradables y el compost agrícola respectivamente. Por ello se considera que la aplicación de hasta 60 t/ha<sup>-1</sup> de compost puede ser aprovechado hasta en unos seis cultivos. La degradabilidad de la materia orgánica dependerá de las condiciones climáticas y de las cadenas de detritos del suelo que aseguren una mineralización completa, esta mineralización, dependerá como dicen CUEVAS *et al.* (2006) de factores climáticos que permitirán liberar los nutrientes para el cultivo, mejorando las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo a favor del cultivo. Bajo esta premisa, se considera el costo del abonamiento puede ser fraccionado hasta en seis cultivos. Es decir, se puede aprovechar el abonamiento en seis siembras continuas. Bajo este esquema, el Cuadro 34, muestra el costo fraccionado por tratamiento. Según este cuadro el costo por abonamiento de

hasta en 60 t ha<sup>-1</sup> en los tratamientos T<sub>7</sub> y T<sub>8</sub>, llegan a S/. 24,000.00 soles y S/. 18,000.00 respectivamente.

**Cuadro 34.** Costo fraccionado hasta por seis cultivos de frijol Chaucha por tratamiento.

	Tratamiento		Costo por abonamiento (S/.)	Costo fraccionado (6 cosechas) (S/.)
	Compost	Dosis t ha <sup>-1</sup>		
T <sub>0</sub>	-	-	-	-
T <sub>1</sub>	CoA	15	6,000	1,000
T <sub>2</sub>	CRSMB	15	4,500	750
T <sub>3</sub>	CoA	30	12,000	2,000
T <sub>4</sub>	CRSMB	30	9,000	1,500
T <sub>5</sub>	CoA	45	18,000	3,000
T <sub>6</sub>	CRSMB	45	13,500	2,250
T <sub>7</sub>	CoA	60	24,000	4,000
T <sub>8</sub>	CRSMB	60	18,000	3,000
	Compost		Costo: t (S/.)	
	CoA	400		
	CRSMB	300		

CRSMB: compost de residuos sólidos municipal biodegradables. CoA: compost agrícola

Estos costos no podrían ser compensados en una sola cosecha de frijol, por ello se opta en el fraccionamiento en seis cosechas, en la que ambos compost permiten mantener la materia orgánica dentro del ciclo natural como mejorador de suelos y lo más importante mejora los cultivos en cantidad y calidad como afirma PRAVIA y MGA (2012). El Cuadro 35 muestra el análisis del rendimiento económico fraccionado para seis siembras de frijol Chaucha. Cabe resaltar si bien la producción es alta en los tratamientos con mayor dosis de abonamiento, pero nuestros ingresos económicos y el beneficio costo (B/C) son menores a comparación con los tratamientos que reciben menor dosis de abonamiento (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>). El T<sub>0</sub> (testigo) es el que tuvo una utilidad neta de S/.

973.40 y un índice de rentabilidad de 1.14, y un beneficio costo de 2.14 es decir que por cada sol invertido se obtiene 1.14 soles de utilidad, por la misma razón que en este tratamiento no hubo ninguna inversión en abonos, cabe indicar que estos resultados de la primera cosecha son similares a lo obtenido por CABRERA (2004), que halló una relación beneficio/costo en regresión negativa.

Con este fraccionamiento se permite determinar beneficios positivos para todos los tratamientos, sin embargo, los mejores índices de rentabilidad se obtienen de los tratamientos  $T_2$  y  $T_1$  (1.32 y 1.22), encontrándose que la aplicación del compost de residuos sólidos municipales biodegradables a una dosis de  $15 \text{ t/ha}^{-1}$ , permite obtener mayor beneficio económico. ZAVALA (2014), encuentra similares relación beneficio costo a dosis de abonamiento de  $20 \text{ t/ha}^{-1}$  de gallinaza. Por otra parte, TUESTA (2003), halló una relación B/C de 1.80 y 1.61, siendo estos resultados recomendado por GIL (2009), quien asegura que una relación  $B/C > 1$ , supera la inversión porque nos indica que es la ganancia por cada sol invertido.

**Cuadro 35.** Análisis del rendimiento económico de los diferentes tratamientos en estudio del frijol Chaucha por hectárea, bajo el esquema de fraccionamiento del costo de abonamiento.

Tratamientos	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>
<b>Ingresos</b>	Testigo	COA (15 t/ha)	CRSMB (15 t/ha)	COA (30 t/ha)	CRSMB (30 t/ha)	COA (45 t/ha)	CRSMB (45 t/ha)	COA (60 t/ha)	CRSMB (60 t/ha)
Rendimiento kg/ha	493.89	1112.97	1003.71	1142.97	1084.64	1504.64	1197.97	1711.68	2077.05
Precio ( S/)	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
<b>Total ingresos</b>	<b>1,827.40</b>	<b>4,118.00</b>	<b>3,713.73</b>	<b>4,229.00</b>	4,013.16	<b>5,567.17</b>	<b>4,432.50</b>	<b>6,333.22</b>	<b>7,685.09</b>
<b>Egresos</b>									
A. Preparación de terreno	400	400	400	400	400	400	400	400	400
B. Labores culturales	120	120	120	120	120	120	120	120	120
C. Abono (fraccionado 6 siembras)	0	1000	750	2000	1500	3000	2250	4000	3000
D. semilla	144	144	144	144	144	144	144	144	144
E. Cosecha	150	150	150	150	150	150	150	150	150
F. otros	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>Total costos</b>	<b>854</b>	<b>1,854</b>	<b>1,604</b>	<b>2,854</b>	<b>2,354</b>	<b>3,854</b>	<b>3,104</b>	<b>4,854</b>	<b>3,854</b>
<b>Utilidad neta (total ingreso – total costo)</b>	973.40	2,264.00	2,109.73	1,375.00	1,659.16	1,713.17	1,328.50	1,479.22	3,831.09
<b>Índice de rentabilidad</b>	1.14	1.22	1.32	0.48	0.70	0.44	0.43	0.30	0.99
<b>Beneficio costo (B/C)</b>	2.14	2.22	2.32	1.48	1.70	1.44	1.43	1.30	1.99

Fuente: Elaboración propia; CRSMB: *compost de residuos sólidos municipal biodegradables*. CoA: *compost agrícola*

## V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de compost agrícola y de residuos sólidos municipales biodegradables influyen en el incremento de la producción, rendimiento, y rentabilidad del cultivo de frijol Chaucha (*P. vulgaris*); asimismo, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
2. La aplicación del compost agrícola y de residuos sólidos municipal biodegradables mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; tal como la densidad del suelo, macronutrientes del suelo, color del suelo, la biodiversidad del suelo. Esta mejora está en función de la dosis empleada, es decir, mayor mejora a mayores dosis de abonamiento.
3. La aplicación del compost agrícola y de residuos sólidos municipal biodegradables influyen sobre el rendimiento y producción del frijol conforme se incrementa la dosis; sin embargo, el mayor índice de rentabilidad se logra con los tratamientos de compost de residuos sólidos municipal biodegradables y el compost agrícola en dosis de 15 t ha<sup>-1</sup> (T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>).

