

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“PRIMEROS CAMBIOS EN LA CANTIDAD DE BACTERIAS, HONGOS,
MACROINVERTEBRADOS Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO LUEGO DE
LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN UN SUELO PREVIAMENTE
MANEJADO DE FORMA CONVENCIONAL”**

Tesis previa a la obtención
del título de Ingeniera Agrónoma

AUTORAS:

Loja Cajas Cecilia Valeria
Méndez Barreto Karla Adriana

DIRECTOR:

Ph.D. Eduardo José Chica Martínez

**CUENCA - ECUADOR
2015**



RESUMEN

El manejo de suelos en sistemas de producción orgánicos está orientado a crear condiciones favorables para el establecimiento de comunidades microbianas que beneficien a los cultivos. Para crear estas condiciones, se aplican diferentes tipos de enmiendas de materia orgánica al suelo que aportan con sustratos para el desarrollo de estas comunidades y nuevos organismos que incrementan la diversidad de estas. Se ha reportado que alcanzar un suelo con una biología lo suficientemente diversa y activa para sostener sistemas de producción agrícola puede tomar entre 5 y 7 años. Durante este periodo, los rendimientos en los cultivos son típicamente bajos y variables. En esta investigación se caracterizaron los cambios iniciales en la cantidad de bacterias, hongos, macroinvertebrados y propiedades físicas del suelo inducidos por la aplicación de 4 enmiendas orgánicas (estiércol, bokashi, compost, biofertilizante) en un suelo previamente manejado de forma convencional para determinar el efecto en el corto plazo de la aplicación de estas enmiendas en la biología y propiedades físicas del suelo.

Los resultados indicaron que, de forma general, cuatro meses después de la aplicación de las enmiendas no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la biología o las propiedades físicas del suelo entre los suelos que recibieron enmiendas y el control manejado convencionalmente. No obstante, se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores pre-tratamiento y los valores finales para algunas variables, sugiriendo que la misma presencia del cultivo, la ejecución de prácticas culturales o factores ambientales no controlados en este experimento pudiesen tener un efecto sobre estas.

De forma similar, los valores de las variables asociados a la respuesta vegetal del cultivo usado como cobertura (i.e. Maíz), no fueron estadísticamente diferentes.

PALABRAS CLAVE: SUELO, ENMIENDAS ORGÁNICAS, MICROBIOLOGÍA, PROPIEDADES FÍSICAS.



ABSTRACT

Soil management in organic production systems is aimed to create favorable conditions for setting microbial communities that benefit crops. To create these conditions, different types of organic amendments were applied to the soil, which contribute with substrates to the development of these communities and add new organisms that increase the diversity of these communities. It has been reported that the time required reaching a soil with a sufficiently diverse and active biology to support agricultural production systems could range from 5 and 7 years. During this period, crop yields are typically low and variable. In this research, the initial changes in the amount of bacteria, fungi, macroinvertebrates and soil physical properties induced by the application of four organic amendments (manure, bokashi compost, biofertilizer) were characterized in a soil previously managed in a conventional manner. This experiment was conducted to determine the effect of applying these amendments in the biology and physical soil properties in the short term.

Results indicated that, in a general, four months after the application of the amendments, no statistically significant differences were detected in biology or physical properties of the soil between the soil with amendments and those with conventionally managed control. However, statistically significant differences were detected between the values of pre-treatment and the final values for some variables, suggesting that the presence of the crop itself, the cultural practices conducted during the experiment or environmental factors not controlled in this experiment could have an effect on these variables.

Similarly, the values of the variables associated to the vegetal response of the crop used as coverage (i.e. corn) were not statistically different.

KEYWORDS: SOIL, ORGANIC AMENDMENTS, MICROBIOLOGY, PHYSICAL PROPERTIES.



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
1. INTRODUCCION	1
2. JUSTIFICACION	3
3. OBJETIVOS	4
3.1 Objetivo general	4
3.2 Objetivos específicos	4
3.3 Hipótesis	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1 Agricultura orgánica	5
4.2 Microbiología del suelo	5
4.3 Materia orgánica.....	6
4.4 Enmiendas orgánicas	7
4.4.1 Estiércol	7
4.4.2 Bokashi.....	9
4.4.3 Compost	11
4.4.4 Biofertilizantes	13
4.5 Principales materiales utilizados en las enmiendas y sus criterios de selección.....	14
4.5.1 Melaza.....	14
4.5.2 Levadura.....	15
4.5.3 Rastrojo	15
4.5.4 Agua.....	15
4.6 Efectos reportados en las propiedades físicas del suelo.....	16
4.7 Efectos reportados en las propiedades químicas del suelo	16
4.8 Efectos reportados en las propiedades biológicas del suelo	16



4.9	Efectos reportados en el desarrollo de los cultivos	17
4.10	Tiempo que toma alcanzar el equilibrio biológico en el suelo	17
5	MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1	Área de estudio	18
5.2	Enmiendas orgánicas	18
5.3	Preparación de las parcela	19
5.4	Siembra del cultivo	19
5.5	Muestreo	20
5.6	Análisis químico	20
5.7	Análisis físico	21
5.8	Análisis biológico	22
5.8.1	Análisis de macroinvertebrados	22
5.8.2	Análisis de población de bacterias y hongos	22
5.9	Respuesta vegetativa	23
5.10	Diseño experimental y análisis estadístico	24
6	RESULTADOS Y DISCUSION	25
6.1	Resultados de los análisis químicos	25
6.1.1	pH	25
6.1.2	Conductividad eléctrica	26
6.2	Resultados de los análisis físicos	28
6.2.1	Densidad aparente	28
6.2.2	Retención de agua	30
6.2.2.1	pF 0	30
6.2.3	Conductividad hidráulica saturada	33
6.2.4	Textura	35
6.2.5	Estructura	36
6.3	Resultados de los análisis biológicos	38
6.3.1	Población de bacterias	38
6.3.2	Población de hongos	39



6.3.3	Población de macroinvertebrados	41
6.4	Resultados de respuesta vegetal	43
6.5	Manejo de plagas del cultivo.....	43
6.6	Discusión general	43
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
7.1	Conclusiones.....	45
7.2	Recomendaciones.....	45
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	47
9.	ANEXOS.....	50



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido nutricional de diferentes tipos de estiércol	8
Tabla 2. Contenidos de nutrientes en tres formas de bokashi.....	10
Tabla 3. Contenido de nutrientes de compost.....	12
Tabla 4. Contenido nutricional de biofertilizante.....	13
Tabla 5. Tratamientos utilizados en el estudio	19
Tabla 6. Análisis de varianza de pH en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz	26
Tabla 7. Rangos de separación de medias por valores de pH de acuerdo a la prueba de Duncan.....	26
Tabla 8. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz	27
Tabla 9. Rangos de separación de medias por valores de conductividad eléctrica de acuerdo a la prueba de Duncan	28
Tabla 10. Análisis de varianza de densidad aparente en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.....	29
Tabla 11. Rangos de separación de medias por valores de densidad aparente acuerdo a la prueba de Duncan	30
Tabla 12. Análisis de varianza de pF0 en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz	31
Tabla 13. Rangos de separación de medias por valores de pF 0 de acuerdo a la prueba de Duncan.....	32
Tabla 14. Análisis de varianza de pF2.5 en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.....	33
Tabla 15. Rangos de separación de medias por valores de pF 0 de acuerdo a la prueba de Duncan.....	33



Tabla 16. Análisis de varianza de la conductividad hidráulica en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz	34
Tabla 17. Rangos de separación de medias por valores de conductividad hidráulica de acuerdo a la prueba de Duncan	35
Tabla 18. Estructura del suelo con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz	37
Tabla 19. Análisis de varianza de la población de bacterias en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz	39
Tabla 20. Rangos de separación de medias por valores de la población de bacterias de acuerdo a la prueba de Duncan	39
Tabla 21. Análisis de varianza de la población de hongos en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz	40
Tabla 22. Rangos de separación de medias por valores de la población de hongos de acuerdo a la prueba de Duncan	41
Tabla 23. Población de macroinvertebrados presentes en el suelo después de 4 meses de la aplicación de 4 enmiendas orgánicas con cobertura de maíz	41
Tabla 24. Clasificación de macroinvertebrados por orden	42
Tabla 25. Valores P para las comparaciones ortogonales [Enmiendas orgánicas vs. control] y [Biofertilizante vs. Enmiendas sólidas] para las variables altura, grosor, número de hojas e índice de verdor	43



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis de conductividad eléctrica y pH	21
Figura 2. Pasta saturada para pruebas de pF	22
Figura 3. Análisis de la población de hongos	23
Figura 4. Medición de la altura de la planta a los 60 dds.	24
Figura 5. pH en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.....	25
Figura 6. Conductividad eléctrica en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz	27
Figura 7. Densidad aparente en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.	29
Figura 8. pF0 en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.....	31
Figura 9. pF2.5 en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.	32
Figura 10. Conductividad hidráulica saturada en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.....	34
Figura 11. Textura del suelo con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.	36
Figura 12. Estructura moderada=1 (derecha), estructura pobre=0 (izquierda)	37
Figura 13. Población de bacterias en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.	38
Figura 14. Población de hongos en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.	40



ANEXOS

Anexo 1. Croquis de la distribución al Azar de los tratamientos y repeticiones.....	50
Anexo 2. Preparación y formulación de biofertilizante líquido	51
Anexo 3. Formulación y preparación de bokashi.....	52
Anexo 4. Curva de retención de agua para cada tratamiento	53
Anexo 5. Ficha para la toma de datos de pozo invertido.....	55
Anexo 6. Colonias de hongos en pretratamiento y después de 4 meses de la aplicación de los tratamientos.	56
Anexo 7. Colonias de bacterias en pretratamiento y después de 4 meses de la aplicación de los tratamientos.	58



Yo, Cecilia Valeria Loja Cajas autora de la tesis “Primeros cambios en las cantidades de bacterias, hongos, macroinvertebrados y propiedades físicas de un suelo manejado convencionalmente luego de la aplicación de enmiendas orgánicas” certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, julio de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cecilia Loja', is written over a horizontal line.

Cecilia Valeria Loja Cajas

C.I: 0105167951



Yo, Karla Adriana Méndez Barreto autora de la tesis “Primeros cambios en las cantidades de bacterias, hongos, macroinvertebrados y propiedades físicas de un suelo manejado convencionalmente luego de la aplicación de enmiendas orgánicas” certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, julio de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karla Adriana Méndez Barreto', enclosed within a blue oval scribble.

Karla Adriana Méndez Barreto

C.I: 0104565767



Yo, Cecilia Valeria Loja Cajas autora de la tesis “Primeros cambios en las cantidades de bacterias, hongos, macroinvertebrados y propiedades físicas de un suelo manejado convencionalmente luego de la aplicación de enmiendas orgánicas”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (título que obtiene). El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, julio de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cecilia Loja', written over a horizontal line.

Cecilia Valeria Loja Cajas

C.I: 0105167951



Yo, Karla Adriana Méndez Barreto autora de la tesis “Primeros cambios en las cantidades de bacterias, hongos, macroinvertebrados y propiedades físicas de un suelo manejado convencionalmente luego de la aplicación de enmiendas orgánicas”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (título que obtiene). El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, julio de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Karla Adriana Méndez Barreto", enclosed within a blue circular scribble.

Karla Adriana Méndez Barreto

C.I: 0104565767



DEDICATORIA

A mis padres María de Lourdes Cajas y Carlos Loja, a mis hermanos por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, la motivación, la perseverancia, la constancia que los caracterizan y que me ha impartido siempre, por el valor mostrado para salir adelante, pero más que nada, por su amor.

CECILIA LOJA



Universidad de Cuenca

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y hermanos por siempre brindarme su apoyo, comprensión y llenar mi vida de amor y felicidad.

A mi director Dr. Eduardo Chica por haber guiado el desarrollo de este trabajo su constante disposición, apoyo, consejos y amistad.

A mi compañera, amiga y sobre todo hermana Adriana Méndez por su paciencia, confianza, cariño en los buenos y malos momentos, por aguantarme y por escucharme.

A mis amigos y compañeros quienes estuvieron presentes en mi vida universitaria.

CECILIA LOJA



DEDICATORIA

A mis padres Eduardo y Mercedes, por demostrarme todo su amor con el apoyo que me brindan de manera incondicional y por acompañarme en cada paso que doy en mi vida.

