



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA

“Evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados”

Trabajo de Investigación (Graduación). Modalidad: Trabajo Estructurado de Manera Independiente (TEMI). Presentado como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

AUTOR: Mario Gustavo Estrella Saltos

TUTOR: Dr. Ramiro Velasteguí, PhD

Ambato – Ecuador

2013

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación (Graduación) sobre el tema: **“EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES DE NUTRIENTES ESENCIALES, MATERIA ORGÁNICA Y LA RELACIÓN C/N CON ENMIENDAS DE COMPOST EN SUELOS AGRÍCOLAS DEGRADADOS”**, elaborado por Mario Gustavo Estrella Saltos, egresado de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, certifico que el trabajo fue realizado por la persona indicada.

Considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Directivo designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Ambato, Mayo de 2013

.....

Dr. Ramiro Velasteguí, PhD

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Los criterios emitidos en el Trabajo de Investigación **“Evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados”**, corresponden exclusivamente a mi persona como ejecutor de este trabajo de investigación.

Ambato, Mayo 2013

EL AUTOR

.....
Mario Gustavo Estrella Saltos

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Informe de Investigación, sobre el tema: **“Evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados”**, del estudiante: Mario Gustavo Estrella Saltos.

Ambato, Mayo 2013

Para constancia firman:

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios por guiarme y bendecirme durante toda mi trayectoria estudiantil y permitirme haber llegado hasta esta instancia de mi formación profesional.

A mis padres que me formaron con sus sabios consejos, comprensión y amor, gracias por brindarme su apoyo incondicional y todo lo necesario para alcanzar una meta más en mi vida.

A mi hermana por ser un apoyo moral y estar siempre presente en cada fase de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A los maestros de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por transmitirme sus conocimientos para llegar a ser un profesional.

Al Dr. Ramiro Velasteguí, PhD que con su paciencia y sabiduría ha hecho posible la culminación del presente proyecto de investigación.

A mi novia por estar siempre a mi lado animándome y brindándome su cariño y por demostrarme que en todo momento cuento con ella.

A mis amigos con quienes compartí gran parte de mi vida durante estos cinco años de carrera.

ÍNDICE

PÁGINAS PRELIMINARES

Tema	i
Aprobación del tutor	ii
Autoría	iii
Aprobación del tribunal de grado	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice	vii
Resumen	xxx

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Tema de Investigación	1
1.2	Planteamiento del Problema	1
1.2.1	Contextualización	2
1.2.1.1	Contextualización Macro	2
1.2.1.2	Contextualización Meso	2
1.2.1.3	Contextualización Micro	3
1.2.2	Análisis Crítico	4
1.2.3	Prognosis	4
1.2.4	Formulación del Problema	5
1.2.5	Preguntas Directrices	5
1.2.6	Delimitación	6
1.3	Justificación	6
1.4	Objetivos	7
1.4.1	Objetivo General	7
1.4.2	Objetivos Específicos	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes Investigativos	8
2.2	Fundamentación Filosófica	10
2.3	Fundamentación Legal	10
2.4	Categorías Fundamentales	13
2.4.1	Marco Conceptual de la Variable Independiente	13
2.4.1.1	Degradación del suelo	13
2.4.1.2	Erosión	14
2.4.1.3	Formación del suelo	15
2.4.1.4	Compost	15
2.4.1.5	Lechuga	16
2.4.1.6	Biomasa vegetal	17
2.4.2	Marco Conceptual de la Variable Dependiente	17
2.4.2.1	Nutrientes esenciales y sus funciones en las plantas	17
2.4.2.2	Materia orgánica del suelo	20
2.4.2.3	Relación carbono/nitrógeno en el suelo	20
2.4.2.4	Mineralización de la materia orgánica	21
2.4.2.5	pH del suelo	21
2.5	Hipótesis	23
2.5.1	Hipótesis de Investigación	23
2.5.2	Hipótesis Alternativa	23
2.5.3	Hipótesis Nula	23
2.6	Señalamiento de Variables	23
2.6.1	Variable Independiente	23
2.6.2	Variable Dependiente	23

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1	Enfoque	24
3.2	Modalidad Básica de la Investigación	24
3.3	Nivel o Tipo de Investigación	25
3.4	Población y Muestra	25
3.4.1	Población	25
3.4.2	Muestra	25
3.5	Operacionalización de Variables	27
3.6	Recolección de Información	29
3.6.1	Técnicas de Recolección de Datos	29
3.6.2	Materiales y Métodos	29
3.6.2.1	Ubicación	29
3.6.2.2	Materiales	29
3.6.2.3	Métodos	31
3.6.2.3.1	Determinación de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N en suelos agrícolas degradados	31
3.6.2.3.2	Elaboración de compost como fuente de materia orgánica con una relación C/N = 20/1	33
3.6.2.3.3	Aplicación de compost en diferentes dosis en suelo agrícola degradado analizando la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con el empleo de cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora	35
3.6.2.3.4	Especificaciones del manejo de la investigación	38
3.6.2.3.5	Factor en estudio	38
3.6.2.3.6	Análisis estadístico	39
3.6.2.3.7	Estudio económico de los tratamientos investigados	43
3.7	Procesamiento y Análisis	43

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Análisis de los resultados	45
4.1.1	Elaboración del compost como fuente de materia orgánica con una relación C/N = 20/1	45
4.1.1.1	Proceso de Compostaje	45
4.1.1.2	Análisis químico del compost	45
4.1.2	Análisis físico – químico del suelo agrícola degradado del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua	46
4.1.3	Aplicación de compost en diferentes dosis en suelo agrícola degradado analizando la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con el empleo de cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora	46
4.1.3.1	Análisis Químico	46
4.1.3.2	Análisis Vegetal	82
4.1.4	Estudio económico de los tratamientos investigados	102
4.2	Interpretación de resultados	102
4.2.1	Elaboración del compost como fuente de materia orgánica con una relación C/N = 20/1	102
4.2.1.1	Proceso de Compostaje	102
4.2.1.2	Análisis químico del compost	103
4.2.2	Análisis físico – químico del suelo agrícola degradado del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua	104
4.2.3	Aplicación de compost en diferentes dosis en suelo agrícola degradado analizando la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con el empleo de cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora	106
4.2.3.1	Análisis Químico	106
4.2.3.2	Análisis Vegetal	111

4.2.4	Estudio económico de los tratamientos investigados	113
4.3	Verificación de Hipótesis	115

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	116
5.2	Recomendaciones	118

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1	Datos Informativos	119
6.2	Antecedentes de la Propuesta	120
6.3	Justificación	120
6.4	Objetivos	122
6.4.1	Objetivo General	122
6.4.2	Objetivos Específicos	122
6.5	Análisis de Factibilidad	122
6.6	Fundamentación	124
6.6.1	Compost Enriquecido	124
6.6.1.1	Compost Enriquecido con Nutrientes	125
6.6.1.2	EM (Microorganismos Eficientes)	125
6.6.1.3	Compost Enriquecido con Microorganismos Eficientes	125
6.6.2	Ventajas del Compost Enriquecido	125
6.6.3	Desventajas del Compost Enriquecido	126
6.7	Metodología	127
6.8	Administración	128
6.9	Previsión de la Evaluación	129

MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A. CUADROS

Cuadro 1.	Funciones de los nutrientes en las plantas	18
Cuadro 2.	Parámetros de calidad del compost	103
Cuadro 3.	Parámetros de calidad del suelo	105
Cuadro 4.	Propiedades del suelo según su textura	106

ANEXO B. TABLAS

TEXTO

Tabla 1.	Lista de tratamientos de acuerdo a las dosis de compost	40
Tabla 2.	Lista de tratamientos de acuerdo a la evolución con el tiempo	40
Tabla 3.	ANOVA en el DCA	41
Tabla 4.	ANOVA en el DBCA	41
Tabla 5.	Resumen estadístico de la evolución de los nutrientes esenciales al inicio del experimento	49
Tabla 6.	Resumen estadístico de %N _T , %C _{Org} y C/N al inicio del experimento	53
Tabla 7.	Resumen estadístico de la evolución de los nutrientes esenciales a la mitad del experimento	57
Tabla 8.	Resumen estadístico de %N _T , %C _{Org} y C/N a la mitad del experimento	60
Tabla 9.	Resumen estadístico de la evolución de los nutrientes esenciales al final del experimento	64
Tabla 10.	Resumen estadístico de %N _T , %C _{Org} y C/N al final del experimento	67
Tabla 11.	Resumen estadístico de la evolución de los nutrientes esenciales respecto al tiempo y a los tratamientos	72
Tabla 12:	Resumen estadístico de la evolución de %N _T , %C _{Org} y C/N respecto al tiempo y a los tratamientos	78
Tabla 13.	Resumen de la prueba de contrastes para el análisis químico	82

Tabla 14.	Resumen estadístico del análisis vegetal a la mitad del experimento	83
Tabla 15.	Resumen estadístico del análisis vegetal al final del experimento	88
Tabla 16.	Resumen estadístico del análisis vegetal respecto al tiempo y a los tratamientos	93
Tabla 17.	Resumen de la prueba de contrastes para el análisis vegetal	101
Tabla 18.	Recursos para la producción de compost enriquecido	124
Tabla 19.	Modelo Operativo (Plan de acción)	127
Tabla 20.	Administración de la Propuesta	128
Tabla 21.	Previsión de la Evaluación	129

DATOS OBTENIDOS

Tabla B-1.	Cantidad empleada de residuos de rosas y estiércol vacuno para la elaboración del compost.
Tabla B-2.	Temperaturas obtenidas durante el proceso de compostaje.
Tabla B-3.	Resultados del análisis Químico del compost al final del proceso de compostaje y al final del experimento.
Tabla B-4.	Resultados del análisis Físico – Químico del suelo agrícola Degradado empleado para la investigación.
Tabla B-5.	Resultados del análisis Químico al inicio del experimento.
Tabla B-6.	Resultados del análisis Químico a la mitad del experimento.
Tabla B-7.	Resultados del análisis Químico al final del experimento.
Tabla B-8.	Resultados del análisis vegetal al inicio del experimento.
Tabla B-9.	Resultados del análisis vegetal a la mitad del experimento.

- Tabla B-10.** Resultados del análisis vegetal al final del experimento.
- Tabla B-11.** Promedios del análisis Químico al inicio del experimento.
- Tabla B-12.** Promedios del análisis Químico a la mitad del experimento.
- Tabla B-13.** Promedios del análisis Químico al final del experimento.
- Tabla B-14.** Promedios del análisis vegetal al inicio del experimento.
- Tabla B-15.** Promedios del análisis vegetal a la mitad del experimento.
- Tabla B-16.** Promedios del análisis vegetal al final del experimento.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS QUÍMICO INICIO DEL EXPERIMENTO

- Tabla B-17.** Análisis de varianza del pH.
- Tabla B-18.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.
- Tabla B-19.** Prueba de Tukey para el pH.
- Tabla B-20.** Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.
- Tabla B-21.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de materia orgánica.
- Tabla B-22.** Prueba de Tukey para el porcentaje de materia orgánica.
- Tabla B-23.** Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-24.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-25.** Análisis de varianza del fósforo.
- Tabla B-26.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fósforo.
- Tabla B-27.** Prueba de Tukey para el fósforo.
- Tabla B-28.** Análisis de varianza del potasio.
- Tabla B-29.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.

- Tabla B-30.** Prueba de Tukey para el potasio.
- Tabla B-31.** Análisis de varianza del óxido de calcio.
- Tabla B-32.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de calcio.
- Tabla B-33.** Prueba de Tukey para el óxido de calcio.
- Tabla B-34.** Análisis de varianza del óxido de magnesio.
- Tabla B-35.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de magnesio.
- Tabla B-36.** Prueba de Tukey para el óxido de magnesio.
- Tabla B-37.** Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-38.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-39.** Prueba de Tukey para el porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-40.** Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.
- Tabla B-41.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de carbono orgánico.
- Tabla B-42.** Prueba de Tukey para el porcentaje de carbono orgánico.
- Tabla B-43.** Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.
- Tabla B-44.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la relación carbono/nitrógeno.
- Tabla B-45.** Prueba de Tukey para la relación carbono/nitrógeno.

ANÁLISIS QUÍMICO MITAD DEL EXPERIMENTO

- Tabla B-46.** Análisis de varianza del pH.
- Tabla B-47.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.
- Tabla B-48.** Prueba de Tukey para el pH.
- Tabla B-49.** Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.
- Tabla B-50.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de materia orgánica.
- Tabla B-51.** Prueba de Tukey para el porcentaje de materia orgánica.

- Tabla B-52.** Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-53.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-54.** Prueba de Tukey para el nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-55.** Análisis de varianza del fósforo.
- Tabla B-56.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fósforo.
- Tabla B-57.** Prueba de Tukey para el fósforo.
- Tabla B-58.** Análisis de varianza del potasio.
- Tabla B-59.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.
- Tabla B-60.** Prueba de Tukey para el potasio.
- Tabla B-61.** Análisis de varianza del óxido de calcio.
- Tabla B-62.** Prueba de Tukey para el óxido de calcio.
- Tabla B-63.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de calcio.
- Tabla B-64.** Análisis de varianza del óxido de magnesio.
- Tabla B-65.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de magnesio.
- Tabla B-66.** Prueba de Tukey para el óxido de magnesio.
- Tabla B-67.** Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-68.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-69.** Prueba de Tukey para el porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-70.** Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.
- Tabla B-71.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de carbono orgánico.
- Tabla B-72.** Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.
- Tabla B-73.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la relación carbono/nitrógeno.
- Tabla B-74.** Prueba de Tukey para la relación carbono/nitrógeno.

ANÁLISIS QUÍMICO FINAL DEL EXPERIMENTO

- Tabla B-75.** Análisis de varianza del pH.
- Tabla B-76.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.
- Tabla B-77.** Prueba de Tukey para el pH.
- Tabla B-78.** Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.
- Tabla B-79.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de materia orgánica.
- Tabla B-80.** Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-81.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-82.** Prueba de Tukey para el nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-83.** Análisis de varianza del fósforo.
- Tabla B-84.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fósforo.
- Tabla B-85.** Prueba de Tukey para el fósforo.
- Tabla B-86.** Análisis de varianza del potasio.
- Tabla B-87.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.
- Tabla B-88.** Prueba de Tukey para el potasio.
- Tabla B-89.** Análisis de varianza del óxido de calcio.
- Tabla B-90.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de calcio.
- Tabla B-91.** Prueba de Tukey para el óxido de calcio.
- Tabla B-92.** Análisis de varianza del óxido de magnesio.
- Tabla B-93.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de magnesio.
- Tabla B-94.** Prueba de Tukey para el óxido de magnesio.
- Tabla B-95.** Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-96.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-97.** Prueba de Tukey para el porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-98.** Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.

Tabla B-99. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de carbono orgánico.

Tabla B-100. Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.

Tabla B-101. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la relación carbono/nitrógeno.

ANÁLISIS QUÍMICO GLOBAL DEL EXPERIMENTO

Tabla B-102. Análisis de varianza del pH.

Tabla B-103. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.

Tabla B-104. Prueba de Tukey para el pH de acuerdo al tiempo.

Tabla B-105. Prueba de Tukey para el pH de acuerdo a los tratamientos.

Tabla B-106. Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.

Tabla B-107. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de materia orgánica.

Tabla B-108. Prueba de Tukey para el porcentaje de materia orgánica de acuerdo al tiempo.

Tabla B-109. Prueba de Tukey para el porcentaje de materia orgánica de acuerdo a los tratamientos.

Tabla B-110. Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal.

Tabla B-111. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del nitrógeno amoniacal.

Tabla B-112. Prueba de Tukey para el nitrógeno amoniacal de acuerdo al tiempo.

Tabla B-113. Análisis de varianza del fósforo.

Tabla B-114. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fósforo.

Tabla B-115. Prueba de Tukey para el fósforo de acuerdo al tiempo.

Tabla B-116. Prueba de Tukey para el fósforo de acuerdo a los tratamientos.

Tabla B-117. Análisis de varianza del potasio.

Tabla B-118. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.

- Tabla B-119.** Análisis de varianza del óxido de calcio.
- Tabla B-120.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de calcio.
- Tabla B-121.** Prueba de Tukey para el óxido de calcio de acuerdo a los tratamientos.
- Tabla B-122.** Análisis de varianza del óxido de magnesio.
- Tabla B-123.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de magnesio.
- Tabla B-124.** Prueba de Tukey para el óxido de magnesio de acuerdo al tiempo.
- Tabla B-125.** Prueba de Tukey para el óxido de magnesio de acuerdo a los tratamientos.
- Tabla B-126.** Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-127.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-128.** Prueba de Tukey para el porcentaje de nitrógeno total de acuerdo al tiempo.
- Tabla B-129.** Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.
- Tabla B-130.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de carbono orgánico.
- Tabla B-131.** Prueba de Tukey para el porcentaje de carbono orgánico de acuerdo al tiempo.
- Tabla B-132.** Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.
- Tabla B-133.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la relación carbono/nitrógeno.
- Tabla B-134.** Prueba de Tukey para la relación carbono/nitrógeno de acuerdo al tiempo.

PRUEBA DE CONTRASTES DEL ANÁLISIS QUÍMICO

- Tabla B-135.** Coeficientes del contraste.
- Tabla B-136.** Prueba de contrastes para el pH.

- Tabla B-137.** Prueba de contrastes para el porcentaje de materia orgánica.
- Tabla B-138.** Prueba de contrastes para el nitrógeno amoniacal.
- Tabla B-139.** Prueba de contrastes para el fósforo.
- Tabla B-140.** Prueba de contrastes para el potasio.
- Tabla B-141.** Prueba de contrastes para el óxido de calcio.
- Tabla B-142.** Prueba de contrastes para el óxido de magnesio.
- Tabla B-143.** Prueba de contrastes para el porcentaje de nitrógeno total.
- Tabla B-144.** Prueba de contrastes para el porcentaje de carbono orgánico.
- Tabla B-145.** Prueba de contrastes para la relación carbono/nitrógeno.

ANÁLISIS VEGETAL MITAD DEL EXPERIMENTO

- Tabla B-146.** Análisis de varianza del diámetro del follaje de la lechuga.
- Tabla B-147.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del diámetro del follaje de la lechuga.
- Tabla B-148.** Prueba de Tukey para el diámetro del follaje de la lechuga.
- Tabla B-149.** Análisis de varianza del color del follaje.
- Tabla B-150.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del color del follaje.
- Tabla B-151.** Prueba de Tukey para el color del follaje.
- Tabla B-152.** Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado fresco.
- Tabla B-153.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado fresco.
- Tabla B-154.** Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado fresco.
- Tabla B-155.** Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado seco.

Tabla B-156. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado seco.

Tabla B-157. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado seco.

Tabla B-158. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado fresco.

Tabla B-159. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado fresco.

Tabla B-160. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado fresco.

Tabla B-161. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado seco.

Tabla B-162. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado seco.

Tabla B-163. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado seco.

ANÁLISIS VEGETAL FINAL DEL EXPERIMENTO

Tabla B-164. Análisis de varianza del diámetro del follaje de la lechuga.

Tabla B-165. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del diámetro del follaje de la lechuga.

Tabla B-166. Prueba de Tukey para el diámetro del follaje de la lechuga.

Tabla B-167. Análisis de varianza del color del follaje.

Tabla B-168. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del color del follaje.

Tabla B-169. Prueba de Tukey para el color del follaje.

Tabla B-170. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado fresco.

Tabla B-171. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado fresco.

Tabla B-172. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado fresco.

Tabla B-173. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado seco.

Tabla B-174. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado seco.

Tabla B-175. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado seco.

Tabla B-176. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado fresco.

Tabla B-177. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado fresco.

Tabla B-178. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado fresco.

Tabla B-179. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado seco.

Tabla B-180. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado seco.

Tabla B-181. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado seco.

ANÁLISIS VEGETAL GLOBAL DEL EXPERIMENTO

Tabla B-182. Análisis de varianza del diámetro del follaje de la lechuga.

Tabla B-183. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del diámetro del follaje de la lechuga.

Tabla B-184. Prueba de Tukey para el diámetro del follaje de la lechuga de acuerdo al tiempo.

Tabla B-185. Prueba de Tukey para el diámetro del follaje de la lechuga de acuerdo a los tratamientos.

Tabla B-186. Análisis de varianza del color del follaje.

Tabla B-187. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del color del follaje.

Tabla B-188. Prueba de Tukey para el color del follaje de la lechuga de acuerdo a los tratamientos.

Tabla B-189. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado fresco.

Tabla B-190. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado fresco.

Tabla B-191. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado fresco de acuerdo al tiempo.

- Tabla B-192.** Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado fresco de acuerdo a los tratamientos.
- Tabla B-193.** Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado seco.
- Tabla B-194.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado seco.
- Tabla B-195.** Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado seco de acuerdo al tiempo.
- Tabla B-196.** Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado seco de acuerdo a los tratamientos.
- Tabla B-197.** Análisis de varianza de la biomasa aérea estado fresco.
- Tabla B-198.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado fresco.
- Tabla B-199.** Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado fresco de acuerdo al tiempo.
- Tabla B-200.** Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado fresco de acuerdo a los tratamientos.
- Tabla B-201.** Análisis de varianza de la biomasa aérea estado seco.
- Tabla B-202.** Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado seco.
- Tabla B-203.** Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado seco de acuerdo al tiempo.

PRUEBA DE CONTRASTES DEL ANÁLISIS VEGETAL

- Tabla B-204.** Coeficientes de los contrastes.
- Tabla B-205.** Prueba de contrastes para el diámetro del follaje de la lechuga.
- Tabla B-206.** Prueba de contrastes para el color del follaje.
- Tabla B-207.** Prueba de contrastes para la biomasa subterránea estado fresco.
- Tabla B-208.** Prueba de contrastes para la biomasa subterránea estado seco.

Tabla B-209. Prueba de contrastes para la biomasa aérea estado fresco.

Tabla B-210. Prueba de contrastes para la biomasa aérea estado seco.

ESTUDIO ECONÓMICO

Tabla B-211. Costos de Balances y Depreciaciones.

Tabla B-212. Costos Fijos, Costos variables y Punto de equilibrio

Tabla B-213. Precios de abonos comerciales

Tabla B-214. Cuadro de Ingresos

ANEXO C. GRÁFICOS

Gráfico 1.	Árbol de Problemas	4
Gráfico 2.	Inclusión de Variables	22
Gráfico 3.	Forma de recorrer la parcela	26

ANÁLISIS QUÍMICO AL INICIO DEL EXPERIMENTO

Gráfico 4.	Variación del pH con los diferentes tratamientos	48
Gráfico 5.	Variación del porcentaje de materia orgánica con los diferentes tratamientos	49
Gráfico 6.	Variación del nitrógeno amoniacal con los diferentes tratamientos	50
Gráfico 7.	Variación del fósforo con los diferentes tratamientos	51
Gráfico 8.	Variación del potasio con los diferentes tratamientos	51
Gráfico 9.	Variación del óxido de calcio con los diferentes Tratamientos	52
Gráfico 10.	Variación del óxido de magnesio con los diferentes tratamientos	52
Gráfico 11.	Variación del porcentaje de nitrógeno total con los diferentes tratamientos	54
Gráfico 12.	Variación del porcentaje de carbono orgánico con los diferentes tratamientos	54

Gráfico 13.	Variación de la relación carbono/nitrógeno con los diferentes tratamientos	55
--------------------	--	----

ANÁLISIS QUÍMICO A LA MITAD DEL EXPERIMENTO

Gráfico 14.	Variación del pH con los diferentes tratamientos	56
Gráfico 15.	Variación del porcentaje de materia orgánica con los diferentes tratamientos	56
Gráfico 16.	Variación del nitrógeno amoniacal con los diferentes tratamientos	58
Gráfico 17.	Variación del fósforo con los diferentes tratamientos	58
Gráfico 18.	Variación del potasio con los diferentes tratamientos	59
Gráfico 19.	Variación del óxido de calcio con los diferentes tratamientos	59
Gráfico 20.	Variación del óxido de magnesio con los diferentes tratamientos	60
Gráfico 21.	Variación del porcentaje de nitrógeno total con los diferentes tratamientos	61
Gráfico 22.	Variación del porcentaje de carbono orgánico con los diferentes tratamientos	61
Gráfico 23.	Variación de la relación carbono/nitrógeno con los diferentes tratamientos	62

ANÁLISIS QUÍMICO AL FINAL DEL EXPERIMENTO

Gráfico 24.	Variación del pH con los diferentes tratamientos	63
Gráfico 25.	Variación del porcentaje de materia orgánica con los diferentes tratamientos	63
Gráfico 26.	Variación del nitrógeno amoniacal con los diferentes tratamientos	65
Gráfico 27.	Variación del fósforo con los diferentes tratamientos	65
Gráfico 28.	Variación del potasio con los diferentes tratamientos	66
Gráfico 29.	Variación del óxido de calcio con los diferentes tratamientos	66

Gráfico 30.	Variación del óxido de magnesio con los diferentes tratamientos	67
Gráfico 31.	Variación del porcentaje de nitrógeno total con los diferentes tratamientos	68
Gráfico 32.	Variación del porcentaje de carbono orgánico con los diferentes tratamientos	68
Gráfico 33.	Variación de la relación carbono/nitrógeno con los diferentes tratamientos	69

ANÁLISIS QUÍMICO GLOBAL DEL EXPERIMENTO

Gráfico 34.	Variación del pH con el tiempo	70
Gráfico 35.	Variación del pH con los tratamientos	70
Gráfico 36.	Variación del porcentaje de materia orgánica con el tiempo	71
Gráfico 37.	Variación del porcentaje de materia orgánica con los tratamientos	72
Gráfico 38.	Variación del nitrógeno amoniacal con el tiempo	73
Gráfico 39.	Variación del nitrógeno amoniacal con los tratamientos	73
Gráfico 40.	Variación del fósforo con el tiempo	74
Gráfico 41.	Variación del fósforo con los tratamientos	74
Gráfico 42.	Variación del potasio con el tiempo	75
Gráfico 43.	Variación del potasio con los tratamientos	75
Gráfico 44.	Variación del óxido de calcio con el tiempo	76
Gráfico 45.	Variación del óxido de calcio con los tratamientos	76
Gráfico 46.	Variación del óxido de magnesio con el tiempo	77
Gráfico 47.	Variación del óxido de magnesio con los tratamientos	77
Gráfico 48.	Variación del porcentaje de nitrógeno total con el tiempo	78
Gráfico 49.	Variación del porcentaje de nitrógeno total con los tratamientos	79
Gráfico 50.	Variación del porcentaje de carbono orgánico con el tiempo	79

Gráfico 51.	Variación del porcentaje de carbono orgánico con los tratamientos	80
Gráfico 52.	Variación de la relación carbono/nitrógeno con el tiempo	80
Gráfico 53.	Variación de la relación carbono/nitrógeno con los tratamientos	81

ANÁLISIS VEGETAL A LA MITAD DEL EXPERIMENTO

Gráfico 54.	Variación del diámetro del follaje de la lechuga con los diferentes tratamientos	84
Gráfico 55.	Variación del color del follaje con los diferentes tratamientos	85
Gráfico 56.	Variación de la biomasa subterránea estado fresco con los diferentes tratamientos	86
Gráfico 57.	Variación de la biomasa subterránea estado seco con los diferentes tratamientos	86
Gráfico 58.	Variación de la biomasa aérea estado fresco con los diferentes tratamientos	87
Gráfico 59.	Variación de la biomasa aérea estado seco con los diferentes tratamientos	87

ANÁLISIS VEGETAL AL FINAL DEL EXPERIMENTO

Gráfico 60.	Variación del diámetro del follaje de la lechuga con los diferentes tratamientos	89
Gráfico 61.	Variación del color del follaje con los diferentes tratamientos	90
Gráfico 62.	Variación de la biomasa subterránea estado fresco con los diferentes tratamientos	91
Gráfico 63.	Variación de la biomasa subterránea estado seco con los diferentes tratamientos	91
Gráfico 64.	Variación de la biomasa aérea estado fresco con los diferentes tratamientos	92

Gráfico 65.	Variación de la biomasa aérea estado seco con los diferentes tratamientos	92
--------------------	---	----

ANÁLISIS VEGETAL GLOBAL DEL EXPERIMENTO

Gráfico 66.	Variación del diámetro del follaje de la lechuga con el tiempo	94
Gráfico 67.	Variación del color del follaje con el tiempo	95
Gráfico 68.	Variación de la biomasa subterránea estado fresco con el tiempo	95
Gráfico 69.	Variación de la biomasa subterránea estado seco con el tiempo	96
Gráfico 70.	Variación de la biomasa aérea estado fresco con el tiempo	96
Gráfico 71.	Variación de la biomasa aérea estado seco con el tiempo	97
Gráfico 72.	Variación del diámetro del follaje de la lechuga con los tratamientos	98
Gráfico 73.	Variación del color del follaje con los tratamientos	98
Gráfico 74.	Variación de la biomasa subterránea estado fresco con los tratamientos	99
Gráfico 75.	Variación de la biomasa subterránea estado seco con los tratamientos	99
Gráfico 76.	Variación de la biomasa aérea estado fresco con los tratamientos	100
Gráfico 77.	Variación de la biomasa aérea estado seco con los tratamientos	100

ANEXO D. FOTOGRAFÍAS

Figura D-1.	Preparación del montón
Figura D-2.	Volteo del montón.
Figura D-3.	Registro de la temperatura del montón.
Figura D-4.	Etapas finales del compost.
Figura D-5.	Tamizado del compost.

- Figura D-6.** Compost obtenido a partir de residuos de rosas.
- Figura D-7.** Suelo Degradado, Sector Jesús del Gran Poder del cantón Cevallos.
- Figura D-8.** Muestreo del Suelo Degradado.
- Figura D-9.** Pesado del compost a diferentes dosis.
- Figura D-10.** Cultivo de lechuga como especie vegetal indicadora.
- Figura D-11.** Lechugas sembradas con diferentes dosis de compost, al final del experimento.

RESUMEN

La degradación de los suelos es uno de los problemas más importantes a nivel mundial, que afecta no sólo al sector agrícola sino también al ambiental, económico y alimentario, debido a que la productividad agrícola está disminuyendo en un momento en que aumenta rápidamente la población y por ende la demanda de tierras es mayor para producir más alimentos.

En la presente investigación se elaboró compost a partir de residuos de rosas y estiércol vacuno como enmienda orgánica, el cual se aplicó en suelo agrícola degradado del Caserío Jesús del Gran Poder, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua; para demostrar la efectividad del compost se aplicaron dosis de 10, 15, 20, y 25 g de compost / kg de suelo degradado analizando la evolución de los niveles de nutrientes esenciales (N, P, K, Ca y Mg), materia orgánica y la relación C/N; además del pH del suelo, parámetros que se midieron mediante análisis químico. Se efectuó además un análisis vegetal ya que se empleó cultivos de lechuga como especie indicadora, analizando el diámetro y color del follaje, biomasa subterránea en estado fresco y seco y biomasa aérea también en estado fresco y seco.

La aplicación de compost se la realizó una sola vez y la evolución de las condiciones del suelo y del vegetal se las midió en tres etapas, una inicial (al momento de aplicado el compost), a la mitad de la investigación (después de un mes de aplicado el compost) y al final de la investigación (a los dos meses de aplicado el compost); a más de un análisis global de las tres etapas en conjunto para verificar la evolución del suelo con el tiempo.

Luego del período de dos meses se determinó que las condiciones químicas del suelo mejoraron lo que influye en el adecuado crecimiento del vegetal debido a la aplicación de compost específicamente con la dosis de 25 g de

compost / kg de suelo degradado, en donde, los valores de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y nitrógeno total mejoraron, mientras que los valores de calcio y carbono orgánico se mantuvieron iguales; además, en el análisis vegetal todos los parámetros analizados se incrementaron.

En cuanto al porcentaje de materia orgánica, se pudo verificar que el suelo evolucionó favorablemente ya que antes del tratamiento con compost éste presentó un porcentaje de 1.1% mientras que al final de la experimentación el valor fue de 1.21%. La relación carbono/nitrógeno a su vez varió considerablemente de un valor inicial de 24/1 bajó a 10/1 que es una relación adecuada para el suelo. Asimismo, el pH del suelo mejoró disminuyendo su valor de 9.87 a 9.6; con lo cual se demuestra que el compost actúa de manera eficaz como enmienda orgánica para suelos agrícolas degradados.

En el presente trabajo de investigación también se realizó un análisis económico de tal forma que se estime el costo de producción de un quintal de compost, el cual resultó ser de \$5.67, valor que al ser comparado con los abonos químicos resulta ser conveniente, lo que indica que esta investigación es económicamente factible.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema de Investigación

“Evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados”

1.2 Planteamiento del Problema

La presente investigación busca coadyuvar a la solución de uno de los mayores problemas que afectan a los ecosistemas agrícolas como es la degradación de los suelos.

El Ecuador ha sido y sigue siendo afectado por numerosos procesos erosivos, de tal manera que se puede considerar que la erosión constituye uno de los principales aspectos de degradación de los recursos naturales, especialmente del suelo. Alrededor del 50% del territorio tiene que ver con este problema (Noni & Trujillo, 1986).