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Reportar resultados a la municipalidad y promover su aprovechamiento eficiente de sus potencialidades de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) haciendo una buena clasificación, evitando en lo posible contaminantes tóxicos.
2. Realizar trabajos similares, pero con niveles muchos más altos especialmente de los residuos sólidos biodegradables municipal (CRSMB).
3. Realizar otras investigaciones con diferentes niveles del compost agrícola (CoA) y de residuos sólidos municipal biodegradable (CRSMB) pero en otros cultivos.

## VII. RESUMEN

El trabajo se realizó en la localidad de Bajo Afilador, kilómetro 2 de la carretera Tingo María - Huánuco, en el sector Las Lomas, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, con el objetivo de evaluar el efecto del compost agrícola (CoA) y del compost de residuos sólidos municipales biodegradables (CRSMB) en la producción o rendimiento del cultivo del frijol Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.) en un suelo Dystropepts de Tingo María. En el trabajo se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar con arreglo factorial 2 x 4 con 3 repeticiones y un testigo adicional y para la comparación se utilizó la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ). Se concluyó que la aplicación de compost agrícola y de residuos sólidos municipales biodegradables influyen en el incremento de la producción, rendimiento, y rentabilidad del cultivo de frijol Chaucha; asimismo, mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; tal como la densidad del suelo, macronutrientes del suelo, color del suelo, la biodiversidad del suelo. Esta mejora está en función de la dosis empleada, es decir, mayor mejora a mayores dosis de abonamiento. La aplicación del compost agrícola y de residuos sólidos municipales biodegradables influyen sobre el rendimiento y producción del frijol conforme se incrementa la dosis; sin embargo, el mayor índice de rentabilidad se logra con los tratamientos de compost de residuos sólidos municipales biodegradables y el compost agrícola en dosis de 15 t ha<sup>-1</sup> (T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>).

## VIII. ABSTRACT

The work was carried out in Bajo Afilador, kilometer 2 of the Tingo María - Huánuco highway, in the Las Lomas sector, district of Rupa Rupa, province of Leoncio Prado, department of Huánuco, with the objective of evaluating the effect of agricultural compost (CoA) and the compost of municipal solid waste biodegradable (CRSMB) in the production or yield of the bean cultivation Chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.) in soil Dystropepts of Tingo María. In the work the Design of Blocks Completely Random was used with factorial arrangement 2 x 4 with 3 repetitions and an additional witness and for the comparison the Duncan test was used. ( $\alpha = 0.05$ ). It was concluded that the application of agricultural compost and biodegradable municipal solid waste influence the increase in production, performance, and profitability bean cultivation Chaucha; also, they improve the physical, chemical and biological properties of the soil; such as soil density, soil macronutrients, soil color, soil biodiversity. This improvement is a function of the dose used, that is, greater improvement at higher doses of fertilizer. The application of agricultural compost and municipal solid waste biodegradables influence the yield and production of beans as the dose is increased; however, the highest rate of profitability is achieved with the compost treatments of municipal solid waste biodegradable and agricultural compost in doses of 15 t ha<sup>-1</sup> (T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>).

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADELUSI, A; OLOGUNDUDU, A; ADEKOYA, K. 2013. Effect of Light Stress on Germination and Growth Parameters of *Corchorus olitorius*, *Celosia argentea*, *Amaranthus cruentus*, *Abelmoschus esculentus* and *Delonix regia*, *Notulae Scientia Biologicae*, 5(4): 468 - 475.
2. ADEX (Asociación de Exportadores del Perú). 2001. Boletín técnico. Programa de menestras campaña 2001. Tingo María, Perú. 11 p.
3. ADRA (Agencia Adventista de Desarrollo y Recursos Asistenciales). 2002. Cultivo de frijol "Chaucha". Boletín Técnico. Huánuco, Perú. 50 p.
4. ALLOWAY, B.J. 1995. Soil processes and the behavior of metals. In: Alloway B.J. Editor, Heavy metals in soils. London: Blackie. Pp. 38-57.
5. BENÍTES, J.; FRIEDRICH, T. 2009. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO. Portal. [En línea]: <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/329722/> (Consultado el 25 julio del 2017).
6. BERNIER, R; ALFARO, M. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. Ingenieros agrónomos. Instituto de investigaciones agropecuarias. Osorno, Chile. Boletín INIA (151). 46 p.
7. BIBLIOTECA EL CAMPO. 2002. Manual agropecuario. Limerin. Bogotá, Colombia. 528 p.
8. BROQUEN, P.; FALBO, G.; FRUGONI, C.; GIRARDIN, J.L.; GUIDO, M. MARTINESE, P. 2000. Estructura y porosidad en andisoles con vegetación natural y con plantaciones de *Pinus ponderosa* Dougl. en

el sudoeste de Neuquén, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 21(1): 25-36.

[En línea]: <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v21n1/art03.pdf>

(Consultado el 12 de diciembre de 2017).

9. BUSTAMANTE, Y. 2014. Sánchez Gestión de residuos sólidos biodegradables para el logro de la ecoeficiencia en la Universidad. *Gestión en el Tercer Milenio, Rev. de Investigación de la Fac. de Ciencias Administrativas, UNMSM*. 17-II (34): 73 - 79. [En línea]: <file:///C:/Users/User/Downloads/11696-40807-1-PB.pdf> (Consultado 12 de diciembre de 2017).
10. CATIE. 2013. El suelo y sus habitantes en los cacaotales de Centroamérica. Proyecto cacao. Panamá. Macrofauna. [En línea]: <http://www.cipav.org.co/pdf/red%20de%20agroforesteria> (Consultado el 17 de julio de 2017).
11. CABRERA, C. 2004. Efecto de seis densidades de siembra en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis para obtener el título de Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 78 p.
12. CABRERA, G.; ROBAINA, N.; PONCE DE LEÓN, D. 2011. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y forrajes*, 34(3): 313-330.
13. CAMPOS, I. 2010. La macrofauna del suelo como indicador biológico en diferentes usos de suelos agrícolas en el Caserío Los Milagros - Aucayacu. Tesis para obtener el título de Ing. en Recursos Naturales

Renovables, Mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 82 p.