Adriana



Universidad de Cuenca

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, hermanos y sobrinos por ser lo más valioso que Dios ha puesto a mi lado, por todo el cariño y apoyo entregado.

A mi director Dr. Eduardo Chica por haber guiado nuestra tesis, brindándonos sus conocimientos y sobre todo su apoyo y consejo.

A mi compañera constante a lo largo de la vida universitaria, Cecilia, por brindarme su amistad sincera.

A los docentes de la Universidad de Cuenca, que supieron entregar sus conocimientos con gran vocación.

A mis amigos y compañeros con quienes compartí las aulas universitarias y el cariño por la Ingeniería Agronómica.

Adriana



1. INTRODUCCION

Los microorganismos son clave para el funcionamiento de los sistemas biológicos y el mantenimiento de la vida sobre el planeta, pues participan en procesos metabólicos, ecológicos y biotecnológicos. Se estima que en el suelo existen miles de especies, en poblaciones de 100 a 2000 millones de individuos por gramo de suelo con hasta 35000 especies de bacterias y 1500000 de hongos (Montaño, Sandoval, Camargo, & Sanchez, 2010). Los organismos saprofitos son responsables de la descomposición de la materia orgánica y del ciclaje de los nutrientes minerales (Montaño et al., 2010). El suelo como comunidad biológica posee una gran diversidad de microorganismos, cuyo potencial podría resolver problemas ambientales, de salud o alimenticios (Montaño et al., 2010).

La materia orgánica del suelo es uno de los factores más importantes para determinar la productividad del suelo en forma sostenida (Brechelt, 2004). La aplicación de enmiendas de materia orgánica representa una estrategia básica ya que una fertilización mineral proporciona nutrientes fácilmente disponibles para el crecimiento vegetal; sin embargo, no contribuye a mejorar la condición física del suelo. Las enmiendas orgánicas, además de suministrar nutrientes, mejoran la agregación del suelo, estimulan la diversidad y actividad microbiana (Ferrerías, Gomez, Toresani, Firpo, & Rotondo, 2006), mejoran la estructura, aireación, y retención de agua en el suelo y estabiliza su pH (Bulluck, Brosius, Evanylo, & Ristaino, 2002). Además, las enmiendas orgánicas sirven como sustrato para los microorganismos y la macro fauna del suelo, cuya actividad modifica las propiedades del suelo, procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica (Crops, Alveiro, & Gamboa, 2011).

La aplicación de enmiendas orgánicas puede reducir las pérdidas por patógenos y aumentar la productividad de la planta (Fierer et al., 2007). Además, los microorganismos del suelo pueden mejorar la tolerancia de la planta al estrés abiótico, como la sequía, estrés salino y la presencia de metales pesados en el suelo (Pineda, Zheng, van Loon, Pieterse, & Dicke, 2010).



A pesar de que los efectos beneficiosos de la aplicación de enmiendas orgánicas a los suelos reportados en los párrafos precedentes han sido documentados ampliamente, los primeros efectos de la aplicación de estas enmiendas sobre las propiedades físicas y biológicas del suelo no han sido reportados bajo nuestras condiciones, especialmente en suelos de sistemas productivos “convencionales” en transición a sistemas de cultivo orgánico. En este estudio se investigaron los cambios inmediatos producidos por la aplicación de 4 enmiendas orgánicas (compost, bokashi, estiércol y biofertilizante líquido) a un suelo previamente usado en producción convencional. El estudio estuvo enfocado a determinar el efecto de las 4 enmiendas sobre las poblaciones de bacterias, hongos, macroinvertebrados y propiedades físicas del suelo en un cultivo de maíz en los primeros 4 meses de la transición del suelo de un sistema convencional a un sistema orgánico. Estos resultados podrán ser utilizados en el diseño de prácticas culturales que permitan establecer comunidades biológicas activas en suelos en transición hacia cultivo orgánico.



2. JUSTIFICACION

A nivel nacional y mundial existe un creciente interés en la implementación de sistemas de producción orgánicos para la producción de alimentos (Muñoz, 2010). Consecuentemente, se espera que el número de unidades productivas en transición entre sistemas de producción convencionales y sistemas de producción orgánicos tienda a incrementarse. Esta transición ha sido bien documentada en términos de los cambios en las características físicas, químicas y biológicas de los suelos (Bulluck et al., 2002); sin embargo, en nuestro país, no hay suficiente información científicamente validada sobre estos cambios. A pesar de que la transición completa entre sistemas de producción convencionales a orgánicos puede tomar entre 5 y 7 años (Seufert, Ramankutty, & Foley, 2012), esta transición empieza con la aplicación de enmiendas de materia orgánica al suelo para incrementar y diversificar las comunidades biológicas que habitan en este. Determinar el efecto de diferentes enmiendas en las propiedades físicas y biológicas del suelo al inicio de la transición de sistemas convencionales a orgánicos será útil para saber qué esperar en los primeros meses de esta transición y diseñar estrategias que aceleren la transición y permitan alcanzar niveles de producción comerciales más rápidamente.



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar los cambios iniciales en la cantidad de bacterias, hongos, macroinvertebrados y propiedades físicas del suelo inducidos por la aplicación de 4 enmiendas orgánicas en un suelo previamente manejado de forma convencional.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la población de bacterias, hongos y macroinvertebrados en un suelo manejado convencionalmente y 4 meses después del inicio de la aplicación de enmiendas orgánicas.
- Determinar las propiedades físicas de un suelo manejado convencionalmente y 4 meses después del inicio de aplicación de enmiendas orgánicas.
- Comparar el desarrollo vegetativo de un cultivo modelo en suelos enmendados con compost, bokashi, estiércol y biofertilizante líquido a los 4 meses de iniciado el experimento.

3.3 Hipótesis

Se plantea la hipótesis nula de que no existen diferencias en las cantidades de bacterias, hongos, macroinvertebrados y las propiedades físicas del suelo de forma detectable después de 4 meses de la aplicación de enmiendas orgánicas (estiércol, bokashi, compost y biofertilizante) en un suelo previamente manejado de forma convencional.



4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Agricultura orgánica

Una idea central en la agricultura orgánica es que la gestión de los cultivos utilizando métodos orgánicos ayuda a mantener y desarrollar las comunidades microbianas que proporcionan servicios importantes del ecosistema. Estos servicios pueden incluir el control biológico por microorganismo que compiten con los patógenos microbianos, las contribuciones a los ciclos de nutrientes y la absorción de nutrientes de las plantas, o contribuciones microbianas a la formación de materia orgánica del suelo (Primavesi, 1982). En sistemas de producción orgánico es necesario tener un adecuado manejo del suelo y nutrición, especialmente a través de la incorporación de materia orgánica (Brenes, 2003) y de un adecuado manejo ecológico del suelo (Primavesi, 1982) además de tener en cuenta la diversidad estructural y de procesos.

En el Ecuador, la producción orgánica se ha venido incrementando, especialmente en algunos cultivos de exportación como banano y cacao (Muñoz, 2010) y en sistemas de producción de la agricultura familiar campesina (Heifer & MAGAP, 2014).

4.2 Microbiología del suelo

La microbiología del suelo es la rama de la edafología que se ocupa de estudiar los microorganismos que habitan en el suelo, sus funciones y actividades. Características como el movimiento, respiración, generación de calor, digestión y evolución demuestran que el suelo es un ente vivo (Coyne M, 2000).

La microbiota del suelo juega un papel clave en la mayor parte de la funcionalidad de los procesos que apoyan los ecosistemas terrestres, incluyendo la adquisición de nutrientes y el reciclaje, la degradación de los productos agroquímicos, y el ciclo de nutrientes (Pankhurst et al, 1996; Van der Heijden et al., 2008, citados en Garrett et al., 2012). Esta capacidad del suelo para funcionar como sistema vivo es de vital



importancia para poder cumplir todas estas funciones que definen la “calidad de la tierra”.

En el Ecuador, el estudio de la microbiología del suelo ha estado principalmente enfocada a la fijación biológica del nitrógeno por la bacteria *Rhizobium*, debido a la importancia de las leguminosas en los agroecosistemas (Bernal, 2006). La relación entre enmiendas orgánicas y la microbiología del suelo en el país ha sido estudiada principalmente con bajo rigor científico, no obstante, se destacan algunos estudios como Producción sustentable del cultivo de papa en zonas “peri-urbanas” del Ecuador y Bolivia, utilizando compost combinado con inoculantes microbianos, donde se reporta una adecuada concentración de hongos, sobresaliendo los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Trichoderma*, dentro de los actinomicetos se destacó la presencia de organismos celulolíticos que aceleraron el proceso de degradación del material orgánico, además las poblaciones de bacterias registraron valores más altos en los tratamientos con *Vicia* y se identificaron los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* como los de mayor población (Bernal, 2006).

4.3 Materia orgánica

Se considera materia orgánica a toda sustancia muerta en el suelo, ya sea que provenga de plantas, microorganismos o excreciones animales, tanto de la meso y macrofauna. El papel de la materia orgánica no es únicamente adicionar nutrientes al suelo, sino también de proveer al suelo de sustancias agregadas del suelo, que lo hacen grumoso y estructuralmente estable, ácidos orgánicos y alcoholes que sirven de fuente de carbono a los microorganismos de vida libre y fijadores de nitrógeno, y genera sustancias bioestimulantes durante su descomposición, que pueden favorecer el crecimiento de las plantas (Primavesi, 1982).

Además el contenido y composición de materia orgánica del suelo modifican la estructura y las propiedades de adsorción del suelo, modificando consecuentemente la retención de agua en el suelo (Rawls, Pachepsky, Ritchie, Sobecki, & Bloodworth, 2003).



Desde el punto de vista químico, la materia orgánica del suelo se puede clasificar entre sustancias no-húmicas y sustancias húmicas (Guggenberger, 2005). Las primeras presentan muy poca degradación y su origen es fácilmente identificable, mientras que, por lo contrario, las sustancias húmicas han sido expuestas a procesos biogeoquímicos que resultan en su modificación estructural hasta el punto de no poder reconocer su origen (Guggenberger, 2005). Estas últimas confieren al suelo propiedades favorables para su uso agrícola como por ejemplo el incremento de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, incremento de la capacidad de amortiguamiento químico y la formación de fenoles, que contribuyen, en la respiración, absorción de fósforo y en la sanidad vegetal (Primavesi, 1982).

Las principales fuentes de materia orgánica en suelos agrícolas son los residuos de la actividad ganadera, agrícola, forestal, industrial y de actividad humana. Y los abonos orgánicos preparados como el compost, estiércol, bokashi, humus de lombrices, mulch, abono verde, etc. (Brechelt, 2004).

4.4 Enmiendas orgánicas

Las enmiendas orgánicas se definen como subproductos o residuos de las distintas actividades productivas (Sperberg & Hirzel, 2011). El uso de enmiendas orgánicas es fundamental en sistemas de producción orgánicos, mientras que en sistemas convencionales se usan menos frecuentemente. A continuación se revisan algunas características de las enmiendas orgánicas usadas en el estudio.

4.4.1 Estiércol

Es el excremento de los animales que resultan como deshechos del proceso de digestión de los animales que consumen, generalmente vienen acompañados de una pequeña parte de paja y orina. La calidad del estiércol depende del pasto del cual se alimenta el ganado, este a su vez de la fertilidad del suelo y el manejo que se practique. Para su descomposición necesita un periodo de 7 meses (Iñiguez, 2007). Algunos agricultores han venido experimentando con éxito la utilización de



estiércoles de conejos, caballos, ovejas, cabras, cerdos, vacas, codornices, patos y gallinaza (Hensel & Restrepo, 2009).

Tabla 1. Contenido nutricional de diferentes tipos de estiércol

Nutriente	Vacuno	Porcino	Caprino	Aviar
Materia orgánica (%)	48,9	45,3	52,8	54,1
Nitrógeno total (%)	1,27	1,36	1,55	2,38
Fósforo asimilable (%)	0,81	1,98	2,92	3,86
Potasio (%)	0,84	0,66	0,74	1,39
Calcio (%)	2,03	2,72	3,2	3,63
Magnesio (%)	0,51	0,65	0,57	0,77

Fuente: Sosa, 2005

4.4.1.1 Objetivos de uso

El estercolado es capaz de actuar positivamente sobre las propiedades físicas del suelo, así se han logrado importantes disminuciones de la densidad aparente, aumentos de la porosidad, de la estabilidad estructural y mejoras en la capacidad de almacenaje de agua del suelo. El estiércol ejerce un efecto favorable por el gran y variado número de bacterias que posee. Éstas producen transformaciones químicas no sólo en el estiércol mismo sino, además, en el suelo, haciendo que muchos elementos no aprovechables por las plantas puedan ser asimilados por ellas. Además, el estercolado puede aumentar la población y la actividad de algunos componentes de la fauna edáfica, como por ejemplo las lombrices. (Sosa, 2005). Su aporte básico consiste en mejorar las características vitales y la fertilidad de la tierra con algunos nutrientes, principalmente con fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro, entre otros elementos (Hensel & Restrepo, 2013).