Además el contenido en materia orgánica de los suelos es baja, se ubica entre 0,3 y 1% y en su mayoría tiene un porcentaje de 0.60% aproximadamente. Este bajo contenido de materia orgánica no permite una mejor estabilidad estructural; asimismo, no permite un aumento de la permeabilidad del suelo ni un buen desarrollo de las plantas, lo que contribuye a incrementar los riesgos de erosión y por ende la degradación (51).

1.2.1 Contextualización

1.2.1.1 Contextualización Macro

En todo el mundo, los suelos son continuamente eliminados por la erosión cuando la pérdida de superficie edáfica supera a su formación. La deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, la construcción de espacios urbanos y carreteras, además de otras alteraciones del terreno, exponen el suelo a las fuerzas erosivas del agua y el viento. La degradación del suelo producto de la erosión destruye el hábitat de especies vegetales, animales y microorganismos y llena de sedimentos los ríos, lagos, embalses y canales de navegación. Cualquier forma de erosión del suelo empobrece regiones y países enteros, reduce la producción de alimentos y causa cuantiosas pérdidas económicas (Smith & Smith, 2001).

1.2.1.2 Contextualización Meso

El Ecuador se caracteriza por una gran variedad y riqueza de sus recursos naturales renovables, y en particular del recurso suelo. Por esta razón, el Ecuador ha estado siempre considerado como un país eminentemente agrícola. Sin embargo, en muchas zonas, los suelos han sido enormemente afectados por numerosos procesos erosivos; en la actualidad, más o menos el 50% del territorio está afectado por este problema. Alrededor del 50% del territorio tiene que ver con este problema. La Sierra es el asiento de una erosión, activa a muy activa, generalizada en muchos lugares. Una erosión más localizada, de carácter potencial, pero que se desarrolla con una relativa rapidez en nuestros días, afecta a toda la parte occidental de la Costa y, en menor grado, a los grandes ejes de colonización de la Región Amazónica (51).

Además en el Ecuador han ido creciendo los terrenos improductivos con un desgaste veloz del suelo que va perdiéndose principalmente en los ríos, producto del arado de las partes altas de las colinas, falta de conservación de los bosques y la cubierta vegetal, disminución de la capacidad de retención de agua, entre otros factores; dejando los terrenos desprotegidos

hasta el punto de terminar con un paisaje desierto en el que no crece casi nada (Morejón, 1993).

1.2.1.3 Contextualización Micro

Tungurahua tiene extensas áreas que evidencian problemas de sobreutilización del suelo, principalmente por la incompatibilidad entre el uso actual y la aptitud. Predominan los cultivos en zonas con pendientes moderadas a fuertes. A esto se suma la acción de otros factores, como el agua, el viento, la gravedad y el uso agrícola intensivo de los predios, que originan la pérdida de suelo cultivable y erosión (SENPLADES, 2010).

Fuerzas múltiples han contribuido a la degradación de los suelos de esta provincia, incluyendo la agricultura de monocultivo, alto uso de agroquímicos, labranza total y movimiento mecánico del suelo. En definitiva, el componente ambiental mayormente afectado por impactos negativos es el suelo, esto provoca la toma de medidas de mitigación y acciones inmediatas que despierten la concientización para recuperar y proteger este recurso natural susceptible del que depende la existencia humana (Luna & Polo, 2009).

El impacto más fuerte que puede tener un terreno es por la agricultura. Dependiendo de la historia e intensidad de uso, en Tungurahua es posible encontrar terrenos todavía productivos, en barbecho, totalmente erosionados por cultivos intensivos, sobre utilizados, mal manejados, abandonados, etc. Por ley, al cultivar un producto la gente ejecuta una labranza; al labrar el suelo se lo expone al aire y se seca, lo que ocasiona la pérdida de nutrientes; también se pierde materia orgánica, estructura y capacidad en la retención de agua. Así, si la práctica es repetitiva sin un barbecho extenso y sin restituir la materia orgánica con abono orgánico se seca gravemente el suelo, se pierde toda la estructura y fertilidad y se vuelve muy susceptible a la erosión (Van Voss, et. al., 2001).

1.2.2 Análisis Crítico

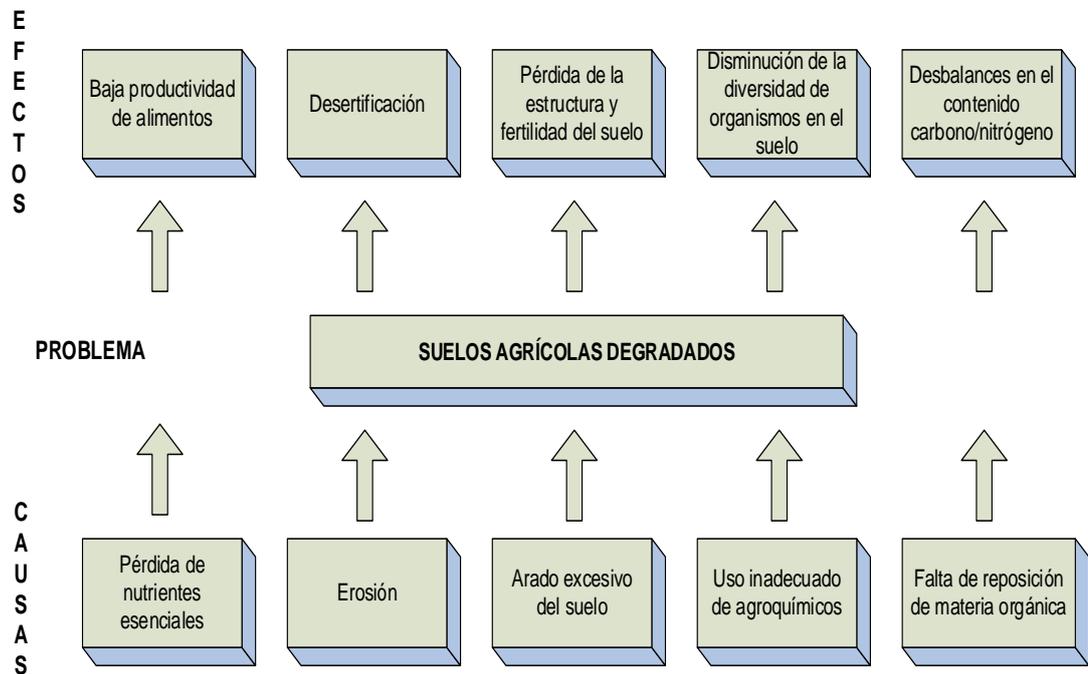


Gráfico 1. Árbol de Problemas

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Luego de haber efectuado el análisis crítico del problema se determinó que las principales causas para que se produzca la degradación de suelos agrícolas es la falta de reposición de materia orgánica y la pérdida de nutrientes esenciales, lo cual produce desbalances en el contenido C/N, así como también, pérdida de la estructura y la fertilidad del suelo, motivo por el cual existe la necesidad de recuperar los terrenos a través de la aplicación de compost como fuente de microorganismos y nutrientes esenciales permitiendo así la reestructuración de las propiedades del suelo.

1.2.3 Prognosis

La recuperación de suelos agrícolas degradados mediante enmiendas con compost como abono orgánico es indispensable para mejorar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo, y especialmente para aportar al terreno con nutrientes esenciales y materia orgánica, lo cual

es esencial para la formación del suelo y base principal para el desarrollo vegetal. Si la presente investigación no hubiese sido ejecutada posiblemente se presentarían serios daños a recursos y ecosistemas básicos, pérdida de estructura y fertilidad del suelo, desbalances en el contenido carbono/nitrógeno, pérdida de biodiversidad y principalmente disminución de la productividad agrícola que conlleva a la inseguridad alimentaria y por ende a la escasez de productos en el mercado, aumento en los precios y subdesarrollo en el país ya que el crecimiento económico y social del Ecuador depende, en gran medida, de que se opte por un sector agrícola eficiente y rentable.

1.2.4 Formulación del Problema

En la presente investigación se estudió la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados provenientes del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua, con la finalidad de contribuir a la solución de la problemática referente a la degradación de suelos agrícolas.

1.2.5 Preguntas Directrices

¿Cuál fue el contenido de nutrientes esenciales, materia orgánica y de la relación C/N del suelo agrícola degradado proveniente del Caserío Jesús del Gran Poder del cantón Cevallos?

¿Qué relación C/N presentó el compost empleado como fuente de materia orgánica?

¿Las dosis de compost aplicadas en suelo agrícola degradado mejoraron el contenido de nutrientes esenciales, materia orgánica y de la relación C/N empleando cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora?

¿Es posible aplicar la dosis más efectiva de compost en parcelas de cultivos de lechuga sembrados con suelo agrícola degradado?

1.2.6 Delimitación

Área: Agrícola

Sub-área: Agroecología

Sector: Suelos Agrícolas

Sub-sector: Mejoramiento de Suelos Agrícolas Empobrecidos

Temporal: El desarrollo de la investigación se realizó entre los meses de Julio 2011 a Febrero 2013.

Espacial: La investigación se realizó con el suelo proveniente del Caserío Jesús del Gran Poder, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua, la parte experimental se desarrolló en el sector Huachi Chico de la ciudad de Ambato y los análisis físicos, químicos y vegetales se hicieron en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Politécnica de Chimborazo y en el Laboratorio de Físico Química de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato respectivamente.

1.3 Justificación

La utilización de compost para la recuperación de los suelos agrícolas degradados es importante ya que no tiene efectos negativos para los seres humanos, los animales ni el medio ambiente, es decir, es una práctica ecológica encaminada a la sobreprotección del entorno natural.

La elaboración del compost es sencilla y es la mejor forma de aprovechar los desechos orgánicos tanto vegetales como animales, además no crea dependencia para su utilización por parte de los cultivos y se puede utilizar en todos los terrenos.

Sin embargo, lo más importante de esta tecnología radica en el mejoramiento tanto de las condiciones físicas como químicas y microbiológicas del suelo. Beneficia especialmente a los suelos pobres en nutrientes, materia orgánica y contenido C/N. La materia orgánica del compost modifica las arcillas gruesas, agrupando las partículas del suelo y haciéndolo más accesible para el laboreo. La unión de las partículas también

favorece a la aireación, a la penetración de las raíces, a la infiltración del agua y a la reducción del número de poros en la superficie del suelo. En los suelos arenosos, la materia orgánica adicional también favorece la retención de nutrientes y agua. Además cuando la materia orgánica incorporada al suelo se origina a partir de residuos vegetales ricos en nitrógeno u otro material y con relaciones C/N adecuadas, el nitrógeno orgánico se transforma rápidamente en nitrógeno inorgánico para que las plantas puedan absorberlo.

En base a todos los beneficios mencionados anteriormente se pudo evidenciar que el compost es la mejor alternativa para solucionar el problema sobre los suelos agrícolas degradados, razón por la cual se optó por esta tecnología en la presente investigación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Comprobar la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados.

1.4.2 Objetivos Específicos

1.4.2.1 Analizar física y químicamente el suelo agrícola degradado proveniente del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua.

1.4.2.2 Elaborar compost como fuente de materia orgánica con una relación C/N = 20/1

1.4.2.3 Aplicar el compost en diferentes dosis en suelo agrícola degradado analizando la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con el empleo de cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora.

1.4.2.4 Evaluar la posible aplicación de la dosis más efectiva de compost en parcelas de cultivos de lechuga sembrados con suelo agrícola degradado.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

En Chile, los suelos cultivables han sufrido modificaciones continuas en sus condiciones físicas, biológicas y químicas, como consecuencia de las características propias derivadas de su origen, así como del sistema productivo e intensidad de uso al cual se encuentran sometidos. Lo anterior se traduce, entre otros aspectos, en una fuerte degradación de la fertilidad natural de los suelos, así como en la sostenida pérdida de fósforo disponible y la acidificación progresiva de los mismos, derivadas de procesos extractivos e intensivos. Por otra parte, existen suelos afectados por distintos grados de erosión a causa del uso intensivo y de la aplicación de tecnologías inapropiadas en su explotación (Araya, 2003).

Un suelo con bajo contenido en materia orgánica y por ende con escasa actividad microbiana determinan una baja calidad y fertilidad edáfica, lo que finalmente dificulta la instauración de una cubierta vegetal. En estos suelos degradados, el modo más eficaz de emprender su recuperación, previo a la introducción de cualquier especie vegetal, es la mejora de su calidad mediante la incorporación de una enmienda orgánica. La introducción de un enmendante orgánico en el suelo promueve el desarrollo de reacciones físicas, químicas y procesos microbiológicos. Estas reacciones conducen a modificaciones en las características físicas del suelo, lo que se manifiesta en aumentos de la capacidad de retención de agua, infiltración, porosidad y estabilidad estructural (Figuroa, 2004).

Existe abundante información en la cual se señala el efecto positivo de mantener o incrementar la materia orgánica del suelo sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas así como su contribución sobre el rendimiento de los cultivos. Esto justifica el uso de materiales orgánicos como una

alternativa importante para la recuperación de la fertilidad de los suelos (Matheus, 2004).

En nuestro país el uso de los abonos orgánicos se recomienda especialmente en suelos con bajo contenido de materia orgánica y degradada por el efecto de la erosión, pero su aplicación puede mejorar la calidad de la producción de cultivos en cualquier tipo de suelo, sin importar el material de su composición (Jaramillo, 2010).

La aplicación del compost en los suelos degradado aumenta la población microbiana existente, por ende la producción de sustancias biológicas activas útiles para mejorar y promover el desarrollo especialmente de la vegetación existente. Los organismos fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo y los celulolíticos presentes en el compost del Parque Itchimbia demuestran su calidad y su beneficio para recuperar el suelo del mismo (Álvarez, 2009).

El compost es un material no contaminante, que sirve para recuperación de suelos degradados, dada su alta composición de materia orgánica (78%). El compostaje es un proceso limpio, de escaso impacto ambiental, cuando se trata del manejo de residuos seleccionados (Bastías, 2010).

La actual valoración del compost está referida fundamentalmente a su capacidad de mejorar la calidad y cantidad de materia orgánica (valor como enmienda) y el contenido de nutrientes (valor fertilizante) de suelos degradados y/o agotados. En general se considera que la materia orgánica de los suelos es el indicador más relevante de la fertilidad, dado que regula la disponibilidad y almacenamiento de agua y nutrientes y la actividad biológica. Su conservación constituye, por lo tanto, la base de prácticas de manejo sustentable (Varela, 2005).

El uso del abono orgánico Bioprocanor biol y humus proveniente de la Empresa de Rastro Ibarra, hecho con las materias primas como sangre, residuo ruminal seco y residuo ruminal húmedo compostado y degradado con bacterias aerobias lo hacen un fertilizante orgánico con características químicas y biológicas eficientes, teniendo como resultado un impacto

positivo al suelo, aumentando su producción y disminuyendo su degradación (Andrango, 2010).

A nivel nacional e internacional existen trabajos de investigación que indican la importancia que presentan los abonos orgánicos, en especial el compost para la recuperación de suelos degradados; sin embargo en el país no se ha realizado una investigación sobre el empleo de compost como alternativa para mejorar el contenido de nutrientes, materia orgánica y relación C/N de suelos agrícolas degradados.

2.2 Fundamentación Filosófica

La presente investigación se basó principalmente en el paradigma positivista ya que éste presenta un enfoque de la realidad, orientado a la verificación y confirmación y es reduccionista, inferencial e hipotético deductivo (Aliaga, 1997). Además se basó en el análisis de resultados por lo que su metodología más adecuada es el experimentalismo empírico, lo cual se relaciona con este trabajo ya que se optó por una alternativa real para el mejoramiento de los suelos agrícolas degradados, basados en análisis experimentales sobre su contenido de nutrientes, materia orgánica y relación C/N; y determinando la evolución que presentan los suelos degradados al aplicar compost a diferentes dosis.

También se puede relacionar a esta investigación con el paradigma naturalista el cual busca las causas y la explicación de los hechos que se estudia, está orientado a la comprobación de hipótesis y muestra énfasis en el resultado (17). Es así que el presente estudio verificó que el compost es realmente la solución para recuperar la fertilidad de los suelos agrícolas degradados en base a la evolución de los niveles de nutrientes, materia orgánica y relación C/N.

2.3 Fundamentación Legal

La presente investigación se basó en la Constitución de la República del Ecuador, de donde se seleccionó los siguientes artículos:

Título II. Derechos.

Capítulo segundo - Derechos del buen vivir. Sección segunda - Ambiente sano.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Capítulo séptimo - Derechos de la naturaleza.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Título VI. Régimen de Desarrollo

Capítulo tercero - Soberanía alimentaria.

Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente.

Para ello, será responsabilidad del Estado:

6. Promover la preservación y recuperación de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales vinculados a ella; así como el uso, la conservación e intercambio libre de semillas.

Título VII. Régimen del Buen Vivir

Capítulo primero - Inclusión y Equidad. Sección octava - Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales.

Art. 385.- El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

1. Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.
2. Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.
3. Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Capítulo segundo - Biodiversidad y recursos naturales. Sección primera - Naturaleza y ambiente.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Capítulo segundo - Biodiversidad y recursos naturales. Sección tercera - Patrimonio natural y ecosistemas.

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su

protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley.

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

Capítulo segundo - Biodiversidad y recursos naturales. Sección quinta – Suelo

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Art. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

2.4 Categorías Fundamentales

2.4.1 MARCO CONCEPTUAL DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.

2.4.1.1 DEGRADACIÓN DEL SUELO

Los suelos se degradan normalmente por un uso no acorde con sus aptitudes y limitaciones edáficas, por prácticas de manejo agronómicas o forestales inadecuadas, por contaminación industrial urbana o minera o por

fenómenos naturales, tales como incendios y deslizamientos de suelo. Los procesos de degradación de suelos son variados y en la mayoría de los casos están asociados a un deterioro de las propiedades físicas o de la fertilidad física del suelo, producto de la pérdida de materia orgánica, del deterioro de la estructura, del aumento de la densidad aparente y de la disminución de la porosidad gruesa. Este deterioro físico es a menudo una consecuencia de la incorporación al cultivo del suelo y de las labores culturales asociadas (Honorato & Bonomelli, 2002).

2.4.1.2 EROSIÓN

Es la eliminación del material del suelo por la acción del viento o del agua sobre la tierra. Una erosión extremada se presenta cuando el suelo de las pendientes sufre un abandono y se queda sin ningún tipo de cubierta vegetal. Este suelo desnudo se queda expuesto a la lluvia y las escorrentías que se van esparciendo por toda la superficie y van descendiendo por la pendiente. Este proceso puede ocurrir cuando el suelo está arado, con lo que en consecuencia dejaría un suelo completamente desnudo (Parker, 2000).

Erosión Laminar: Eliminación más o menos uniforme de la capa superficial del suelo de un campo. El suelo sufre la acción del agua en forma de finas láminas o de pequeños surcos o canales. A veces, inmediatamente después de una lluvia, los campos se muestran invadidos por miles de pequeños surcos fluyendo por la ladera de las montañas (7).

Erosión en Arroyo: Causada por la acción de la lluvia que ejerce sobre la superficie. Los arroyos originan profundas zanjas con agua corriente, que en realidad son grandes surcos. La erosión en arroyo puede destruir un campo y la rapidez con la que crecen los arroyos depende de la cantidad de lluvia, la inclinación de la pendiente, del tipo de suelo y del manejo de la tierra (7).

2.4.1.3 FORMACIÓN DEL SUELO

El suelo es el resultado de la interacción de cinco factores: el material madre, el clima, los factores bióticos, la topografía y el tiempo. El material madre es el sustrato a partir del cual se desarrolla el suelo. El clima influye en la formación del suelo a través de la temperatura y la precipitación, así como sobre la vida animal y vegetal. Los factores bióticos plantas, animales, bacterias y hongos; son el origen de la materia orgánica del suelo, los que facilitan su mezcla con la materia mineral. La topografía afecta a la cantidad de agua que penetra en el suelo y a la tasa de erosión. El paso del tiempo es necesario para un desarrollo completo del suelo (11).

2.4.1.4 COMPOST

Los abonos orgánicos como por ejemplo el “compost”, son los resultantes de procesos de digestión microbiológica de materiales de origen vegetal y/o animal al grado de que su estado y entrega de nutrientes (mineralización) sean adecuados para enriquecer los suelos agrícolas, sustento fundamental para el crecimiento y producción de las plantas (Velasguí, 2005).

Relación Carbono/Nitrógeno en compost: Cuando se definen las condiciones ideales de compostaje se define una relación carbono: nitrógeno entre 20 a 30. Una buena relación C:N es fundamental para suplir un buen sustrato para el desarrollo de los microorganismos, lo que al final acelera el proceso de descomposición, y mejora la calidad del producto final. Relaciones C:N muy altas, ocasionan que el proceso de descomposición sea más lento. Pero relaciones C:N muy bajas, hacen que se pierda nitrógeno por falta de estructuras de carbono que permiten retener el nitrógeno (Meléndez & Soto, 2003).

Compost para Suelos Degradados: Según Meléndez & Soto, 2003, en los últimos años, se ha dado una revalorización de la biología de suelos, como un componente importante en los sistemas de producción y se han empezado a utilizar prácticas de manejo al nivel de finca que permitan restablecer la vida del suelo. La adición de materia orgánica a través de

compost, es una de las formas en las que se pretende restablecer la vida del suelo provocando efectos benéficos como los siguientes:

- Es fuente importante de micro y macronutrientes.
- Ayuda a la estabilización de la acidez del suelo.
- Permite racionalizar el uso de fertilizantes inorgánicos, ya sea como complemento o sustituyéndolos.
- Mejora la capacidad de intercambio del suelo.
- Mejora la cohesión y estabilidad de los agregados del suelo.
- Aumenta la capacidad del suelo para retener agua.
- Es fuente energética de los microorganismos especialmente por sus compuestos de carbono.
- Estimula el desarrollo radicular y la actividad de los macro y microorganismos del suelo.

2.4.1.5 LECHUGA

Morfología y Taxonomía: La lechuga es una planta anual, autógena, perteneciente a la familia *Asteraceae* y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L. Esta planta se caracteriza porque la raíz no sobrepasa los 25cm de profundidad, es pivotante y con ramificaciones. Las hojas están dispuestas en roseta, desplegadas al principio en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en algunos casos acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado. Su tallo es cilíndrico. La inflorescencia presenta capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos. Las semillas están provistas de un vilano plumoso (Martínez, 2008).

Condiciones Agroecológicas: En general todos los suelos son buenos para el cultivo de la lechuga, sin embargo se desarrolla muy bien en suelos con alto contenido de materia orgánica; el pH más apropiado es de 6 – 6.8. Teniendo en cuenta que el sistema radicular de la lechuga no es muy extenso, los suelos que retienen la humedad y que a la vez presentan buen drenaje son los mejores; las mejores texturas son las franco-arcillosas y franco-arenosas (46).

Aun cuando hay algunas variedades que se adaptan a climas fríos y otras a climas cálidos, en general, la temperatura apropiada para el desarrollo del cultivo es de 15 a 18 °C. El cultivo demanda unos 400 – 500 mm de agua durante el ciclo vegetativo. En caso de no ser suficientes las lluvias, se recomienda riegos cada 8 a 10 días, suspendiéndolos unos cinco días antes de la recolección (Aldana, 2001).

2.4.1.6 BIOMASA VEGETAL

Biomasa Aérea

Se refiere al peso seco del material vegetal de las plantas o árboles que incluye la corteza, ramas, hojas e inflorescencias. Corresponde a la totalidad de la planta o árbol, desde el suelo hasta el ápice (Dauber, et. al., 2002).

Biomasa Subterránea

Se refiere al peso seco del material vegetal ubicado debajo de la superficie del suelo. Corresponde a la totalidad de las raíces del vegetal (29).

2.4.2 MARCO CONCEPTUAL DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

2.4.2.1 NUTRIENTES ESENCIALES Y SUS FUNCIONES EN LAS PLANTAS

El suelo tiene un papel importante como soporte de la cubierta vegetal y como reserva de nutrientes. La mayoría de los nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo son absorbidos por las raíces directamente desde la solución de suelo, con excepción del carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) que las plantas toman fundamentalmente del CO₂ del aire y del agua y que suponen más del 90 % del peso seco de las mismas. Para el carbono, el oxígeno y el nitrógeno, la atmósfera funciona como el reservorio principal, mientras que para el fósforo, calcio, azufre, potasio al igual que para la mayoría de los micronutrientes es el suelo el principal reservorio (González, 2003).

Tres nutrientes se reconocen desde el punto de vista cuantitativo como principales (macronutrientes): nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K),

seguidos por azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg) como elementos secundarios (micronutrientes) y otro grupo de los cuales las plantas necesitan solamente pequeñas cantidades y son conocidos como oligoelementos; hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo) (38).

Para que el funcionamiento metabólico de la planta sea adecuado y su desarrollo óptimo es necesario que las sustancias nutritivas se encuentren en equilibrio e interactúen de forma armónica mientras que en exceso o déficit se originan plantas débiles, susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, de baja calidad alimentaria y cosechas de poca durabilidad (38).

Cada nutriente no puede evaluarse de forma aislada sino en su relación con los demás, siendo de fundamental importancia el conocimiento de las funciones de cada uno de éstos en relación con el metabolismo vegetal (38).

Cuadro 1. Funciones de los nutrientes en las plantas.

FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES EN LAS PLANTAS		
Nutriente		Función
MACRONUTRIENTES	Nitrógeno (N)	Estimula el crecimiento rápido; favorece la síntesis de clorofila, de aminoácidos y proteínas.
	Fosforo (P)	Estimula el crecimiento de la raíz; favorece la formación de la semilla; participa en la fotosíntesis y reparación.
	Potasio (K)	Acentúa el vigor; aporta resistencia a las enfermedades, fuerza al tallo y calidad a la semilla.

MICRONUTRIENTES	Calcio (Ca)	Constituyente de las paredes celulares; colabora con división celular.
	Magnesio (Mg)	Componente de la clorofila, las enzimas y de las vitaminas; aporta el color verde a las hojas.
	Azufre (S)	Esencial para la formación de aminoácidos y vitaminas; aporta el color verde a las hojas
OLIGOELEMENTOS	Boro (B)	Importante en la floración, formación de los frutos y división celular.
	Cobre (Cu)	Componente de las enzimas; colabora en la síntesis de clorofila y la respiración.
	Hierro (Fe)	Catalizador en la formación de clorofila; componente de las enzimas.
	Manganeso (Mn)	Participa en la síntesis de clorofila.
	Molibdeno (Mo)	Colabora con la fijación de nitrógeno y con la síntesis de proteínas.
	Zinc (Zn)	Esencial para la formación de auxina y almidón.

Fuente: Parker, 2000.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

2.4.2.2 MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Son los residuos de plantas y animales descompuestos; su contenido varía mucho dependiendo de las condiciones climáticas, prácticas de cultivo, rotación de las cosechas y la adición de abonos frescos. Cuando se añade fertilizantes al suelo sin adición de componentes carbonados orgánicos, frecuentemente la tierra se deteriora. Los niveles deseables de materia orgánica en los suelos de cultivo varían desde el 2% en las zonas áridas, al 5% y más en los valles fértiles (León, 2007).

La materia orgánica da al suelo algunos alimentos que las plantas necesitan para su crecimiento y producción a más de mejorar las condiciones del suelo, para el buen desarrollo de los cultivos. La materia orgánica ayuda a la aireación y penetración del agua, y de igual manera la capacidad de retención de la humedad, actúa como agente regulador para evitar cambios abruptos de pH y promueve la diversidad en la comunidad microbiana del suelo (Ramírez, 2004).

2.4.2.3 RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO EN EL SUELO

La materia orgánica del suelo contiene en promedio 5% de nitrógeno, aunque este porcentaje puede variar desde 4 hasta 6%. La materia orgánica del suelo superior contiene entre 50 y 54% de carbono, siendo el promedio 52%. Dividiendo 52 por 5 se obtiene 10.4 como relación de C-N. Esta relación varía entre 10 y 11 a 1. A medida que el suelo se cultiva la relación va disminuyendo, y aunque 10.4 sea un valor apropiado para un suelo virgen, posiblemente 10 es más representativo para un suelo cultivado (Thompson, 1974).

La relación C/N es una medida del grado de humidificación de la materia orgánica incorporada al suelo. Así, por ejemplo, en una zona de bosque, la relación C/N sube en otoño e invierno, y baja durante la primavera y el verano (Primo & Carrasco, 1980).

2.4.2.4 MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Una de las contribuciones más importante de la materia orgánica a la fertilidad de suelo es su capacidad de suplir nutrimentos, especialmente nitrógeno, fósforo, y azufre. Los nutrimentos son secuestrados en y liberados de la materia orgánica por 2 procesos distintos: biológicos (N, P, S) y químicos (Ca, Mg, K). La mineralización incluye un conjunto de procesos por medio de las cuales, el N, P, entre otros en combinación con la materia orgánica son transformados a moléculas inorgánicas de constitución más simple (48).

2.4.2.5 pH DEL SUELO

El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo. Un pH de 7.0 es neutral. Suelos con pH menores a 7.0 son ácidos, mientras que los valores arriba de 7.0 son básicos o alcalinos. Por ejemplo: un pH de 5.2 es 10 veces más ácido que un suelo con pH de 6.2. Para la mayoría de los vegetales y cultivos agronómicos, un pH de 5.8 a 6.5 es óptimo (Espinoza, 2011).

El pH del suelo es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana e influye de forma decisiva en la asimilabilidad de los diferentes nutrientes (Sainz, et. al., 2011).

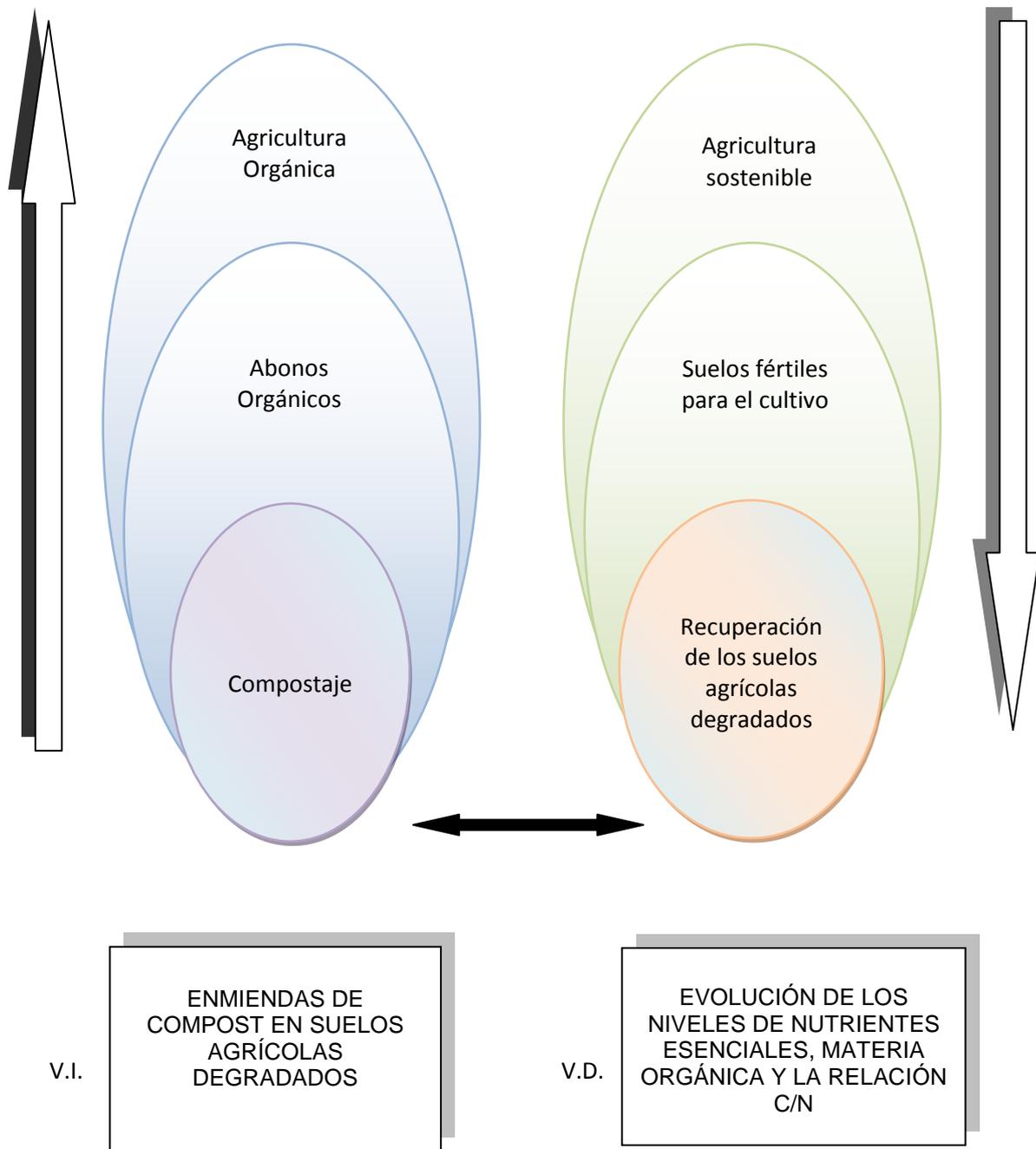


Gráfico 2. Inclusión de Variables

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis de Investigación

¿Mediante las enmiendas de compost a diferentes dosis, existirá una evolución favorable de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N en suelos agrícolas degradados?