14. CHEN, Z. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. Concentración de suelos. [En línea]: <http://www.fftc.agnet.org>. (Consultado el 15 febrero de 2017).
15. CUEVAS, J.; SEGUEL, O.; ELLIES, A.; DORNER, J. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. Suelo Nutr. Veg., 6(29): 1 - 12. [En línea]: <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v6n2/art01.pdf>. (Consultado 12 de diciembre de 2017).
16. DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental. 2006. Gestión de los residuos peligrosos en el Perú. Manual Técnico (1) 75 p.
17. DOMÍNGUEZ, J.; AIRA, M. y GÓMEZ, M. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Vigo, España. Ecosistemas 18 (2): 20 - 31.
18. DRAL (Dirección Regional de Agricultura de la Libertad). 2013. Cultivo del frijol. Boletín Informativo "Voz agraria". Gerencia Regional de Agricultura Agencia Agraria Trujillo. VIII (06). [En línea]: [http://www.Agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/VOZAGRARIA%20N%C2%AA%2006-2013\\_%20CULTIVO%20DE%20FRIJOL.pdf](http://www.Agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/VOZAGRARIA%20N%C2%AA%2006-2013_%20CULTIVO%20DE%20FRIJOL.pdf) (Consultado el 17 de noviembre de 2016).
19. DRAP (Dirección Regional de Agricultura de Piura). 2012. Manual de cultivo de frijol caupí. Asociación de productores agropecuarios del distrito de Morropón. 26 p. [En línea]: <http://www.swisscontact.org/>

- fileadmin/ user\_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf (Consultado el 17 de noviembre de 2016).
20. ECOPLEXITY. 2009. El pH del Suelo. Portal. Consultado 10 abril 2017. [En línea]: <http://ecoplexity.org/node/593> (Consultado el 17 de noviembre de 2016).
21. ENCARTA. 2009. Química del suelo. Humus. Fertilizantes. Acondicionamiento del Suelo. Biblioteca de Consulta. Microsoft® 2009. Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos. [En línea]: <http://tomys.com.ar/?Encar1Link> (Consultado 15 de septiembre de 2016).
22. ESPINOZA, E. 2009. Evaluación de 16 genotipos seleccionados en dos densidades de siembra de frijol canario cv. Centenario (*P. vulgaris* L.) por su calidad y rendimiento en condiciones de costa central. Tesis para optar el grado de: Magíster Scientiae, Especialidad de Producción Agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 179 p.
23. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010. El frijol. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Asociación Internacional de la industria de los fertilizantes. 135 p.
24. FERRERAS, L.; TORESANI, S.; BONEL, B.; FERNÁNDEZ, E.; BACIGALUPPO, S.; FAGGIOLI, V.; BELTRÁN, C. 2009. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del suelo*, 27(1): 103 - 114. [En línea]:

[http:// www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672009000100011](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672009000100011) (Consultado el 13 de diciembre de 2017).

25. GARCÍA, M. 2012. Partes de la semilla de la Planta del frijol y sus funciones. Revista para el hogar. [En línea]: <http://www.ehowenespanol.com/> (Consultado el 23 de enero de 2017).
26. GARCÍA, H.; TORO, Z. 2000. Fundamentos del manejo de los residuos urbanos. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España 756 p.
27. GARRIGUEZ, T. 2003. Manual para la Gestión de los Residuos Urbanos.El consultor de los ayuntamientos y de los juzgados. Ecoiuris. Madrid. 909 p.
28. GIL, K. 2009. Costo de instalación de un sistema agroforestal en la localidad de Bella Alta, Dámaso Beraun, Huánuco. Práctica pre profesional. Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María, Perú. 45 p.
29. GONZÁLES, F; MARTÍNEZ, O; CARBALLO, L; ARTEAGA, Y. 2006. Energía y desarrollo sostenible. Política. La Habana, Cuba. 96 p.
30. HERNÁNDEZ, V; VARGAS, L; MURUAGA, J; HERNÁNDEZ, S; MAYEK, N. 2013. Origen, domesticación y diversificación del frijol común. Avances y perspectivas. Revista Fitotec. México. 36(2): 95 - 104.
31. HERNÁNDEZ, J.; ANGELES, C.; OCHOA, M.; MORLE, A. 2010. Determinación de la densidad aparente. Facultad de Ciencias Biológicas. Práctica de laboratorio. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 20 p.

32. HERRERA, M. 2011. Contaminación con cadmio en suelos agrícolas. Trabajo de investigación del Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 134 p.
33. HIRZEL, J.; RODRÍGUEZ, N. 2004. ¿Cómo y cuánto contribuye el compost a la fertilización de un huerto orgánico? Edit. INIA. 45 p.
34. HUERTA y JARDINERÍA. 2012. Compost. [En línea]: <https://huertayjardineriaa.blogspot.pe/2014/> (Consultado el 22 agosto de 2017).
35. IBARRA, A. 2005. La densidad aparente en suelos agrícolas. [En línea]: <http://araucarias.blogspot.pe/2005/09/densidad-aparente.html> (Consultado el 7 mayo de 2017).
36. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 2009. Guía técnica para el cultivo del frijol. Experiencia de productores ASOPROL. Santa Lucía, Boaco, Nicaragua. 28 p.
37. INFOAGRO. 2009. Importancia de los Microorganismos del Suelo. Portal. Consultado 4 abril 2017. [En línea]: <http://www.infoagro.com/hortalizas/microorganismosbeneficiososcultivos.htm>. (Consultado el 7 mayo de 2017).
38. INFOAGRO. 2012. El cultivo de la judía, habichuela o frijol (Parte I) Información patrocinada por AGRI-NOVA Science. Productos para Agricultura. [En línea]: <http://www.agri-nova.com/>. (Consultado el 19 julio de 2017).
39. JARA, J. 2004. Evaluación de seis densidades de siembra en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Chaucha en un suelo ácido de Tingo María. Tesis para optar el grado de Ingeniero

Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 72 p.