4.4.1.2 Criterios para la cantidad a aplicar

Los estercolados corrientes se realizan a dosis de varias toneladas por hectárea, en el maíz 10 Tm/ha, en trigo y avena basta con 5 Tm/ha. El máximo incremento de cosecha por tonelada de estiércol se consigue con dosis relativamente bajas, pero el mayor beneficio por hectárea se obtiene con aplicaciones elevadas (Thompson & Troeh, 2002).

4.4.2 Bokashi

Bokashi es la palabra japonés que significa cocer al vapor los materiales del abono, aprovechando el calor que se genera con la fermentación aeróbica de los mismos. Se mantiene un mayor contenido energético de la masa orgánica pues al no alcanzar temperaturas tan elevadas hay menos pérdidas por volatilización (Hensel & Restrepo, 2013).

Los ingredientes básicos para la preparación del bokashi son gallinaza de aves ponedoras u otros estiércoles, carbón quebrado en partículas pequeñas, pulidura o salvado de arroz, cascarilla de arroz o rastrojo, cal agrícola o ceniza de fogón, melaza, levadura de pan, tierra y agua (Hensel & Restrepo, 2013).



Tabla 2. Contenidos de nutrientes en tres formas de bokashi

Nutrientes	I	II	III
Nitrógeno (%)	1,18	0,96	0,93
Fósforo (%)	0,70	0,58	0,44
Potasio (%)	0,50	0,51	0,47
Calcio (%)	2,05	2,26	2,58
Magnesio (%)	0,21	0,20	0,20
Hierro (mg/l)	2,304	4,260	2,312
Manganeso (mg/l)	506	495	531
Zinc (mg/l)	61	78	205
Cobre (mg/l)	19	33	28
Boro (mg/l)	14	8	-

Fuente: Hensel & Restrepo, 2009

4.4.2.1 Objetivos de su uso

Aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, mejorando la retención del agua, la formación de la estructura de los agregados, la trabajabilidad del suelo y resistencia a la erosión.

Suministra vitaminas, aminoácidos, ácido orgánico, enzimas y sustancias antioxidantes directamente a las plantas y al mismo tiempo activa los macro y microorganismos benéficos durante el proceso de fermentación.

Estimula el crecimiento de las plantas por medio de una serie de fitohormonas y fitorreguladores además de nutrientes de excelente calidad disponibles para la tierra, las plantas y la propia retroalimentación de la actividad biológica.

Actúa como autorregulador de los “agentes patogénicos” presentes en el suelo, por medio de la inoculación biológica natural, principalmente de bacterias, actinomicetos, hongos y levaduras, entre otros (Hensel & Restrepo, 2013).



4.4.2.2 Criterios de la cantidad a utilizar

En terrenos manejados de forma convencional, las dosis será 45 Tm/ha.

En terrenos con proceso de fertilización orgánica se puede aplicar 18 Tm/ha. La aplicación debe realizarse 15 días antes de la siembra, al trasplante o en el desarrollo del cultivo.

Para cultivos anuales (granos básicos, yuca, caña y otros), será necesaria una segunda aplicación, entre 15 y 25 días de la emergencia del cultivo, en dosis de 10 Tm/ha.

Para hortalizas se hará una sola aplicación de 18 Tm/ha, 15 días antes de la siembra o el trasplante (FAO, AECID, CENTA, & MAG, 2011).

4.4.3 Compost

El proceso de compostaje se define como una descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de patógenos y semillas de arvenses y que aplicado al terreno produce un beneficio. Durante este proceso se suceden una serie de etapas caracterizadas por la actividad de distintos organismos, existiendo una estrecha relación entre la temperatura, pH y el tipo de microorganismos que actúa en cada fase (Alvarez, n.d.).



Tabla 3. Contenido de nutrientes de compost

Nutrientes	Contenido
Nitrógeno (%)	0,60
P₂O₅ (%)	0,01
K₂O (%)	1,55
Calcio (%)	1,89
Magnesio (%)	0,19
Azufre (%)	0,18
Hierro (ppm)	175,42
Zinc (ppm)	166,13
Cobre (ppm)	37,00
Boro (ppm)	18,50

Fuente: Iñiguez, 2007

4.4.3.1 Objetivos de uso

Los beneficios del uso de compost en su aplicación al suelo son múltiples en los aspectos físico, químico y microbiológico.

Este uso adecuado del compost, contribuye a formar y estabilizar el suelo, aumentar su capacidad para retener agua y para intercambiar cationes, haciendo más porosos a los suelos compactos y mejorando su manejabilidad. Aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, su estabilidad y así se evita la erosión y la desertificación. Aporta una gran cantidad de nutrientes a las plantas y suelo.

Presenta propiedades fitosanitarias de carácter supresivo para determinadas enfermedades de las plantas (Alvarez, n.d.).

4.4.3.2 Criterios de la cantidad a utilizar

Para el cultivo de forraje y praderas se recomienda la aplicación de 25-40 Tm/ha en la implantación del cultivo.

El cultivo de arroz entre 15 y 50 Tm/ha, maíz 6 a 10 Tm/ha anualmente.



Para cultivos hortofrutícolas de campo se aplica de 50 a 100 Tm/ha y cultivos hortofrutícolas bajo invernadero de 10 a 15 t/ha cada 3 meses.

En frutales 100 a 200 t/ha cada 2 a 3 años (Alvarez, n.d.).

4.4.4 Biofertilizantes

El biofertilizante, es un abono, que se aplican a los cultivos para su crecimiento y salud. Preparado a base de estiércol fresco de vaca, disuelta en agua y enriquecida con leche, melaza y ceniza, que se ha colocado a fermentar por varios días en toneles o tanques de plástico, bajo un sistema anaeróbico y muchas veces enriquecidos con harina de rocas o sales minerales; como son los sulfatos de magnesio, zinc, cobre, etc. (Hensel & Restrepo, 2009)

Tabla 4. Contenido nutricional de biofertilizante

Nutrientes	Contenido
Nitrógeno (%)	0,45
P₂O₅ (%)	0,03
K₂O (%)	0,29
Calcio (%)	2,18
Magnesio (%)	0,96
Azufre (%)	1,21
Hierro (ppm)	938,00
Zinc (ppm)	215,18
Cobre (ppm)	59,90
Boro (ppm)	10,11

Fuente: Iñiguez, 2007

4.4.4.1 Objetivos de uso

Los biofertilizantes aumentan la biodiversidad, actividad y cantidad microbiológica del suelo, aumentando el contenido de vitaminas, auxinas y antibióticos, además de



estimular la formación de ácidos húmicos, rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas y de la bioprotección.

Mejora la estructura, la profundidad y la penetración de las raíces hasta las capas más profundas de los suelos. También aumenta la resistencia de las plantas al ataque de enfermedades principalmente de las raíces.

Debido a las características altamente quelantes que poseen los biofertilizantes, facilitan la nutrición equilibrada del suelo y maximizan el aprovechamiento mineral de los cultivos (Hensel & Restrepo, 2013).

4.4.4.2 Criterios de la cantidad a aplicar

Hortalizas en viveros o almácigos: hasta dos aplicaciones del biofertilizante, en concentraciones que pueden variar entre el 2% y el 3%.

Hortalizas trasplantadas al campo: de 3 hasta 6 aplicaciones del biofertilizante, en concentraciones que pueden variar entre el 3% y el 7%.

Frutales en viveros: de 6 hasta 8 aplicaciones.

Frutales, café o cultivos perennes: de 10 a 15 aplicaciones del biofertilizante por ciclo.

Cultivo de temporada como frijol y maíz: de 6 hasta 8 aplicaciones, durante el ciclo que dure el cultivo (Hensel & Restrepo, 2013).

4.5 Principales materiales utilizados en las enmiendas y sus criterios de selección

4.5.1 Melaza

Es la principal fuente energética para la fermentación de los abonos orgánicos. Favorece la multiplicación de la actividad microbiológica; es rica en potasio, calcio, fósforo y magnesio; y contiene micronutrientes, principalmente boro, zinc, manganeso y hierro.

Para lograr una aplicación homogénea de la melaza durante la elaboración de los abonos orgánicos fermentados, se recomienda diluirla en una parte del volumen del



agua que se utilizará al inicio de la preparación de los abonos, en muchos casos se viene sustituyendo por panela, jugo de caña o azúcar morena (Hensel & Restrepo, 2013).

4.5.2 Levadura

Constituye la principal fuente de inoculación microbiológica para la elaboración de los abonos orgánicos fermentados. Es el arranque de la fermentación durante los dos primeros días (Hensel & Restrepo, 2013).

4.5.3 Rastrojo

Este ingrediente mejora las características físicas de la tierra y de los abonos orgánicos, facilitando la aireación, la absorción de humedad y el filtrado de nutrientes. También beneficia el incremento de la actividad macro y microbiológica de la tierra, al mismo tiempo que estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas así como de su actividad simbiótica con la microbiología de la rizósfera. Es, además, una fuente rica en silicio, lo que favorece a los vegetales, pues los hace más resistentes a los ataques de insectos y enfermedades. A largo plazo, se convierte en una fuente de humus (Hensel & Restrepo, 2013).

4.5.4 Agua

Tiene la finalidad de homogeneizar la humedad de todos los ingredientes que componen el abono. Propicia las condiciones ideales para el buen desarrollo de la actividad y reproducción microbiológica durante todo el proceso de la fermentación cuando se están elaborando los abonos orgánicos. Tanto la falta de humedad como su exceso son perjudiciales para la obtención final de un buen abono orgánico.

La forma más práctica de ir probando la humedad ideal es por medio de la prueba del puño. Al constatar un exceso de humedad, lo más recomendable es controlarla



aumentándole más cascarilla a la mezcla o en algunos casos se puede agregar más tierra seca al abono (Hensel & Restrepo, 2013).

4.6 Efectos reportados en las propiedades físicas del suelo

Después de dos años de aplicación de enmiendas alternativas principalmente de compost la densidad aparente de las granjas orgánicas bajó, mejorando la calidad del suelo (Bulluck et al., 2002).

El agregado de materia orgánica aumenta la estabilidad estructural disminuye la densidad aparente (Zubillaga, 2012), incrementa la infiltración de agua en el suelo y conductividad hidráulica (Obi & Ebo, 1995) además de la estabilidad y el número de los macro y mesoporos (Zubillaga, 2012).

4.7 Efectos reportados en las propiedades químicas del suelo

Beneficios de las enmiendas de compost al suelo incluyen la estabilización del pH y la tasa de infiltración de agua debido a una mayor agregación del suelo. Las características químicas del suelo se ven afectadas por la enmienda del suelo y sistema de producción (Bulluck et al., 2002), desde el punto de vista químico, se incrementa la capacidad de intercambio catiónico, se regula en mejor forma el ciclo de nutrientes, especialmente del N, S, P y B (Sierra & Rojas, n.d.).

4.8 Efectos reportados en las propiedades biológicas del suelo

Estudios realizados por (Bulluck et al., 2002) demuestran que la densidad de propágulo de *Trichoderma* permaneció más alto en los suelos de las granjas orgánicas. Densidades de propágulos de especies de *Trichoderma*, microorganismos termófilos, y bacterias entéricas también se detectaron en mayor número en los suelos con enmiendas alternativas, mientras que la densidad de propágulo de especies de *Phytophthora* y *Pythium* fueron menores en suelos enmendados de forma alternativa que en las aplicaciones sintéticas.