2.5.2 Hipótesis Alternativa

¿Las enmiendas de compost son efectivas para la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N en suelos agrícolas degradados?

2.5.3 Hipótesis Nula

¿Las enmiendas de compost no son efectivas para la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N en suelos agrícolas degradados?

2.6 Señalamiento de Variables

2.6.1 Variable Independiente

Enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados.

2.6.2. Variable Dependiente

Evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Enfoque

La presente investigación se basó especialmente en el método cuantitativo, en el cual se recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables, trata de determinar la fuerza de asociación o correlación entre variables, es decir, la realidad se reduce a números. Es así que en este estudio se realizó análisis del contenido de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N tanto de los suelos agrícolas degradados como de los experimentales tratados con compost. Además se empleó el método cualitativo que tiene como objetivo la descripción de las cualidades de un fenómeno; este método se usó para determinar las características de crecimiento del vegetal. De esta manera se estudió la evolución que presenta el suelo degradado al ser enriquecido con compost.

3.2 Modalidad Básica de la Investigación

Las modalidades de investigación que se emplearon en este proyecto fueron: De campo, Experimental y Documental.

Investigación de Campo: Debido a que se aplicó compost a diferentes dosis sobre el suelo agrícola degradado; que estuvo expuesto al entorno natural sin regulación de las condiciones ambientales, además del cultivo de lechuga con el que se demostró que mediante el empleo de este abono orgánico es posible devolver la fertilidad a los suelos empobrecidos.

Investigación Experimental: Se realizó el análisis del contenido de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N tanto de los suelos agrícolas degradados como de los tratados experimentalmente a través del empleo de compost verificando que existe una evolución favorable de dichos componentes.

Investigación Documental: Se fundamentó en varios textos, documentos, ensayos científicos y fuentes electrónicas relacionados al tema de investigación planteado como sustento para el presente estudio.

3.3 Nivel o Tipo de Investigación

Investigación Exploratoria: En donde se mostró el problema que generan los suelos agrícolas degradados, los cuales fueron tratados con compost. Aquí se buscó la dosis más efectiva que permitió recuperar la fertilidad de los suelos a través de una tecnología ecológica.

Investigación Descriptiva: En este tipo de investigación se señaló la importancia que presenta el compost así como su carácter nutritivo, el cual permitió una evolución favorable de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N de los suelos agrícolas degradados.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

La población considerada para esta investigación fue de una hectárea de suelo agrícola degradado proveniente del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua.

3.4.2 Muestra

Para obtener la muestra en el presente estudio se aplicó el Muestreo al Azar en base a la metodología de Primo & Carrasco, 1980, que indica que en cada área no mayor de 5 Ha, se toman de 15 a 20 submuestras, siguiendo un camino de zig-zag, a fin de abarcar toda la parcela.

Por lo tanto en esta investigación, la parcela correspondió a la población que es de 1 ha, de donde se tomó 20 muestras como se ilustra en la siguiente gráfica.

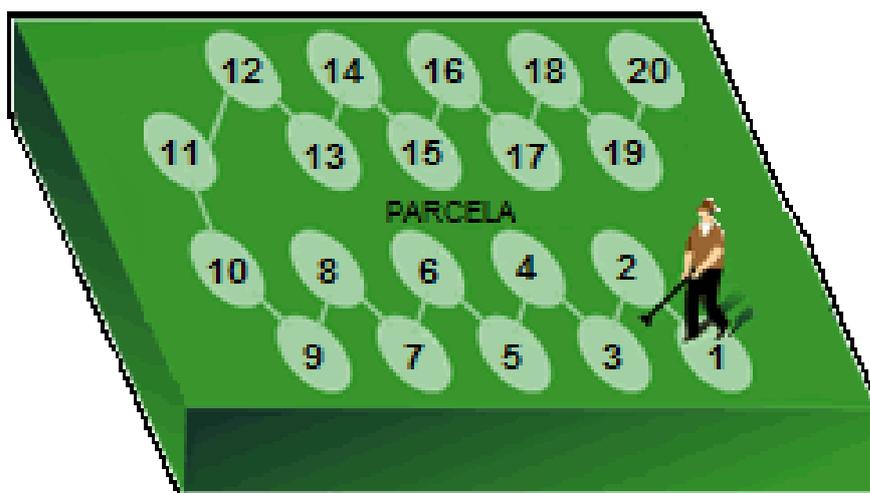


Gráfico 3. Forma de recorrer la parcela.

Fuente: Coraspe & Tejera, 1996.

3.5 Operacionalización de Variables

Variable Independiente. Enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICES	ÍTEM BÁSICO	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Las enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados es una alternativa agroecológica que mediante el aporte de diferentes elementos nutritivos y características físicas y estructurales permiten mejorar el rendimiento de los cultivos.	<ul style="list-style-type: none"> - Compost como alternativa agroecológica - Rendimiento de los cultivos 	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad del compost - Diferentes dosis de compost - Diámetro del follaje de la planta - Coloración del follaje - Rendimiento de biomasa subterránea - Rendimiento de biomasa aérea 	<ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje (%) - g de compost / kg de suelo degradado - Centímetros (cm) - Escala Arbitraria (1 – 5) - Gramos (g) - Gramos (g) 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál será la calidad del compost? - ¿Qué dosis se aplicarán de compost? - ¿Cuál será el diámetro del follaje de las plantas? - ¿Qué coloración presentará el follaje de las plantas? - ¿Cuál será el rendimiento de biomasa subterránea de las plantas? - ¿Cuál será el rendimiento de biomasa aérea de las plantas? 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis químico Investigación de campo Investigación de campo Investigación de campo Investigación experimental Investigación experimental

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Variable Dependiente. Evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICES	ÍTEM BÁSICO	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N se conceptualiza como la forma en que los suelos agrícolas degradados recuperan su fertilidad.	- Suelos agrícolas degradados	- Textura y Estructura	- Escala de textura y estructura del suelo	- ¿Cuál es la textura y la estructura de los suelos agrícolas degradados?	Análisis físico
		- Contenido de nutrientes esenciales	- Miligramos/Litro (mg/L) y Miliequivalentes/100gramos (Meq/100g)	- ¿Cuál será el contenido de nutrientes esenciales en suelos agrícolas degradados?	Análisis químico
		- Contenido de materia orgánica y C/N	- Porcentaje (%)	- ¿Cuál será el contenido de materia orgánica y de C/N en suelos agrícolas degradados?	Análisis químico
		- Periodicidad de medición del contenido químico del suelo	- Días	- ¿Cada qué tiempo se medirá el contenido químico del suelo?	Investigación de campo
	- Fertilidad de los suelos	- Variación de los niveles de nutrientes esenciales	- Miligramos/Litro (mg/L) y Miliequivalentes/100gramos (Meq/100g)	- ¿Cómo variarán los niveles de nutrientes esenciales en los suelos tratados?	Análisis químico
		- Variación de los niveles de materia orgánica y C/N	- Porcentaje (%)	- ¿Cómo variarán los niveles de materia orgánica en los suelos tratados?	Análisis químico

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

3.6 Recolección de Información

3.6.1 Técnicas de Recolección de Datos

La técnica de recolección de datos que se empleó en esta investigación fue la observación puesto que se analizó directamente el suelo agrícola degradado. Además se realizó la observación del crecimiento vegetal a nivel de laboratorio ya que en los suelos degradados tratados con compost a diferentes dosis se cultivó plántulas de lechuga que sirvieron como indicadores de la fertilidad de dichos suelos; lo cual se llevó a cabo en macetas para verificar si la evolución que presentan es favorable o no y de esta forma aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

3.6.2 Materiales y Métodos

3.6.2.1 Ubicación

El suelo agrícola degradado que se empleó para la presente investigación se lo tomó del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua.

El análisis de los suelos se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Politécnica de Chimborazo.

El compost y el cultivo de lechuga se realizaron en un mini invernadero ubicado en el sector Huachi Chico de la ciudad de Ambato.

El análisis vegetal se hizo en el Laboratorio de Físico Química de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

3.6.2.2 Materiales

Material para Muestreo

- Pala
- Cuchillo
- Balde
- Fundas plásticas gruesas

Material para Siembra

- Tarrinas de 1 L
- Macetas de 5 L
- Suelo degradado
- Suelo tratado con compost
- Plántulas de lechuga

Materiales para la fabricación del Compost

- Azadón
- Palos de 2 m de largo
- Pingos puntiagudos
- Rastrillo
- Manguera
- Residuos de rosas (tallos y hojas), provenientes del mercado de flores de Ambato
- Estiércol vacuno
- Aditivos: Tierra fértil para aplicación mínima en espolvoreo
- Agua: para mantención de humedad intermedia (30 – 40%)

Materiales de Laboratorio

- Crisoles
- Pinzas
- Regla graduada
- Vasos de precipitado
- Pipetas
- Varillas de agitación
- Papel filtro

Equipos de Laboratorio

- Estufa
- Geotermómetro
- Balanza
- Espectrómetro de absorción atómica

Equipo de Informática

- Programa estadístico INFOSTAT
- Computadora
- Cámara fotográfica digital

Suministros de Oficina

- Lápices
- Esferos
- Folder
- Libreta de campo
- Papel de oficina
- Impresiones

3.6.2.3 Métodos

3.6.2.3.1 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE NUTRIENTES ESENCIALES, MATERIA ORGÁNICA Y LA RELACIÓN C/N EN SUELOS AGRÍCOLAS DEGRADADOS

Muestreo del Suelo

Según, Primo y Carrasco, 1980; antes de tomar la muestra se debe realizar una inspección previa del campo a muestrear para dibujar, después, un diagrama en el que se señale las distintas parcelas, cultivos, texturas y color de suelo, desarrollo relativo de los cultivos, tratamientos fertilizantes, zonas de condiciones anormales y otras características que puedan diferenciar unos suelos de otros.

Sobre ese diagrama, trazar un plan del número de muestras a tomar, forma de tomarlas y orden de muestreo, teniendo en cuenta que debe recogerse una muestra distinta por cada porción de terreno con características peculiares y que en cada área no mayor de 5 Ha, se toman de 15 a 20 submuestras, siguiendo un camino de zig-zag, a fin de abarcar toda la parcela.

El procedimiento para la toma de muestras se realizó en base al tríptico de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Ambato que en su título "Toma de Muestras" indica:

- Limpie bien la superficie del sitio donde tomará la muestra.
- Para la mayoría de los cultivos la profundidad adecuada de toma de muestras, es la de arado (20 cm). Haga un hueco en forma de "V" de 20 cm, de profundidad. De uno de sus lados tome una "tajada" de 2 a 3 cm de espesor.
- Con el cuchillo o machete quite los bordes, dejando una tajada de 5 cm de ancho. Deposite la tajada (submuestra) en el balde.

Para obtener cada submuestra, repita los pasos arriba indicados, en la parcela del que desea obtener la información.

- Mezcle bien en el balde limpio las 15 o 20 submuestras así tomadas.

Para enviar al laboratorio tome del balde una porción de aproximadamente dos libras e identifíquelo.

Análisis Físico - Químico del Suelo Agrícola Degradado

En esta etapa se realizó un análisis físico - químico del suelo agrícola degradado ya que a través de éste se conoció los elementos y las características que presenta el suelo como son nutrientes, materia orgánica y relación C/N. Según la Dirección General de Investigación, 1991; las características físicas y químicas del suelo deben ser conocidas en la

investigación, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la cantidad y calidad de las cosechas dependen de éste.

Este análisis se ejecutó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Politécnica de Chimborazo.

3.6.2.3.2 ELABORACIÓN DE COMPOST COMO FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA CON UNA RELACIÓN C/N = 20/1

Proceso de Elaboración

Según Velasteguí, 2005; el procedimiento para la elaboración del compost en montón es el siguiente:

- Utilizar un lugar no muy soleado, señalar franjas de terreno de 1.5 m de ancho y la longitud que desee.
- Remover la superficie señalada con azadón hasta profundizar 20 cm sin dar vuelta a la tierra.
- Clavar palos de 2 m de largo distribuidos convenientemente dentro de las franjas, pero sin afirmarlos mucho para poder extraerlos luego y que exista aireación.
- Colocar en los primeros 15 cm una capa de residuos de rosas (tallos y hojas). En los siguientes 5 cm colocar estiércol vacuno seco o fresco y en los 2 últimos centímetros distribuir tierra agrícola. Si los materiales están secos, humedecerlos conforme se los vaya poniendo.
- Repetir la operación anterior sucesivamente hasta alcanzar una altura máxima de 1.5 m. Si existe área suficiente es mejor no exceder la altura de tres o cuatro capas. Extraer los palos colocados al inicio.
- A los pocos días de construida la abonera, si se mantiene la humedad adecuada y si existen condiciones óptimas de temperatura y aireación, los materiales se calentarán alcanzando hasta temperaturas de 70 °C y bajando su volumen hasta la mitad del original.

- A las 3 semanas es recomendable revolver las capas procurando que los materiales que están hacia afuera se ubiquen hacia adentro para que la descomposición sea uniforme. Si no es posible voltear el material, se lo debe punzar con barras o pingos puntiagudos. Por ningún motivo, agregar materiales nuevos.
- Pasadas otras 3 semanas hacer otro volteo procurando que se mantenga una buena humedad. Dependiendo de la temperatura ambiental, la razonable humedad y aireación del sustrato, luego de 1 a 4 meses el abono estará listo para ser utilizado. Cuando el abono está listo tiene un agradable olor a tierra de bosque y está completamente desmenuzado.
- Para mejorar su presentación y facilitar su aplicación se puede tamizar el abono. Excepto para esquemas de agricultura orgánica, en donde solamente ciertos insumos y nutrientes minerales son permitidos, se puede enriquecer un compost añadiendo niveles limitados de fertilizantes sintéticos y/o de origen natural así como microorganismos.

Determinación de la Relación C/N = 20/1 en el Compost elaborado

Aproximadamente una semana antes de que el proceso de compostaje termine se analizó la relación C/N del compost con la finalidad de determinar que esta relación sea de 20/1.

Si el compost tiene una relación C/N alta debido a materiales ricos en celulosa y lignina, para regular el proceso se deberán añadir materiales ricos en nitrógeno pero, también, materiales ricos en azúcares o hemicelulosa. Si el residuo tiene una relación C/N baja, se añadirán materiales ricos en carbono (Ehne, 2002).

El análisis para esta etapa se lo realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Politécnica de Chimborazo.

3.6.2.3.3 APLICACIÓN DE COMPOST EN DIFERENTES DOSIS EN SUELO AGRÍCOLA DEGRADADO ANALIZANDO LA EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES DE NUTRIENTES ESENCIALES, MATERIA ORGÁNICA Y LA RELACIÓN C/N CON EL EMPLEO DE CULTIVOS DE LECHUGA COMO ESPECIE VEGETAL INDICADORA

Cálculo del peso de 1 ha de suelo

Según, Thompson y Troeh; 2002, el peso del suelo puede calcularse si se conoce la densidad aparente. A menudo es posible realizar una estimación razonable del peso, suponiendo una densidad aparente de 1 g/cm³ para suelo flojo, 1.3 g/cm³ para suelo no alterado y 1.6 g/cm³ para suelo compactado. La fórmula que se emplea para calcular el peso del suelo es:

$$\text{Peso de 1 ha} = 10000 \text{ m}^2 \times \text{Profundidad de extracción (m)} \times \text{Densidad Aparente (kg / m}^3\text{)}$$

La masa del suelo más interesante para el agricultor suele ser la capa arable. Por lo tanto el peso de una hectárea depende de la profundidad que se considere y de la densidad aparente del suelo. Las profundidades corrientes de arado oscilan entre 15 y 20 cm. Combinando 20 cm con una densidad aparente baja, de 1 g/cm³ resulta:

$$\text{Valor de Densidad Aparente: } 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Profundidad de muestreo: } 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Peso de 1 ha} = 10000 \text{ m}^2 \times 0,20 \text{ m} \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de 1 ha} = 2000000 \text{ kg}$$

El mismo resultado puede obtenerse suponiendo una profundidad menor con una densidad aparente más elevada, como 15 cm y 1.33 g/cm³. Es frecuente, por tanto, usar la cifra de 2 millones de kg, como estimación razonable del peso

de la hectárea, éste valor además se usa para transportar al campo los datos de laboratorio.

Cálculo de las dosis de aplicación

Según Velasteguí, 2005; las dosis de compost varían entre 20 y 60 ton/ha; de donde se tomó para la presente investigación las dosis de 20, 30, 40 y 50 ton de compost / ha de suelo las cuales al transformarlas a g de compost / kg de suelo fueron:

Cálculo de la dosis de aplicación de 20 ton/ha:

$$20 \frac{\text{ton compost}}{\text{ha suelo}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ tón}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ ha suelo}}{2000000 \text{ kg}} = 10 \frac{\text{g de compost}}{\text{kg de suelo}}$$

Al aplicar la misma formulación para todas las dosis se obtienen las dosis reales de aplicación que son:

20 ton/ha = 10 g compost / kg suelo degradado

30 ton/ha = 15 g compost / kg suelo degradado

40 ton/ha = 20 g compost / kg suelo degradado

50 ton/ha = 25 g compost / kg suelo degradado

Las dosis de compost se aplicaron a los suelos agrícolas degradados con lechuga como especie vegetal indicadora; en la cual se evaluó los siguientes aspectos:

Diámetro del follaje (cm): Se realiza la medición del diámetro de la planta, utilizando una regla graduada en centímetros (Enríquez, et. al., 2010), de esta forma se verificó que los suelos agrícolas degradados recuperan la fertilidad con la aplicación de compost.

Coloración del follaje (escala arbitraria): Se comprueba el color externo de la hortaliza mediante una escala arbitraria de 1 a 5 (Sánchez & Alvarado, 2008) donde:

1 = 100% verde y 0% Blanquecino pálido,

2 = 75% verde y 25% Blanquecino pálido,

3 = 50% verde y 50% Blanquecino pálido,

4 = 25% verde y 75% Blanquecino pálido,

5 = 0% verde y 100% Blanquecino pálido.

El color se evaluó únicamente de las hojas externas de la hortaliza.

Rendimiento de biomasa subterránea y aérea (gramos)

Estado Fresco: Para determinar el rendimiento de biomasa en estado fresco se pesa las raíces que corresponde a la biomasa subterránea, y los tallos, hojas e inflorescencias que corresponde a la biomasa aérea (Mapes et. al., 1995).

Estado Seco: Las raíces (biomasa subterránea), y los tallos, hojas e inflorescencias (biomasa aérea) se secan en estufa a 60 – 65 °C durante 64 horas hasta peso constante (45).

Evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N

Luego de aplicar compost a los suelos agrícolas degradados se realizó un análisis químico verificando la eficacia de este abono orgánico en la recuperación de la fertilidad del suelo tanto de los niveles de nutrientes, como de materia orgánica y de la relación C/N.

El análisis químico se ejecutó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Politécnica de Chimborazo.

3.6.2.3.4 ESPECIFICACIONES DEL MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN

- Fase de campo

El Muestreo se realizó en base al método de Primo y Carrasco, 1980, en conjunto con el protocolo del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Ambato.

El Compost se lo elaboró en “Montón”.

La variedad de lechuga que se utilizó fue “La Romana”.

Se midió el diámetro y la coloración del follaje de las plantas.

- Fase de laboratorio

Se analizó el contenido de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N de cada tratamiento.

Se determinó la biomasa subterránea y aérea en estado fresco y seco de las plantas.

3.6.2.3.5 FACTOR EN ESTUDIO

Para la presente investigación se utilizó las dosis de compost como el factor en estudio; las mismas que corresponden a:

- C1: Testigo*
- C2: 10 g compost / kg suelo degradado
- C3: 15 g compost / kg suelo degradado
- C4: 20 g compost / kg suelo degradado
- C5: 25 g compost / kg suelo degradado

* El testigo corresponde a 1 kilogramo de suelo degradado sin la aplicación de compost.

3.6.2.3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El análisis estadístico se lo realizó en tres etapas: una inicial que corresponde al momento en que se coloca el compost en el suelo degradado, a la mitad del experimento, es decir, un mes después de haber aplicado el compost y una etapa final que es a los meses de la investigación. Además se hizo un análisis global del experimento para determinar la evolución del suelo con el tiempo.

Diseño Experimental

En esta investigación se aplicó el Diseño de un Solo Factor Completamente Aleatorizado (DCA) ya que la cantidad de suelo agrícola degradado no varía y únicamente se tomó como factor en estudio las dosis de compost; esto se realizó para las tres etapas en estudio; mientras que para el análisis global del experimento se empleó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA).

Modelo Matemático

El diseño experimental con el que se trabajó presenta el siguiente modelo matemático:

$$\text{DCA:} \quad Y_{ij} = \mu + T_j + \epsilon_{ij}$$

$$\text{DBCA:} \quad Y_{ij} = \mu + B_i T_j + \epsilon_{ij}$$

Número de repeticiones

Se realizaron cuatro observaciones por cada tratamiento en estudio.

Tratamientos

Para el DCA se aplicaron cinco tratamientos incluido el testigo que representan las dosis de compost que se emplearon sobre el suelo agrícola degradado.

Tabla 1. Lista de tratamientos de acuerdo a las dosis de compost.

# Tratm.	Descripción
C1	0 g compost / kg suelo degradado
C2	10 g compost / kg suelo degradado
C3	15 g compost / kg suelo degradado
C4	20 g compost / kg suelo degradado
C5	25 g compost / kg suelo degradado

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Para el DBCA se tomaron los mismos tratamientos mencionados en la tabla anterior para el análisis de las dosis de compost mientras que para el estudio con respecto al tiempo se examinó de la siguiente manera.

Tabla 2. Lista de tratamientos de acuerdo a la evolución con el tiempo.

# Tratm.	Descripción
T0	Tiempo 0 (Inicio del Experimento)
T1	1 Mes después (Mitad del Experimento)
T2	2 Meses después (Final del Experimento)

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Análisis de Varianza

Tabla 3. ANOVA en el DCA.

Fuente de Variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F Calculado (FC)	F Tabulado (Ft→0.05)
Tratamientos	K - 1	$\frac{\sum Y_j^2}{n_j} - \frac{\sum Y_{..}^2}{n_j}$	$\frac{SCTr}{GL}$	$\frac{CMTr}{CME}$	-----
Error	K (n - 1)	SCT - SCTr	$\frac{SCE}{GL}$		
Total	nK - 1	$\sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{\sum Y_{..}^2}{n_j}$	$\frac{SCT}{GL}$		

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla 4. ANOVA en el DBCA.

Fuente de Variación (FV)	Grados de libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F Calculado (FC)	F Tabulado (Ft→0.05)
Bloques	b - 1	$\frac{1}{b} \sum Y_i^2 - \frac{\sum Y_{..}^2}{bt}$	$\frac{SCb}{GL}$	$\frac{CMTr}{CME}$	-----
Tratamientos	t - 1	$\frac{1}{t} \sum Y_j^2 - \frac{\sum Y_{..}^2}{bt}$	$\frac{SCTr}{GL}$		
Error	t (n - 1)	SCT - SCTr - SCb	$\frac{SCE}{GL}$		
Total	bt - 1	$\sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \frac{\sum Y_{..}^2}{bt}$	$\frac{SCT}{GL}$		

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Análisis Funcional

Se empleó la prueba de Tukey al 0.05% (Apuntes de Diseño Experimental, 2009) para el DCA y la prueba de Contrastes (Apuntes de Diseño Experimental, 2009) para el DBCA, ésta última se usó debido a que permite comparar los resultados con algo específico que en la presente investigación es el testigo.

Características del Experimento

En el experimento se analizó las características físicas y químicas del suelo y las características de crecimiento de la planta indicadora; para el primer caso se usaron macetas de 5 litros; mientras que para el segundo caso se emplearon plántulas de lechuga del mismo tamaño y edad para la siembra en tarrinas de 1 litro con la finalidad de asegurar que el crecimiento únicamente depende del suelo en estudio.

Unidades Experimentales

Como ya se detalló anteriormente, para la presente investigación se trabajaron con 5 tratamientos y en cada uno se realizaron 4 observaciones con lo cual se obtuvo un total de 20 unidades experimentales.

Respuestas Experimentales

Características Químicas del Suelo

Se basan en los resultados de laboratorio, específicamente de la evolución de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N que presenta el suelo agrícola degradado; estos análisis se los realizó cada mes por un período de 2 meses, y los parámetros que se evaluaron fueron los siguientes:

- Nutrientes esenciales (N, P, K, Ca y Mg)
- Porcentaje de materia orgánica del suelo (%MO)
- Contenido de la relación C/N del suelo (%C_{org} y %N_T)

Características de Crecimiento de la Planta

Como otro indicador para evaluar la eficacia del compost sobre el suelo degradado se tiene el cultivo de lechuga, que al igual que en las respuestas experimentales antes mencionadas se analizaron cada mes durante 2 meses y se estudiaron las siguientes cualidades:

- Diámetro del follaje (cm)
- Coloración del follaje (escala arbitraria: 1 – 5)
- Rendimiento de biomasa subterránea estado fresco y estado seco (g)
- Rendimiento de biomasa aérea estado fresco y estado seco (g)

3.6.2.3.7 ESTUDIO ECONÓMICO DE LOS TRATAMIENTOS INVESTIGADOS

En la presente investigación se realizó un estudio económico tomando en cuenta los materiales utilizados para la elaboración del compost así como también los análisis químicos realizados a más de las dosis que se emplearon; de manera que se pudo estimar sobre el costo que implica la producción de 1 quintal de compost, el mismo que servirá como enmienda orgánica para la recuperación de suelos agrícolas degradados.

3.7 Procesamiento y análisis

Las respuestas experimentales que se obtuvieron en el presente estudio fueron analizadas mediante el paquete estadístico INFOSTAT, a través del cual se realizó la tabulación de los niveles de nutrientes, materia orgánica y la relación C/N, además de las características de crecimiento de las plantas. También se empleó el paquete informático Excel para graficar y visualizar la variación que existió entre los tratamientos además de la evolución que éstos presentaron con el tiempo.

Este análisis se pudo sustentar con información bibliográfica y los respectivos análisis físicos, químicos y de campo, que permitieron corroborar la hipótesis de investigación, y de esta manera obtener conclusiones y recomendaciones que ayuden a mejorar adecuadamente los suelos agrícolas degradados.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

4.1.1 Elaboración del compost como fuente de materia orgánica con una relación C/N = 20/1

4.1.1.1 Proceso de Compostaje

El compost fue elaborado a partir de residuos de rosas y estiércol vacuno en cantidades mostradas en la tabla B-1; estos residuos fueron picados para obtener partículas de tamaño adecuado. En la tabla B-2 se indican las temperaturas obtenidas durante el proceso del compostaje, en donde se observa claramente que la temperatura va incrementando durante el proceso llegando a una temperatura máxima de 65°C en el día 52 de la descomposición de los materiales orgánicos, luego de ese tiempo se produjo un descenso de la temperatura hasta llegar a un rango constante de 20 a 23 °C que indica que el compostaje ha finalizado, con lo cual se señala que la elaboración del compost tardó alrededor de 3 meses. Además de la temperatura, se controlaron la humedad y la aireación sin mayores inconvenientes.

4.1.1.2 Análisis químico del compost

Una vez obtenido el compost se analizó sus características químicas, las cuales se detallan en la tabla B-3; este análisis se efectuó al final del compostaje y al final del experimento, es decir, al instante de haber obtenido el compost y 2 meses después de elaborado el producto. Según los resultados presentados se avizora que tanto el pH, materia orgánica, calcio, magnesio y carbono no

presentaron diferencias significativas a los 2 meses de elaborado el compost; a diferencia del nitrógeno, fósforo, potasio y la relación carbono/nitrógeno en donde si hubo variación.

El compost obtenido presentó cantidades adecuadas de pH, materia orgánica y de elementos nutritivos como el nitrógeno, potasio y magnesio; mientras que hubo deficiencia de fósforo y calcio además de una cantidad no muy elevada de carbono que influyó en la relación carbono/nitrógeno la cual fue de 10. Dos meses después se observó que los valores de fósforo y carbono orgánico mejoraron; pero en cambio el nitrógeno y el potasio sufrieron alteraciones; estos cambios influyeron directamente en la relación carbono/nitrógeno, la cual se elevó a 20 que es el valor esperado en la presente investigación.

4.1.2 Análisis físico – químico del suelo agrícola degradado proveniente del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua

Para comprobar la efectividad del compost frente a suelos agrícolas degradados se empleó un suelo franco arenoso con estructura suelta, alcalino y bajas condiciones nutritivas como se presenta en la tabla B-4, siendo el pH, porcentaje de materia orgánica, NH_4 , Mg, N total y C orgánico los parámetros más deficientes en el suelo analizado del cual se pretendió restablecer sus condiciones y volverlo apto nuevamente para el cultivo agrícola.

4.1.3 Aplicación de compost en diferentes dosis en suelo agrícola degradado analizando la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con el empleo de cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora

4.1.3.1 Análisis Químico

En la presente investigación se realizó el análisis químico del suelo degradado como testigo, así como también del suelo con compost como enmienda orgánica. Este análisis se lo hizo en tres etapas, una inicial, otra a la mitad del

experimento que fue después de 1 mes de colocado el compost y una final que fue a los 2 meses de aplicado el abono orgánico, éstos resultados se muestran en las tablas B-5, B-6 y B-7 para cada etapa respectivamente.

El análisis estadístico de los resultados se lo realizó tanto por etapas como en conjunto; para el primer caso se empleó un diseño de un solo factor completamente aleatorizado (DCA), mientras que para el análisis global del experimento se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), para este último diseño se utilizaron los valores promedios de las etapas nombradas anteriormente las cuales se muestran en las tablas B-11, B-12 y B-13. El análisis de la evolución de los diferentes elementos en el suelo se procesó en el programa estadístico Infostat y cuyos resultados se muestran en las tablas del Anexo – Análisis Químico.

Éste análisis comprende los siguientes elementos: pH, porcentaje de materia orgánica (%MO), nutrientes esenciales como nitrógeno (en forma amoniacal, NH_4), fósforo (P), potasio (K), calcio (en forma de óxido, CaO), magnesio (en forma de óxido, MgO), porcentaje de nitrógeno total (%N), porcentaje de carbono orgánico (%C) y además la relación carbono/nitrógeno (C/N).

Inicio del Experimento

En la primera etapa que es cuando el compost se colocó en el suelo agrícola degradado se analizó los 10 elementos nombrados anteriormente para los 5 tratamientos incluido el testigo que corresponde al tratamiento 1, el análisis de la etapa inicial se observa en las tablas de la B-17 a la B-45 que se encuentran detalladas de acuerdo a cada elemento.

pH: Como se muestra en la tabla B-17 el coeficiente de variación es 0.62 lo que indica que no existe diferencia significativa entre las réplicas, es decir, el análisis químico estuvo bien realizado, además se avizora en la tabla B-18 que los tratamientos sí presentan diferencia, lo cual se corrobora con la prueba de Tukey al 0.05% donde se presentan cuatro grupos homogéneos, siendo el

mejor tratamiento el número 5 ya que tiene el pH más bajo; además en el gráfico 4 se ve claramente cómo va disminuyendo el pH a medida que la concentración de compost va aumentando siendo la mejor cuando se tiene 25 g de compost por cada kilo de suelo degradado.

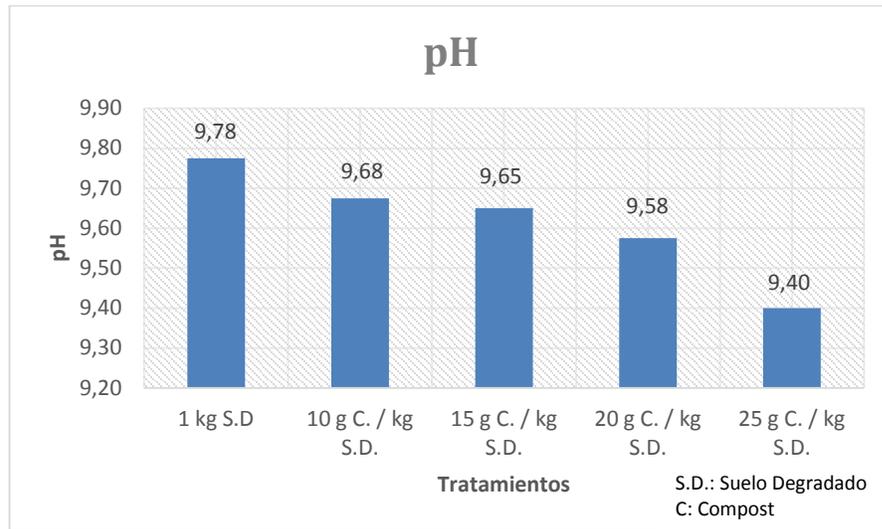


Gráfico 4. Variación del pH con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Materia orgánica: De la tabla B-20 a la B-22 se puede describir que no existe diferencia entre las réplicas, pero sí entre los tratamientos siendo los mejores el 4 y el 5 que presentaron mayor porcentaje de materia orgánica (1.7%), a diferencia del testigo que tiene 1.28%; además en el gráfico 5 se observa como la materia orgánica incrementa conforme existe mayor concentración de compost en el suelo degradado.