40. JULCA, A.; MENESES, L.; BLAS, R.; BELLO, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia* (Arica). 24(1): 49-61. [En línea]: <http://www.scielo.cl/pdf/idesia/v24n1/art09.pdf> (Consultado 12 de diciembre de 2017).
41. LABRADOR, J; GONZÁLES, J; PORCUNA, J; REYES, L. 2006. Regulación y criterios para el uso de fertilizantes orgánicos y enmiendas en agricultura urbana, *Rev. SEAE*. Zaragoza. Pp. 23 - 30.
42. LINARES, D. 2007. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso en el Parque Nacional Tingo María. Tesis para obtener el título de Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 49 p.
43. MANARA, A. 2012. Plants and heavy metal. Reviews the state of the art advances in the field of plants' response to heavy metals. Furini, Antonella (Ed.). *SpringerBriefs in Biometals*. Pp. 27-53
44. MANAYAY, J. 2004. Fuentes y niveles de material orgánico en el rendimiento de col china (*Brassica sinensis* L.) variedad Chinense Bock en Tingo María. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú. 193 p.
45. MANDUJANO, B. 2008. Evaluación de nueve densidades de siembra en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Chaucha en

- Tingo María. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú. 63 p.
46. MINAG Ministerio de agricultura del Perú. 2004. Producción de frijol en el Perú. [En línea]: <http://minag.gob.pe>. (Consultado el 20 mayo de 2017).
47. MEJÍA, C. 2011. Metales pesados en suelos y plantas: contaminación y fitotoxicidad. Facultad de Bromatología y Nutrición. Oficina Central de Investigación – OFCI. Universidad Nacional Faustino Sánchez Carrión. 78 p.
48. MOSQUERA, B. 2010. Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Manual para elaborar y aplicar abonos orgánicos. Ediciones USAID. Ecuador. 12 p.
49. MORALES J.; SARMIENTO, L. 2002. Dinámica de los macro invertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el Páramo Venezolano. *Ecotrópicos*, Venezuela. 15(1): 99-110.
50. MOREIRA, F. 2007. Manual de biología de suelos tropicales. Capítulo VI. Bacterias formadoras de nódulos en leguminosas. 216 p.
51. NAVARRETE, A.; VELA, G.; LÓPEZ, J. y RODRIGUEZ, L. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Utilidad de indicadores de la calidad y fertilidad del suelo en México. [En línea]: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>. (Consultado el 12 de abril de 2017).

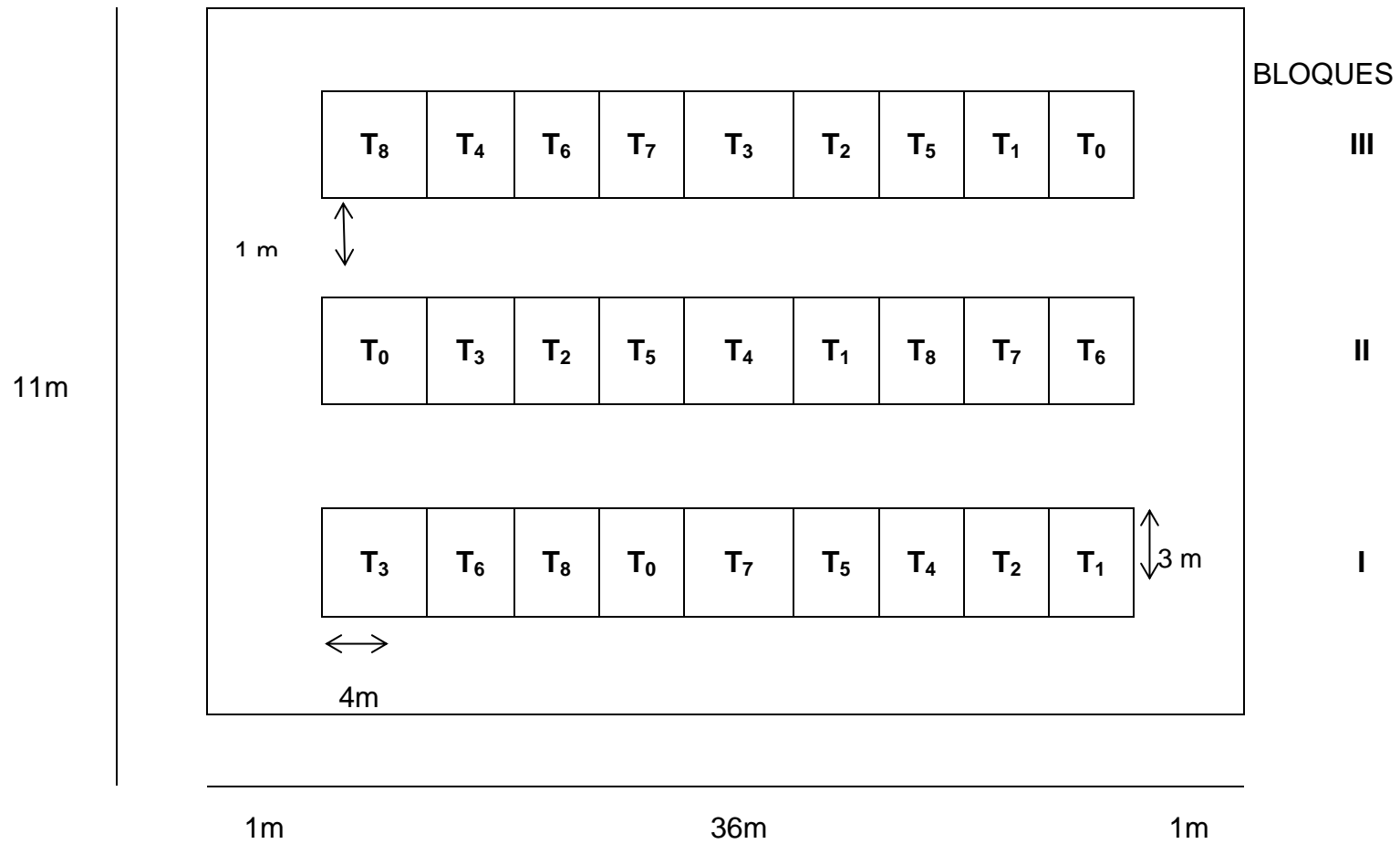
52. NUÑEZ, C. 2011. Efecto de dos cepas de *Rhizobium* sp. y microorganismos efectivos en el rendimiento de grano seco de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar canario centenario en la costa central. Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 91 p.
53. OCHOA, I. 2009. Curso de compostaje en la UAM. Universidad Autónoma de Madrid. 95 p.
54. ORTIZ, A. 2010. Evaluación del efecto de tres fertilizantes orgánicos a tres dosis diferentes sobre la tasa de crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis para optar el título de Biólogo. Universidad Javeriana, Bogotá. D.C. 143 p.
55. PAREDES, M. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Para optar el título de Ing. Agrónomo Pontificia Universidad Católica de Argentina. 155 p.
56. PASHANASI, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. Folia Amazónica, Perú. 1-2(12): 75 - 97.
57. PRAVIA, M.; MGA, D. 2012. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Presidencia de la república oficina de planeamiento y presupuesto unidad de desarrollo municipal. 69 p.
58. PRA (Proyecto de Reducción y Alivio a la Pobreza). 2003. Manual técnico del frijol Chaucha. Huánuco, Perú. 50 p.
59. PUPIALES, HA; PUPIALES, JA; SILVA, A. 2008. Respuesta del frijol Lima (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación de abono orgánico a base de