4.9 Efectos reportados en el desarrollo de los cultivos

Según Bulluck *et al*, (2002) en el primer año de cultivo después de la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas en comparación con la aplicación de fertilizantes sintéticos no se detectaron diferencias en los cultivos en 4 de 6 granjas. Pero para el segundo año en cultivo de tomate, los rendimientos fueron más altos en granjas de producción orgánica, independientemente del tipo de enmienda. Es decir que para obtener cambios significativos en cuanto a producción es necesario un tiempo mínimo de dos años con la aplicación de enmiendas orgánicas.

4.10 Tiempo que toma alcanzar el equilibrio biológico en el suelo

El período de transición representa quizás el mayor obstáculo a la producción orgánica. Durante este período, muchos de los principios de la agricultura orgánica no funcionan apropiadamente porque no se han establecido ni recuperado muchos de los procesos y relaciones entre los componentes del sistema (Brenes, 2003).

El estudio realizado por (Franco-Otero, Soler-Rovira, Hernández, López-de-Sá, & Plaza, 2011) a corto plazo dio como resultado que las adiciones de diferentes fórmulas de compost no afectaron significativamente la biomasa microbiana del suelo, en comparación con la fertilización mineral. Además los cambios en microbiológica del suelo y propiedades bioquímicas no mostraron relaciones significativas con el rendimiento del trigo.

Los resultados reportados por (Mosaddeghi, Mahboubi, & Safadoust, 2009) indican efectos beneficiosos a corto plazo de la aplicación de estiércol en la densidad aparente del suelo y cuando se combinan con los sistemas de labranza.



5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

El experimento se desarrolló en una granja ubicada en la parroquia Javier Loyola, cantón Azogues, provincia del Cañar. Las condiciones ambientales de la granja corresponden a un clima ecuatorial mesotérmico húmedo, con una temperatura promedio de 12 a 18°C. Las precipitaciones se distribuyen en cuatro temporadas, dos lluviosas que corresponden a los meses de octubre a diciembre y marzo a abril; y dos épocas secas en los meses de enero a febrero y de mayo a septiembre. El suelo en el lote experimental es un vertisol, con pendiente del 15%, de textura franco arcillosa y previamente cultivado en un sistema de tomate de árbol-papas-barbecho por los últimos 5 años. El estudio se llevó a cabo durante los meses de noviembre a marzo.

5.2 Enmiendas orgánicas

La aplicación de las enmiendas orgánicas se realizó los días 11 y 12 de noviembre de 2014 y fueron incorporados con arado a una profundidad de 15cm.



Tabla 5. Tratamientos utilizados en el estudio

Tratamiento	Descripción
A. Estiércol bovino	Se aplicó en estado de descomposición a una tasa de 20 Mg·ha ¹ (López, Estrada, Rubin, & Cepeda, 2001).
B. Bokashi	Fue preparado el 12 de septiembre de 2014 y se aplicó a una tasa de 45 Mg·ha ⁻¹ (FAO et al., 2011).
C. Compost	Se aplicó compost de origen vegetal a una tasa de 40 Mg·ha ⁻¹ (López et al., 2001).
D. Biofertilizante líquido	Se aplicó a una tasa de 1000 L·ha ⁻¹ , a una concentración del 50% en agua distribuidos en 8 aplicaciones cada 15 días usando una bomba manual. (Restrepo & Hensel 2013, Biobolsa, n.d.)
T. Control convencional	El suelo recibió una aplicación de fondo con 18-46-00 a una tasa de 100 Kg·ha ⁻¹ , Sulpomag a una tasa de 50 Kg·ha ⁻¹ y dos aplicaciones por sitio de urea a una tasa total de 150 Kg·ha ⁻¹ distribuidas entre las dos aplicaciones (INIAP & PROMSA, 2004).

Fuente: Loja, Méndez, 2014

5.3 Preparación de las parcela

Las dimensiones de cada parcela experimental fueron de 5 m de ancho por 5 m de largo (25 m²) con una separación entre parcelas de 1 m en los 4 lados. La labor de arado se realizó el día 10 de noviembre de 2014 a una profundidad de 15cm.

5.4 Siembra del cultivo

La siembra se realizó el día 15 de noviembre de 2015, para lo cual se utilizó maíz variedad Zhima, como cultivo modelo para proveer cobertura al suelo a un espaciamiento de 1m entre hileras y 0,8m entre plantas.



5.5 Muestreo

Al inicio del experimento, se tomaron tres muestras representativas del lote experimental para determinar niveles iniciales pretratamiento para cada una de las variables.

A los 120 días desde iniciado el experimento se tomaron muestras de cada una de las parcelas experimentales y se determinaron los niveles finales para cada una de las variables. Se escogió realizar el muestreo final a los 120 días para determinar la respuesta inicial del suelo a la aplicación de las 4 enmiendas orgánicas ya que periodos más largos de tiempo implicarían la introducción de efectos ambientales que no son de interés para este estudio. Para el muestreo se tomaron tres submuestras de suelo, cada una consistió en un prisma de suelo de 30 x 15 x 15 cm (largo x ancho x profundidad) ubicadas en el centro de la parcela experimental a 10 cm de la hilera de cultivo más cercana y a 1 m de los bordes de la parcela. El suelo de estos prismas fue mezclado y homogeneizado y se tomó una muestra de 1.5 Kg para análisis físicos, químicos y biológicos.

5.6 Análisis químico

Se determinó el pH por el método del potenciómetro y la conductividad eléctrica por el método del conductímetro.



Figura 1. Análisis de conductividad eléctrica y pH
Fuente: Loja, Méndez 2015

5.7 Análisis físico

Se determinó textura por el método de la pipeta, densidad aparente por método del cilindro, curva de retención de agua por medio de la determinación de pF 0 en saturación, pF 2,5 método de ollas de presión y pF 4,2 pasta saturada, resistencia a la penetración por el método del penetrómetro, conductividad hidráulica saturada por el método de pozo invertido y estructura por el método visual.



Figura 2. Pasta saturada para pruebas de pF
Fuente: Loja, Méndez 2015

5.8 Análisis biológico

5.8.1 Análisis de macroinvertebrados

Se analizó el número y diversidad de macroinvertebrados, evaluados directamente por conteo en las muestras colectadas e identificados a nivel de orden.

5.8.2 Análisis de población de bacterias y hongos

En pretratamiento las poblaciones de bacterias fueron evaluadas por conteos en medio PCA. Se sembraron 200 μ l de una suspensión de suelo usando una dilución 10^{-3} por duplicado. La temperatura de incubación fue de 35 °C durante 24 horas para su respectivo conteo.

Para las poblaciones de hongos se evaluó por conteos en medio PDA con adición de sulfato de estreptomicina en dosis de 20mg/500ml. Se sembraron 200 μ l de una suspensión de suelo usando una dilución 10^{-2} por duplicado. La temperatura de incubación fue de 25 °C durante 4 días para su respectivo conteo.



Figura 3. Análisis de la población de hongos

Fuente: Loja, Méndez 2015

Para postratamiento de las poblaciones de bacterias fueron evaluadas por conteos en medio PCA, con 200µl de una suspensión de suelo con una dilución 10^{-4} por duplicado. La temperatura de incubación fue de 35 °C durante 24 horas para su respectivo conteo.

Para las poblaciones de hongos se evaluó por conteos en medio PDA con adición de sulfato de estreptomicina en dosis de 50mg/500ml, con 200µl de una suspensión de suelo a una dilución 10^{-3} por duplicado La temperatura de incubación fue de 25 °C durante 4 días para su respectivo conteo.

5.9 Respuesta vegetativa

Fue evaluada en el día 60 y 120 del experimento a través de la altura de planta, número de hojas, grosor del tallo e índice de verdor. El análisis del índice de verdor

se determinó mediante el uso del software *ImageJ* estimando la intensidad de los píxeles a través de hojas escaneadas.



Figura 4. Medición de la altura de la planta a los 60 dds.
Fuente: Loja, Méndez 2015

5.10 Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento fue conducido utilizando un diseño de bloques completo al Azar (DBCA) con 3 repeticiones por tratamiento. Cada repetición está representada por una parcela de 25 m². Se analizó la significancia estadística de las diferencias entre las medias de los valores iniciales y finales de las variables físicas, químicas y biológicas estudiadas al 95% de confianza, para cada tipo de enmienda utilizada y la prueba de Duncan con 5% de error para comparar las diferentes medias. Para comparar la respuesta vegetal entre diferentes enmiendas se utilizó análisis de varianza y las siguientes comparaciones ortogonales: enmiendas vs. control y enmiendas sólidas (i.e. estiércol, bokashi y compost) vs biofertilizante líquido.

6 RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Resultados de los análisis químicos

Se realizó el análisis de pH y conductividad eléctrica tanto en pretratamiento, como después de 4 meses de la aplicación de las enmiendas orgánicas y el control.

6.1.1 pH

En la figura 5 se observa que el valor del pH en pretratamiento y después de 4 meses de la aplicación de las diferentes enmiendas orgánicas, el pH en pretratamiento fue ligeramente alcalino, cuyo valor corresponde a 7,92. Después de la aplicación de las enmiendas orgánicas el pH se redujo escasamente sin mostrar una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos (Tabla 7). Con el control convencional se observa una disminución, pero manteniéndose ligeramente alcalino. La reducción del pH en el control probablemente se debió a que la aplicación de fertilizantes con una alta proporción de amonio pueden disminuir el pH del suelo (Mattson, 2013).

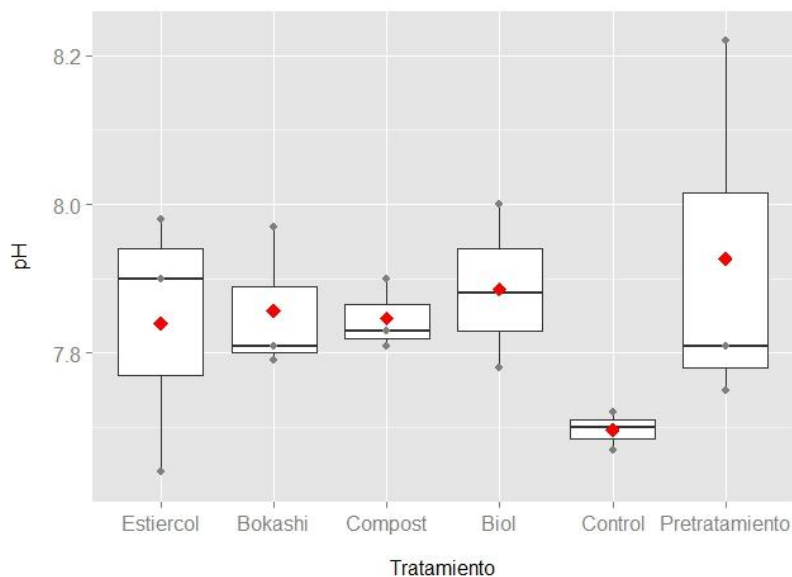


Figura 5. pH en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.

El diamante rojo representa la media. **Elaborado por:** Loja y Méndez, 2015



Tabla 6. Análisis de varianza de pH en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

	g.l.	CME	F_{calc}	Valor P
Tratamientos	5	$1,83 \times 10^{-2}$	0,90	0,51
Residuos	12	$2,03 \times 10^{-2}$		

C.V.= 1,82%

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

Tabla 7. Rangos de separación de medias por valores de pH de acuerdo a la prueba de Duncan

Tratamiento	Media	Rango
Pretratamiento	7,92	a
Biol	7,89	a
Bokashi	7,86	a
Compost	7,85	a
Estiércol	7,84	a
Control	7,70	a

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

6.1.2 Conductividad eléctrica

En la figura 6 observamos que los valores de conductividad eléctrica en pretratamiento, control y la aplicación de biol después de 4 meses, se mantiene en un nivel medio, entre 0,17 dS/m y 0,19dS/m, mientras que con la aplicación de estiércol, bokashi y compost sube ligeramente su valor, obteniendo así una conductividad eléctrica alta con valores de 0,21, sin embargo no hay una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos (Tabla 9).