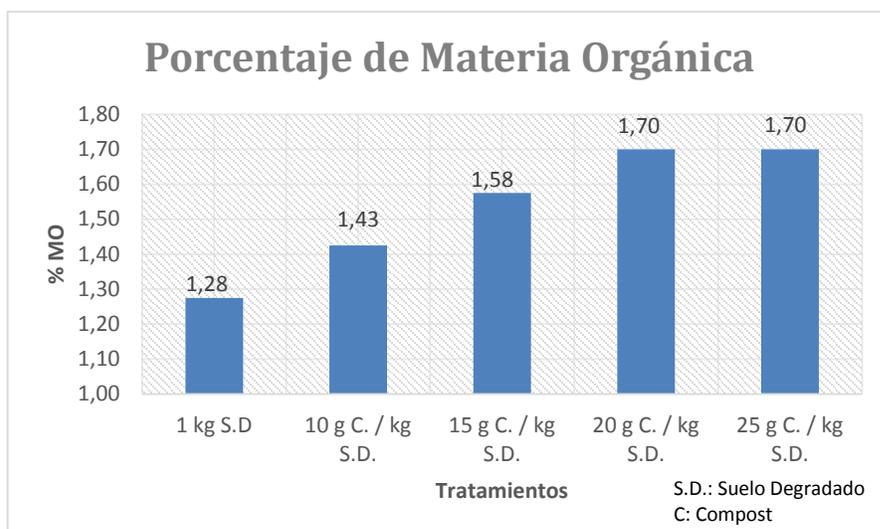


Gráfico 5. Variación del porcentaje de materia orgánica con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nutrientes esenciales: Los nutrientes analizados en esta investigación fueron N, P, K, Ca y Mg; cuyo análisis estadístico por elemento se exhibe a partir de la tabla B-23 hasta la tabla B-36 y lo cual se presenta a continuación en forma resumida en la siguiente tabla.

Tabla 5. Resumen estadístico de la evolución de los nutrientes esenciales al inicio del experimento.

Nutrientes esenciales	Significancia entre réplicas	Significancia entre tratamientos	Grupos homogéneos	Mejor tratamiento
N	No	No	1	5
P	No	Si	3	3
K	No	Si	2	5
Ca	No	Si	4	5
Mg	No	Si	3	4

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Como se observa en la tabla anterior no existe significancia entre réplicas de ninguno de los cinco nutrientes esenciales en estudio, lo que indica que el análisis de laboratorio es correcto.

Para el nitrógeno amoniacal se indica que no existe significancia entre réplicas por lo cual sólo existe un grupo homogéneo para los 5 tratamientos aunque según el gráfico 6 se nota un ligero aumento de NH_4 con respecto al testigo siendo el más alto y por ende el mejor el tratamiento 5 (25 g de compost / kg de suelo degradado).

Los demás nutrientes en cambio sí muestran significancia entre tratamientos por lo cual presentan diferentes grupos homogéneos que permite identificar la variación de cada elemento en estudio. Los mejores tratamientos para el P, K, Ca y Mg fueron 3, 5, 5, 4 respectivamente; es decir, el empleo del compost elaborado es eficaz en la restauración de los niveles de nutrientes esenciales.

En los gráficos 6, 7, 8, 9 y 10 se observa en una forma más clara la variación que presentan los nutrientes N, P, K, Ca y Mg con respecto a la concentración de compost empleado para cada tratamiento.

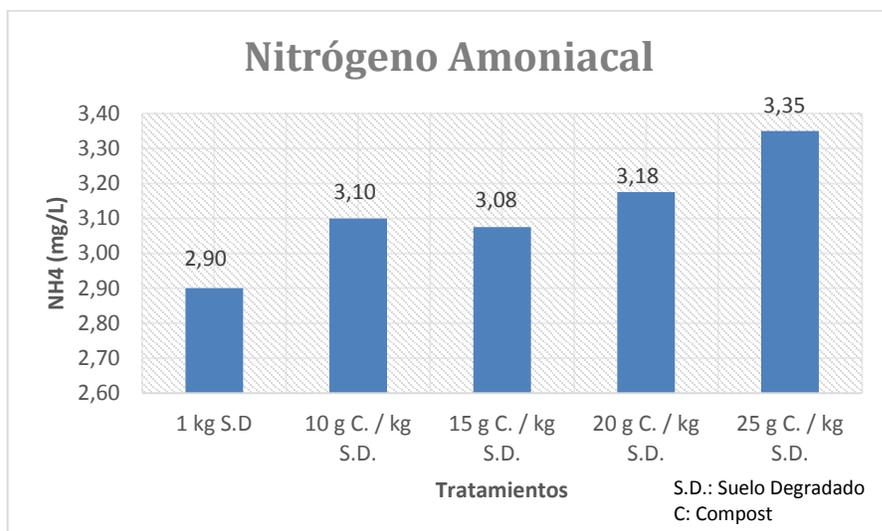


Gráfico 6. Variación del nitrógeno amoniacal con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

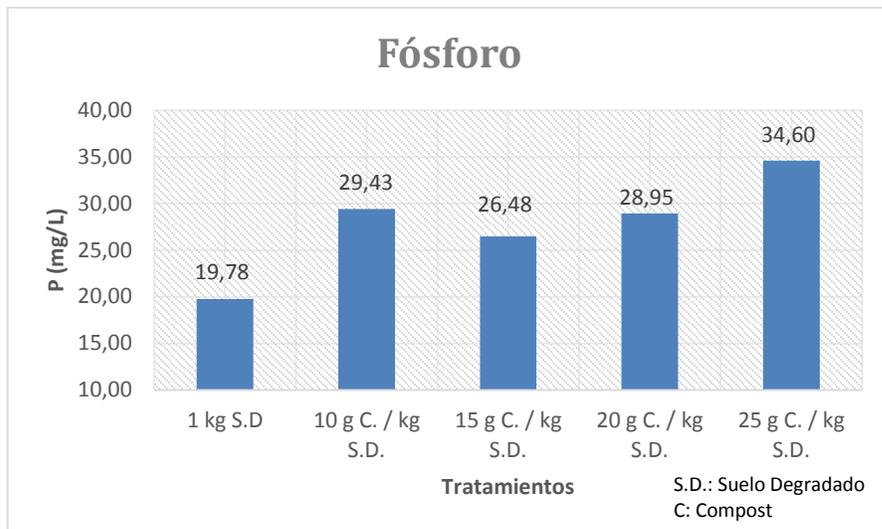


Gráfico 7. Variación del fósforo con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

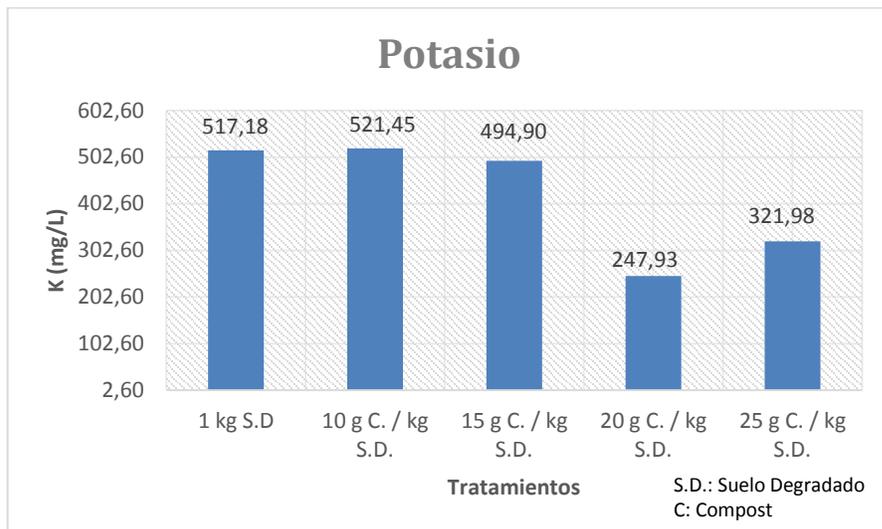


Gráfico 8. Variación del potasio con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

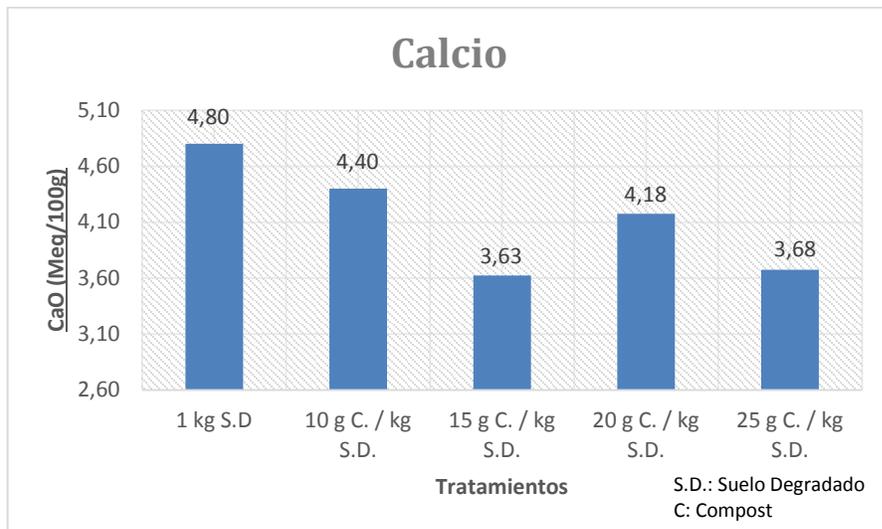


Gráfico 9. Variación del óxido de calcio con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

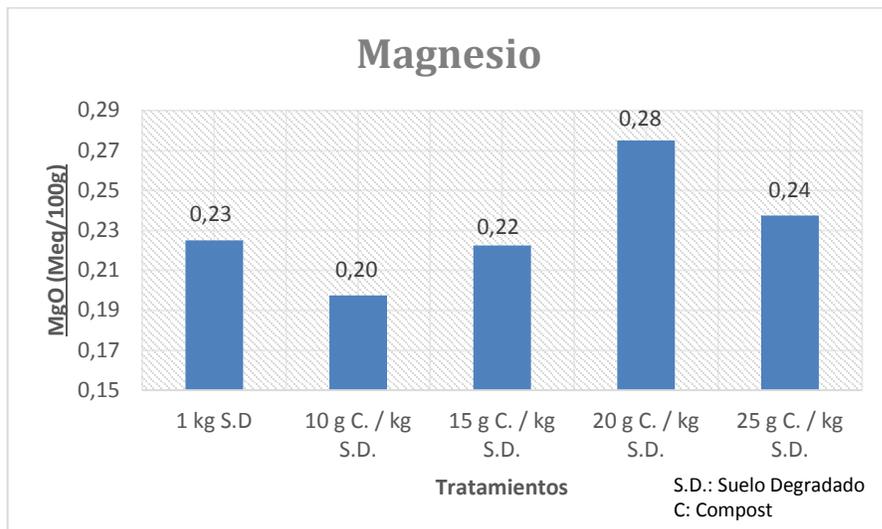


Gráfico 10. Variación del óxido de magnesio con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nitrógeno total, carbono orgánico y la relación carbono/nitrógeno: El análisis estadístico de los tres compuestos se presenta en las tablas de la B-37 a la B-45 y su resumen se expone a continuación:

Tabla 6. Resumen estadístico de %N_T, %C_{Org} y C/N al inicio del experimento.

Elementos	Significancia entre réplicas	Significancia entre tratamientos	Grupos homogéneos	Mejor tratamiento
N _T	No	Si	3	5
C _{Org}	No	Si	3	5
C/N	No	Si	3	5

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

La relación carbono/nitrógeno se obtuvo dividiendo el porcentaje de carbono orgánico para el porcentaje de nitrógeno total, por lo cual se analizó por separado cada compuesto, pero en los tres casos se determina que no existe significancia entre réplicas, a diferencia de los tratamientos en los que si hay variación y en donde el mejor resultó ser el 5 pues para el nitrógeno total y carbono orgánico existió un incremento en sus valores mientras que en la relación carbono/nitrógeno se observa una disminución de 33.5 que es el testigo a 19 que es el tratamiento 5 cuyo valor es apropiado para las condiciones nutritivas del suelo. Además los incrementos de N_T y C_{Org} así como también la disminución de la relación C/N se ilustran en los gráficos 11, 12 y 13 para cada compuesto respectivamente.

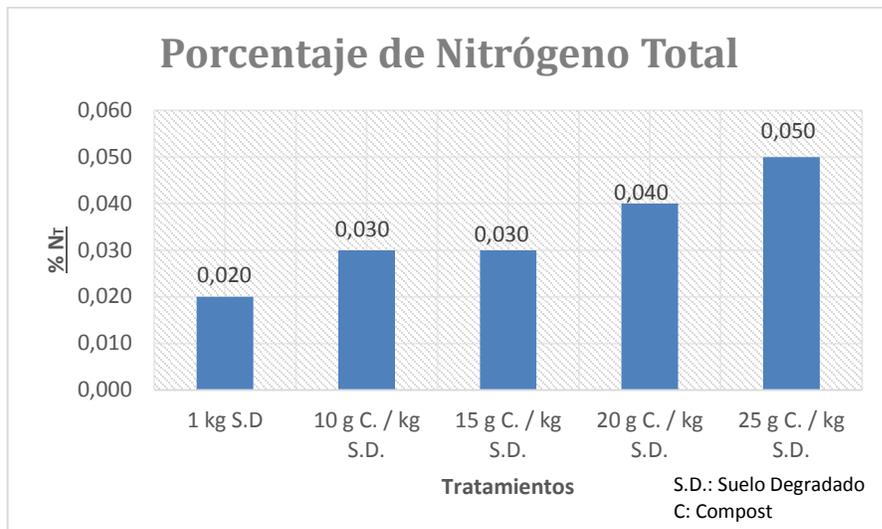


Gráfico 11. Variación del porcentaje de nitrógeno total con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

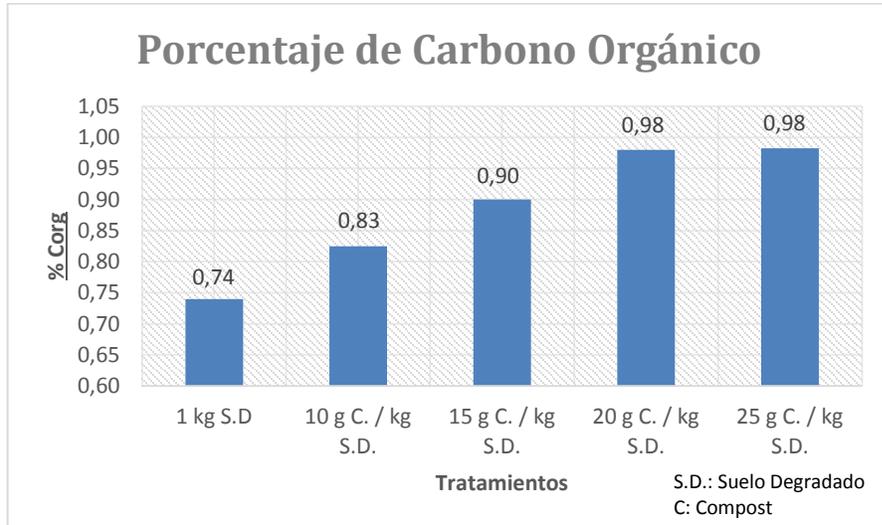


Gráfico 12. Variación del porcentaje de carbono orgánico con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

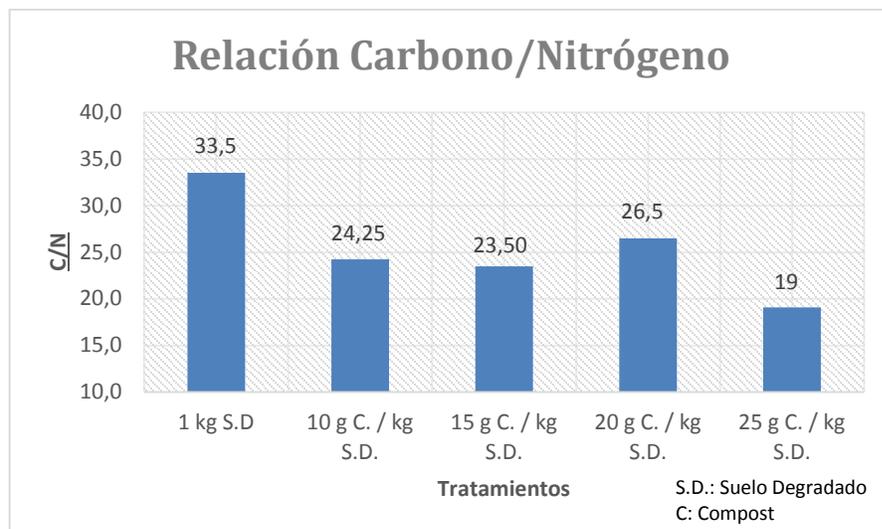


Gráfico 13. Variación de la relación carbono/nitrógeno con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Mitad del Experimento

Esta etapa se analiza un mes después de haber colocado el compost en el suelo degradado, lo que permitió verificar la evolución que presentan los tratamientos en las condiciones nutritivas del suelo. El análisis se lo realizó de la misma forma que en la etapa anterior y sus resultados se muestran en las tablas de la B-46 hasta la B-74.

pH: A un mes de la experimentación se muestra en las tablas B-46, B-47 y B-48 que hubo un incremento de pH en todos los tratamientos los cuales presentan diferencias, sin embargo el tratamiento número 5 prevalece como el mejor por tener el pH más bajo y según el gráfico 14 se observa que los valores de pH van decreciendo a medida que la concentración de compost aumenta.

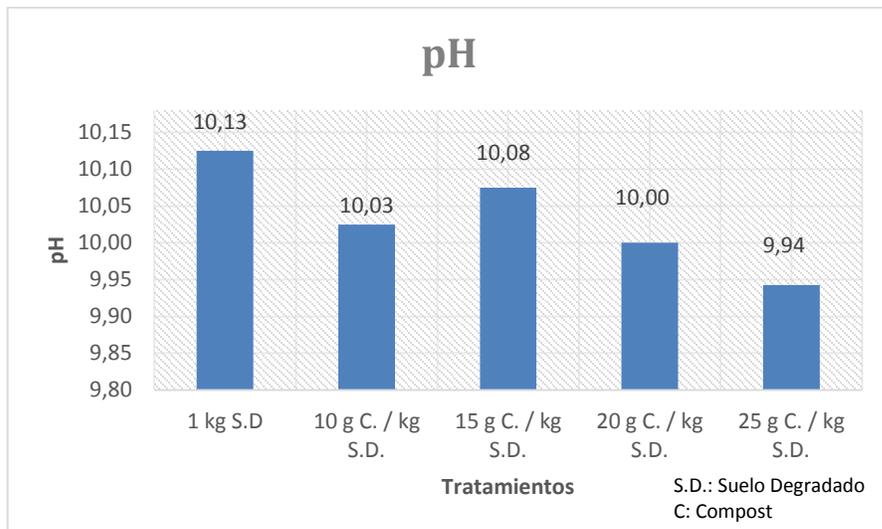


Gráfico 14. Variación del pH con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Materia Orgánica: Según la prueba de Tukey al 0.05% mostrada en la tabla B-51 se aprecia que existe diferencia significativa entre tratamientos, y esta variación del porcentaje de materia orgánica se ve en el gráfico 15 en donde el valor más alto de MO es el del tratamiento 5 a diferencia del tratamiento más bajo que es el 1.

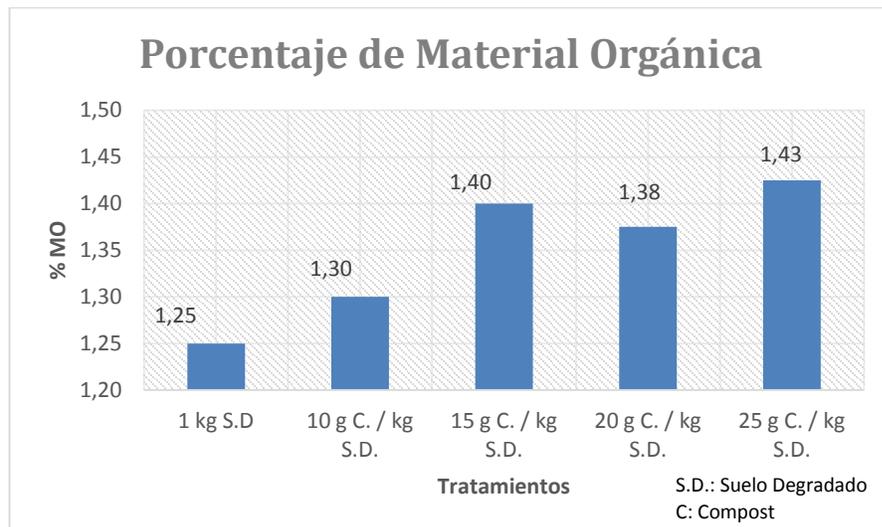


Gráfico 15. Variación del porcentaje de materia orgánica con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nutrientes esenciales: Al igual que la etapa anterior se resume a continuación el análisis estadístico de los nutrientes, el cual se presenta en las tablas de la B-52 a la B-66.

Tabla 7. Resumen estadístico de la evolución de los nutrientes esenciales a la mitad del experimento.

Nutrientes esenciales	Significancia entre réplicas	Significancia entre tratamientos	Grupos homogéneos	Mejor tratamiento
N	No	Si	4	4
P	No	Si	5	2
K	No	Si	5	1
Ca	No	Si	2	3
Mg	No	Si	2	4

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Se puede determinar que el análisis químico fue realizado correctamente y se establece que el nitrógeno amoniacal incrementa conforme la concentración de compost es mayor; lo mismo ocurre con el fósforo el cual sufre un ascenso considerable de 13.75 mg/L que es el testigo a 61.73 mg/L que corresponde al tratamiento 5, aunque el mejor tratamiento es el 2; tanto el incremento del nitrógeno amoniacal como del fósforo se ilustra de mejor forma en los gráficos 16 y 17 respectivamente.

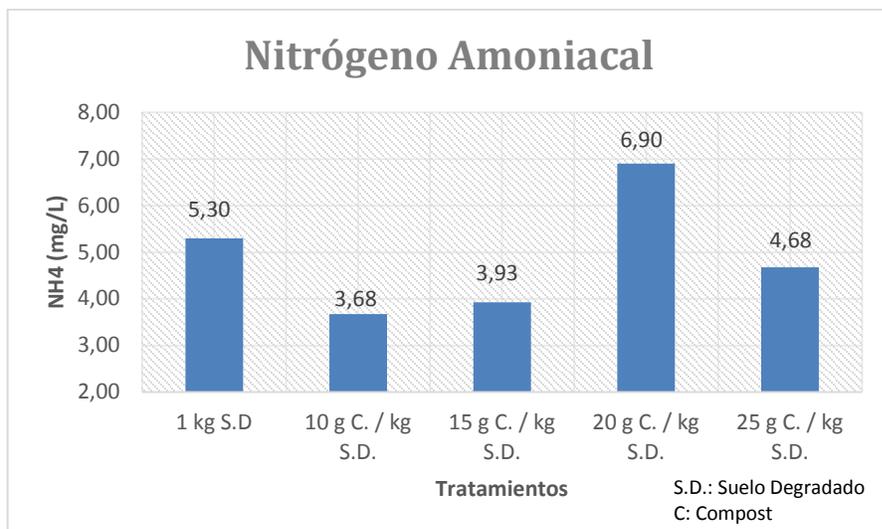


Gráfico 16. Variación del nitrógeno amoniacal con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

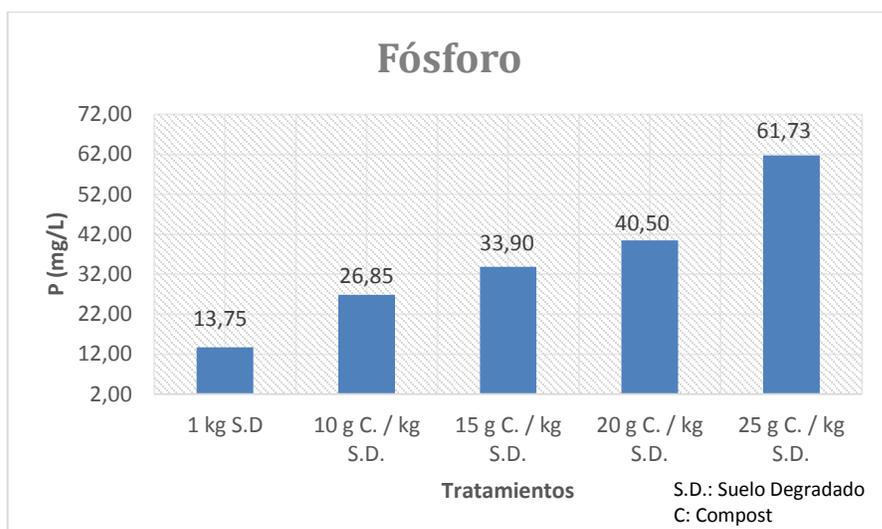


Gráfico 17. Variación del fósforo con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Por otra parte, el potasio, calcio y magnesio sufrieron una variación irregular con respecto a los tratamientos, siendo los mejores para cada elemento respectivamente los tratamientos 1, 3 y 4; aunque el magnesio prácticamente se mantuvo estable en los cinco tratamientos como se presenta en los gráficos 18, 19 y 20.

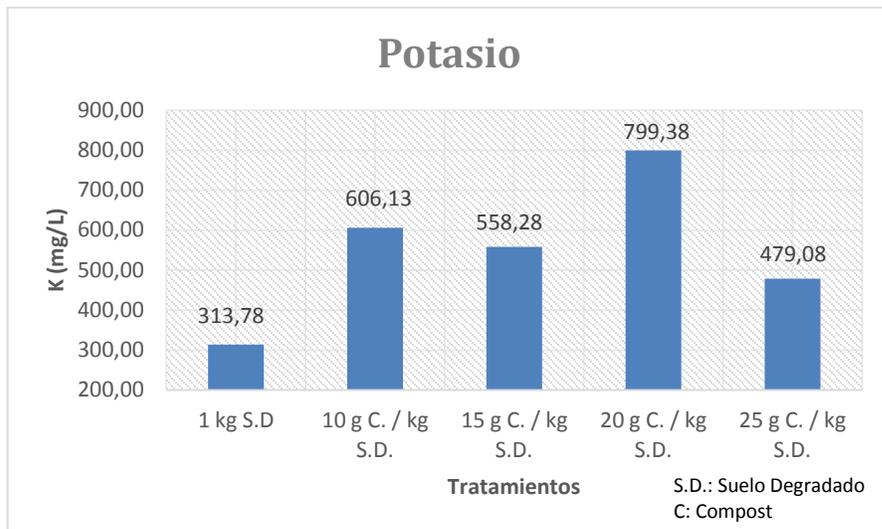


Gráfico 18. Variación del potasio con los diferentes tratamientos.
Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

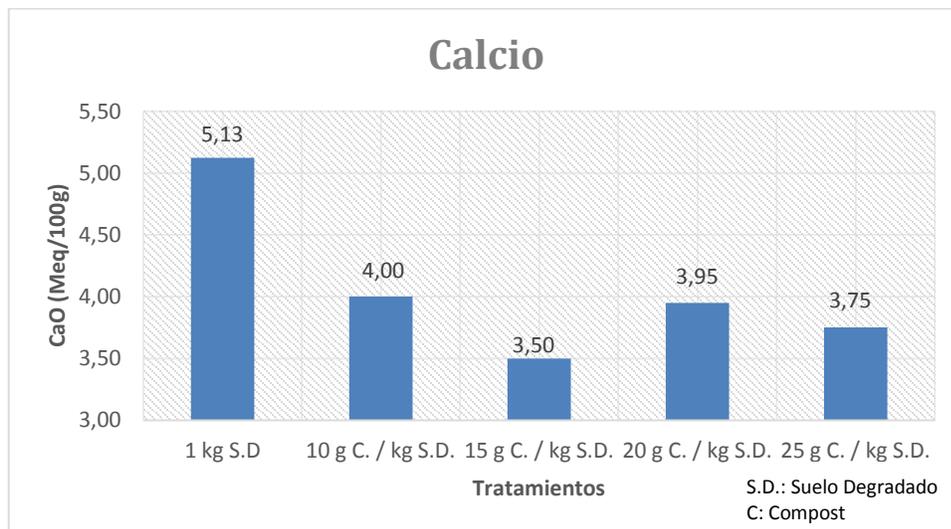


Gráfico 19. Variación del óxido de calcio con los diferentes tratamientos.
Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

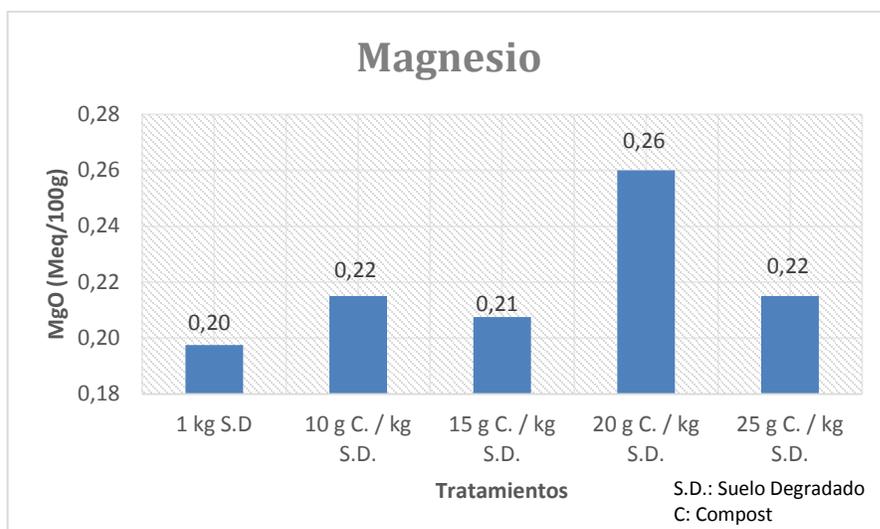


Gráfico 20. Variación del óxido de magnesio con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nitrógeno total, carbono orgánico y la relación carbono/nitrógeno: En las tablas de la B-67 a la B-74 se detalla el análisis estadístico de éstos elementos y el resumen de éste análisis se presenta a continuación:

Tabla 8. Resumen estadístico de %N_T, %C_{Org} y C/N a la mitad del experimento.

Elementos	Significancia entre réplicas	Significancia entre tratamientos	Grupos homogéneos	Mejor tratamiento
N _T	No	Si	2	1
C _{Org}	No	No	1	1
C/N	No	Si	2	3

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

El análisis estadístico de los tres compuestos mencionados en la tabla anterior indica que para el nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno si existe diferencia entre los tratamientos aunque ésta no es muy considerable sobre todo para el nitrógeno total ya que varía entre 0.04% y 0.076%. El carbono

orgánico en cambio no presenta diferencia significativa entre sus tratamientos, es decir, el compost no actuó en esta instancia del experimento. Las variaciones de los tres compuestos se observan por medio de los gráficos 21, 22 y 23 para el porcentaje de nitrógeno total, porcentaje de carbono orgánico y relación carbono/nitrógeno respectivamente.