- residuos sólidos de Fique, Tesis para optar el título de Ing. Agroforestal. Universidad de Nariño, Colombia. 120 p.
60. REÁTEGUI, H. 2009. Efecto de los sistemas de uso en los macro invertebrados bajo cinco condiciones en el distrito de Rupa Rupa. Tesis para optar el título de Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 64 p.
61. RENDÓN, S.; ARTUNDUAGA, F.; RAMÍREZ, R.; QUIROZ, J.; LEIVA, E. 2011. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de Mora, Pasto y Aguacate. Rev. Medellín, Colombia. [En línea]: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n1/a05v64n01.pdf>. (Consultado el 24 de enero del 2017).
62. RICO, A. 2002. Principios básicos de la agricultura orgánica 34 p.
63. ROMAN, P; MARTINEZ, M; PANTOJA, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Santiago de Chile. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 112 p.
64. RUCKS, L. 2009. Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República. Montevideo –Uruguay. Departamento de Suelos y Aguas. Portal. [En línea]: <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf>. (Consultado 20 junio 2017).
65. SAGAN, M. 2002. Departamento de edafología y química agrícola. In: Universidad de Granada. España – Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. [En línea]: <http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/14hoja.html>. (Consultado el 4 julio de 2017).

66. SEGARPA. 2000. Abonos orgánicos. Instituto de Recursos Naturales, Sistemas de Agronegocios Agrícolas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SEGARPA). México. 12 p.
67. SHOJI, S., NANZYO, M.; DAHLGREN, R. 1993. Volcanic ash soils. Genesis. Properties and Utilization. Dev. in Soil Sc. 21. Amsterdam. Elsevier, 288 p
68. TAPIA, C. 2004. Macroinvertebrados do solo e estoques de carbono e nutrientes em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana. Tesis de Doctorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA. Universidade Federal do Amazonas - UFAM. Manaus, Brasil. 154 p.
69. TAPIA, C.; PASHANASI, B.; DEL CASTILLO, D. 2002. Estudio preliminar de la macrofauna del suelo en áreas de varillales y chamizales de la amazonia peruana. Folia amazónica, Perú. 1-2(13): 65-86.
70. TUESTA, J. 2004. Fertilización fosfopotásica en el frijol variedad Chaucha *Phaseolus vulgaris* en Tingo María. Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo. Tingo María, Perú. 82 p.
71. VALLADARES, C. 2000. Requerimientos nutricionales y cálculo de fertilizantes Cultivo de granos. Prácticas culturales. (6): 22-33
72. ZERBINO, S.; ALTIER, N. 2013. Biodiversidad del suelo y su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas. Uruguay. [En línea]: [http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ara/ara\\_186.pdf](http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ara/ara_186.pdf). (Consultado el 7 junio de 2017).

73. ZAVALA, S. 2014. Efectos de residuos sólidos biodegradables y gallinaza en el rendimiento del frijol *Phaseolus Vulgaris* L. Var Chaucha en terrazas. Tesis para obtener el título de Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 110 p.

## **X. ANEXO**



**Figura 19.** Croquis de distribución del experimento.

**Cuadro 36.** Análisis del compost agrícola (CoA) y compost residuos sólidos municipal biodegradables (CRSMB)

Datos de la muestra	pH	Porcentaje (%)						Porcentaje (%)						ppm			ppm	
		M.S	H°	CBS	MOBS	N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb	
		M265	CRSMB	8.83	92.04	7.96	73.98	26.02	1.81	0.13	0.59	0.092	0.50	0.097	7155.30	290.26	176.0	6.66
M266	CoA	8.00	88.19	11.81	85.09	14.91	1.70	0.16	0.57	0.025	0.28	0.032	4258.07	143.88	58.01	3.93	1.66	48.50

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

**Cuadro 37.** Análisis del suelo antes de iniciado el trabajo experimental

Nº.	Cód. Lab.	Dato M	Análisis mecánico				pH	M.O %	N %	P ppm	K Ppm	Cd Ppm	Pb Ppm	C I C	Cambiables Cmol(+)/kg						C I C	%	%	%
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura									Ca	Mg	K	Na	Al	H				
			1:1	e	Bas C.	Ac. C.									Sat. Al.									
1	M4348	Suelo	43.68	33.04	23.28	Franco Arenoso	4.4	1.77	0.08	3.01	141.4	0.03	0.10	--	1.60	0.73	--	--	1.5	0.96	4.80	48.6	51.3	31.4

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

**Cuadro 38.** Análisis de suelos al final del trabajo de investigación/tratamiento

Nº	Datos De La Muestra			Análisis Mecánico			pH	M.O.	N.	P.	K.	Cd.	Pb.	Cambiabes Cmol(+)/kg										
	Cód.	Cultivo actual		Arena	Arcilla	Limo								Textura	01:01	%	%	ppm	ppm	ppm	Ppm	Ca	Mg	K
			%	%	%																			
1	M1	T <sub>1</sub>	49.68	27.04	23.28	Franco Arenoso	5.4	4.8	0.22	4.04	142.94	0.12	0.18	--	1.55	0.94	--		4.35	1.16	8.01	31.12	68.8	54.37
2	M2	T <sub>2</sub>	53.68	31.04	15.28	Franco	5.4	4.5	0.20	3.39	139.94	0.10	0.20	--	1.78	1.41	--		2.51	0.84	6.53	48.74	51.2	38.45
3	M3	T <sub>3</sub>	30.1	29.05	17.28	Franco	5.3	3.8	0.17	4.18	111.45	0.09	0.16	--	1.37	0.96	--		2.01	0.65	4.98	46.63	53.3	40.32
4	M4	T <sub>4</sub>	49.68	27.04	23.28	Franco Arcillo	5.2	4.5	0.20	4.32	139.94	0.09	0.17	--	1.29	0.93	--		4.77	1.24	8.23	27.01	72.9	57.97
5	M5	T <sub>5</sub>	39.68	27.04	33.28	Franco Arcillo	5.6	4.5	0.20	6.23	149.43	0.10	0.19	3.53	0.83	0.47	0.3	1.9	--	--	--	100	0	0
6	M6	T <sub>6</sub>	39.68	35.04	25.58	Franco Arcilloso	5.3	4.5	0.20	6.78	101.96	0.10	0.21	--	1.52	1.06	--	--	2.51	2.51	5.83	44.24	55.7	43.09
7	M7	T <sub>7</sub>	39.68	33.04	27.28	Franco	6.0	4.8	0.22	7.94	113.45	0.21	0.21	5.28	1.71	1.45	0.3	1.8	--	--	--	100	0	0
8	M8	T <sub>8</sub>	40.68	28.04	31.28	Franco Arcillo	5.5	4.5	0.20	7.35	203.37	0.20	0.22	--	1.74	1.06	--	--	0.92	0.92	4.28	65.45	34.5	21.54