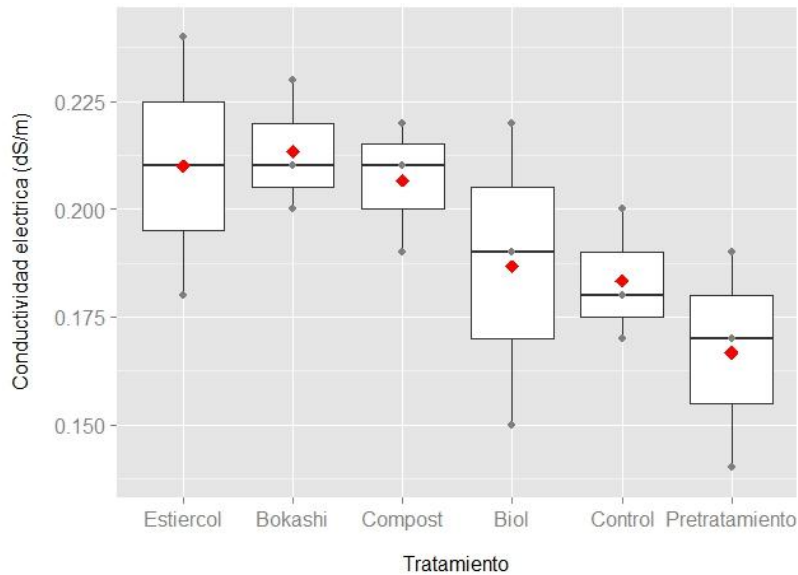


Figura 6. Conductividad eléctrica en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

El diamante rojo representa la media. **Elaborado por:** Loja y Méndez, 2015

Tabla 8. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

	g.l.	CME	Fcalc	Valor P
Tratamientos	5	$1,02 \times 10^{-3}$	1,77	0,19
Residuos	12	$5,78 \times 10^{-4}$		

C.V.= 12,36%

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015



Tabla 9. Rangos de separación de medias por valores de conductividad eléctrica de acuerdo a la prueba de Duncan

Tratamiento	Media	Rango
Bokashi	0,21	a
Estiércol	0,21	a
Compost	0,21	a
Biol	0,19	a
Control	0,18	a
Pretratamiento	0,17	a

>0,10 Bajo
0,11 a 0,20 Medio
< 0,21 Alto

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015

6.2 Resultados de los análisis físicos

Se realizaron análisis de densidad aparente, retención de agua (pF 0 y 2,5), conductividad hidráulica saturada, textura y estructura, tanto en pretratamiento como después de 4 meses de la aplicación de las enmiendas orgánicas y el control.

6.2.1 Densidad aparente

La figura 7 nos indica que la densidad aparente en pretratamiento fue 1,33 g/cc luego de la aplicación de compost disminuyó a 1,22g/cc, estos dos tratamientos corresponden al rango (a); mientras que con la aplicación de estiércol, bokashi, biol y el control convencional tienen una densidad aparente que va de 1,05 g/cc a 1,09 g/cc mostrando una diferencia significativa (Tabla 11). Esto debido por una parte a las labores culturales realizadas en las parcelas y a que la aplicación de enmiendas orgánicas tiende a bajar la densidad aparente tanto a largo y a corto plazo (Bulluck et al., 2002), lo que no ocurrió con la aplicación de compost, siendo contradictorio a lo reportado por Bulluck et al. (2002).

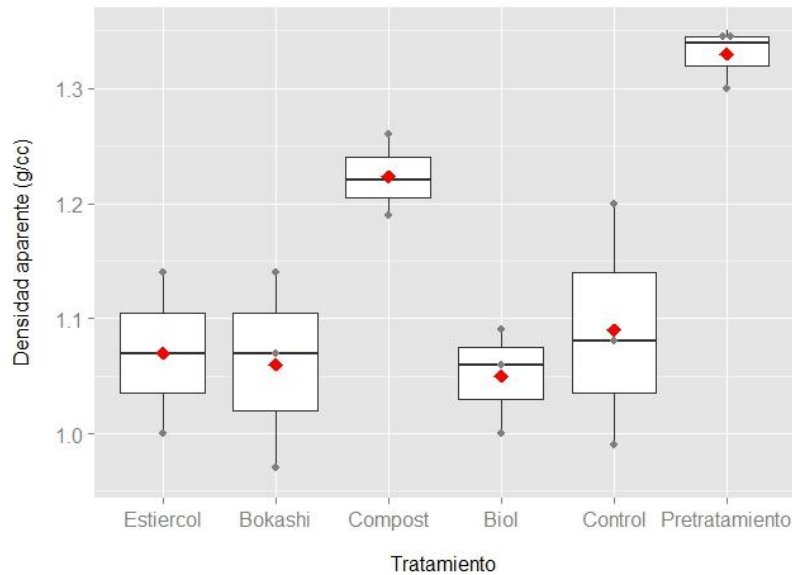


Figura 7. Densidad aparente en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.

El diamante rojo representa la media. **Elaborado por:** Loja y Méndez, 2015

Tabla 10. Análisis de varianza de densidad aparente en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

	g.l.	CME	Fcalc	Valor P
Tratamientos	5	$3,80 \times 10^{-2}$	7,64	0,0025
Residuos	11	$4,97 \times 10^{-3}$		

C.V.=6,18%

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**



Tabla 11. Rangos de separación de medias por valores de densidad aparente acuerdo a la prueba de Duncan

Tratamiento	Media	Rango
Pretratamiento	1,33	a
Compost	1,22	a
Control	1,09	b
Estiércol	1,07	b
Bokashi	1,06	b
Biol	1,05	b

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

6.2.2 Retención de agua

6.2.2.1 pF 0

La figura 8 nos indica que la retención de agua en pF 0 después de 4 meses de la aplicación de las enmiendas orgánicas y el tratamiento convencional, aumentó significativamente en comparación con el pretratamiento (Tabla 13), debido a que la retención de agua en el suelo puede ser afectada por cambios en la materia orgánica del suelo (Rawls et al., 2003).

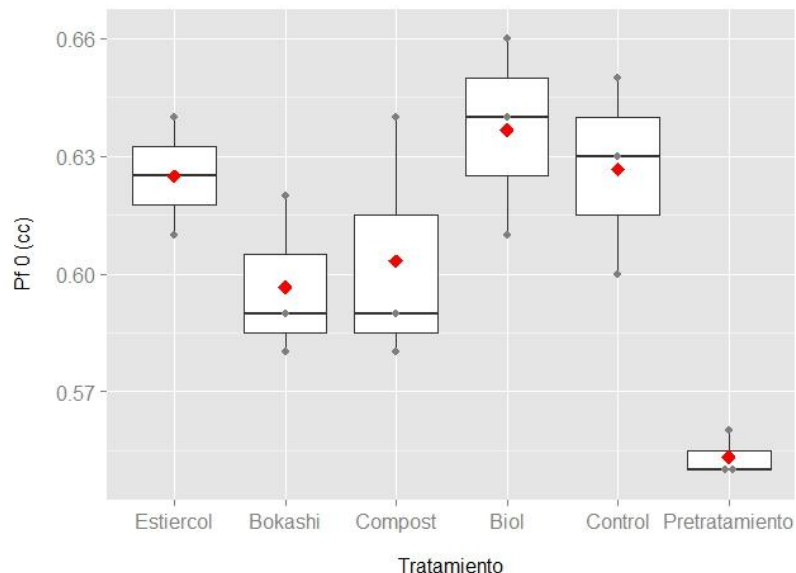


Figura 8. pF0 en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.

El diamante rojo representa la media. **Elaborado por:** Loja y Méndez, 2015

Tabla 12. Análisis de varianza de pF0 en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

	g.l.	CME	Fcalc	Valor P
Tratamientos	5	$2,69 \times 10^{-3}$	4,49	0,01
Residuos	11	$5,44 \times 10^{-4}$		

C.V.= 3,85%

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015

Tabla 13. Rangos de separación de medias por valores de pF 0 de acuerdo a la prueba de Duncan

Tratamiento	Media	Rango
Biol	0,64	a
Control	0,63	a
Estiércol	0,63	a
Compost	0,60	a
Bokashi	0,60	ab
Pretratamiento	0,55	b

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015

6.2.2.2 pF 2,5

La figura 9 nos indica que la retención de agua en pF 2,5 después de 4 meses de la aplicación de las enmiendas orgánicas y el tratamiento convencional se mantiene entre los valores 0,36 y 0,42, sin mostrar una diferencia significativa (Tabla 15).

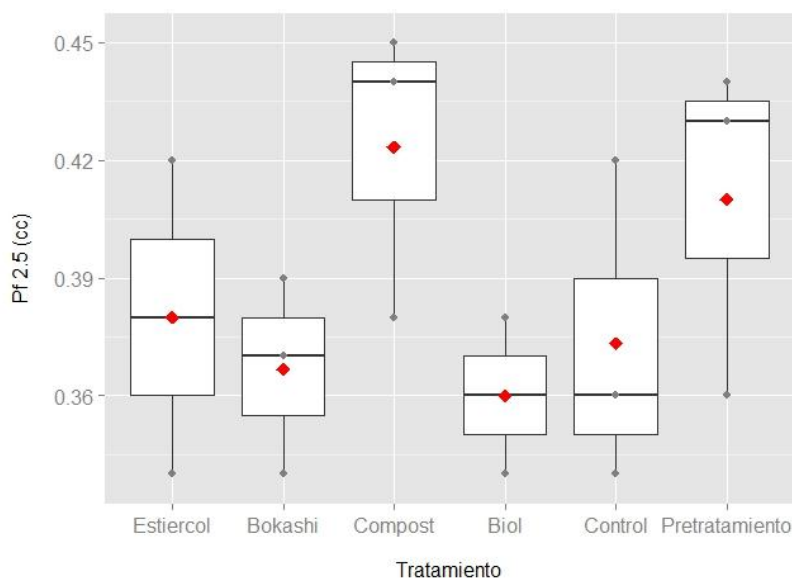


Figura 9. pF2.5 en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.

El diamante rojo representa la media. **Elaborado por:** Loja y Méndez, 2015



Tabla 14. Análisis de varianza de pF2.5 en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

	g.l.	CME	F_{calc}	Valor P
Tratamientos	5	$1,92 \times 10^{-3}$	1,37	0,31
Residuos	11	$1,40 \times 10^{-3}$		

C.V.= 9,70%

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

Tabla 15. Rangos de separación de medias por valores de pF 0 de acuerdo a la prueba de Duncan

Tratamiento	Media	Rango
Compost	0,42	a
Pretratamiento	0,41	a
Estiércol	0,38	a
Control	0,37	a
Bokashi	0,37	a
Biol	0,36	a

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

6.2.3 Conductividad hidráulica saturada

La figura 10 nos indica en pretratamiento y control una conductividad hidráulica saturada rápida y después de 4 meses de la aplicación de las enmiendas orgánicas los valores aumentan, teniendo una conductividad hidráulica muy rápida, siendo el compost el único tratamiento que mostró un aumento significativo.

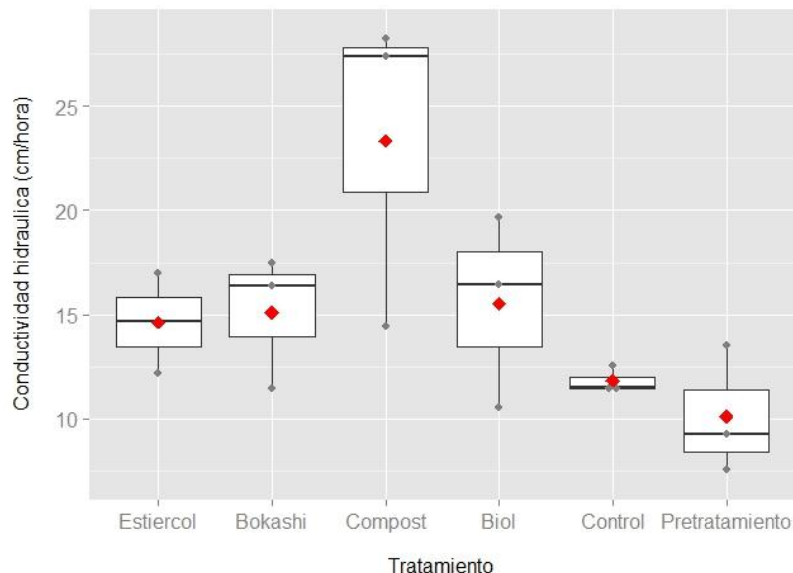


Figura 10. Conductividad hidráulica saturada en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.
El diamante rojo representa la media. **Elaborado por:** Loja y Méndez, 2015

Tabla 16. Análisis de varianza de la conductividad hidráulica en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

	g.l.	CME	Fcalc	Valor P
Tratamientos	5	62,18	3,48	0,035
Residuos	12	17,85		

C.V.= 27,99%

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**



Tabla 17. Rangos de separación de medias por valores de conductividad hidráulica de acuerdo a la prueba de Duncan

Tratamiento	Media	Rango
Compost	23,33	a
Biol	15,54	b
Bokashi	15,10	b
Estiércol	14,64	b
Control	11,84	b
Pretratamiento	10,11	b

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

6.2.4 Textura

La figura 11 indica que la textura en pretratamiento y control se mantiene franco arcillosa, mientras que con la aplicación de las enmiendas orgánicas se muestra un cambio hacia texturas Franco arcillo arenosa en su mayoría.