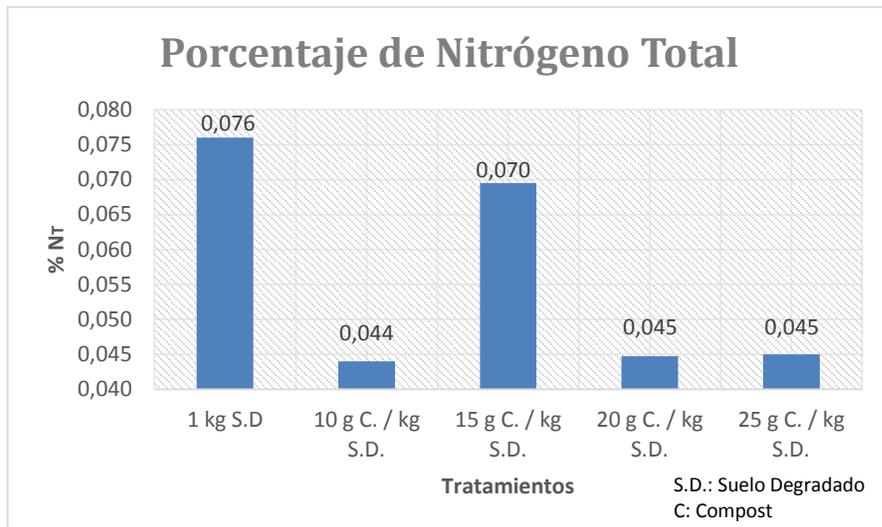


Gráfico 21. Variación del porcentaje de nitrógeno total con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

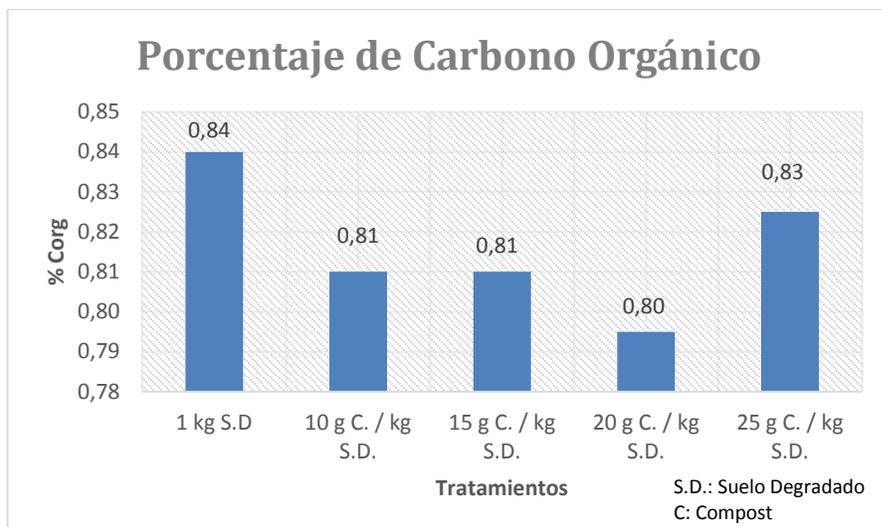


Gráfico 22. Variación del porcentaje de carbono orgánico con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

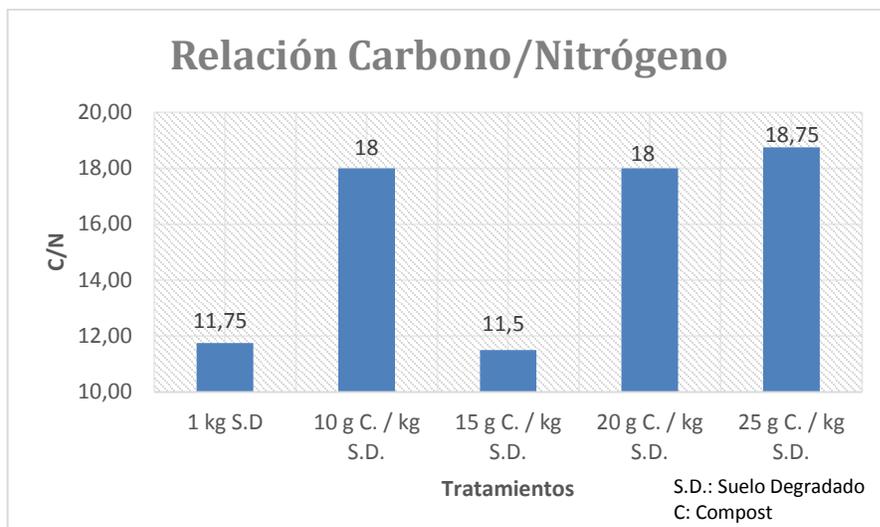


Gráfico 23. Variación de la relación carbono/nitrógeno con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Final del Experimento

La etapa final del experimento corresponde a dos meses después de haber colocado el compost en el suelo degradado de manera que permitió determinar la evolución del suelo en su afán de recuperar la fertilidad. El análisis estadístico de esta etapa se muestra en las tablas B-75 hasta la B-101 para cada elemento en estudio.

pH: De la tabla B-75 a la B-77 se establece que los datos del análisis son correctos sin presentar variación entre réplicas; en cambio los tratamientos si son significativos especialmente los tratamientos 1, 2 y 3 con respecto al 4 y 5 ya que se nota una disminución del pH de 9.7 que es el valor más alto hasta 9.5 que es el mejor tratamiento y corresponde a la concentración de compost de 25 g/kg de suelo degradado. Además la variación del pH se ilustra en el gráfico 24.

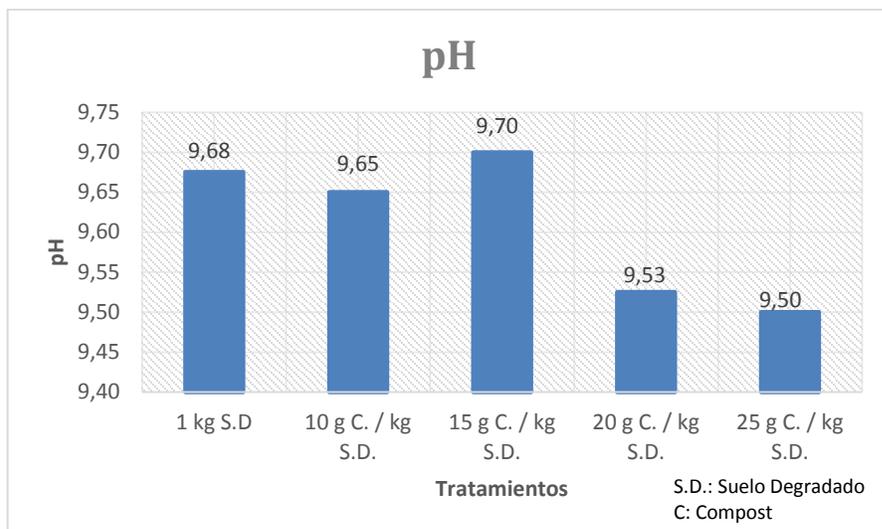


Gráfico 24. Variación del pH con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Materia Orgánica: Claramente se muestra en el gráfico 25 que el porcentaje de materia orgánica aumenta mientras la concentración de compost es mayor aunque el incremento no es significativo; este va de 1.13% el valor más bajo hasta 1.30% que es el tratamiento 5 y por ende el mejor.

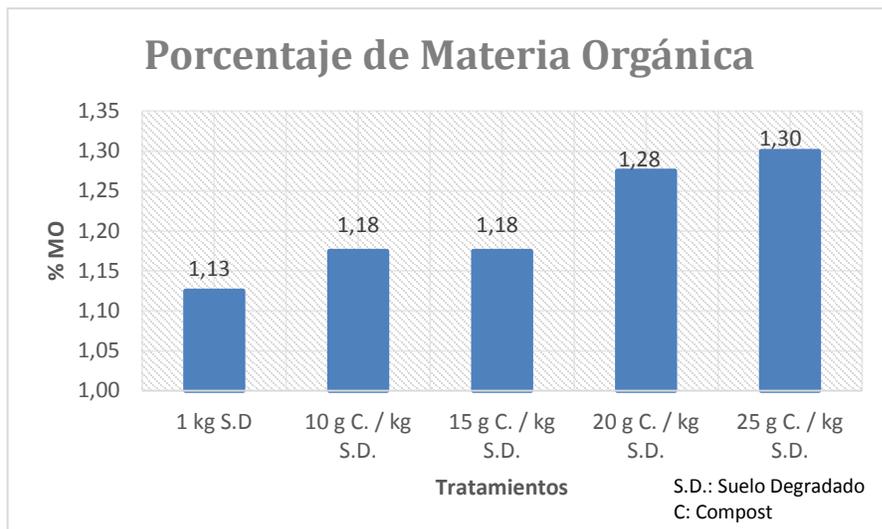


Gráfico 25. Variación del porcentaje de materia orgánica con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nutrientes esenciales: A continuación se presenta el resumen estadístico de las tablas B-80 a la B-94 correspondientes al estudio de los nutrientes esenciales.

Tabla 9. Resumen estadístico de la evolución de los nutrientes esenciales al final del experimento.

Nutrientes esenciales	Significancia entre réplicas	Significancia entre tratamientos	Grupos homogéneos	Mejor tratamiento
N	No	Si	5	5
P	No	Si	4	5
K	No	Si	5	4
Ca	No	Si	5	4
Mg	No	Si	3	3

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Luego de dos meses de haber colocado el compost en el suelo agrícola degradado se observa que todos los nutrientes esenciales presentan variaciones entre tratamientos. Para los tres macronutrientes que son el nitrógeno amoniacal, fósforo y potasio se aprecia que hubo un incremento en sus valores y en todos ellos los mejores tratamientos fueron los que presentan las mayores concentraciones de compost. Los micronutrientes que son el calcio y magnesio también presentaron cambios positivos con el empleo de compost, aunque la variación entre tratamientos no es muy significativa, la cual se ilustra en los gráficos 29 y 30 para el calcio y el magnesio; además para los macronutrientes también se muestran las variaciones en los gráficos 26, 27 y 28.

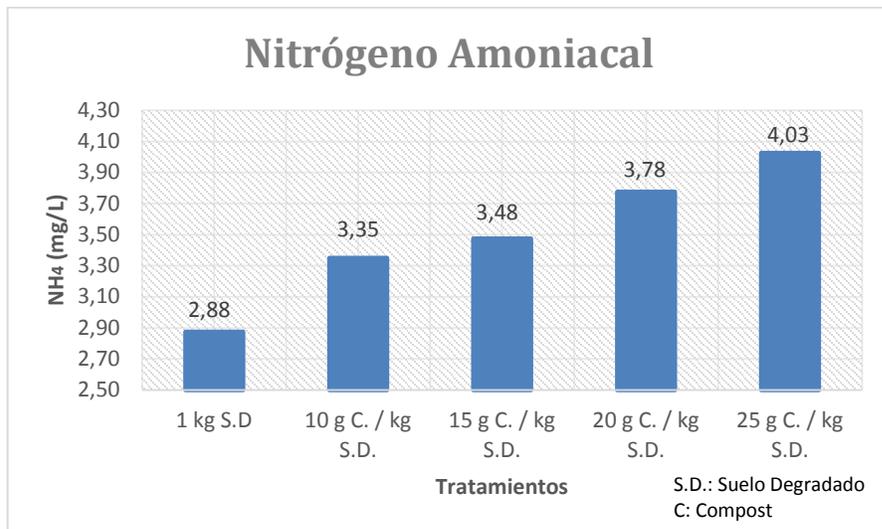


Gráfico 26. Variación del nitrógeno amoniacal con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

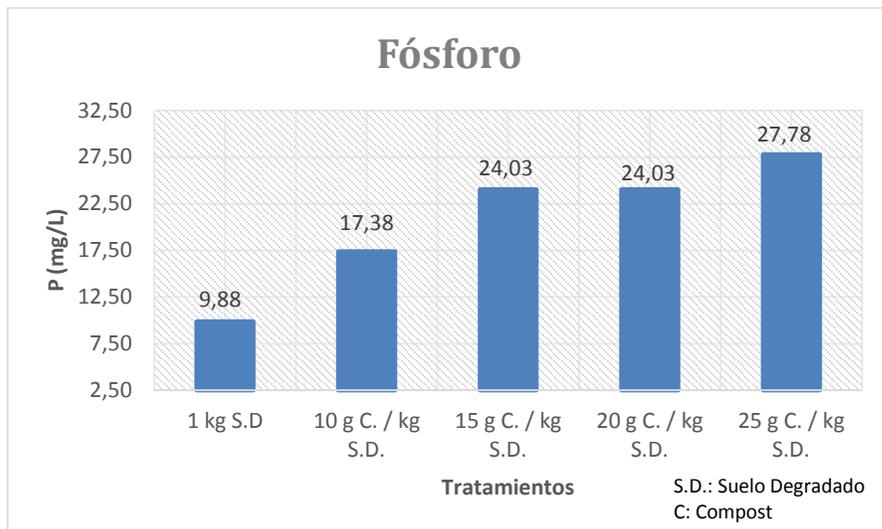


Gráfico 27. Variación del fósforo con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

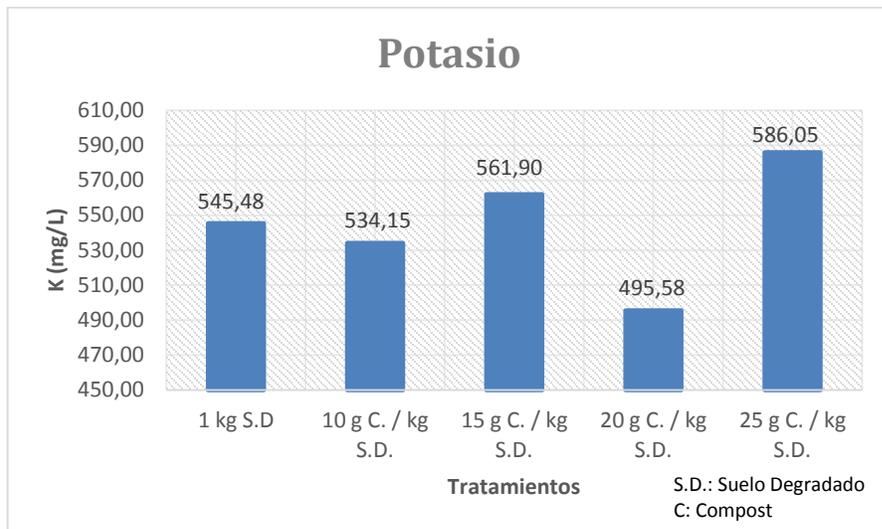


Gráfico 28. Variación del potasio con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

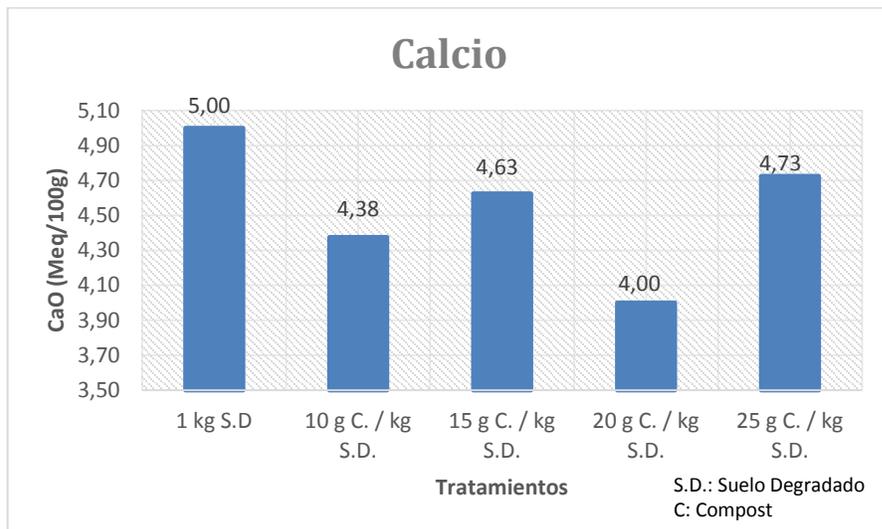


Gráfico 29. Variación del óxido de calcio con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

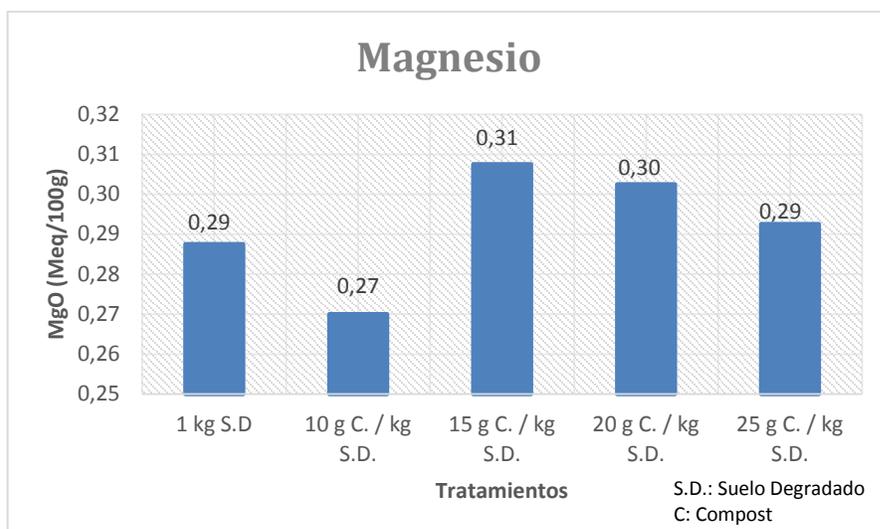


Gráfico 30. Variación del óxido de magnesio con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nitrógeno total, carbono orgánico y la relación carbono/nitrógeno: De igual forma que para los nutrientes esenciales se presenta el resumen estadístico de éstos tres elementos cuyo análisis completo se muestra en las tablas B-95 a la B-101:

Tabla 10. Resumen estadístico de %N_T, %C_{Org} y C/N al final del experimento.

Elementos	Significancia entre réplicas	Significancia entre tratamientos	Grupos homogéneos	Mejor tratamiento
N _T	No	Si	3	5
C _{Org}	No	No	1	4
C/N	No	No	1	5

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

El análisis estadístico muestra que sólo para el porcentaje de nitrógeno existe diferencia entre tratamientos, mientras que el porcentaje de carbono orgánico y la relación carbono/nitrógeno no presentan variaciones, sin embargo, las cantidades más adecuadas de elementos en el suelo se encuentran en los

tratamientos cuatro y cinco que son aquellas que tienen una mayor concentración de compost en comparación con el testigo. La evolución de estos tres compuestos se muestra en los gráficos 31, 32 y 33.

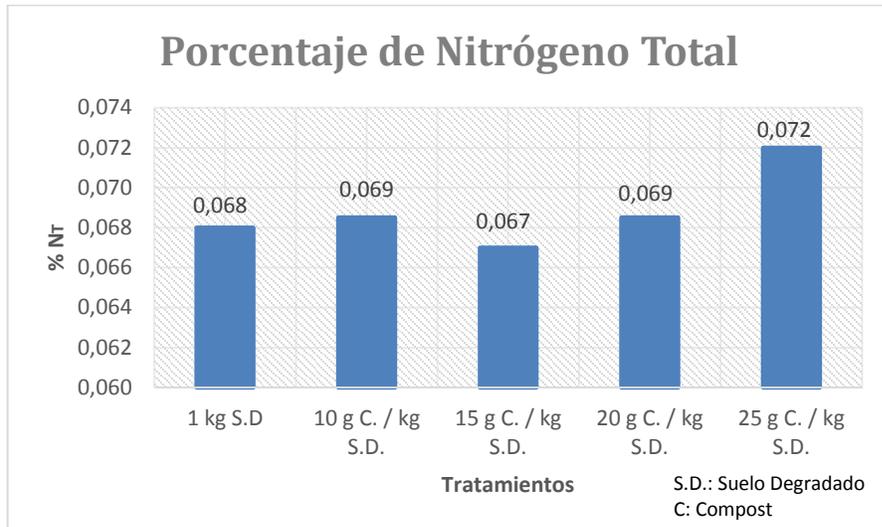


Gráfico 31. Variación del porcentaje de nitrógeno total con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

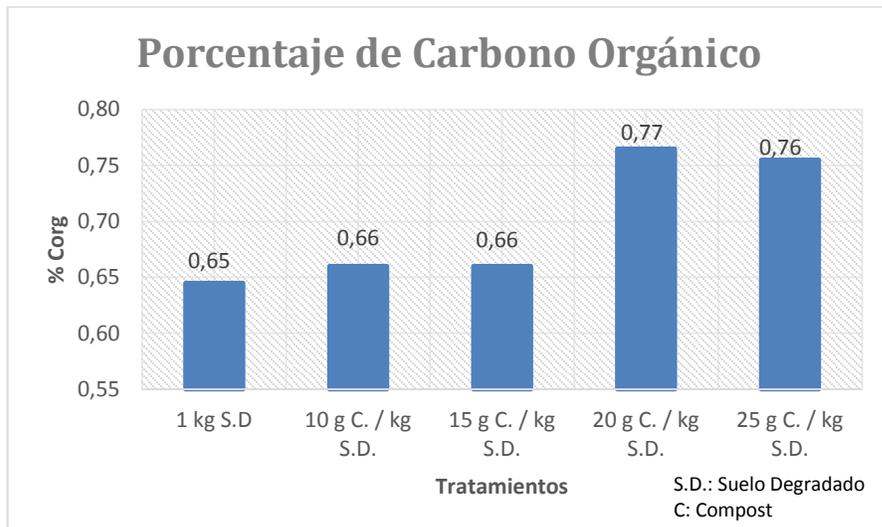


Gráfico 32. Variación del porcentaje de carbono orgánico con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

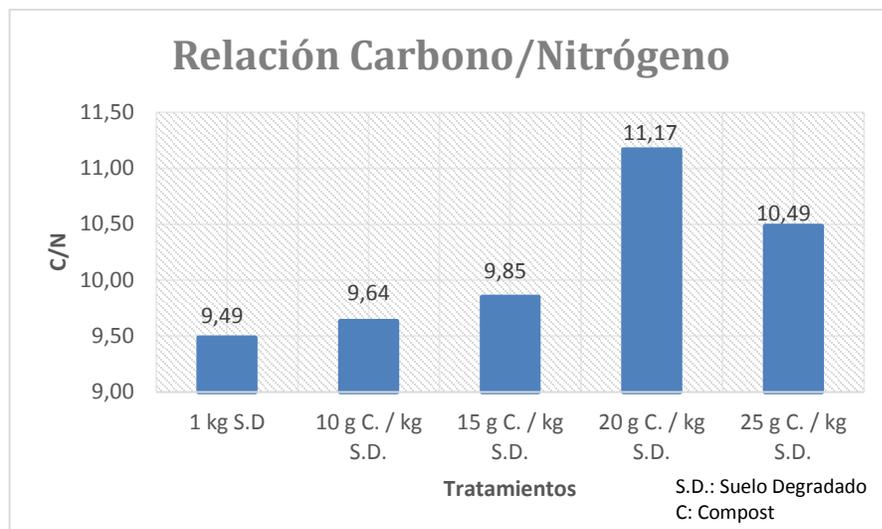


Gráfico 33. Variación de la relación carbono/nitrógeno con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Análisis Global del Experimento

El análisis anterior indica la variación que presentan los tratamientos respecto a cada una de las etapas ya mencionadas, a diferencia del análisis que se realiza a continuación; el cual menciona en forma total la evolución que sufre el suelo agrícola degradado con la aplicación de diferentes dosis de compost y además en un período de tiempo de dos meses. Éste análisis se detalla en las tablas B-102 hasta la B-134 para cada uno de los elementos en estudio; en donde se muestra que el compost es eficaz como enmienda orgánica al reestablecer las condiciones de la mayoría de los nutrientes del suelo agrícola degradado.

pH: En las tablas B-102 y B-103 se aprecia que no existe diferencia significativa entre réplicas pero sí entre tratamientos, al igual que a través del tiempo. Según la prueba de Tukey al 0.05% con respecto al tiempo mostrada en la tabla B-104 se verifica lo mencionado anteriormente ya que al tiempo cero el pH fue de 9.64, luego de un mes aumentó a 10.02 y finalmente disminuyó hasta 9.62, es decir, el pH se restablece conforme avanza el tiempo, como lo señala el gráfico 34. Mientras que para los tratamientos se ve en la tabla B-105 que el pH más

bajo es para la dosis más alta de compost, lo que indica que el abono orgánico ayuda a regular el pH del suelo degradado que en nuestro estudio es alcalino, lo cual se denota en el gráfico 35.

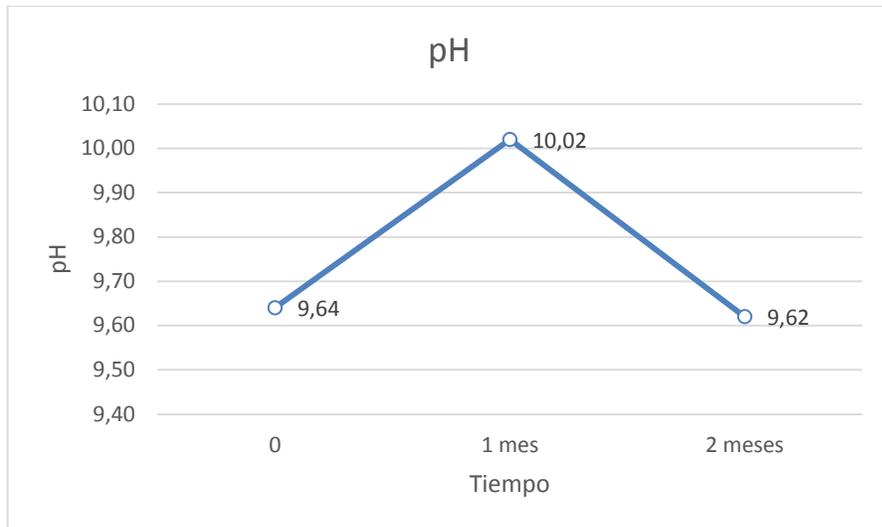


Gráfico 34. Variación del pH con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

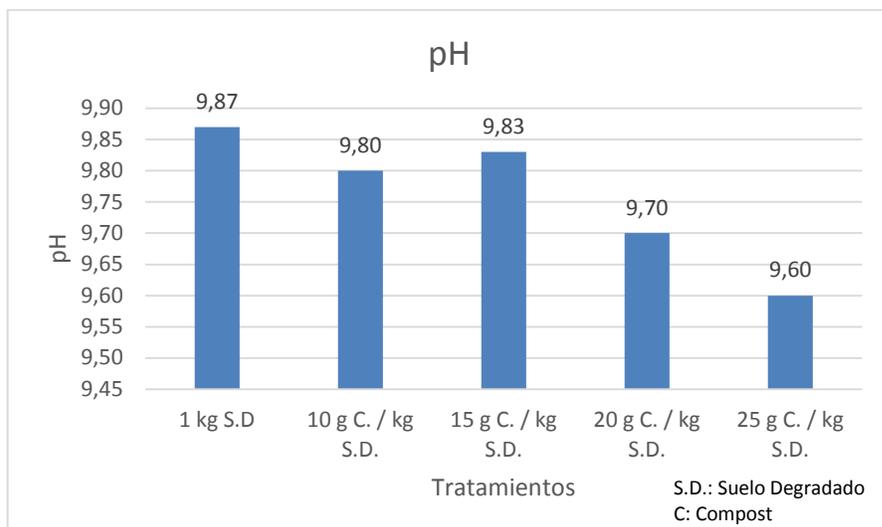


Gráfico 35. Variación del pH con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Materia Orgánica: Según el análisis estadístico del porcentaje de materia orgánica detallado en las tablas B-106 y B-107 se muestra que existe diferencia con respecto al tiempo y a los tratamientos. En la tabla B-108 se aprecia que existen tres grupos homogéneos correspondientes al tiempo cero, luego de un mes y finalmente luego de dos meses, en este período hubo una disminución del porcentaje de materia orgánica como se ve en el gráfico 36. Para los tratamientos en cambio se toman la tabla B-109 y el gráfico 37, que indican que los porcentajes de MO variaron entre 1.22 (testigo) y 1.48 (tratamiento cinco).

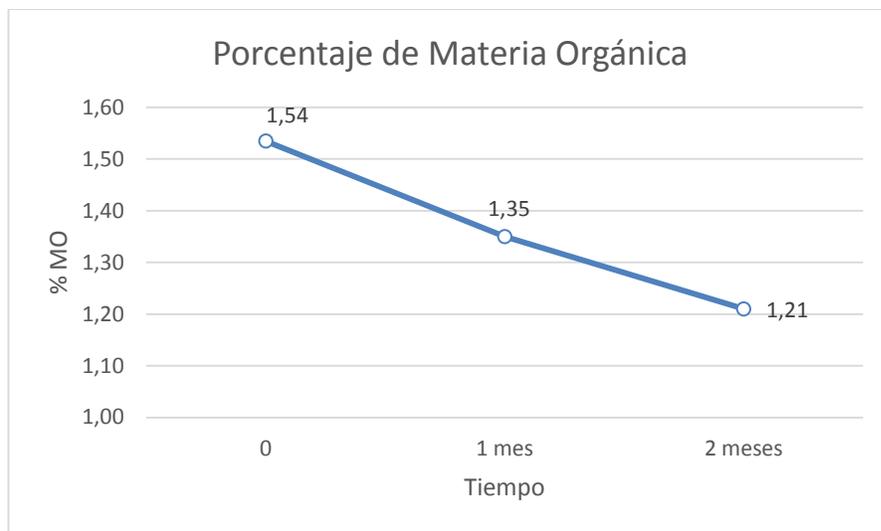


Gráfico 36. Variación del porcentaje de materia orgánica con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

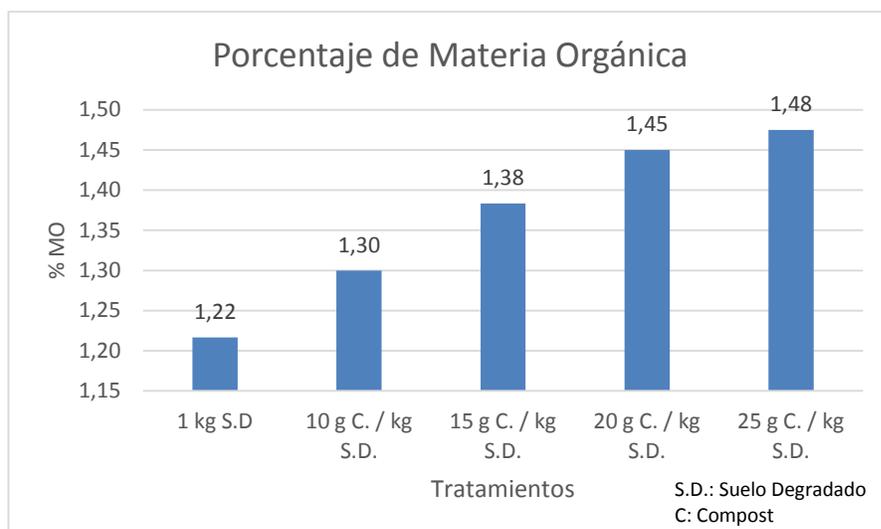


Gráfico 37. Variación del porcentaje de materia orgánica con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nutrientes esenciales: El análisis global del nitrógeno amoniacal, fósforo, potasio, calcio y magnesio presentado en las tablas B-110 hasta la B-125 se resumen a continuación, estudiando su evolución tanto en el tiempo como entre tratamientos.

Tabla 11. Resumen estadístico de la evolución de los nutrientes esenciales respecto al tiempo y a los tratamientos.

Nutrientes esenciales	Significancia con respecto al tiempo	Enmienda nutritiva con el tiempo	Significancia entre tratamientos	Mejor tratamiento
N	SI	Sólo al 1er mes	NO	4
P	SI	SI	SI	2
K	NO	NO	NO	1
Ca	NO	Sólo al 1er mes	SI	3
Mg	SI	SI	SI	4

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nitrógeno Amoniacal: El NH_4 tuvo una evolución favorable al primer mes, incrementando su valor de 3.12 a 4.9 mg/L, sin embargo al segundo mes éste valor disminuyó hasta 3.5 mg/L, como se observa en la tabla B-112 y gráfico 38. Además en el gráfico 39 se ilustra que a pesar de que los tratamientos no fueron significativos, el mejor fue el cuatro con una concentración de compost de 20 g/ kg de suelo degradado.

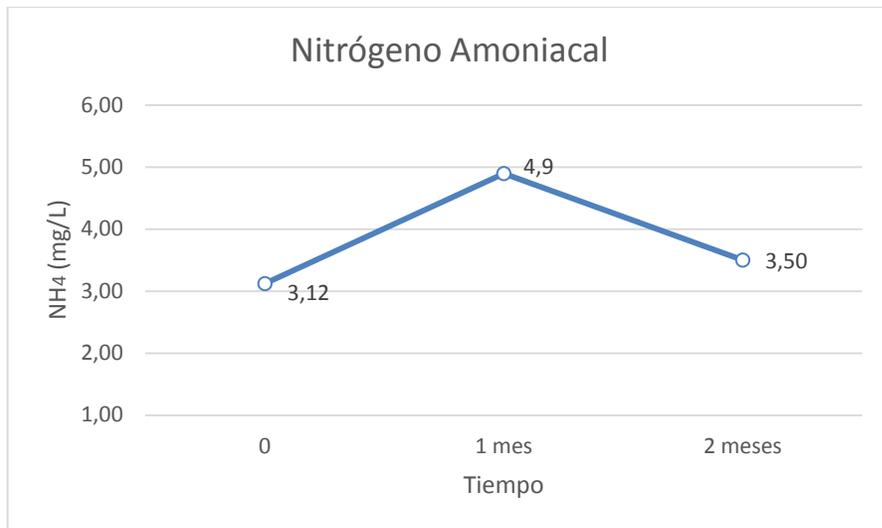


Gráfico 38. Variación del nitrógeno amoniacal con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

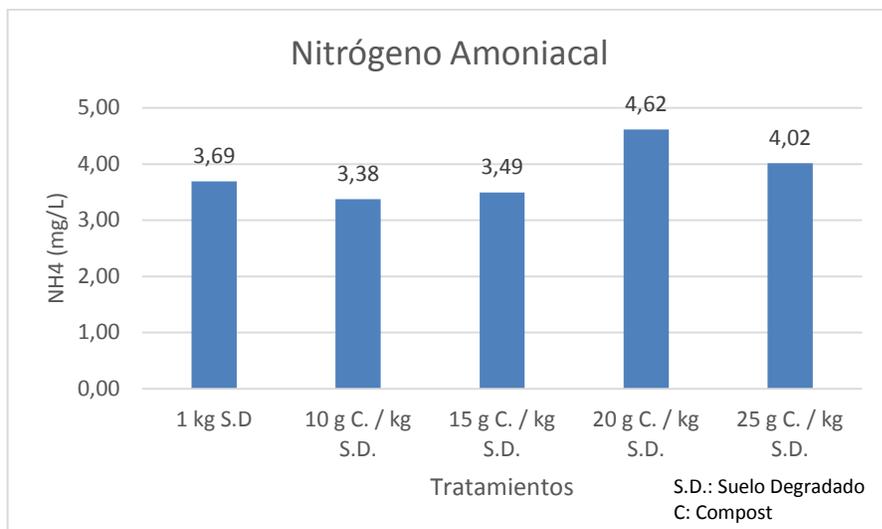


Gráfico 39. Variación del nitrógeno amoniacal con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Fósforo: El fósforo por su parte presentó una evolución aceptable como se muestra en la tabla B-115 y en el gráfico 40, pues al primer mes su valor incrementó excesivamente, sin embargo al final del experimento éste se restableció hasta llegar a su rango óptimo. En la tabla B-116 y gráfico 41 se aprecia la diferencia que presentan los tratamientos, siendo el mejor el tratamiento 2 con un valor de 24.55 mg/L.