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

**Cuadro 39.** Costos de producción

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unit. (S/.)	P. total (S/.)
<b>A. Preparación del terreno</b>				<b>19.44</b>
Shunteo	Jornal	0.22	30.00	6.48
Volteado de sustrato	Jornal	0.27	30.00	8.10
Siembra	Jornal	0.16	30.00	4.86
<b>B. Labores culturales</b>				<b>8.10</b>
Aporque	Jornal	0.00	30.00	0.00
Cultivo	Jornal	0.22	30.00	6.48
Control fitosanitario	Jornal	0.05	30.00	1.62
<b>C. Insumos y materiales</b>				<b>476.62</b>
Semillas	Kg	1.00	4.80	4.80
Compost CRSMB	Sco (40 k)	13.50	15.00	202.50
Compost agrícola	Sco (50 k)	10.80	23.00	248.40
Homay	gr	3.00	0.24	0.72
Pintura	ml	8.10	0.04	0.32
Triplay	Plancha	0.25	20.00	5.00
Clavos	gr	16.20	0.01	0.13
Tablitas	Retazos	3.00	2.00	6.00
Rafia	Unidad	5.00	1.00	5.00
Plástico	m	6.48	0.60	3.89
Costales	Unid.	0.97	0.60	0.58
<b>D. Otros</b>				<b>4.86</b>
Cosecha	Jornal	0.194	25	4.86
<b>E. Muestreo de suelo</b>				<b>770</b>
Análisis de suelo	Muestra	1.00	30.00	30.00
Análisis final de suelo	Muestra	8.00	30.00	240.00
Análisis inicial compost Cd y Pb	Muestra	2.00	50.00	100.00
Análisis final compost Cd y Pb	muestra	8.00	50.00	400.00
Costo Total / 324 m <sup>2</sup>				<b>509.02</b>
Costo Total				<b>1279.02</b>

Fuente. Elaboración propia de gastos de instalación de la parcela experimental.

**Cuadro 40.** Producción de gastos por tratamiento y primera cosecha

Descripción	T(testigo)	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Total (s/)
<b>A. Preparación del terreno</b>	<b>2.16</b>	<b>2.16</b>	<b>2.16</b>	<b>2.16</b>	<b>2.16</b>	<b>2.16</b>	<b>2.16</b>	<b>2.2</b>	<b>2.16</b>	<b>19.44</b>
Shunteo	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.7	0.72	
Volteado del sustrato	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
Siembra	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.5	0.54	
<b>B. Labores culturales</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>8.1</b>
Aporque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cultivo	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.7	0.72	
Control fitosanitario	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.2	0.18	
<b>C. Insumos y materiales</b>	<b>2.94</b>	<b>27.8</b>	<b>23.19</b>	<b>52.6</b>	<b>43.4</b>	<b>77.5</b>	<b>63.7</b>	<b>102</b>	<b>83.9</b>	<b>477.3</b>
Semillas	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.5	0.53	4.8
Compost CRSMB	0	0	20.25	0	40.5	0	60.8	0	81	202.5
Compost agrícola	0	24.8	0	49.7	0	74.5	0	99	0	248.4
Homay	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.1	0.08	0.72
Pintura	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0	0.04	0.32
Triplay	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.6	0.56	5
Clavo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.13
Tablitas	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.7	0.67	6
Rafia	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.6	0.56	5
Plástico	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.4	0.43	3.89
Costales	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.1	0.06	0.58
<b>D. Otros Cosecha)</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>4.86</b>
Cosecha	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	
<b>E. Muestreo de suelo</b>	<b>30</b>	<b>92.5</b>	<b>92.5</b>	<b>92.5</b>	<b>92.5</b>	<b>92.5</b>	<b>92.5</b>	<b>92.5</b>	<b>92.5</b>	<b>770</b>
Análisis de suelo	30	0	0	0	0	0	0	0	0	
Análisis final de suelo	0	30	30	30	30	30	30	30	30	
Análisis inicial Cd y Pb	0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	
Análisis final Cd y Pb	0	50	50	50	50	50	50	50	50	
<b>Costo total /324 m<sup>2</sup></b>	<b>6.54</b>	<b>31.4</b>	<b>26.79</b>	<b>56.2</b>	<b>47</b>	<b>81.1</b>	<b>67.3</b>	<b>106</b>	<b>87.5</b>	<b>509.7</b>
<b>Costo total</b>	<b>36.54</b>	<b>124</b>	<b>119.3</b>	<b>149</b>	<b>140</b>	<b>174</b>	<b>160</b>	<b>198</b>	<b>180</b>	<b>1280</b>

Fuente. Elaboración propia de gastos de instalación de la parcela experimental.