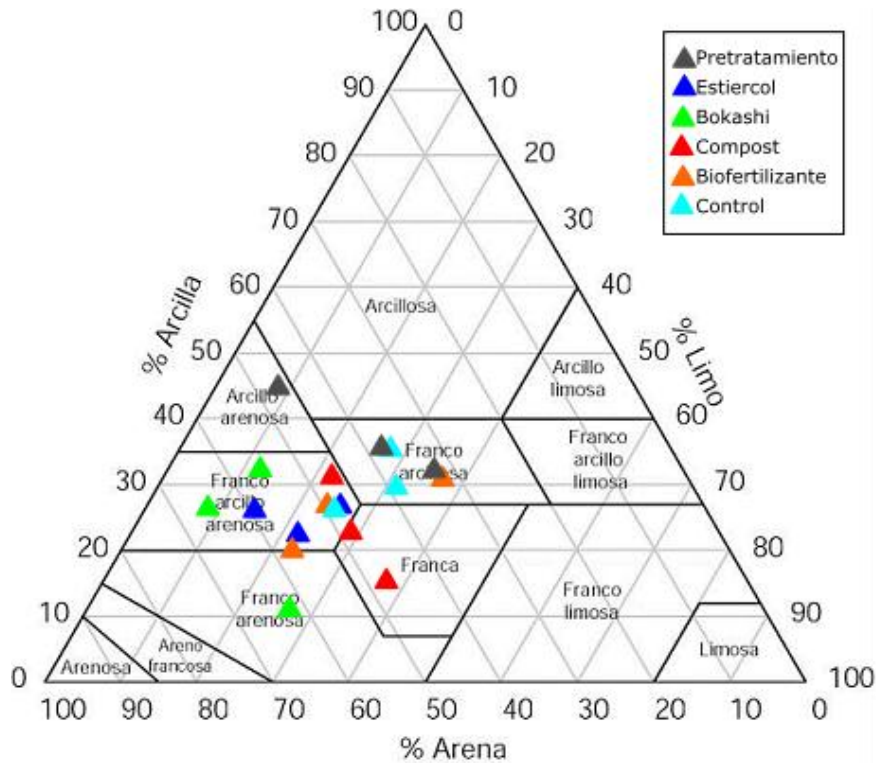


Figura 11. Textura del suelo con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015

6.2.5 Estructura

En la tabla 12 podemos observar que la estructura del suelo en pretratamiento y control se mantienen en mayor parte en rangos de 0 correspondientes a estructuras pobres y después de 4 meses de la aplicación de las enmiendas orgánicas estos rangos cambian a una estructura moderada en concordancia con Bulluck et al. (2002) y Zubillaga (2012).

Tabla 18. Estructura del suelo con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

Tratamiento	Estructura		
	R1	R2	R3
Pre-tratamiento	0	1	0
Estiércol	1	1	0
Bokashi	1	1	1
Compost	0	1	1
Biofertilizante	1	1	0
Control	0	1	0

0= Estructura pobre

1= Estructura moderada

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015



Figura 12. Estructura moderada=1 (derecha), estructura pobre=0 (izquierda)

6.3 Resultados de los análisis biológicos

Se realizaron análisis de poblaciones de bacterias, hongos y macroinvertebrados tanto en pretratamiento como después de 4 meses de la aplicación de las enmiendas orgánicas y el control.

6.3.1 Población de bacterias

La figura 13 nos indica que después de la aplicación tanto de las enmiendas orgánicas como el control convencional aumentó significativamente la población de bacterias, con respecto a los valores en pretratamiento. No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos orgánicos y el control convencional. Este resultado concuerda con reportes que indican que a corto plazo las adiciones de diferentes formulas de compost no afectan significativamente la biomasa microbiana del suelo, en comparación con la fertilización mineral (Franco-Otero et al., 2011).

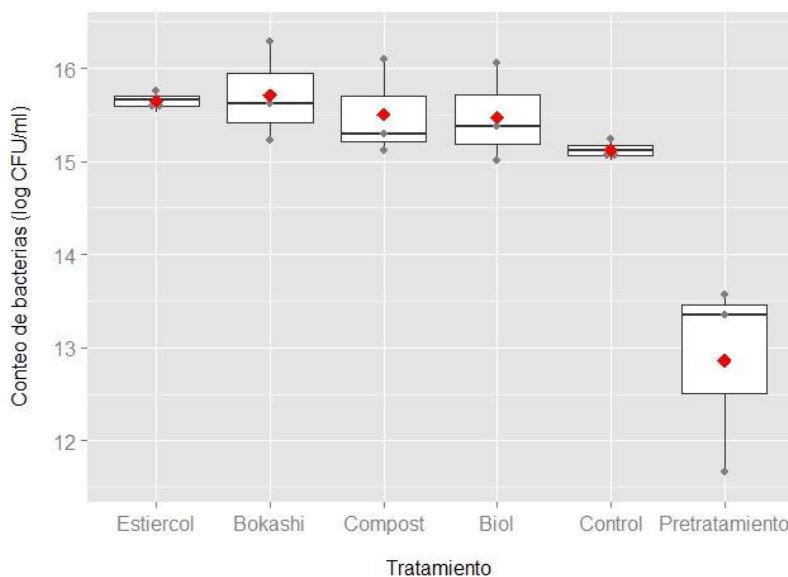


Figura 13. Población de bacterias en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.

El diamante rojo representa la media. **Elaborado por:** Loja y Méndez, 2015



Tabla 19. Análisis de varianza de la población de bacterias en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

	g.l.	CME	F_{calc}	Valor P
Tratamientos	5	3,59	11,02	0,0003
Residuos	12	0,33		

C.V.= 12,36%

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

Tabla 20. Rangos de separación de medias por valores de la población de bacterias de acuerdo a la prueba de Duncan

Tratamiento	Media	Rango
Bokashi	1.571.051	A
Estiércol	1.564.564	A
Compost	1.550.352	A
Biol	1.547.665	A
Control	1.511.974	A
Pretratamiento	1.285.935	B

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

6.3.2 Población de hongos

La figura 14 indica que después de la aplicación de los tratamientos hay un aumento significativo en la población de hongos con respecto al pretratamiento, teniendo en primer lugar la aplicación de estiércol ya que este ejerce un efecto favorable por el gran y variado número de microorganismos que posee (Sosa, 2005). En segundo lugar el control convencional seguido por la aplicación de biol, bokashi y compost, que se encuentran en rangos relacionados entre sí.

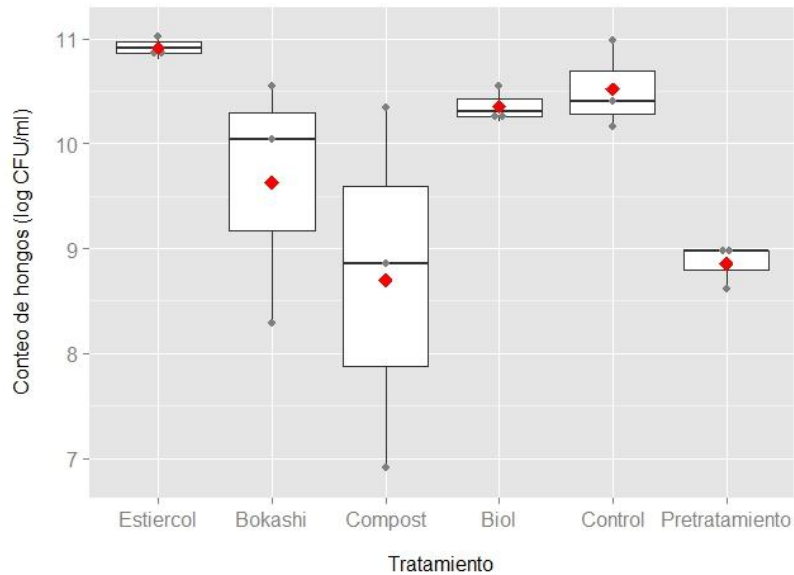


Figura 14. Población de hongos en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz.

El diamante rojo representa la media. **Elaborado por:** Loja y Méndez, 2015

Tabla 21. Análisis de varianza de la población de hongos en suelos con la aplicación de 4 enmiendas orgánicas a los 4 meses con cobertura de maíz

	g.l.	CME	Fcalc	Valor P
Tratamientos	5	9,43x10 ⁸	6,18	0,005
Residuos	12	1,53x10 ⁸		

C.V.= 44.15%

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015



Tabla 22. Rangos de separación de medias por valores de la población de hongos de acuerdo a la prueba de Duncan

Tratamiento	Media	Rango
Estiércol	55.000.000	A
Control	39.333.333	Ab
Biol	31.666.667	Bc
Bokashi	21.666.667	Bcd
Compost	13.000.000	Cd
Pretratamiento	7.133.333	D

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015

6.3.3 Población de macroinvertebrados






La población de macroinvertebrados en pretratamiento fue nula, mientras que después de la aplicación de los diferentes tratamientos y el establecimiento del cultivo durante 4 meses se pudo observar la presencia de macroinvertebrados como lo indica la tabla 23.

Tabla 23. Población de macroinvertebrados presentes en el suelo después de 4 meses de la aplicación de 4 enmiendas orgánicas con cobertura de maíz.

Orden \ Tratamiento	Hymenoptera			Colembolla			Julida			Haplotaxida			Coleoptera		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Estiércol	1	1	1	50	25	25	0	2	0	0	2	2	0	0	0
Bokashi	0	0	0	25	25	50	0	0	0	6	1	1	1	0	1
Compost	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biofertilizante	1	0	10	50	50	50	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Control	22	9	20	50	50	50	1	0	0	1	0	0	0	1	0

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015

Tabla 24. Clasificación de macroinvertebrados por orden

	
<p>Coleóptero</p>	<p>Collembola</p>
	
<p>Julida</p>	<p>Haplotaxida</p>
	
<p>Hymenoptera</p>	

Elaborado por: Loja y Méndez, 2015



6.4 Resultados de respuesta vegetal

Según la tabla 25 realizando comparaciones ortogonales de altura, grosor, número de hojas e índice de verdor entre Enmiendas orgánicas vs. Control, después de 60 y 120 días no muestra diferencias significativas, al igual que en las comparaciones ortogonales realizadas para Biofertilizante vs. Enmiendas sólidas.

Tabla 25. Valores P para las comparaciones ortogonales [Enmiendas orgánicas vs. control] y [Biofertilizante vs. Enmiendas sólidas] para las variables altura, grosor, número de hojas e índice de verdor

	Enmiendas orgánicas vs. Control		Biofertilizante vs. Enmiendas solidas	
	60 días	120 días	60 días	120 días
Altura	0,74	0,87	0,73	0,06
Grosor	0,72	0,49	0,26	0,31
N. de hojas	0,34	0,55	0,28	0,18
Índice de verdor	0,51	0,62	0,19	0,98

Valores $P < 0,05$ son significativos

Elaborado por: **Loja y Méndez, 2015**

6.5 Manejo de plagas del cultivo

Durante el desarrollo del cultivo se presentó el ataque de *Spodoptera frugiperda* y *Agrotis sp.* Para los cuales se realizó un control con la aplicación de caldo ceniza al 5%. Disminuyendo su ataque, obteniendo un porcentaje de pérdida del 8% del cultivo.

6.6 Discusión general

Las propiedades químicas, pH y conductividad eléctrica no mostraron diferencia significativa entre los valores pretratamiento y los valores registrados a los 4 meses después de la aplicación de las diferentes enmiendas orgánicas y control convencional.



Las propiedades físicas densidad aparente y conductividad hidráulica saturada disminuyeron con la aplicación de estiércol, bokashi, biol y el control convencional respecto a los niveles pretratamiento, mientras que la aplicación de compost actuó de manera singular opuesto a lo reportado por Bulluck et al. (2002) aumentando dichas propiedades. Para la retención de agua en el suelo, solo se vio afectado el pF 0 por la adición de enmiendas orgánicas, finalmente la textura y estructura también sufrieron cambios, aumentando su contenido de arena y mejorando su estructura a moderada, aunque esta última variable no pudo ser analizada estadísticamente.