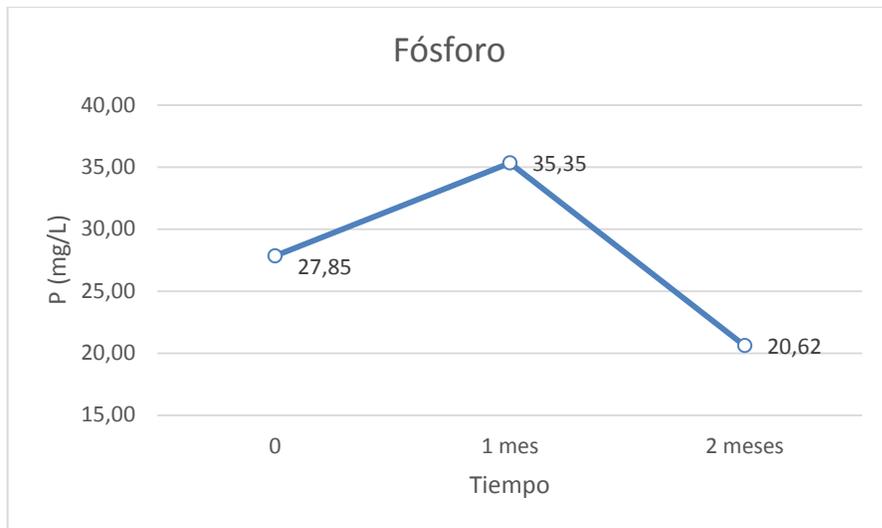


Gráfico 40. Variación del fósforo con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

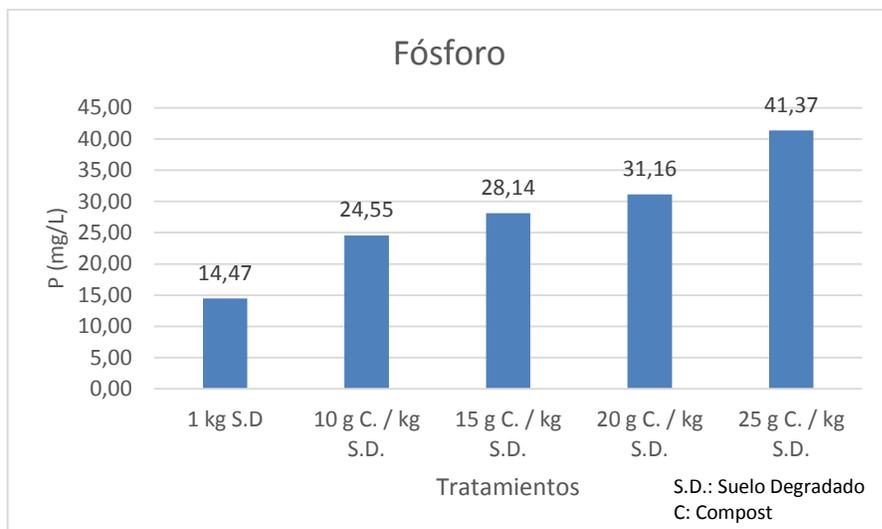


Gráfico 41. Variación del fósforo con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Potasio: Como se visualiza en la tabla B-118 el potasio no presentó diferencia en cuanto al tiempo ni a los tratamientos y su evolución se muestra en los gráficos 42 y 43 respectivamente. Además se puede mencionar que los valores de potasio son muy altos, es decir, este macronutriente se encontró en exceso.

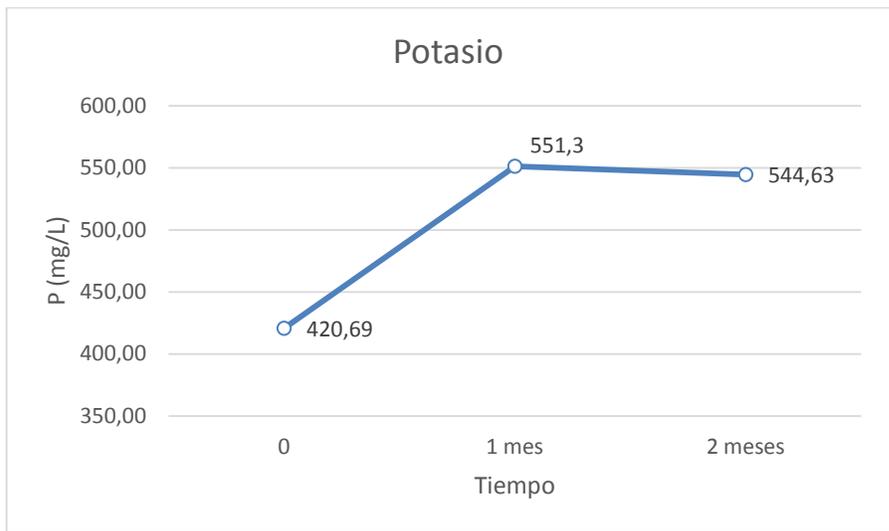


Gráfico 42. Variación del potasio con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

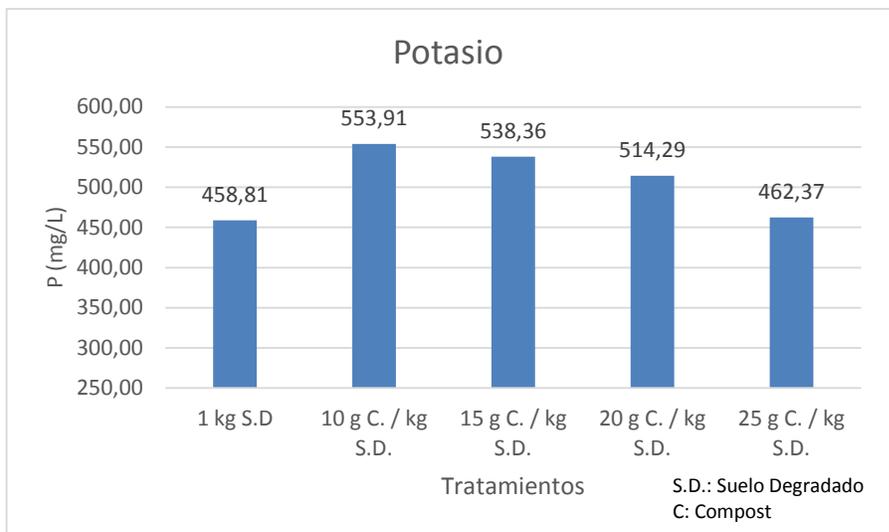


Gráfico 43. Variación del potasio con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Calcio: Al igual que el potasio, el calcio se encontró en exceso y aunque al primer mes disminuyó su concentración, al finalizar el experimento en cambio ésta aumentó a pesar de no ser una variación significativa, lo cual se indica en el gráfico 44. Los tratamientos sí fueron significativos pero el exceso de calcio se mantuvo, sin embargo, el mejor tratamiento resultó ser el número 3.

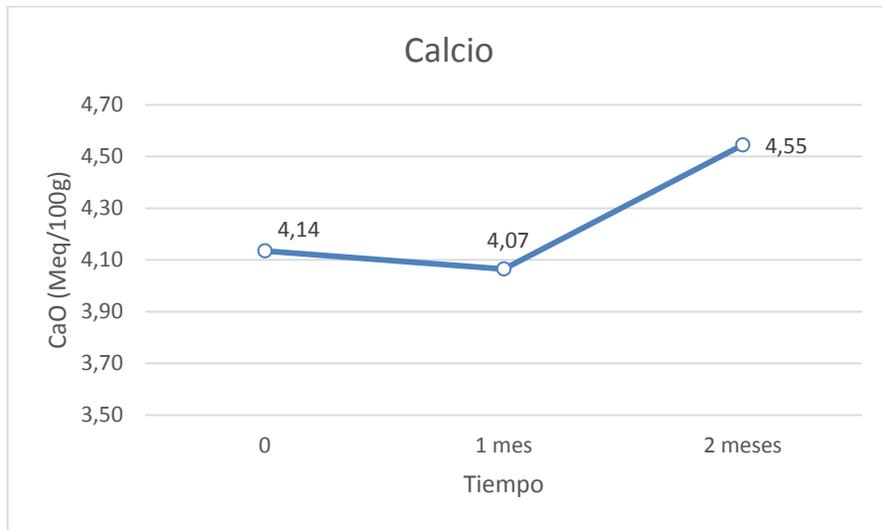


Gráfico 44. Variación del óxido de calcio con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

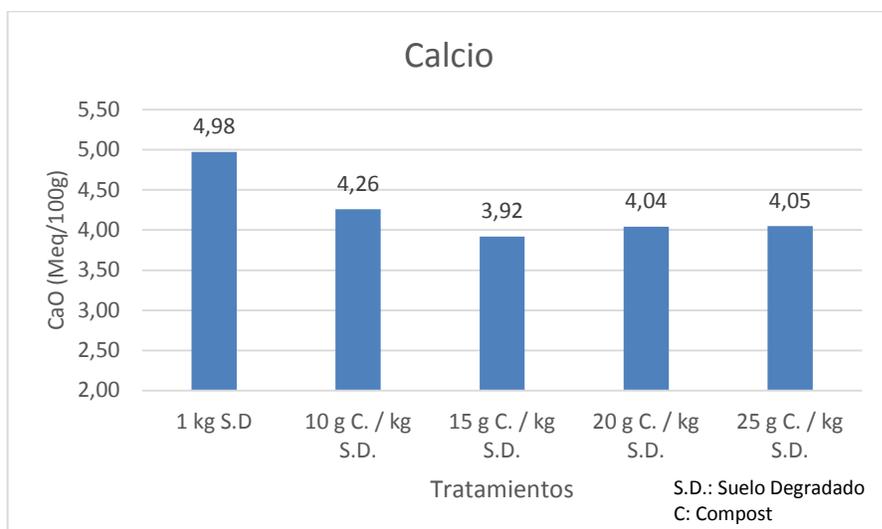


Gráfico 45. Variación del óxido de calcio con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Magnesio: En la tabla B-124 y gráfico 46 se muestra la evolución favorable de éste micronutriente, a pesar de que al primer mes no existió variación, al final del experimento sí hubo un incremento importante. Mientras que en el gráfico 47 se denota la evolución del magnesio respecto a los tratamientos siendo el mejor el 4.

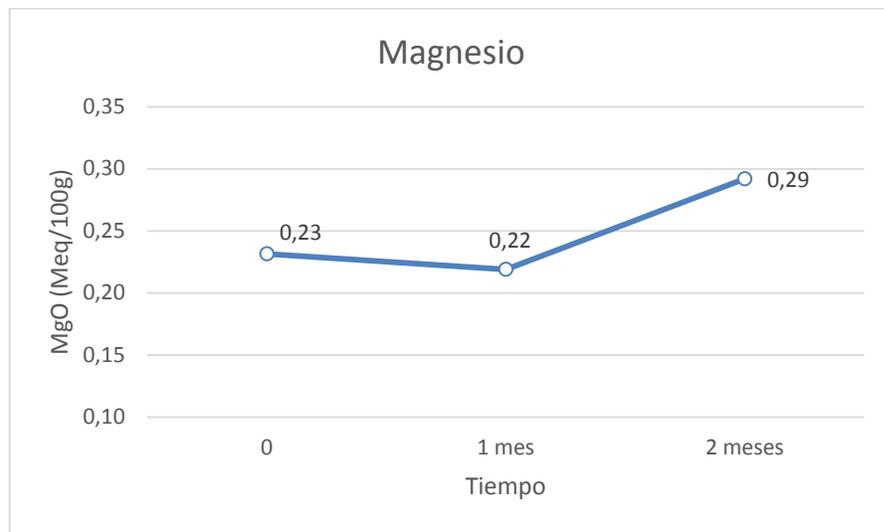


Gráfico 46. Variación del óxido de magnesio con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

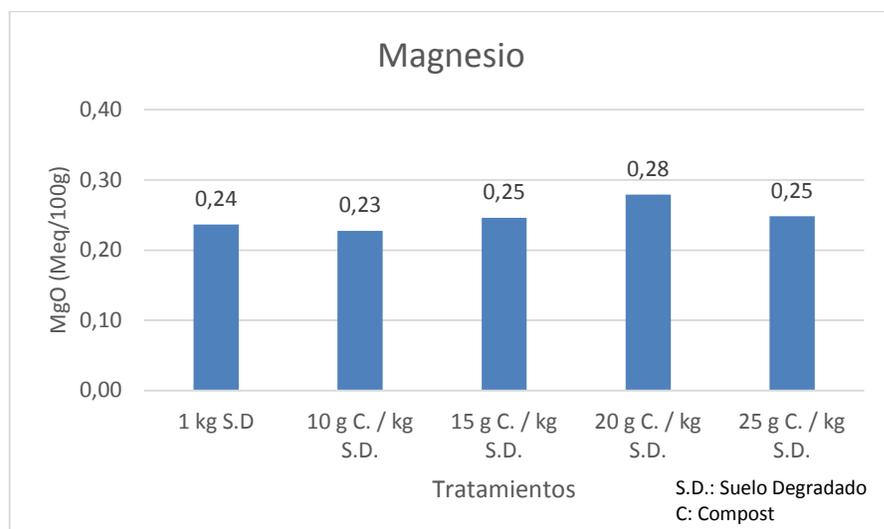


Gráfico 47. Variación del óxido de magnesio con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Nitrógeno total, carbono orgánico y la relación carbono/nitrógeno: La evolución de estos elementos respecto al tiempo y tratamientos se presenta en las tablas de la B-126 a la B-134 y se resume a continuación:

Tabla 12: Resumen estadístico de la evolución de %N_T, %C_{Org} y C/N respecto al tiempo y a los tratamientos.

Elementos	Significancia con respecto al tiempo	Enmienda nutritiva con el tiempo	Significancia entre tratamientos	Mejor tratamiento
N _T	SI	SI	NO	3
C _{Org}	SI	NO	NO	5
C/N	SI	SI	NO	3

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Porcentaje de nitrógeno total: Como se avizora en la tabla B-128 y gráfico 48 el porcentaje de nitrógeno total aumentó con respecto al tiempo de 0.04 a 0.07%; con respecto a los tratamiento en cambio no existió una diferencia significativa y su evolución se aprecia en el gráfico 49.

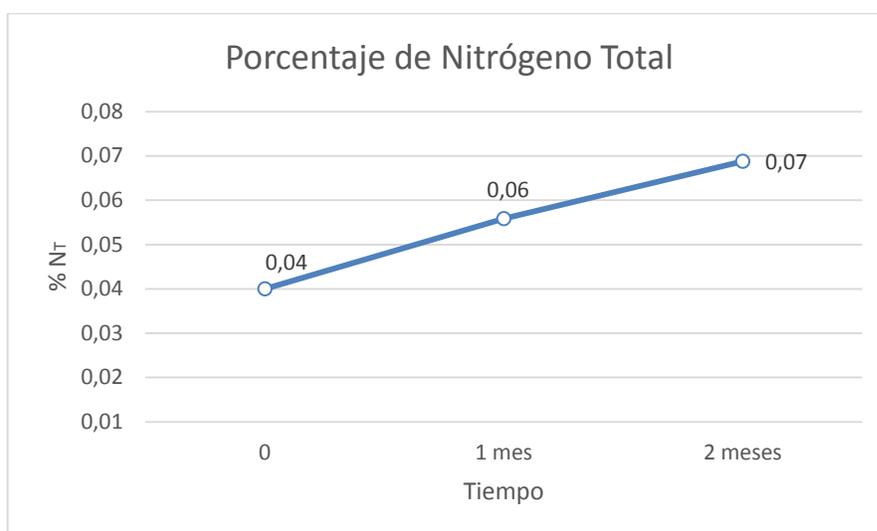


Gráfico 48. Variación del porcentaje de nitrógeno total con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

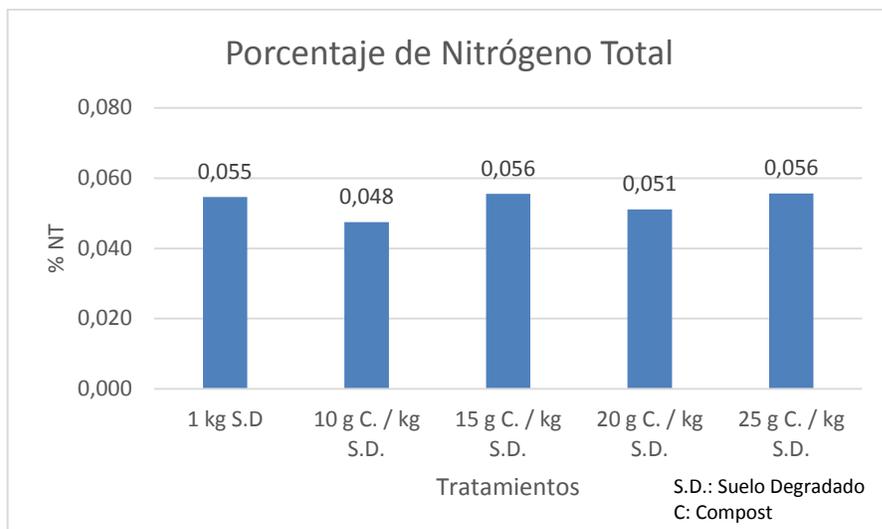


Gráfico 49. Variación del porcentaje de nitrógeno total con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Porcentaje de carbono orgánico: La evolución del carbono orgánico no fue la esperada, por el contrario ésta disminuyó a través del tiempo como se aprecia en la tabla B-131 y gráfico 50; a diferencia de los tratamientos en los cuáles sí aumentó su valor, aunque no significativamente; éste incremento se muestra en el gráfico 51.

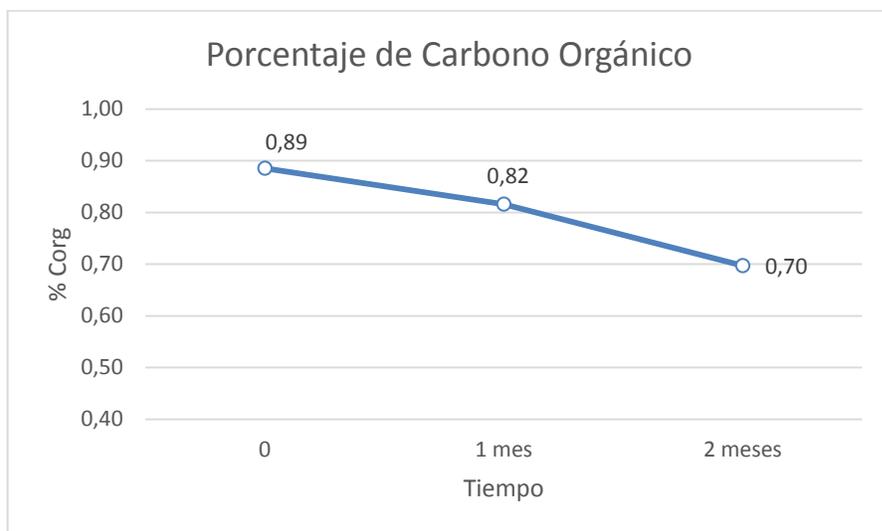


Gráfico 50. Variación del porcentaje de carbono orgánico con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

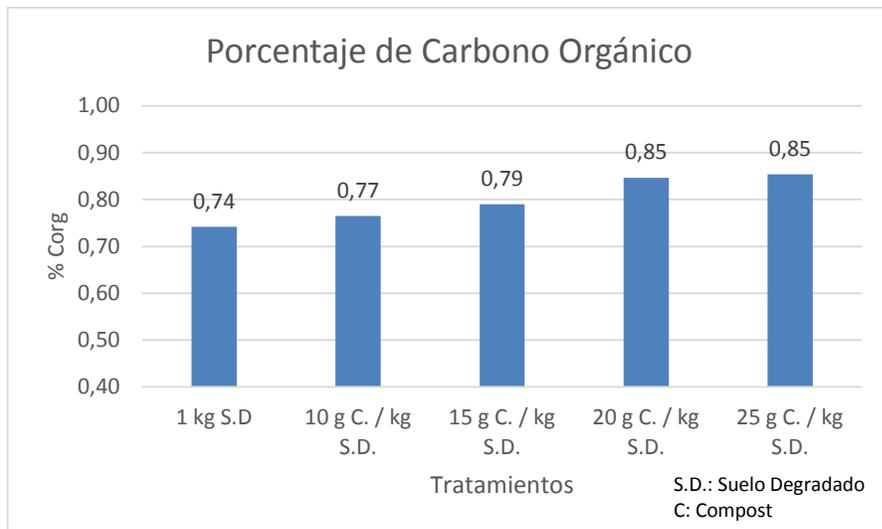


Gráfico 51. Variación del porcentaje de carbono orgánico con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Relación carbono/nitrógeno: Al tiempo cero la C/N fue de 25/1 y al finalizar el experimento éste valor bajo a 10/1, lo que indica que el compost actuó eficazmente restableciendo éste parámetro a su valor óptimo; ésta variación se muestra en la tabla B-134 y gráfico 52. Los tratamientos por su parte no presentaron diferencia significativa y su evolución se aprecia en el gráfico 53.

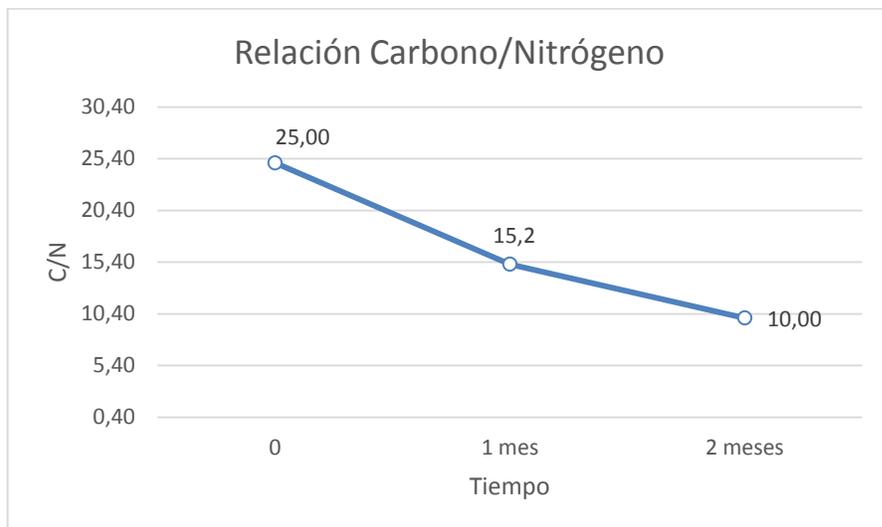


Gráfico 52. Variación de la relación carbono/nitrógeno con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

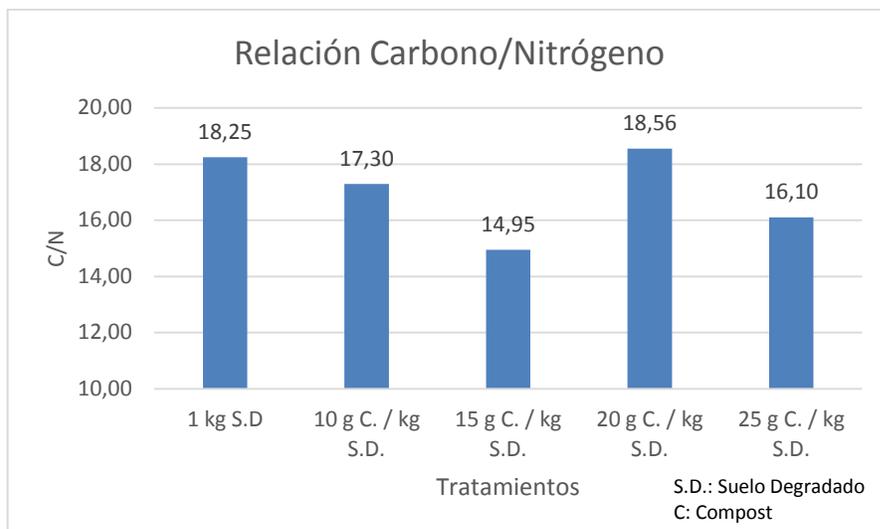


Gráfico 53. Variación de la relación carbono/nitrógeno con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Prueba de Contrastes del Análisis Químico

Ésta prueba se la realizó con la finalidad de determinar si existe variación del mejor tratamiento con el testigo; en la presente investigación como ya se ha descrito el testigo corresponde al tratamiento 1 que es el suelo degradado, el cual se comparó con el mejor tratamiento que es el 5 y comprende una dosis de 25 g de compost / kg de suelo degradado. En la tabla B-135 claramente se muestra que la comparación se la realizara entre el testigo (T1) y el mejor tratamiento (T5) de acuerdo a los coeficientes establecidos para dicho contraste.

La prueba de contrastes se la realizó para cada una de las respuestas experimentales como se detalla en las tablas B-136 a la B-145 y a continuación se resume éste análisis en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resumen de la prueba de contrastes para el análisis químico.

Respuesta Experimental	Significancia de la Prueba de Contrastes
pH	SI
Materia Orgánica	SI
Nitrógeno Amoniacal	NO
Fósforo	SI
Potasio	NO
Calcio	SI
Magnesio	NO
Porcentaje de nitrógeno total	NO
Porcentaje de carbono orgánico	SI
Relación carbono/nitrógeno	NO

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Como se muestra en la tabla 13 al realizar la comparación del testigo con el mejor tratamiento se aprecia que de los 10 parámetros en estudio, el pH, materia orgánica, fósforo, calcio y carbono orgánico si presentaron significancia, es decir, se notó una mejoría en estos elementos del suelo al ser aplicado compost.

4.1.3.2 Análisis Vegetal

Para determinar la eficiencia del compost como enmienda orgánica en suelos degradados se empleó cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora aplicando diferentes dosis de compost a través de lo cual se evaluó el diámetro y color del follaje de la planta, así como también el rendimiento de biomasa subterránea y aérea en estado fresco y estado seco. El análisis estadístico para este proceso se efectuó únicamente a la mitad y al final del experimento ya que

al inicio que corresponde el tiempo cero, es decir, cuando recién se planta la lechuga todavía no se puede apreciar el efecto del compost. Los diseños estadísticos empleados son los mismos que para el análisis químico, el DCA para el análisis por etapas y el DBCA para el análisis global del experimento; éstos resultados se muestran en las tablas del Anexo – Análisis Vegetal.

Mitad del Experimento

Se analizó los 6 parámetros mencionados anteriormente para los 5 tratamientos incluido el testigo que corresponde al tratamiento 1, el análisis de esta etapa se muestra en las tablas de la B-146 a la B-163 que se encuentran detalladas de acuerdo a cada parámetro.

En la siguiente tabla se presenta el resumen estadístico de la mitad del experimento para el análisis vegetal.

Tabla 14. Resumen estadístico del análisis vegetal a la mitad del experimento.

Parámetros analizados	Significancia entre réplicas	Significancia entre tratamientos	Grupos homogéneos	Mejor tratamiento
Diámetro del follaje	NO	SI	3	5
Color del follaje	NO	SI	4	5
Biomasa subterránea estado fresco	NO	SI	2	5
Biomasa subterránea estado seco	NO	SI	2	5

Biomasa aérea estado fresco	NO	SI	4	5
Biomasa aérea estado seco	NO	SI	4	5

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Luego de un mes de sembradas las plántulas de lechuga se estima que en todas las respuestas experimentales el coeficiente de variación se encontró dentro de su valor normal para pruebas de campo, es decir, que no existió significancia entre réplicas. Los tratamientos a su vez sí presentaron significancia para todas las respuestas experimentales, unos con mayor variación que otros pero en todos los casos el resultado fue el mismo ya que el mejor tratamiento resultó ser el 5 que corresponde a la mayor concentración de compost (25 g / kilogramo de suelo) en el cultivo de lechuga.

Diámetro del follaje: Como se muestra en la tabla B-148 y gráfico 54 el diámetro de la lechuga incrementa a medida que la concentración de compost es mayor, de un valor de 5.85 cm que es el testigo hasta 9.65 cm que es el mejor tratamiento.

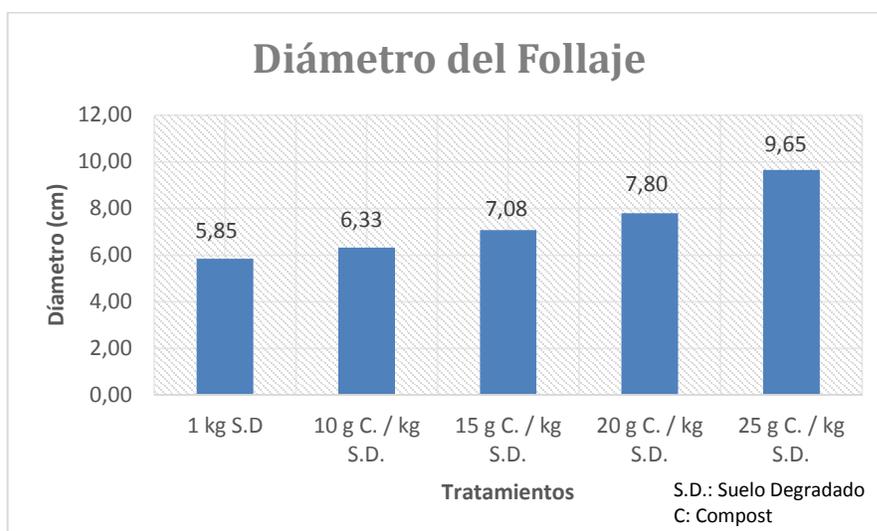


Gráfico 54. Variación del diámetro del follaje de la lechuga con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Color del follaje: Según la escala arbitraria (1 – 5) que se empleó para la determinación del color del follaje y de acuerdo a la tabla B-151 y gráfico 55 se aprecia que el testigo presentó un valor de 3.5 en su color, es decir, su follaje presenta un 37% de coloración verde y un 63% de color blanquecino pálido; a diferencia del mejor tratamiento que tiene un estimado de 100% verde en su follaje y 0% de color blanquecino pálido.

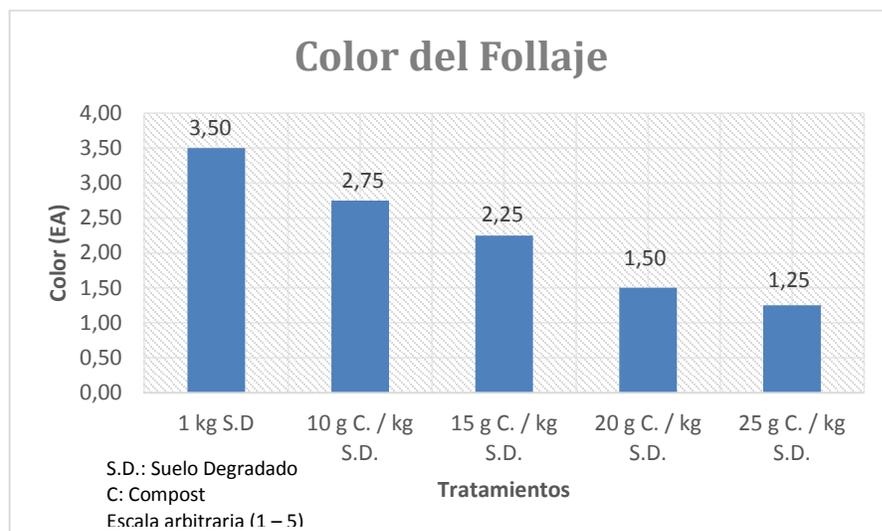


Gráfico 55. Variación del color del follaje con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Biomasa subterránea estado fresco y estado seco: Luego de un mes la biomasa subterránea de las plantas de lechuga presentó variación con respecto a los tratamientos tanto en su estado fresco como estado seco, dicha variación se evidenció principalmente con la planta que se sembró con mayor cantidad de compost ya que ésta aumentó de 0.46 g que corresponde al tratamiento más bajo a 2.20 g que es el mejor tratamiento para la biomasa subterránea en estado fresco, como se indica en la tabla B-154 y gráfico 56; mientras que para la biomasa subterránea en estado seco se establece que el incremento fue de 0.15 a 0.71 g descritos en la tabla B-157 y gráfico 57.