**Cuadro 41.** Datos originales por unidad experimental sobre la altura de planta (cm) evaluados en cinco etapas (H1, H2, H3, H4 y H5)

Trat	FA	FB	Bloque	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5
T <sub>1</sub>	COA	15t	B1	16.65	29.09	37.23	42.04	42.59
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B1	19.74	26.53	36.45	45.69	46.10
T <sub>3</sub>	COA	30t	B1	20.34	29.18	39.32	46.41	48.59
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B1	17.91	30.28	38.54	48.89	50.71
T <sub>5</sub>	COA	45t	B1	19.71	28.11	37.19	47.13	49.65
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B1	20.22	31.28	39.98	50.60	52.08
T <sub>7</sub>	COA	60t	B1	19.03	28.07	38.08	48.03	52.13
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B1	21.70	32.83	45.18	59.04	63.10
T <sub>1</sub>	COA	15t	B2	16.34	24.74	32.74	42.02	42.07
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B2	15.43	23.11	31.33	40.18	41.50
T <sub>3</sub>	COA	30t	B2	17.94	27.42	38.64	48.18	54.06
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B2	18.29	26.77	35.15	47.32	49.75
T <sub>5</sub>	COA	45t	B2	17.80	26.24	34.21	44.19	46.20
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B2	23.75	36.02	46.40	52.29	54.54
T <sub>7</sub>	COA	60t	B2	22.40	30.89	44.71	55.90	58.07
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B2	22.98	33.52	48.53	54.84	58.00
T <sub>1</sub>	COA	15t	B3	17.75	25.76	39.02	49.08	53.25
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B3	14.95	20.87	26.56	34.07	39.36
T <sub>3</sub>	COA	30t	B3	17.16	24.13	27.35	36.41	41.45
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B3	17.91	25.28	33.29	43.92	48.29
T <sub>5</sub>	COA	45t	B3	18.70	27.21	39.36	49.95	55.21
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B3	19.60	28.25	35.05	44.89	51.02
T <sub>7</sub>	COA	60t	B3	18.86	27.03	37.19	46.19	53.02
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B3	21.06	32.19	41.97	52.23	59.33
T <sub>0</sub>			B1	14.90	17.40	20.10	26.60	31.50
T <sub>0</sub>			B2	13.90	20.50	26.00	32.90	34.30
T <sub>0</sub>			B3	14.10	19.40	26.10	33.30	39.10

Fuente. Elaboración propia altura de planta (cm) evaluada en cinco etapas (H1, H2, H3, H4 y H5)

**Cuadro 42.** Datos originales por unidad experimental sobre peso fresco y seco de planta (g) en las etapas de floración y cosecha.

Trat	FA	FB	Bloque	Floración		Cosecha	
				Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco
T <sub>1</sub>	COA	15t	B1	26.8	5.4	24	6.5
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B1	26.8	6.1	21.6	6.3
T <sub>3</sub>	COA	30t	B1	15.7	3.6	25.2	6.7
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B1	38.8	7.5	30.5	8.4
T <sub>5</sub>	COA	45t	B1	28.0	5.3	36.4	9.7
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B1	32.0	6.7	21.9	6.1
T <sub>7</sub>	COA	60t	B1	22.0	10.3	15.8	3.6
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B1	34.0	7.0	38.1	8.7
T <sub>1</sub>	COA	15t	B2	21.3	5.0	20	4.9
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B2	22.4	9.5	15.7	4.4
T <sub>3</sub>	COA	30t	B2	23.9	10.8	26.5	6.1
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B2	27.5	12.3	31.8	8.1
T <sub>5</sub>	COA	45t	B2	18.5	4.1	23.9	5.8
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B2	38.8	19.1	25	5.8
T <sub>7</sub>	COA	60t	B2	34.7	15.2	29.1	7.2
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B2	37.7	15.0	35.1	9.1
T <sub>1</sub>	COA	15t	B3	28.8	16.0	19	4.9
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B3	12.5	6.5	15.8	4.5
T <sub>3</sub>	COA	30t	B3	14.0	8.1	18.8	4.7
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B3	14.8	8.2	13.3	3.2
T <sub>5</sub>	COA	45t	B3	19.3	7.3	25.6	6.6
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B3	17.9	9.9	17.5	4.5
T <sub>7</sub>	COA	60t	B3	26.1	12.0	30.3	7.1
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B3	18.6	8.3	24.6	6.3
T <sub>0</sub>			B1	4.0	1.4	7.7	2.2
T <sub>0</sub>			B2	8.6	2.0	9.7	2.5
T <sub>0</sub>			B3	13.0	6.5	11.6	3.2

Fuente. Elaboración propia peso fresco y seco de planta (g) en las etapas de floración y cosecha.

**Cuadro 43.** Datos originales por unidad experimental sobre el volumen radicular ( $\text{cm}^3$ ) en las etapas de floración y cosecha.

Trat	FA	FB	Bloque	VR-floración	VR-cosecha
T <sub>1</sub>	COA	15t	B1	4.2	6.2
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B1	6.1	7
T <sub>3</sub>	COA	30t	B1	4.8	5
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B1	8.5	6
T <sub>5</sub>	COA	45t	B1	6.9	11
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B1	9.94	6.8
T <sub>7</sub>	COA	60t	B1	5.8	4
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B1	7.4	7.5
T <sub>1</sub>	COA	15t	B2	3.8	5.3
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B2	4.1	10
T <sub>3</sub>	COA	30t	B2	4.9	6
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B2	4.7	7
T <sub>5</sub>	COA	45t	B2	3.8	5
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B2	6.56	6
T <sub>7</sub>	COA	60t	B2	4.7	5.5
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B2	5.6	6.3
T <sub>1</sub>	COA	15t	B3	4.3	5.2
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B3	4	5.33
T <sub>3</sub>	COA	30t	B3	4.1	6.8
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B3	3.1	4.2
T <sub>5</sub>	COA	45t	B3	4.6	5.3
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B3	5.33	6.3
T <sub>7</sub>	COA	60t	B3	3.2	5.7
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B3	4.4	6.3
T <sub>0</sub>			B1	2.22	2.8
T <sub>0</sub>			B2	2.33	2.5
T <sub>0</sub>			B3	3.11	4.7

Fuente. Elaboración propia volumen radicular ( $\text{cm}^3$ ) en las etapas de floración y cosecha.

**Cuadro 44.** Datos originales por unidad experimental sobre el número de nódulos en las etapas de floración y cosecha.

Trat	FA	FB	Bloque	N-floración	N-cosecha
T <sub>1</sub>	COA	15t	B1	50	20
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B1	15	16
T <sub>3</sub>	COA	30t	B1	2	400
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B1	5	426
T <sub>5</sub>	COA	45t	B1	356	400
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B1	79	469
T <sub>7</sub>	COA	60t	B1	818	89
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B1	627	600
T <sub>1</sub>	COA	15t	B2	15	39
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B2	65	5
T <sub>3</sub>	COA	30t	B2	15	206
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B2	14	145
T <sub>5</sub>	COA	45t	B2	42	187
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B2	62	177
T <sub>7</sub>	COA	60t	B2	600	136
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B2	81	708
T <sub>1</sub>	COA	15t	B3	57	38
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B3	25	481
T <sub>3</sub>	COA	30t	B3	80	124
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B3	370	426
T <sub>5</sub>	COA	45t	B3	50	170
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B3	80	397
T <sub>7</sub>	COA	60t	B3	42	330
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B3	125	93
T <sub>0</sub>			B1	1	1
T <sub>0</sub>			B2	5	5
T <sub>0</sub>			B3	2	3

Fuente: Elaboración propia número de nódulos en las etapas de floración y cosecha.