Tanto la aplicación de las enmiendas orgánicas como el control convencional mostraron un aumento significativo en la población de hongos y bacterias respecto a los niveles pretratamiento. No obstante, no se registraron diferencias entre el control convencional y las enmiendas orgánicas para estas variables. La falta de diferencias entre tratamientos con y sin aplicación de enmiendas orgánicas ha sido reportada antes por Franco-Otero et al. (2011), indicando que debido a que a corto plazo las adiciones de diferentes enmiendas no afectan la biomasa microbiana del suelo, en comparación con la fertilización mineral (Franco-Otero et al., 2011). De forma similar, no se detectaron diferencias aparentes en la población de macroinvertebrados entre los suelos que recibieron enmiendas orgánicas y los que sirvieron con control convencional, a pesar de un marcado incremento en la cantidad de estos organismos en todos los tratamientos respecto a los niveles pretratamiento.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

La aplicación tanto de las enmiendas orgánicas como el control convencional aumentaron de la misma forma la microbiología del suelo (bacterias y hongos). Sin detectarse diferencias significativas entre los tratamientos orgánicos y el control convencional.

De acuerdo a los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas en las poblaciones de bacterias, hongos y macroinvertebrados de forma detectable en pretratamiento y después de 4 meses de la aplicación tanto de las enmiendas orgánicas como el control convencional.

Para las propiedades físicas del suelo: densidad aparente, retención de agua conductividad hidráulica saturada, textura y estructura se rechaza la hipótesis nula de que no existen diferencias detectable en pretratamiento y después de 4 meses de la aplicación tanto de las enmiendas orgánicas como el control convencional.

Las variables químicas de pH y conductividad eléctrica no muestran cambios después de la primera aplicación de enmiendas orgánicas al cabo de 4 meses en el cultivo de maíz.

7.2 Recomendaciones

Es importante continuar el estudio en las mismas parcelas experimentales en una segunda etapa de cultivo, para obtener resultados en cuanto a las poblaciones de bacterias y hongos a largo plazo de las aplicaciones de enmiendas orgánicas de estiércol, bokashi, compost y biofertilizante.



Identificar las especies de hongos y bacterias del suelo con el fin de diferenciar las poblaciones patógenas de las benéficas después de la aplicación de las diferentes enmiendas.

Analizar el contenido de macro y micronutrientes del suelo antes y después de la aplicación de las diferentes enmiendas orgánicas.

Determinar el contenido de materia orgánica de los diferentes lotes experimentales tanto en pretratamiento como después de la aplicación de las enmiendas orgánicas.

Instalar lotes experimentales que sirvan como testigo absoluto en el análisis de respuesta vegetal para las comparaciones ortogonales de altura, grosor, número de hojas e índice de verdor.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, M. J. (n.d.). Manual de compostaje para Agricultura Ecológica.
- Bernal, G. (2006). X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo “La Microbiología del suelo en el Ecuador”, 1–12.
- Biobolsa, S. (n.d.). Manual de biol.
- Brechelt, A. (2004). Manejo Ecológico del Suelo.
- Brenes, L. (2003). Foro Producción orgánica : Algunas limitaciones que enfrentan los pequeños productores 1, (70), 7–18.
- Bulluck, L., Brosius, M., Evanylo, G., & Ristaino, J. (2002). Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial , physical and chemical properties on organic and conventional farms, 19, 147–160.
- Coyne, M. (2000). Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. (1ra ed.). Madrid-España: Editorial Paraninfo.
- Crops, A., Alveiro, J., & Gamboa, Q. (2011). Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora , Pasto y Aguacate, 64(1), 5793–5802.
- FAO, AECID, CENTA, & MAG. (2011). Elaboración y uso del bocashi. Retrieved from <http://www.pesacentroamerica.org/biblioteca/2011/bocashi.pdf>
- Ferreras, L., Gomez, E., Toresani, S., Firpo, I., & Rotondo, R. (2006). Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*, 97(4), 635–40. doi:10.1016/j.biortech.2005.03.018
- Fierer, N., Breitbart, M., Nulton, J., Salamon, P., Lozupone, C., Jones, R., Jackson, R. B. (2007). Metagenomic and small-subunit rRNA analyses reveal the genetic diversity of bacteria, archaea, fungi, and viruses in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(21), 7059–66. doi:10.1128/AEM.00358-07
- Franco-Otero, V. G., Soler-Rovira, P., Hernández, D., López-de-Sá, E. G., & Plaza, C. (2011). Short-term effects of organic municipal wastes on wheat yield,



microbial biomass, microbial activity, and chemical properties of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(2), 205–216. doi:10.1007/s00374-011-0620-y

Garrett, K., Jumpponen, A., & Kennelly, M. (2012). Ceres Trust report: Soil microbes in organic vegetable production: New insights from pyrosequencing, (November).

Guggenberger, G. (2005). Humification and Mineralization in Soils, 3.

Heifer, E., & MAGAP. (2014). *La agroecología está presente, mapeo de productores agroecológicos y del estado de la agroecología en la sierra y costa ecuatoriana*. Quito-Ecuador.

Hensel, J., & Restrepo, J. R. (2009). Manual práctico de agricultura orgánica y panes de piedra.(1ra ed.). Cali-Colombia: Feriva S.A.

Hensel, J., & Restrepo, J. R. (2013). Manual práctico de agricultura orgánica, fosfitos y panes de piedra. Cali-Colombia: Feriva S.A.

INIAP, & PROMSA. (2004). Labranza cero y mínima en maíz y maíz-fréjol en asocio.

Iñiguez M. (2007) Fertilidad, fertilizantes y fertilización. (1ra ed). Loja-Ecuador

López, J. D., Estrada, A. D., Rubin, E. M., & Cepeda, V. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz, 293–299. Retrieved from <http://ceuta.org.uy/files/estudiodecasomz.pdf>

Mattson, N. (2013). Toxicidad de amonio | PRO-MIX. Retrieved May 19, 2015, from <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/toxicidad-de-amonio/>

Montaño, N. M., Sandoval, A. L., Camargo, S. L., & Sanchez, J. M. (2010). Los microorganismos : pequeños gigantes, 77, 15–23.

Mosaddeghi, M. R., Mahboubi, a. a., & Safadoust, a. (2009). Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. *Soil and Tillage Research*, 104(1), 173–179. doi:10.1016/j.still.2008.10.011



- Muñoz, A. (2010).
<http://www.agrytec.com/agricola/index.php?view=article&catid=34:articulos-tecnicos&id=3578:agricultura-organic...>, (Gráfica 2), 2–3.
- Obi, M. E., & Ebo, P. O. (1995). The effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and maize production in a severely degraded sandy soil in southern Nigeria. *Bioresource Technology*, 51(2-3), 117–123.
doi:10.1016/0960-8524(94)00103-8
- Pineda, A., Zheng, S.-J., van Loon, J. J. a, Pieterse, C. M. J., & Dicke, M. (2010). Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. *Trends in Plant Science*, 15(9), 507–14. doi:10.1016/j.tplants.2010.05.007
- Primavesi, A. (1982). Manejo ecológico de suelos. (5ta ed.). (pp. 73-74). Sao Paulo Brasil: El Ateneo.
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. a., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2), 61–76. doi:10.1016/S0016-7061(03)00094-6
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. a. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229–32.
doi:10.1038/nature11069
- Sierra, C., & Rojas, C. (n.d.). La materia organica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos.
- Sosa, O. (2005). Los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas - Facultad de Ciencias Agrarias - UNR. Retrieved May 19, 2015, from <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/16/7AM16.htm>
- Sperberg, F. S., & Hirzel, J. C. (2011). Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos, 1–30.
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2002). *Los suelos y su fertilidad* (p. 661). Reverte. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=AegjDhEIVAQC&pgis=1>
- Zubillaga, M. (2012). Residuos organicos y fitoextraccion.



9. ANEXOS

Anexo 1. Croquis de la distribución al azar de los tratamientos y repeticiones

TRATAMIENTOS

R E P E T I C I O N E S	II	B	D	A	T	C
	III	A	C	T	B	D
	I	T	B	D	C	A



Anexo 2. Preparación y formulación de biofertilizante líquido (modificada a partir de Restrepo, 2007)

- a. En un recipiente plástico de 200 litros de capacidad, disolver en 100 litros de agua no contaminada 50 kilos de estiércol fresco de vaca, 1,3 kilos de ceniza, y revolverlos hasta lograr una mezcla homogénea.
- b. Disolver en una cubeta plástica, 10 litros de agua no contaminada, los 2 litros de leche cruda con 1 litro de melaza y agregarlos en el recipiente plástico de 200 litros, donde se encuentra el estiércol de vaca disuelta con la ceniza y revolverlos constantemente.
- c. Completar el volumen total del recipiente plástico que contiene todos los ingredientes, con agua limpia, hasta 180 litros de su capacidad y revolverlo.
- d. Tapar herméticamente el recipiente para el inicio de la fermentación anaeróbica del biofertilizante y conectarle el sistema de la evacuación de gases con una manguera.
- e. El biofertilizante líquido estará listo de 30 a 45 días dependiendo la temperatura del lugar donde se lo preparó.

Ingredientes	
Agua (sin tratar)	180 L
Estiércol bovino	50 Kg
Melaza	1 L
Ceniza	1.3 Kg
Levadura	100 g
Leche	2 l



Anexo 3. Formulación y preparación de bokashi (modificada a partir de Restrepo, 2007)