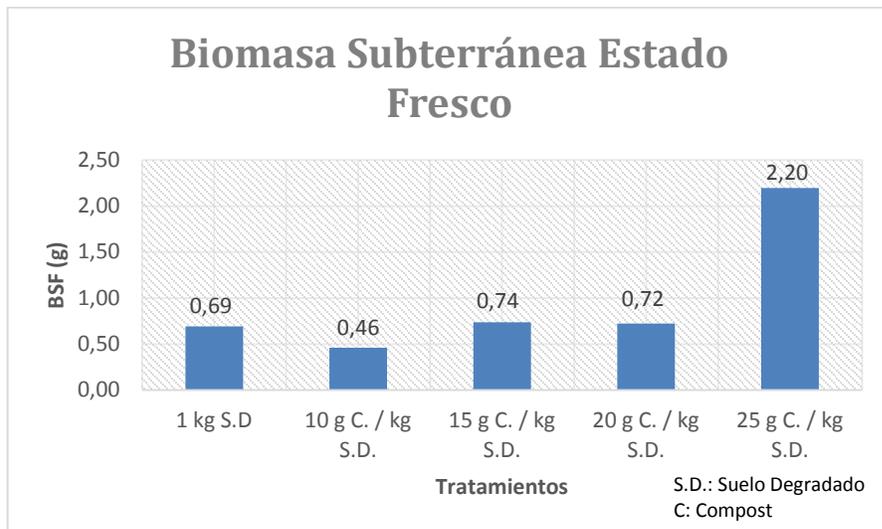


Gráfico 56. Variación de la biomasa subterránea estado fresco con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

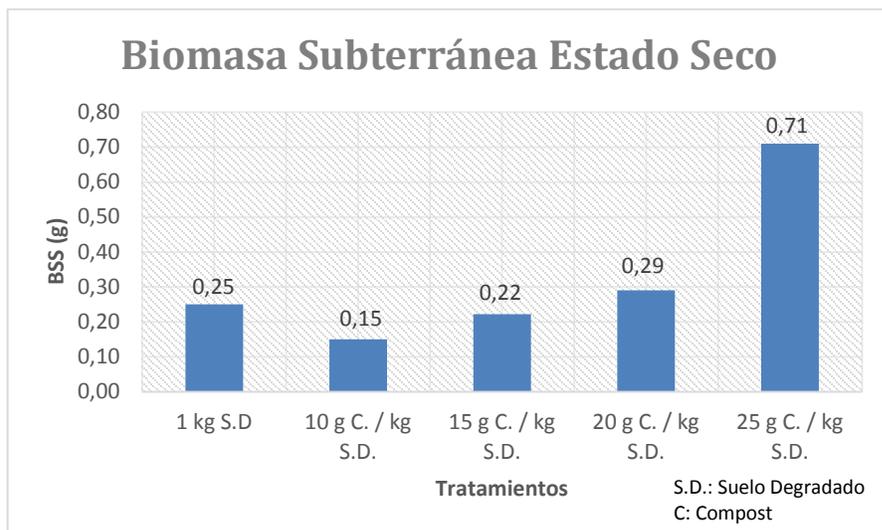


Gráfico 57. Variación de la biomasa subterránea estado seco con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Biomasa aérea estado fresco y estado seco: Al igual que la biomasa subterránea la variación con respecto a los tratamientos fue evidente, es así que para la biomasa aérea en estado fresco hubo un incremento de 1.17 a 3.40

g correspondientes al tratamiento más bajo y al más alto respectivamente como se muestra en la tabla B-160 y gráfico 58. Por su parte la biomasa aérea en estado seco aumentó de 0.16 a 0.52 g y dicha variación se presenta en la tabla B-163 y gráfico 59.

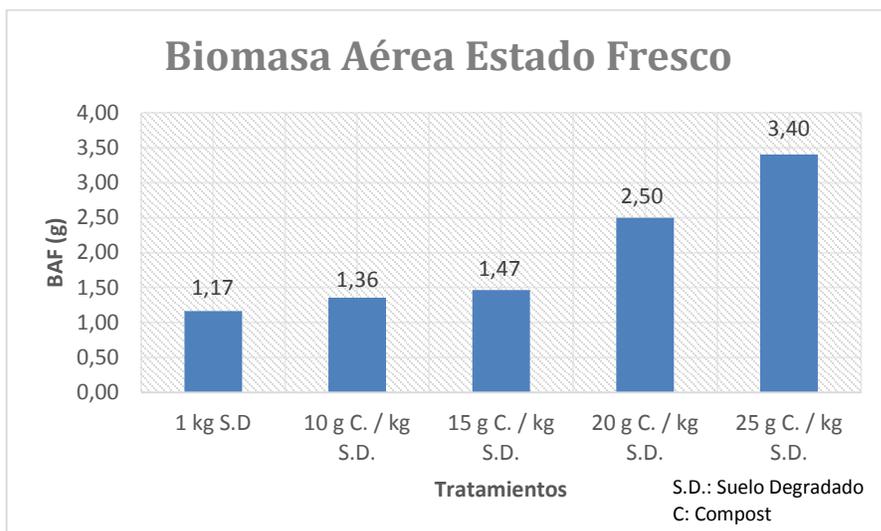


Gráfico 58. Variación de la biomasa aérea estado fresco con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

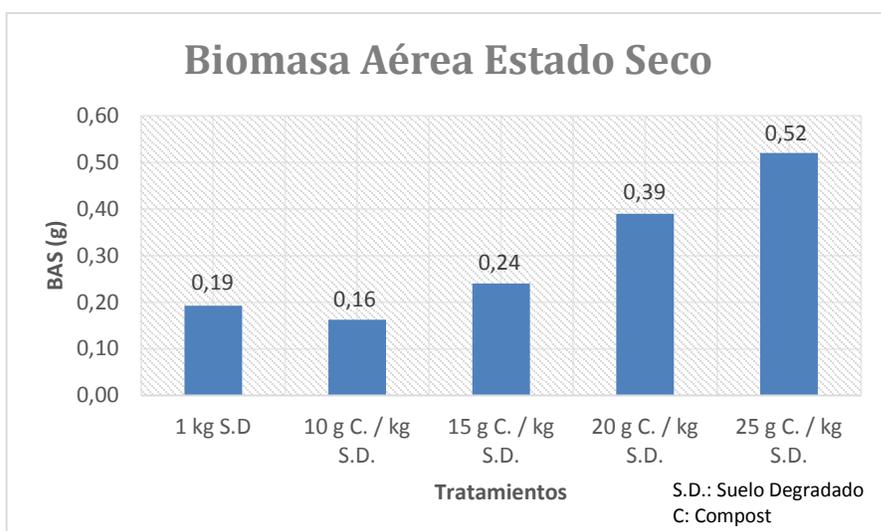


Gráfico 59. Variación de la biomasa aérea estado seco con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Final del Experimento

El análisis vegetal al final del experimento, es decir, luego de 2 meses de haber sembrado las plántulas de lechuga se expone en las tablas de la B-164 a la B-181. Dicho análisis se resume en la siguiente tabla.

Tabla 15. Resumen estadístico del análisis vegetal al final del experimento.

Parámetros analizados	Significancia entre réplicas	Significancia entre tratamientos	Grupos homogéneos	Mejor tratamiento
Diámetro del follaje	NO	SI	4	5
Color del follaje	NO	SI	2	5
Biomasa subterránea estado fresco	NO	SI	4	5
Biomasa subterránea estado seco	NO	SI	4	5
Biomasa aérea estado fresco	NO	SI	5	5
Biomasa aérea estado seco	NO	SI	4	5

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

A los dos meses de sembrada la lechuga se determinó que para todas las respuestas experimentales no existió significancia entre réplicas pero entre tratamientos sí y la variación fue mayor que en la etapa anterior, además el mejor tratamiento al igual que a la mitad del experimento fue el que presentó la dosis más alta de compost.

Diámetro del follaje: En la tabla B-166 y gráfico 60 se muestra la variación que presenta el diámetro del follaje con respecto a los tratamientos, en donde se nota un incremento de 6.20 cm que corresponde al tratamiento 1 a 11.30 cm que es el tratamiento 5 y por ende el mejor.

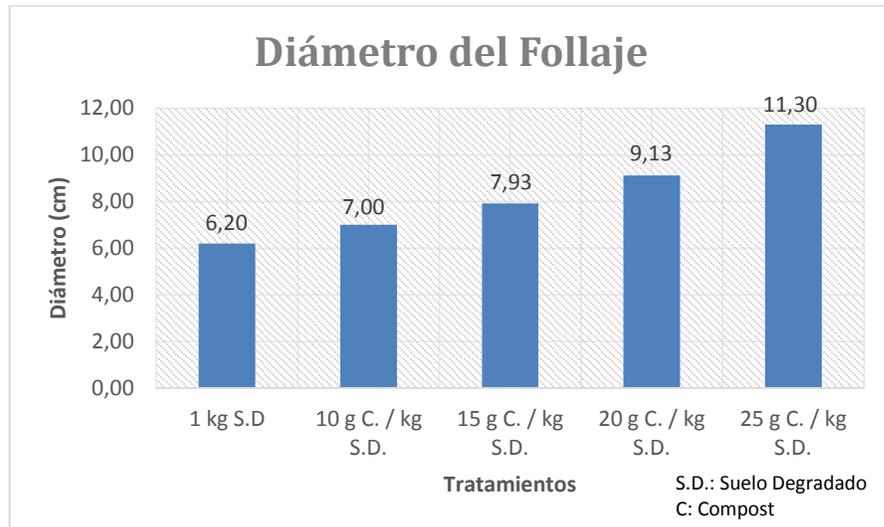


Gráfico 60. Variación del diámetro del follaje de la lechuga con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Color del follaje: A los dos meses de experimentación se determinó que el testigo fue perdiendo coloración en su follaje y de acuerdo a la escala arbitraria (1 – 5) tiene un valor de 3.75 correspondiente a 25% verde y 75% blanquecino pálido; mientras que el mejor tratamiento presenta un valor de 1 en la escala, que significa que su follaje fue 100% verde y 0% blanquecino pálido, cuyos resultados se aprecian en la tabla B-169 y gráfico 61.

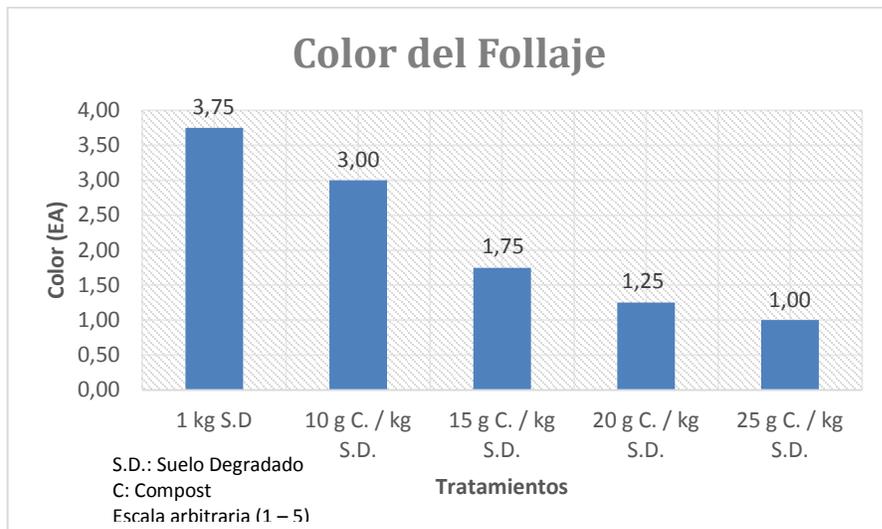


Gráfico 61. Variación del color del follaje con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Biomasa subterránea estado fresco y estado seco: Según la tabla B-172 y gráfico 62 la biomasa subterránea en estado fresco aumenta de acuerdo a cada tratamiento, es así que el valor más bajo fue de 1 g para el tratamiento 2 (10 g de compost / kg de suelo degradado) y 3.61 g para el tratamiento 5 (25 g de compost / kg de suelo degradado) que es el mejor. Algo similar ocurrió con la biomasa subterránea en estado seco cuyos valores se encuentran entre 0.45 y 1.90 g para el tratamiento 2 y 5 respectivamente como lo indica la tabla B-175 y gráfico 63.

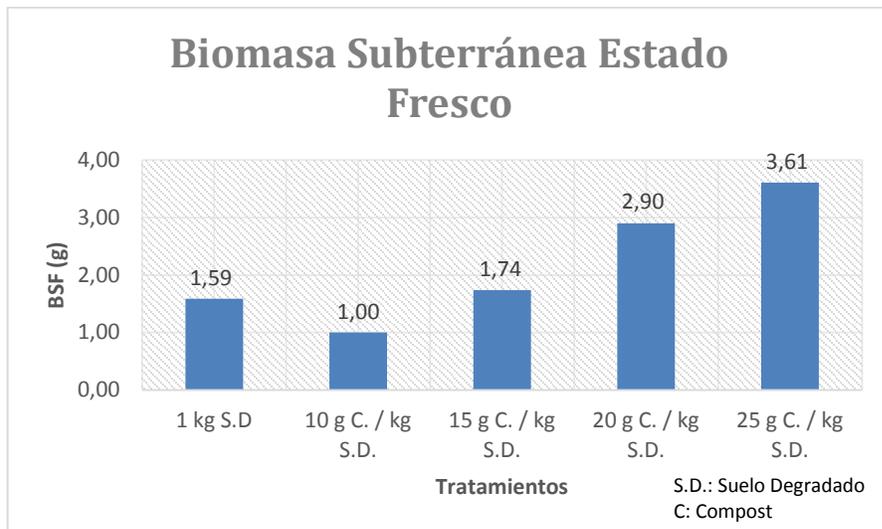


Gráfico 62. Variación de la biomasa subterránea estado fresco con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

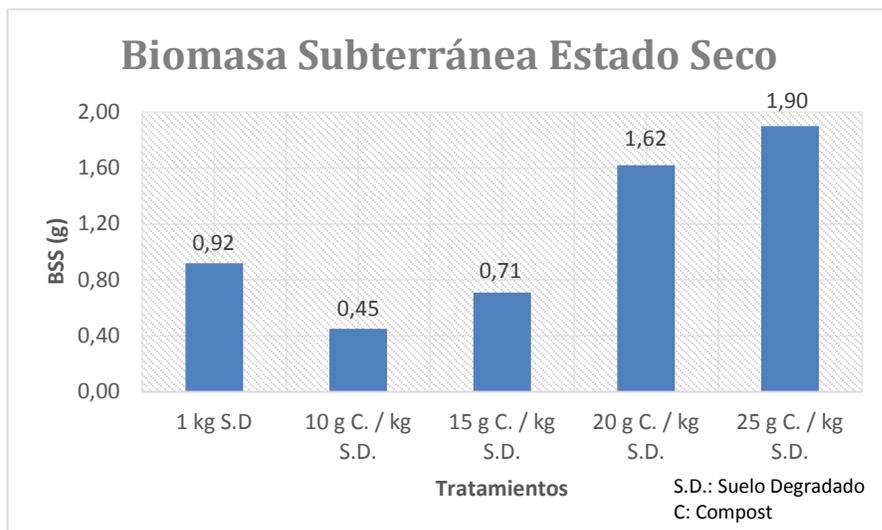


Gráfico 63. Variación de la biomasa subterránea estado seco con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Biomasa aérea estado fresco y estado seco: En estado fresco la biomasa aérea tuvo un aumento importante y los valores más altos corresponden a las dosis de compost mayores, esto se comprueba en la tabla B-178 y gráfico 64

donde se tiene una variación de la biomasa de entre 1.27 y 11.61 g. Lo mismo ocurre con la biomasa aérea en estado seco la cual incrementa de 0.51 a 2.89 g lo cual lo corrobora la tabla B-181 y gráfico 65.

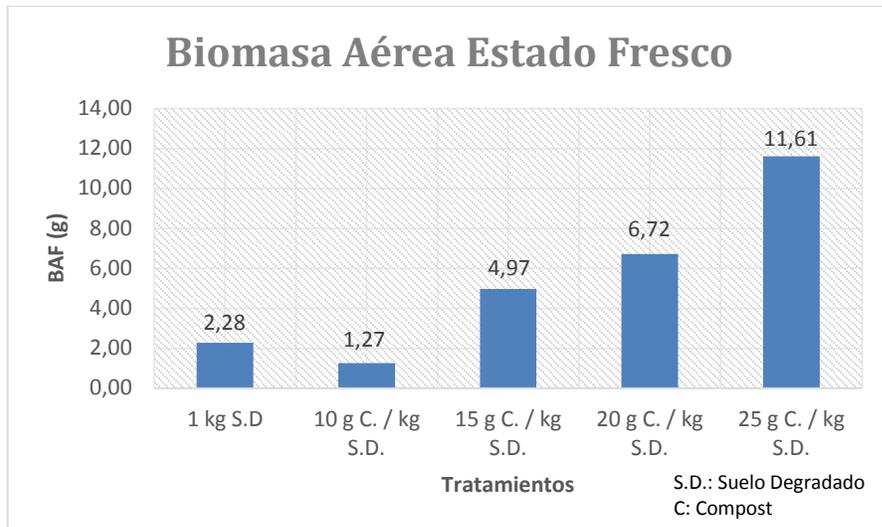


Gráfico 64. Variación de la biomasa aérea estado fresco con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

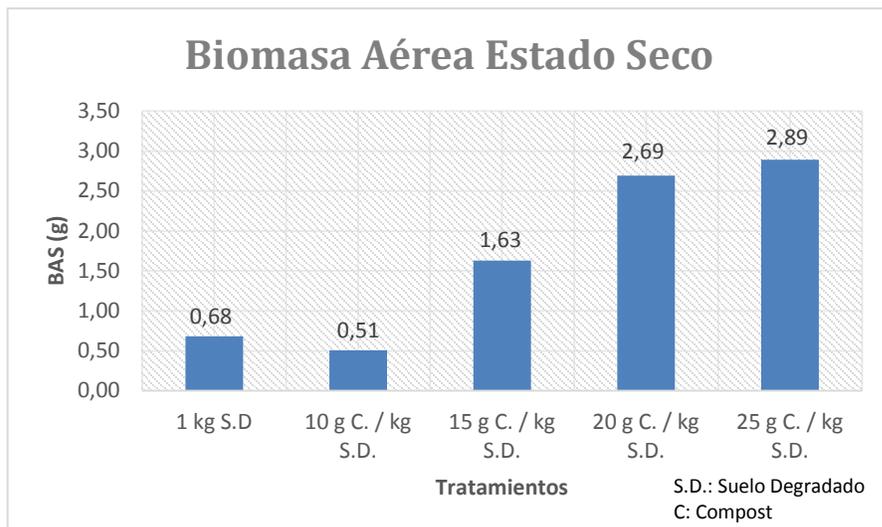


Gráfico 65. Variación de la biomasa aérea estado seco con los diferentes tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Análisis Global del Experimento

Al igual que para el análisis químico se evaluó la evolución de las plantaciones de lechuga con diferentes dosis de compost en un tiempo correspondiente a dos meses lo cual se detalla en las tablas B-182 hasta la B-203 y se resume a continuación.

Tabla 16. Resumen estadístico del análisis vegetal respecto al tiempo y a los tratamientos.

Parámetro	Significancia con respecto al tiempo	Enmienda orgánica con el tiempo	Significancia entre tratamientos	Mejor tratamiento
Diámetro del follaje	SI	SI	NO	5
Color del follaje	NO	NO	NO	5
Biomasa subterránea estado fresco	SI	SI	NO	5
Biomasa subterránea estado seco	SI	SI	NO	5
Biomasa aérea estado fresco	SI	SI	NO	5
Biomasa aérea estado seco	SI	SI	NO	5

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tiempo: Según el resumen de la tabla 16 se observa que sólo el color del follaje no presentó diferencia significativa con respecto al tiempo, es decir, éste se mantuvo estable durante todo el proceso; mientras que los demás parámetros si sufrieron variación en el tiempo y al final del experimento todas las plantas mostraron una evolución favorable al emplear compost como enmienda orgánica sobre los suelos degradados. La evolución de cada parámetro en estudio con respecto al tiempo se denota en los gráficos 66, 67, 68, 69, 70 y 71.

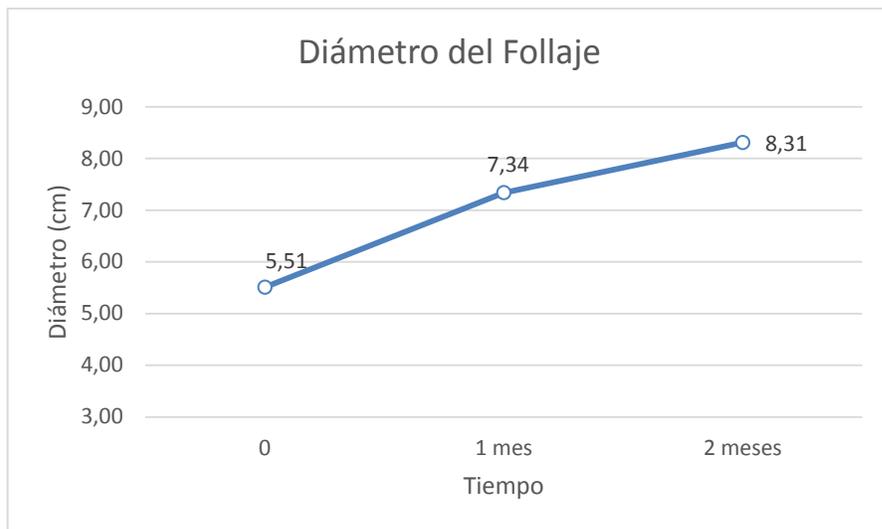


Gráfico 66. Variación del diámetro del follaje de la lechuga con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

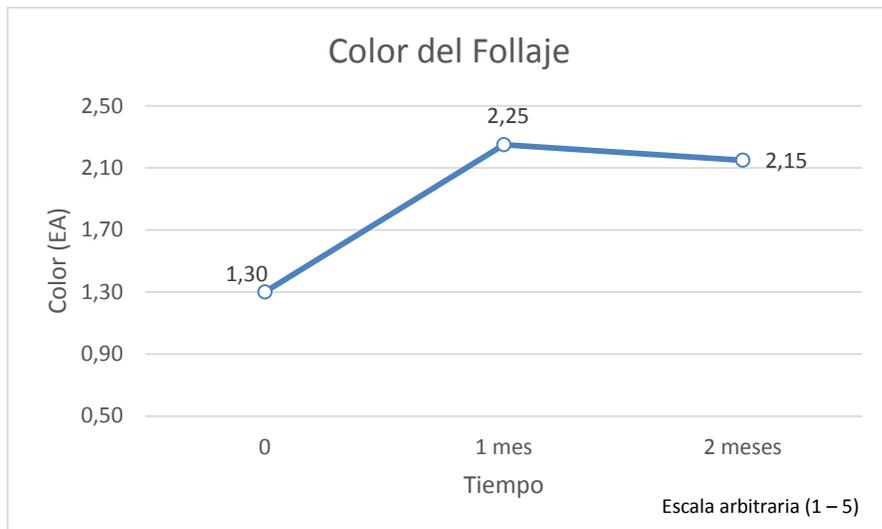


Gráfico 67. Variación del color del follaje con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

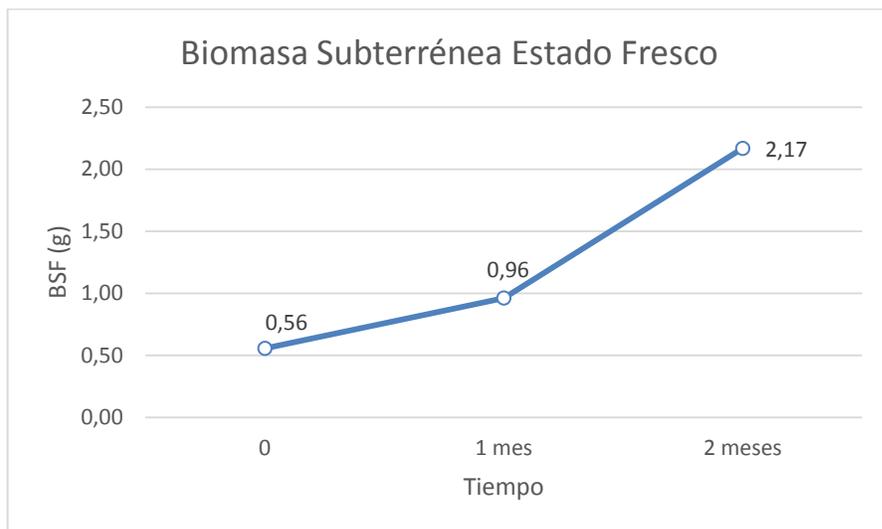


Gráfico 68. Variación de la biomasa subterránea estado fresco con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

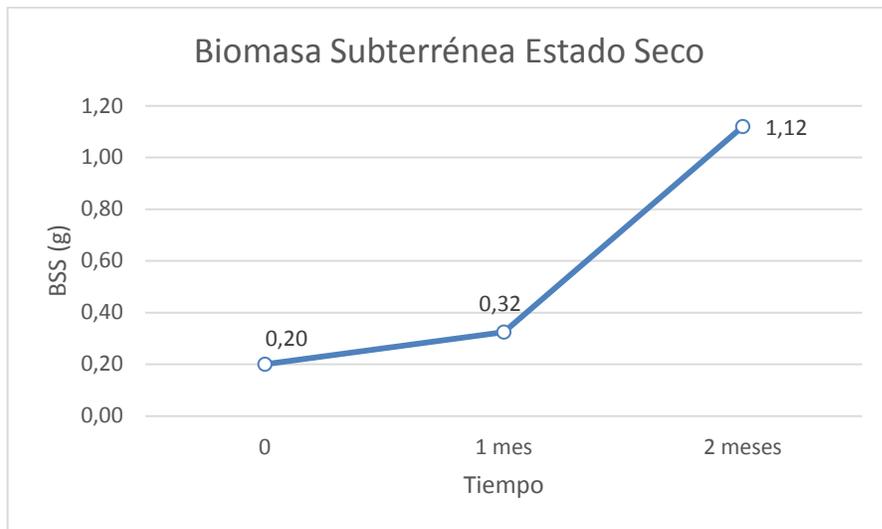


Gráfico 69. Variación de la biomasa subterránea estado seco con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

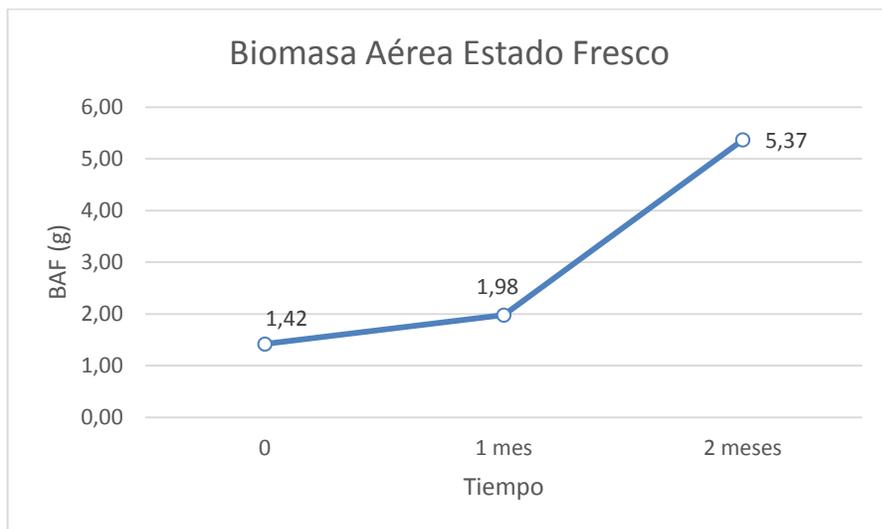


Gráfico 70. Variación de la biomasa aérea estado fresco con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

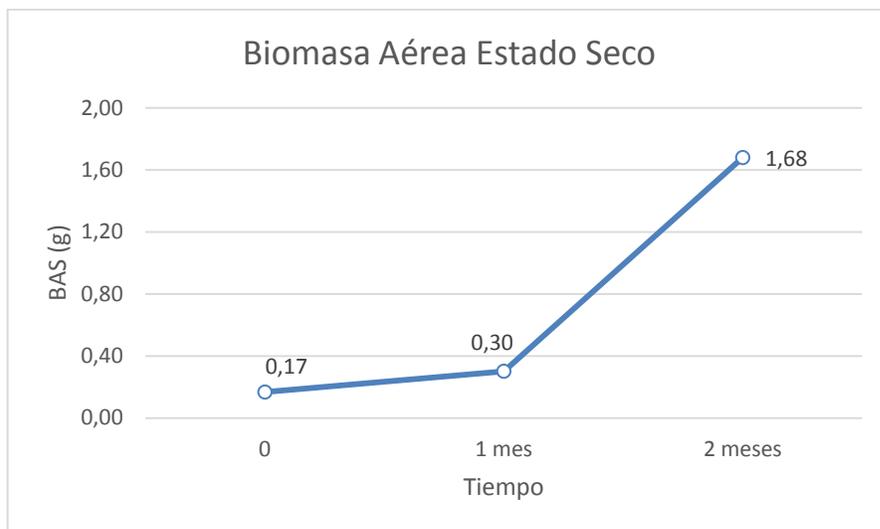


Gráfico 71. Variación de la biomasa aérea estado seco con el tiempo.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tratamientos: A pesar de que ninguna respuesta experimental presenta diferencia significativa entre tratamientos, se realizó la prueba de Tukey al 0.10% con lo cual se determinó que si hay variación de los tratamientos con mayores dosis de compost con respecto al testigo y a las dosis más bajas, es así que en todos los parámetros analizados se obtuvo como mejor tratamiento por sus valores más altos al que contiene una mayor dosis de compost, la cual fue de 25 g de compost / kg de suelo degradado y claramente se aprecia en los gráficos 72, 73, 74, 75, 76 y 77, que a mayor dosis de compost las plantas presentan los mejores valores de acuerdo a cada característica estudiada.