**Cuadro 45.** Datos originales por unidad experimental sobre el rendimiento de 100 semillas (100-s) y producción (kg ha<sup>-1</sup>).

<b>Trat</b>	<b>FA</b>	<b>FB</b>	<b>Bloque</b>	<b>Rendimiento 100-s</b>	<b>Producción (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>T<sub>1</sub></b>	COA	15t	B1	135.3	<b>1872.24</b>
<b>T<sub>2</sub></b>	CRSMB	15t	B1	147	<b>1652.79</b>
<b>T<sub>3</sub></b>	COA	30t	B1	136.87	<b>1069.45</b>
<b>T<sub>4</sub></b>	CRSMB	30t	B1	144.3	<b>1254.45</b>
<b>T<sub>5</sub></b>	COA	45t	B1	145.6	<b>1437.79</b>
<b>T<sub>6</sub></b>	CRSMB	45t	B1	189.72	<b>1199.45</b>
<b>T<sub>7</sub></b>	COA	60t	B1	153.6	<b>1460.01</b>
<b>T<sub>8</sub></b>	CRSMB	60t	B1	183.7	<b>3115.58</b>
<b>T<sub>1</sub></b>	COA	15t	B2	97.8	<b>866.67</b>
<b>T<sub>2</sub></b>	CRSMB	15t	B2	85.2	<b>683.34</b>
<b>T<sub>3</sub></b>	COA	30t	B2	157	<b>1581.12</b>
<b>T<sub>4</sub></b>	CRSMB	30t	B2	153.2	<b>1088.34</b>
<b>T<sub>5</sub></b>	COA	45t	B2	166.3	<b>1598.35</b>
<b>T<sub>6</sub></b>	CRSMB	45t	B2	133.9	<b>1340.01</b>
<b>T<sub>7</sub></b>	COA	60t	B2	133.6	<b>2131.68</b>
<b>T<sub>8</sub></b>	CRSMB	60t	B2	157.5	<b>2074.46</b>
<b>T<sub>1</sub></b>	COA	15t	B3	57	<b>600.00</b>
<b>T<sub>2</sub></b>	CRSMB	15t	B3	65.9	<b>675.01</b>
<b>T<sub>3</sub></b>	COA	30t	B3	68.8	<b>778.34</b>
<b>T<sub>4</sub></b>	CRSMB	30t	B3	84.9	<b>911.12</b>
<b>T<sub>5</sub></b>	COA	45t	B3	150.1	<b>1477.79</b>
<b>T<sub>6</sub></b>	CRSMB	45t	B3	143.5	<b>1054.45</b>
<b>T<sub>7</sub></b>	COA	60t	B3	120.1	<b>1543.35</b>
<b>T<sub>8</sub></b>	CRSMB	60t	B3	115	<b>1041.12</b>
<b>T<sub>0</sub></b>			B1	47.8	<b>465.56</b>
<b>T<sub>0</sub></b>			B2	46.3	<b>457.23</b>
<b>T<sub>0</sub></b>			B3	64.6	<b>558.89</b>

Fuente: Elaboración propia rendimiento de 100 semillas (100-s) y producción (kg ha<sup>-1</sup>).

**Cuadro 46.** Datos originales por unidad experimental sobre el número y peso de lombrices, y su transformación a  $\sqrt{x}$  para lograr la normalidad de los datos.

Trat	FA	FB	Bloque	Número lombriz /m <sup>2</sup>	Peso lombriz (g/m <sup>2</sup> )	Transformación. Número lombriz	Transformación. Peso lombriz
T <sub>1</sub>	COA	15t	B1	176	102.784	13.27	10.1382444
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B1	216	118.1072	14.70	10.8677137
T <sub>3</sub>	COA	30t	B1	306	63.5584	17.49	7.97235223
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B1	237	65.12	15.39	8.0696964
T <sub>5</sub>	COA	45t	B1	436	128.48	20.88	11.3349019
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B1	256	151.1888	16.00	12.2958855
T <sub>7</sub>	COA	60t	B1	187	58.3664	13.67	7.63979057
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B1	341	46.4688	18.47	6.81680277
T <sub>1</sub>	COA	15t	B2	167	19.488	12.92	4.41452149
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B2	234	59.544	15.30	7.71647588
T <sub>3</sub>	COA	30t	B2	305	94.8112	17.46	9.73710429
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B2	240	18.6768	15.49	4.32166635
T <sub>5</sub>	COA	45t	B2	426	133.56	20.64	11.5568162
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B2	263	26.1872	16.22	5.11734306
T <sub>7</sub>	COA	60t	B2	188	61.6912	13.71	7.85437458
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B2	345	72.9184	18.57	8.53922713
T <sub>1</sub>	COA	15t	B3	158	40.928	12.57	6.39749951
T <sub>2</sub>	CRSMB	15t	B3	252	35.0624	15.87	5.9213512
T <sub>3</sub>	COA	30t	B3	304	87.048	17.44	9.32995177
T <sub>4</sub>	CRSMB	30t	B3	234	116.1952	15.30	10.7793877
T <sub>5</sub>	COA	45t	B3	431	87.7616	20.76	9.36811614
T <sub>6</sub>	CRSMB	45t	B3	249	80.3904	15.78	8.96606937
T <sub>7</sub>	COA	60t	B3	186	60.8288	13.64	7.79928202
T <sub>8</sub>	CRSMB	60t	B3	337	153.12	18.36	12.3741666
T <sub>0</sub>			B1	12	16.6768	3.46	4.08372379
T <sub>0</sub>			B2	15	1.2768	3.87	1.12995575
T <sub>0</sub>			B3	18	14.9808	4.24	3.87050384

Fuente: Elaboración propia número y peso de lombrices, y su transformación a  $\sqrt{x}$  para lograr la normalidad de los datos.



**Figura 20.** Demarcación de las parcelas y siembra del frejol



**Figura 21.** Plantas en crecimiento, medición de altura y aplicación de fungicidas



Figura 22. Cosecha del frejol y evaluacion en laborator