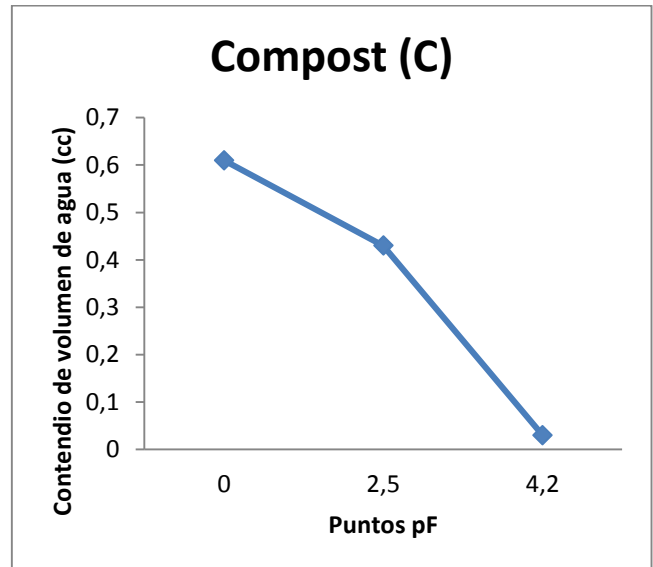
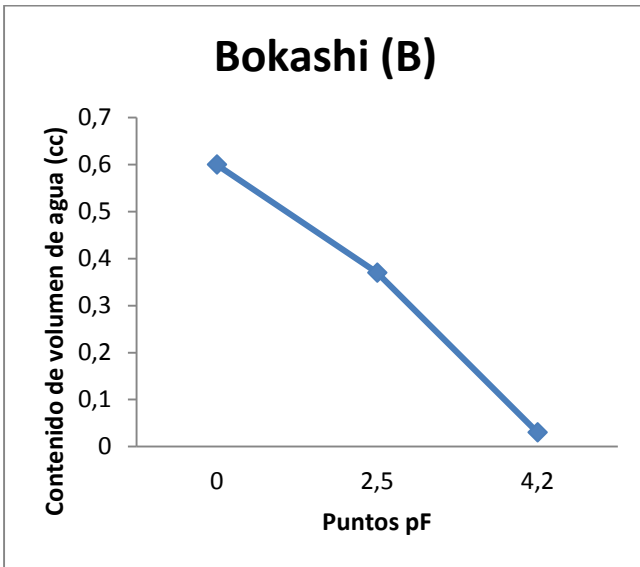
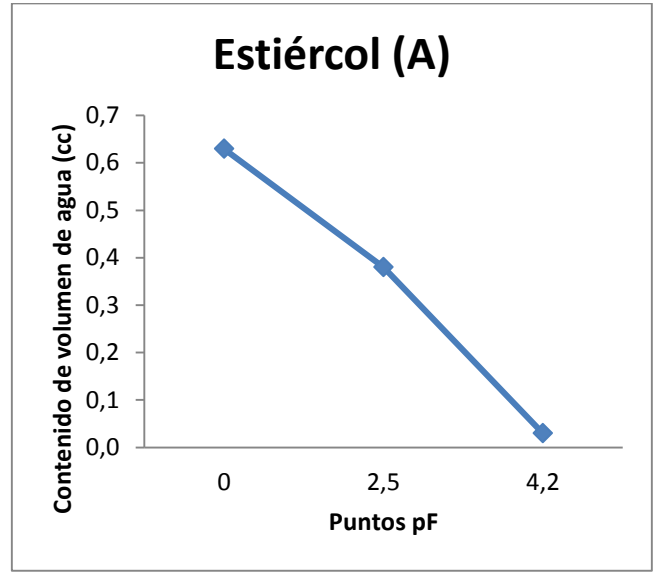
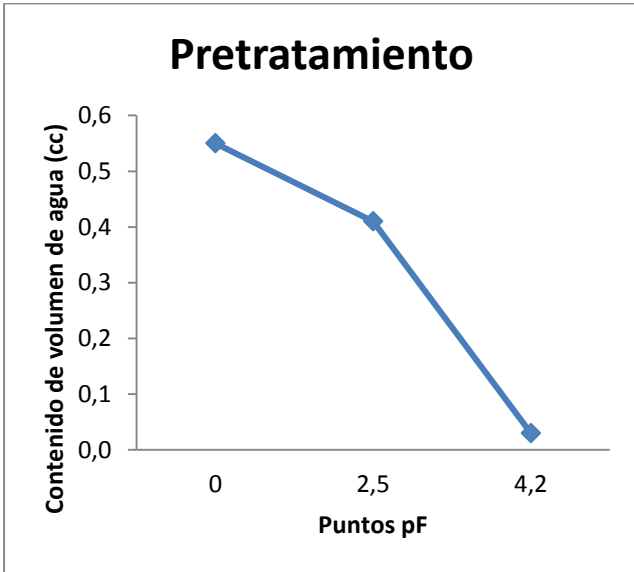
- a. Tender sobre el piso los materiales en el siguiente orden: cascarilla, tierra, gallinaza, carbón, salvado de arroz y cal.
- b. En un recipiente con agua tibia disuelva la melaza y la levadura.
- c. Mezcle homogéneamente los ingredientes sólidos de un montón a otro y agregue la mezcla líquida.
- d. Agregue agua hasta obtener una humedad óptima (prueba del puño)
- e. Finalmente, después de la preparación, el abono debe tener una altura de 0,7 a 1,2 m, protegido del sol y la lluvia.
- f. Al siguiente día de la preparación, comprobar la temperatura del abono, este no debe sobrepasar los 50 °C.
- g. Mover el abono 2 veces al día durante la primera semana y una vez al día la segunda semana.
- h. El abono estará listo cuando tenga una temperatura ambiente, aproximadamente a los 15 días de la preparación.

INGREDIENTES

- 2 costales de tierra cernida
- 2 costales de cascarilla de arroz o café o paja picada
- 2 costales de gallinaza o estiércol vacuno
- 1 costal de cisco de carbón bien quebrado
- 5 Kg de pulidura o salvado de arroz
- 5 Kg de cal dolomita o cal agrícola o ceniza de fogón
- 5 Kg de tierra negra o bokashi curtido
- 1 litro de melaza o jugo de caña
- 100 gramos de levadura para pan, granulada o en barra
- Agua (de acuerdo con la prueba del puño y solamente una vez)

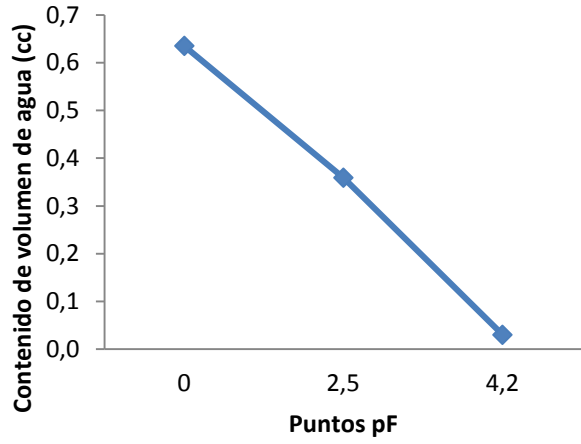


Anexo 4. Curva de retención de agua para cada tratamiento

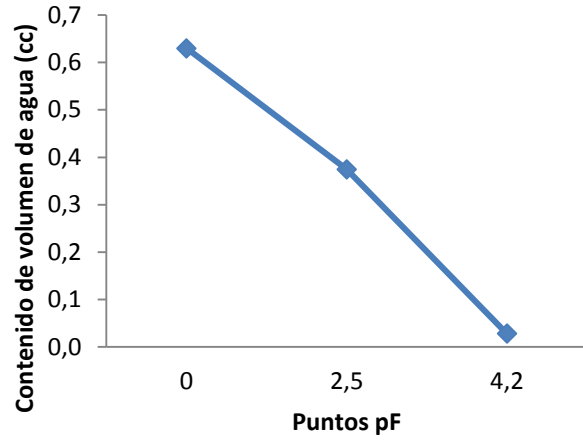




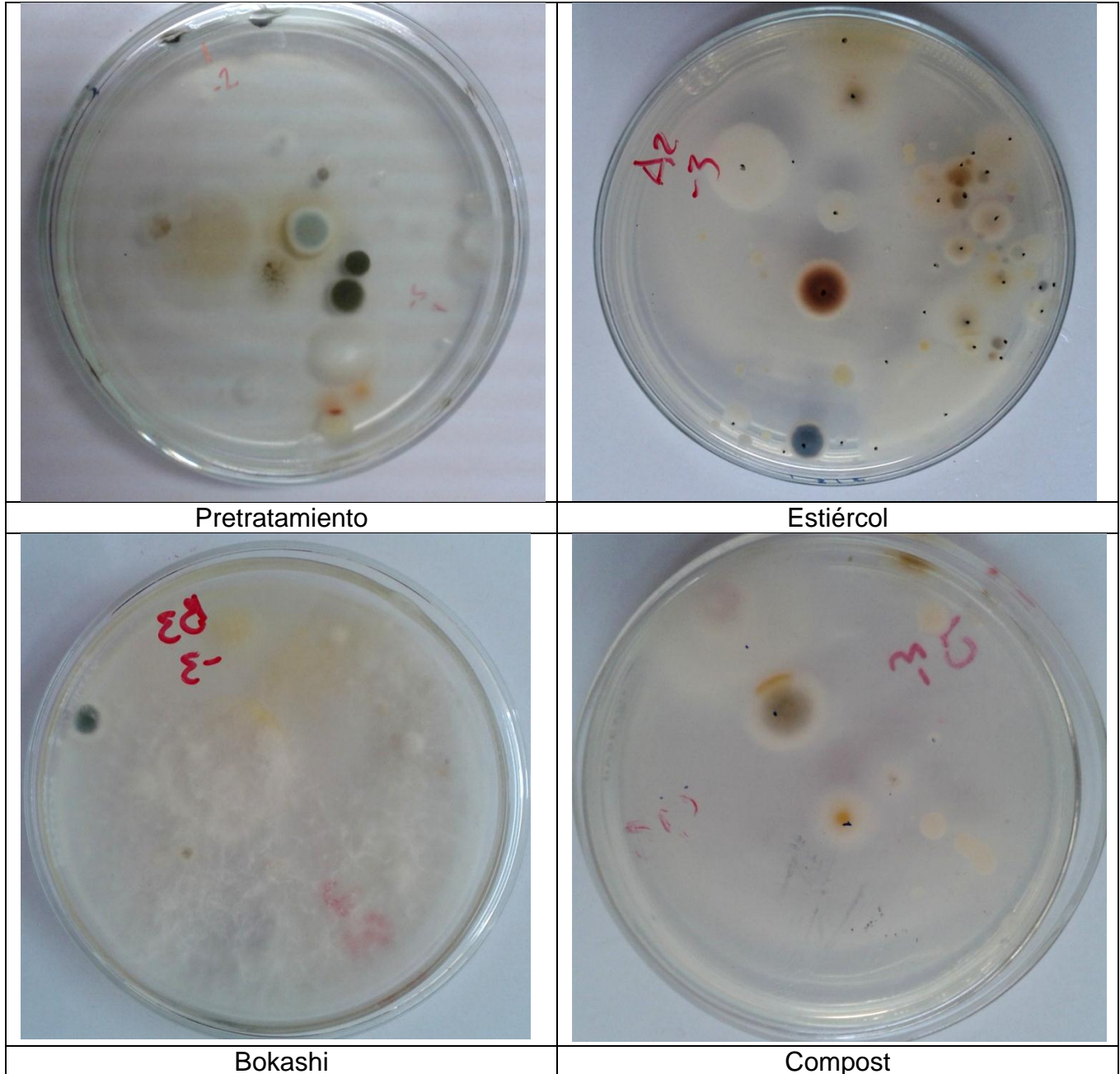
Biofertilizante (D)

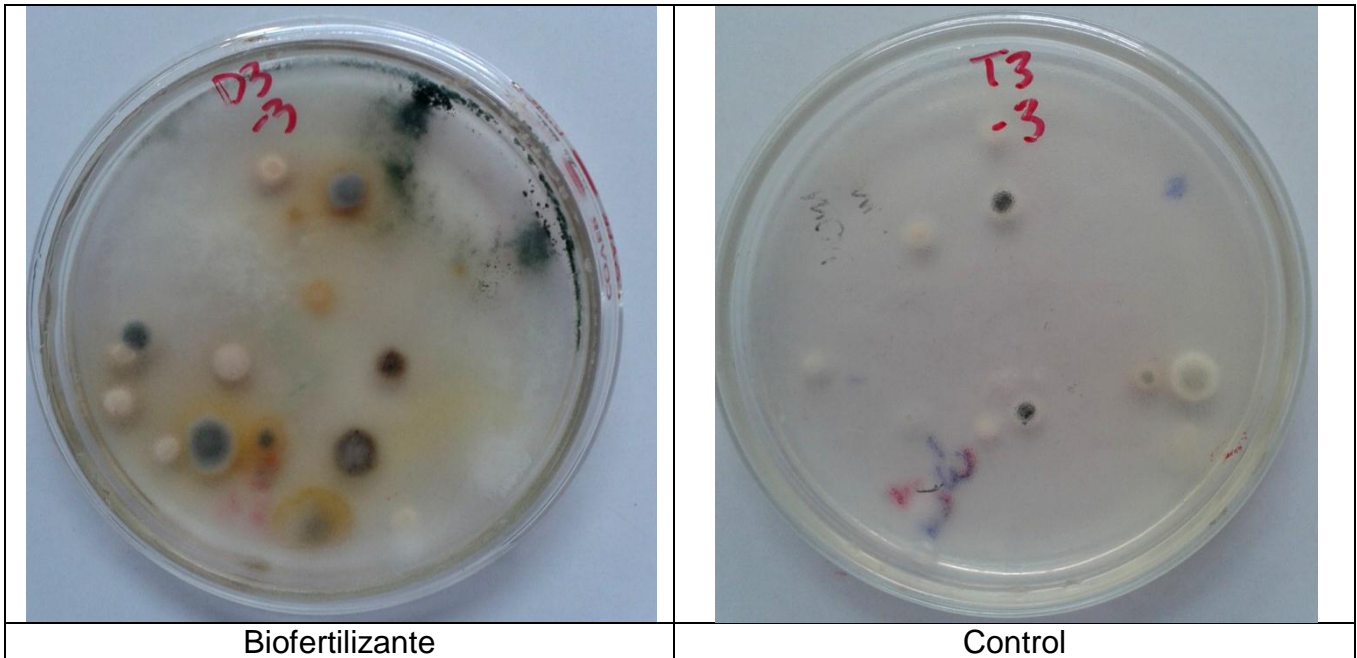


Control (T)



Anexo 6. Colonias de hongos en pretratamiento y después de 4 meses de la aplicación de los tratamientos (se eligió una imagen representativa para cada tratamiento).





Anexo 7. Colonias de bacterias en pretratamiento y después de 4 meses de la aplicación de los tratamientos (se eligió una imagen representativa para cada tratamiento).