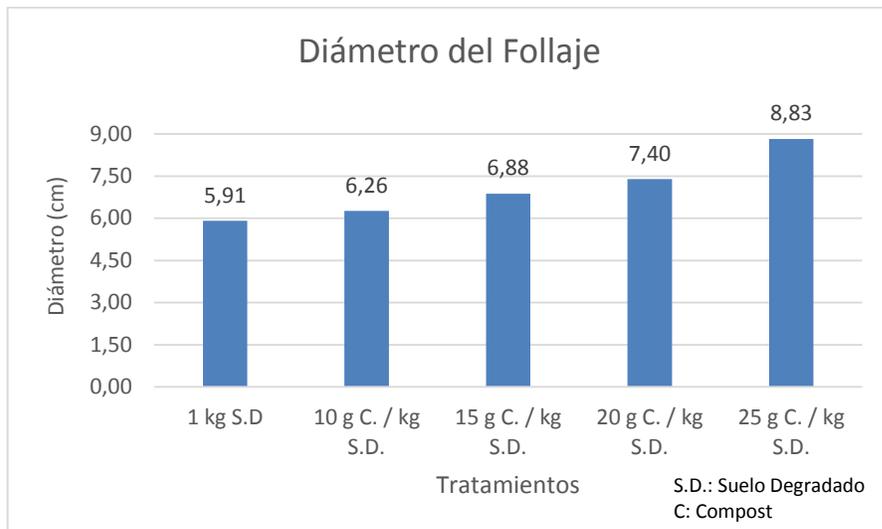


Gráfico 72. Variación del diámetro del follaje de la lechuga con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

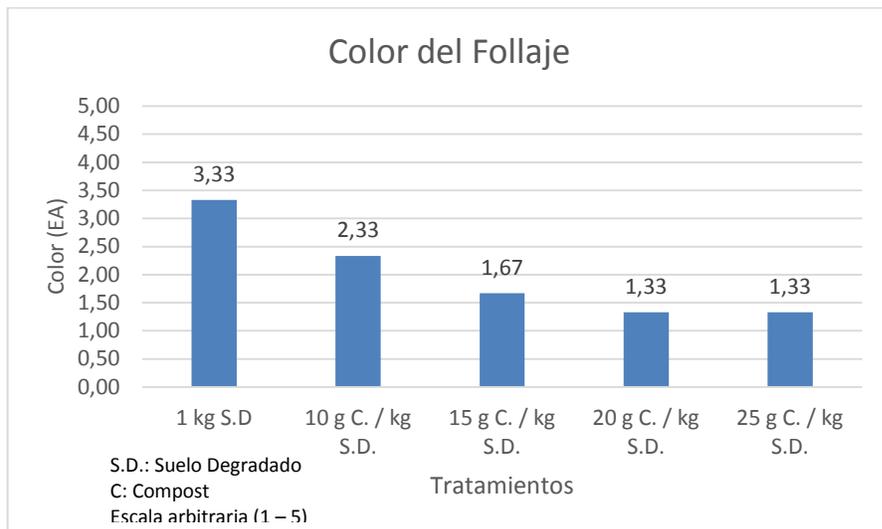


Gráfico 73. Variación del color del follaje con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

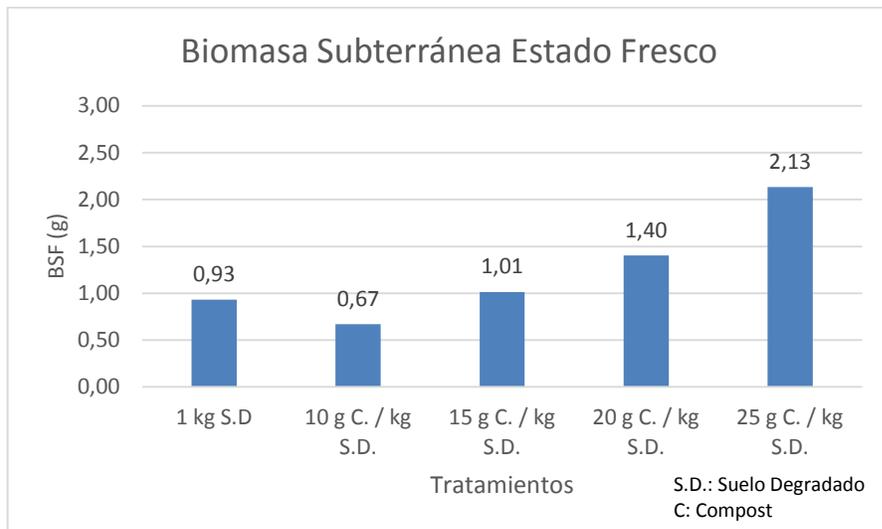


Gráfico 74. Variación de la biomasa subterránea estado fresco con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

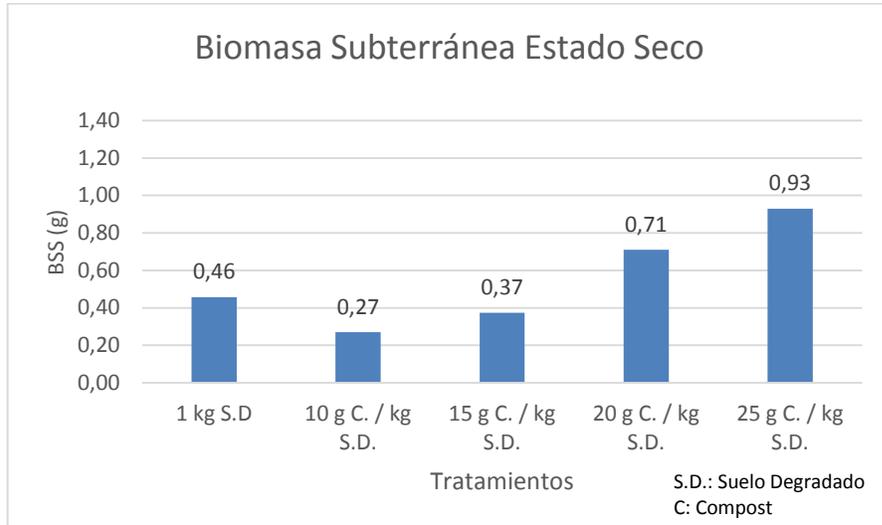


Gráfico 75. Variación de la biomasa subterránea estado seco con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

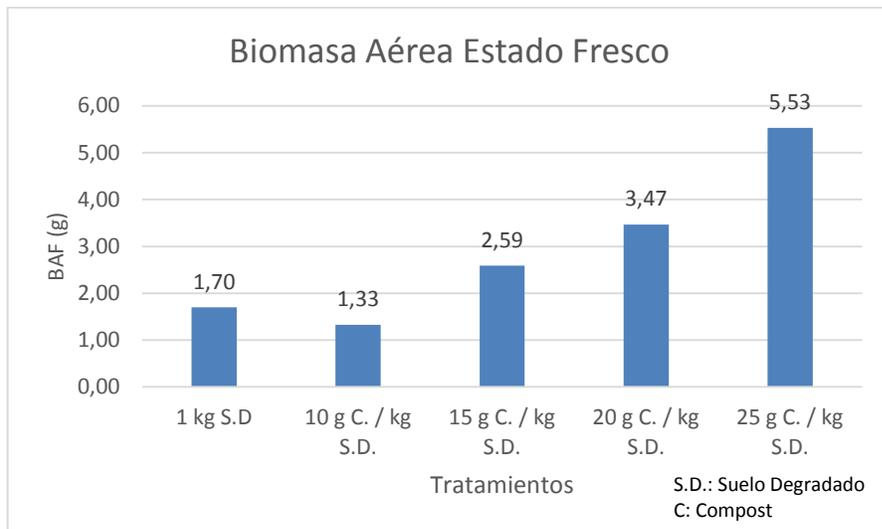


Gráfico 76. Variación de la biomasa aérea estado fresco con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

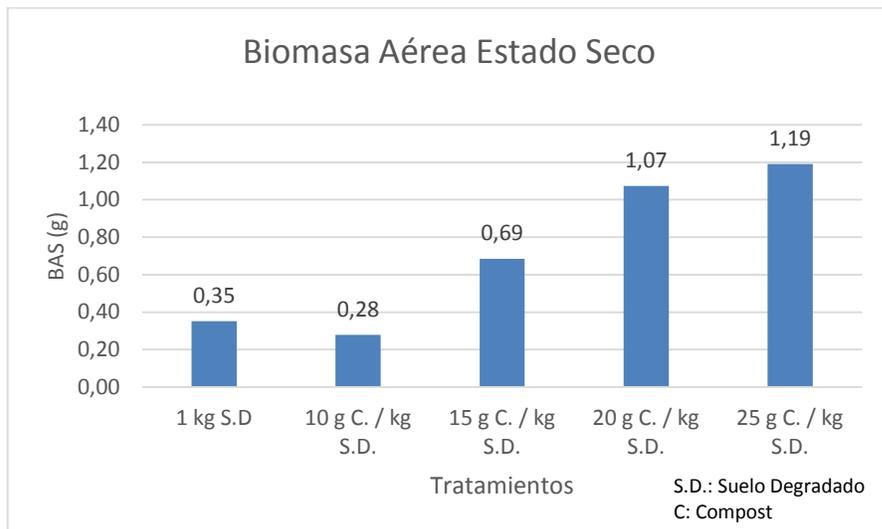


Gráfico 77. Variación de la biomasa aérea estado seco con los tratamientos.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Prueba de Contrastes del Análisis Vegetal

Al igual que en el análisis químico se realizó la prueba de contrastes para el análisis vegetal y de esta forma comparar si existe variación del testigo con respecto al mejor tratamiento. Los coeficientes empleados para este análisis se muestran en la tabla B-204.

Los resultados de la prueba de contrastes para cada respuesta experimental se presentan en la tabla B-205 a la B-210 y se resume a continuación:

Tabla 17. Resumen de la prueba de contrastes para el análisis vegetal.

Respuesta Experimental	Significancia de la Prueba de Contrastes
Diámetro del follaje	SI
Color del follaje	SI
Biomasa subterránea estado fresco	SI
Biomasa subterránea estado seco	NO
Biomasa aérea estado fresco	SI
Biomasa aérea estado seco	NO

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Como se observa en la tabla 17 tanto el diámetro y color del follaje, como también la biomasa subterránea y aérea en estado fresco varían con respecto al testigo, es decir, existe un mejor crecimiento de lechuga al ser sembrada con una dosis de 25 g de compost / kg de suelo degradado.

4.1.4 Estudio económico de los tratamientos investigados

Se realizó el análisis económico de los tratamientos investigados, para determinar el costo de producción del compost de acuerdo a la dosis necesaria de aplicación a los suelos degradados incluyendo los demás recursos que se emplearán para su producción. En las tablas B-111 y B-112 se detalla los costos requeridos para la elaboración del compost, en la tabla B-113 se indican los precios de algunos abonos orgánicos y químicos comerciales y en la tabla B-114 se establecen las proyecciones de venta del compost desde el año 2012 hasta el año 2017 para evaluar su rentabilidad.

4.2 Interpretación de resultados

4.2.1 Elaboración del compost como fuente de materia orgánica con una relación C/N = 20/1

4.2.1.1 Proceso de Compostaje

Según Díaz, 2002; durante el compostaje se deben tomar en cuenta los principales factores que actúan en éste proceso como son: humedad, aireación, temperatura, tamaño de partículas, microorganismos, relación carbono/nitrógeno y pH.

Humedad: El agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos. La humedad adecuada para cada etapa, depende de la naturaleza, compactación y textura de los materiales del montón.

Aireación: Se necesita que proliferen microorganismos aeróbicos que requieren oxígeno para efectuar su metabolismo. No se aconseja que la altura del montón exceda 1,2-1,5 m. pues el peso conduce a la compactación y tiende a la anaerobiosis.

Temperatura: La temperatura óptima de descomposición se ubica en los 50-70°C (60°C es lo más indicado); la temperatura es muy importante para la

descomposición rápida y para matar las semillas de las hierbas y agentes patógenos que causan enfermedades a las plantas cultivadas.

Tamaño de partículas: La descomposición puede ser acelerada por la molienda de los materiales porque permite mayor superficie de contacto facilitando la invasión microbiana.

Microorganismos: La conversión de la materia orgánica cruda biodegradable en materia orgánica humificada se lleva a cabo por microorganismos. Si las condiciones mencionadas anteriormente son favorables, los microorganismos autóctonos se multiplican rápidamente, especialmente con buena aireación y humedad.

En la presente investigación se controló adecuadamente la humedad, el montón realizado tuvo una altura de 1,5 m permitiendo una adecuada aireación, la temperatura máxima alcanzada en el proceso fue de 65°C, además el tamaño de las partículas empleadas fue el adecuado; todos estos factores ayudaron a la correcta proliferación de microorganismos. La relación carbono/nitrógeno y el pH se discute en el análisis químico del compost.

4.2.1.2 Análisis químico del compost

Según la EGMASA, 2010; existen muchos tipos y calidades de compost en el mercado, por lo que es recomendable saber la riqueza en materia orgánica y elementos fertilizantes que presenta para ajustar correctamente los programas de abonado. Los rangos de los parámetros más significativos son éstos:

Cuadro 2. Parámetros de calidad del compost.

pH	%MO	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	%C	C/N
7 - 7,5	30 - 50	1,5 - 2,5	1 - 2	0,2 - 0,8	6 - 15	0,2 - 0,5	20 - 50	15/1 - 20/1

Fuente: EGMASA, 2010.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Estos valores son típicos, y pueden variar mucho en función del material empleado para hacer el compost. Por otra parte, al tratarse de un producto natural no tiene una composición química constante (EGMASA, 2010). Es así que en el análisis de resultados el compost obtenido presentó deficiencia de fósforo, calcio y carbono.

4.2.2 Análisis físico – químico del suelo agrícola degradado proveniente del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua

Un análisis de suelo de rutina es una guía que describe la disponibilidad de nutrientes y el potencial de absorción de nutrientes por un cultivo (35), es por ello que se realizó el análisis físico - químico del suelo para comprobar que es un suelo degradado, es decir, con bajo contenido nutricional. Los parámetros óptimos que debe tener un suelo se presentan a continuación, los cuales fueron tomados del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Politécnica de Chimborazo y en base a fuente bibliográfica.

Cuadro 3. Parámetros de calidad del suelo.

Nutriente o Elemento	Rango Óptimo	Valor Óptimo
pH¹	6.5 - 7.5	7
%MO¹	3 - 6	5
NH₄¹ (mg/L)	30 – 60	40
P¹ (mg/L)	16 – 30	25
K¹ (mg/L)	200 – 400	300
CaO¹ (Meq/100g)	2 – 5	3.5
MgO¹ (Meq/100g)	0.34 – 0.66	0.5
%N²	4 – 6	5
%C²	50 – 54	52
C/N²	10/1 – 11/1	10.4/1

Fuente: ¹Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales ESPOCH, 2012.

²Thompson, 1974.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

A más de los elementos químicos mencionados en el cuadro anterior también se debe considerar que el suelo debe tener una textura franca ya que según Reus, 2010; la textura franca se considera ideal, porque tiene una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla. Esto supone un equilibrio entre permeabilidad al agua y retención de agua y de nutrientes. En el siguiente cuadro se muestra las propiedades del suelo según su textura:

Cuadro 4. Propiedades del suelo según su textura.

Propiedad	Suelo Arenoso	Suelo Arcilloso	Suelo Franco
Permeabilidad	Alta	Nula	Media
Capacidad de retención de agua	Poco	Mucho	Medio
Aireación	Buena	Mala	Buena
Nutrientes	Pocos	Muchos	Medio – alto
Tamaño de las partículas	Medias	Muy finas	Finas

Fuente: Reus, 2010.

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

El suelo que se utilizó para la presente investigación es de textura franco – arenosa lo que significa según el cuadro 4 que las propiedades varían entre las de un suelo franco y las de un arenoso; en el caso de los nutrientes es notorio que su contenido es poco o medio, ratificando los resultados del análisis físico - químico que indican que el suelo empleado tiene bajo contenido nutricional y por ende es un suelo degradado.

4.2.3 Aplicación de compost en diferentes dosis en suelo agrícola degradado analizando la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con el empleo de cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora

4.2.3.1 Análisis Químico

A través de fuente bibliográfica se discute y compara los resultados del análisis global del experimento de modo que se verifique la evolución de los diferentes parámetros en estudio con respecto al tiempo y las diferencias que presentan entre tratamientos durante toda la investigación.

pH: Según Gasteiz, 2011; la contribución del pH a la calidad intrínseca del suelo viene dada por su influencia en los procesos de humificación y mineralización a través de los microorganismos existentes. Es así que el pH del suelo degradado primero aumentó al primer mes y luego se fue reestableciendo al segundo mes, precisamente por el proceso de mineralización producto del tratamiento con compost. A más de esto la dosis de compost también influye en el proceso ya que como lo indica el mismo Gasteiz, la dosis de compost presenta una relación directamente proporcional con el pH, tal cual ocurrió en la presente investigación.

Materia Orgánica: La disminución del porcentaje de materia orgánica a través del tiempo se debe al grado de descomposición y transformación que ésta sufre desde su llegada al suelo. La materia orgánica fresca del suelo es rápidamente atacada por los microorganismos y comienza su descomposición, primero por despolimerización, en donde se produce la rotura de los grandes compuestos orgánicos (hidratos de carbono, proteínas, etc) en las unidades fundamentales de las que estaban compuestos (azúcares, aminoácidos, etc). Luego viene la mineralización, o sea, descomposición de estas unidades sencillas para dar lugar a compuestos minerales. Finalmente la humificación, en la cual los restos más difíciles de descomponer de las grandes sustancias orgánicas, da lugar a los ácidos fúlvicos, húmicos y huminas. A pesar de su gran estabilidad, estos compuestos son también lentamente mineralizados (Canet, 2007).

Por todo el proceso explicado precedentemente es evidente que la materia orgánica a los dos meses de investigación disminuyó. En cuanto a los tratamientos es claro que los suelos con mayor dosis de compost tuvieron mayor cantidad de materia orgánica.

Nitrógeno: El nitrógeno que entra en el suelo está sujeto a muchas transformaciones. El nitrógeno de las fuentes orgánicas pasa a formar parte de la materia orgánica del suelo, de donde se convierte en nitrógeno inorgánico (amoniacal) a través del proceso llamado mineralización, quedando disponible

para ser usado por las plantas; mientras que otra porción del NH_4 se convierte en NO_3 con la mediación de bacterias del suelo en un proceso llamado nitrificación (Murrell, 2003).

Por lo descrito anteriormente se establece que el nitrógeno amoniacal o inorgánico a pesar de encontrarse en niveles bajos con respecto a su valor óptimo incrementó al primer mes debido al proceso de mineralización y luego disminuyó al segundo mes debido al proceso de nitrificación.

El nitrógeno total que fue escaso y que representa tanto al nitrógeno inorgánico como al orgánico en cambio incrementó durante toda la investigación debido a que no sólo se mide el elemento producido durante la mineralización sino también durante la nitrificación.

Las variaciones del contenido tanto de nitrógeno amoniacal como de nitrógeno total con respecto a cada tratamiento presentan altibajos. Según Murrell, 2003; la transformación del nitrógeno depende de factores como de la fuente de donde proviene, de la composición del suelo y de las condiciones ambientales; factores que presuntamente incidieron en los tratamientos.

Fósforo: La materia orgánica del suelo es tan importante para el P como lo es el N. Como con el N, la mineralización libera P inorgánico de las fuentes orgánicas del suelo. El P inorgánico en la solución del suelo reaccionan fuertemente con la superficie de las arcillas (minerales secundarios) y otros compuestos. Ocurren dos reacciones primarias: adsorción y precipitación. En las reacciones de adsorción, el P es fuertemente retenido en la superficie de los minerales. En las reacciones de precipitación, el P puede reaccionar con otras especies químicas en solución o con la superficie de los minerales, formando compuestos insolubles. Los dos tipos de reacciones dejan poco P en la solución del suelo (50).

A través de este proceso de transformación se deduce que el fósforo incrementó al primer mes al ser liberado por la mineralización de la materia orgánica y luego disminuyó debido a la adsorción y a la precipitación.

Según Urbano, 2001; en la disponibilidad del fósforo influyen factores como: pH del suelo, minerales de calcio y magnesio disponible, cantidad y descomposición de materia orgánica y actividad de microorganismos. Esto es importante para comprender el análisis de los tratamientos ya que el P incrementó considerablemente a mayores dosis de compost, pues aquí existe mayor liberación de minerales y mayor actividad microbiana además del pH que es menor en los tratamientos con mayor concentración de compost lo que permite una mejor asimilación de los nutrientes y en este caso del P.

Potasio: A diferencia del P, el K en las fuentes orgánicas está presente como K inorgánico y no como un componente estructural de los compuestos orgánicos., debido a esto, el K no está sujeto a los procesos de mineralización o inmovilización (50). Es por esto que no existió diferencia significativa en el análisis del potasio, puesto que la fuente empleada es orgánica y el proceso de mineralización no influye en la evolución de éste elemento.

A pesar de que el contenido de potasio no sufrió mucha variación, éste se encontró en exceso. Según Sanzano, 2011; el potasio es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable; además debido a la escasa lixiviación, la disponibilidad de K es mayor en suelos con régimen de humedad ústico o más secos, los cuales son suelos neutros a alcalinos que no necesitan fertilización potásica aún para cultivos de alta producción.

Calcio: Según Urbano, 2001; para liberar el calcio, la materia orgánica del suelo debe sufrir el proceso de la mineralización. Debido a esto la cantidad de calcio aumentó al final de la investigación aunque el incremento no fue significativo.

Con respecto a los tratamientos en cambio se muestra una disminución de calcio a mayores dosis de compost, la explicación a esto se debe a que el suelo al ser alcalino generalmente tiene alto contenido de CaCO_3 , de donde se puede generar la precipitación de los aniones CO_3^{2-} disminuyendo así el pH del suelo generando menor disponibilidad de calcio (15).

Magnesio: Es muy común la deficiencia de Mg. en suelos arenosos al igual que en suelos con pH fuera del rango óptimo, sin embargo el contenido de Mg depende principalmente del material parental y del contenido de arcilla y materia orgánica de los suelos (Andina, 2012).

Debido al pH alcalino del suelo en estudio existió deficiencia de magnesio; sin embargo por la enmienda orgánica con compost éste evolucionó favorablemente, lo mismo ocurre con los tratamientos en donde el Mg aumenta a dosis mayores de compost.

Carbono orgánico: La materia orgánica del suelo funciona como un enorme almacén de carbono, pero el carbono del suelo no se acumula para siempre. Se libera del suelo cuando la materia orgánica es descompuesta por varios tipos de organismos aerobios que usan el carbono para su propio crecimiento (Lessard, et al; 2010).

Según lo señalado anteriormente se deduce que el carbono orgánico disminuyó a través del tiempo debido a la salida del suelo en forma de CO_2 ; mientras que aumentó según los tratamientos por el contenido de materia orgánica aplicado siendo el contenido de carbono mayor a dosis altas de compost.

Relación Carbono/Nitrógeno: Cuanto menor sea el valor de la relación mayor será el grado de mineralización de la materia orgánica y, por tanto, la calidad edáfica será superior (37). La mineralización depende de múltiples factores, entre ellos del material orgánico original, de las condiciones red-ox del suelo (ligado a la textura y contenido de agua), del régimen térmico y de humedad, etc. La mineralización tendrá lugar esencialmente en presencia de agua,

además, a temperaturas muy bajas se para el proceso de mineralización, aumentando a medida que aumentan las temperaturas (Burés, 2011). Con esto se puede indicar que el grado de mineralización en la presente investigación fue alto debido a que la relación C/N disminuyó considerablemente hasta llegar a su valor óptimo, a más de la humedad que fue la adecuada y la temperatura la cual fue alta.

Prueba de Contrastes del Análisis Químico

Según Brechelt, 2008; la riqueza en nutrientes del compost varía debido al contenido de nutrientes de la materia prima, al proceso de descomposición, al clima, contenido de microorganismos del suelo entre otros aspectos, la descomposición del compost puede variar entre 3 meses y 1 año.

Debido a todos estos aspecto se establece que no todos los elementos del suelo sufrieron variación con respecto al testigo ya que se necesita de un período de tiempo mayor para poder aprovechar todos los nutrientes que el compost puede aportar al suelo, sin embargo, los elementos más importantes a excepción del nitrógeno sí presentaron una evolución favorable.

4.2.3.2 Análisis Vegetal

Al igual que para el análisis químico se comparó los resultados obtenidos con fuentes bibliográficas corroborando de esta manera la eficacia del compost a través del tiempo y respecto a cada tratamiento durante toda la investigación.

Diámetro del follaje: Claramente se vio una evolución favorable del diámetro del follaje al aplicar compost, sobre todo en las plantas que se colocó las dosis más altas de dicho abono orgánico; resultados que se han demostrado en la investigación de Cobiella, et al; 1995, en donde cita que al aplicar compost a diferentes concentraciones en variedades de plantas bajo condiciones de campo, se aprecia un efecto estimulante y positivo en la altura y diámetro del follaje.

Color del follaje: Con el tiempo el follaje de la lechuga perdió su coloración aunque no significativamente; mientras que respecto a los tratamientos se vio que las dosis más altas de compost presentan una mejor coloración; además en las dosis más bajas y el testigo las hojas tienen un color un poco amarillento principalmente en los bordes. Según Legaz, et. al.; 2011; la deficiencia de nitrógeno provoca color verde pálido en las hojas tirando a amarillo, al igual que la deficiencia de magnesio en donde la coloración de las hojas puede ser rojiza y con manchas amarillas.

Como se describió en el análisis químico tanto el nitrógeno como el magnesio tuvieron niveles muy bajos razón por la cual se produce la palidez y coloración amarilla de las hojas.

Biomasa subterránea estado fresco y estado seco: El aporte de materia orgánica al suelo a través de compost presenta efectos benéficos como el aumento de la capacidad del suelo para retener agua y estimula el desarrollo radicular y la actividad de los macro y microorganismos del suelo (48). En la presente investigación la biomasa subterránea en estado fresco presentó un aumento sustancial durante el crecimiento de la planta, ésta diferencia también se mostró entre tratamientos; esto se debe a que en estado fresco la biomasa subterránea tuvo una retención de agua superior al aplicar compost lo que incrementa su valor. Mientras que en estado seco también se observó aumento de la biomasa subterránea sobretodo en plantas con mayores dosis de compost, el cual ayudó considerablemente al desarrollo de las raíces.

Biomasa aérea estado fresco y estado seco: Según Brechelt, 2008; El compost suministra todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, es por esto que tanto la biomasa fresca como seca es mayor en las plantas que tienen las dosis más altas de compost; además se pudo determinar que en el testigo y en el tratamiento 1 no hubo mucho crecimiento de las plantas presuntamente por la deficiencia de nitrógeno ya que según Legaz, et. al.; 2011; por la falta de nitrógeno, la planta no crece, el follaje es escaso,

aunque puede florecer; caso que no ocurre con los tratamientos que presentan mayor concentración de compost, en donde, la biomasa aérea sí aumenta favorablemente.

Prueba de Contrastes del Análisis Vegetal

Según Brechelt, 2008; el compost se puede usar en todos los cultivos y en cualquier etapa, porque la liberación de nutrientes por la transformación del compost en el suelo se adapta a las necesidades de las plantas, sobre todo las raíces pueden asimilar inmediatamente los nutrientes transformados. Es por esto que existió variación al comparar el testigo con el mejor tratamiento ya que la planta asimiló rápidamente los nutrientes que aporta el compost al suelo para favorecer sus condiciones de crecimiento tanto en follaje, biomasa subterránea y aérea.

4.2.4 Estudio económico de los tratamientos investigados

La finalidad del análisis económico es determinar la factibilidad o viabilidad económica de un proyecto. Este debe estar concebido desde el punto de vista técnico y debe cumplir con los objetivos que ella se espera. En otras palabras trata de estudiar si la inversión que se quiere hacer será rentable o no. El análisis económico trata de determinar cuál será la cantidad de recursos económicos que son necesarios para que el proyecto se realice, es decir, cuánto dinero se necesita para que la planta opere (Ousset, 2002). En base a esta información se determinó los costos que implica producir compost de manera que se comprueba la viabilidad de la investigación; para lo cual se basó en los costos fijos y costos variables.

Los costos fijos son aquellos que no varían ante cambios en los niveles de producción, es decir, no dependen del nivel de actividad de la empresa, sino que son una cantidad determinada, independiente del volumen de negocio (INPYME, 2002). En la presente investigación se obtuvo un valor de \$1585 respecto a los costos fijos totales del proyecto que incluyen las horas de trabajo

para realizar el compost y la depreciación del balance de maquinaria, bienes y enseres.

Los costos variables cambian cuando varía el nivel de producción, es decir, evolucionan en paralelo con el volumen de actividad de la compañía (40). El valor que se obtuvo de los costos variables para este proyecto fue de \$1250 los cuales se basan tanto en los insumos como en los servicios básicos necesarios que se emplearán para la producción de 500 quintales de compost anual.

A partir de los costos fijos se pudo determinar el costo fijo unitario que es de \$3.17 y a partir de los costos fijos variables se determinó el costo fijo variable que es de \$2.5, en donde al sumar ambos precios unitarios se obtiene el costo total unitario que es de \$5.67, que es la cantidad requerida para producir 1 quintal de compost. Al comparar con los productos comerciales, éste valor es normal para un abono orgánico, mientras que al cotejar con un abono químico el costo es sumamente bajo, con una diferencia aproximada de \$55 por cada quintal; siendo el compost una alternativa económica más asequible para la agricultura a más de ser un producto amigable con el ambiente.

Otro aspecto importante del análisis económico es el punto de equilibrio, el cual según INPYME, 2002; es aquel en el que a un determinado nivel de operación, la empresa no obtiene utilidades, pero tampoco incurre en pérdidas, es decir, los ingresos son iguales a los costos. El punto de equilibrio en este proyecto son las unidades de producción anual que se desea elaborar de tal manera que no se produzcan pérdidas ni ganancias para la empresa, es decir, el punto de equilibrio es de 500 quintales de compost.

Dentro del análisis económico es necesario también realizar las proyecciones financieras ya que son una herramienta que permite ver en números el futuro de una empresa empleando instrumentos para pronosticar ventas, gastos e inversiones en un periodo determinado y traducir los resultados esperados en los estados financieros básicos. Las proyecciones financieras además permiten analizar si una empresa será rentable o no, y en su caso, en qué rubros debe

enfocarse para serlo; es por esto que las proyecciones financieras constituyen un elemento importante en la toma de decisiones de una empresa (Montiel, 2009).

Los ingresos generados por el compost se proyectaron a 5 años, cuyo cálculo se lo realizó en base a la inflación anual del mes de diciembre del 2012 que corresponde al 4.16%, el cálculo se lo realizó sólo con el porcentaje de inflación ya que este proyecto al ser de autoconsumo no generará ganancias.

4.3 Verificación de Hipótesis

Según los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis nula que indica que la aplicación de compost no es efectiva para la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N en suelos agrícolas degradados, debido a que como se señala en el apartado 4.1 específicamente el 4.1.3.1 correspondiente al análisis químico, dentro del cual en el análisis global del experimento se establece que el compost reestablece las condiciones de la mayoría de nutrientes del suelo degradado.

De esta forma se acepta la hipótesis alternativa la cual expone que la aplicación de compost es efectiva para la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N en suelos agrícolas degradados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En la presente investigación se comprobó la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N con enmiendas de compost en suelos agrícolas degradados, así al analizar los componentes del suelo se evidenció que los niveles nutritivos de N, P, K, Ca y Mg, materia orgánica y la relación C/N del suelo mejoraron con relación al testigo; siendo la dosis más efectiva al emplear 25 g de compost / kg de suelo degradado; vale destacar también que el compost trabajó como regulador del pH del suelo ya que éste al ser alcalino disminuyó su valor de 9.87 hasta 9.6.
- Se analizó de forma física y química el suelo agrícola degradado proveniente del Caserío Jesús del Gran Poder ubicado en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua; el cual presentó textura franco arenosa, estructura suelta, pH de 9.8 es decir alcalino, 1.1% de materia orgánica que es muy bajo para un suelo agrícola, C/N = 24/1 que es un valor muy elevado, además de condiciones nutritivas deficientes especialmente en el contenido de nitrógeno tanto inorgánico como total al igual que en el contenido de carbono orgánico; concluyendo que efectivamente se trabajó con un suelo agrícola degradado.
- Se elaboró compost como fuente de materia orgánica a partir de residuos de rosas y estiércol vacuno, controlando todas las condiciones tanto físicas como ambientales; además se analizó su composición química en

donde el pH fue de 7.3, el porcentaje de materia orgánica fue de 26.8% y la relación carbono/nitrógeno fue de 10/1; al finalizar la investigación nuevamente se analizó el compost y se obtuvo un pH de 7.1, 27.8% de materia orgánica y la relación C/N fue de 20/1 (objetivo del estudio), a más de los nutrientes que presentaron valores aceptables, lo que significa que el compost elaborado fue de buena calidad.

- En la presente investigación se aplicó compost en suelo agrícola degradado en dosis de 10, 15, 20 y 25 g de compost / kg de suelo degradado, analizando la evolución de los niveles de nutrientes esenciales, materia orgánica y la relación C/N mediante el análisis químico durante un período de dos meses, concluyendo que la materia orgánica incrementó de (1.1 a 1.21)%, el nitrógeno amoniacal de (2.5 a 3.5) mg/L, el fósforo de (13.8 a 20.62) mg/L, el potasio de (442.6 a 500) mg/L, el calcio se mantuvo en 4.5 Meq/100g, el magnesio aumentó de (0.2 a 0.29) Meq/100g, el nitrógeno total de (0.028 a 0.07)%, el carbono orgánico se mantuvo entre (0.68 y 0.7)% y la relación C/N mejoró de 24/1 a 10/1; además se empleó cultivos de lechuga como especie vegetal indicadora observando que con la dosis más alta el diámetro del follaje aumentó de (5.51 a 8.31) cm, la biomasa subterránea en estado fresco y seco aumentaron de (0.56 a 2.17) g y de (0.20 a 1.12) g respectivamente y la biomasa aérea en estado fresco y seco aumentaron de (1.42 a 5.37) g y (0.17 a 1.68) g respectivamente, valores que demuestran que el compost actúa como enmienda orgánica en la recuperación de la fertilidad de los suelos agrícolas degradados y permite un desarrollo eficaz de la planta.
- De acuerdo a los resultados obtenidos durante la investigación se concluye que la dosis más efectiva de compost para aplicar en suelo agrícola degradado es de 25 g de compost / kg de suelo degradado, al obtenerse buenos resultados con esta dosis se estima que sería factible aplicarla en parcelas de cultivos de lechuga sembrados con suelo

agrícola degradado complementando de esta forma el trabajo realizado en la presente investigación.

5.2 RECOMENDACIONES

- A pesar de haber obtenido un compost con valores nutricionales importantes, se recomienda añadir aditivos como fertilizantes sintéticos o microorganismos eficientes que mejoren aún más la calidad del compost sobre todo si existe algún elemento que no está dentro de su valor óptimo.
- Es importante que el compost llegue a un estado de maduración de por lo menos 5 a 6 meses debido a que los nutrientes tardan en ser transformados a sus componentes asimilables.
- Para futuras investigaciones se recomienda aplicar dosis más elevadas de compost y de ser posible trabajar con varios abonos orgánicos.
- Si el pH del suelo degradado es muy ácido o muy básico se debería primero regular éste factor antes de la enmienda orgánica debido a que diferencias muy significativas de pH impiden que varios elementos sean producidos durante el proceso de mineralización además que disminuye la tasa de asimilación nutritiva por parte de las plantas.
- Es conveniente que la recuperación de la fertilidad del suelo se la haga en parcelas y por períodos de tiempo de por lo menos 6 meses o 1 año ya que los elementos de un abono orgánico así como también del suelo tardan en transformarse, como se ha podido apreciar en la presente investigación.
- Cuando ya se note una evolución importante en las condiciones nutritivas del suelo hacer énfasis en aquellos elementos que no muestren mejoría y añadir aditivos que permitan regular éstas deficiencias o excesos según sea el caso.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

- 1 Título:** Evaluación de la aplicación de compost enriquecido en parcelas de cultivos de lechuga sembrados con suelo agrícola degradado.
- 2 Unidad Ejecutora:** Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica.
- 3 Beneficiario:** Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica.
- 4 Director del Proyecto:** Dr. Ramiro Velasteguí, PhD
- 5. Personal Operativo:** Egdo. Mario Gustavo Estrella Saltos
- 6 Tiempo de Duración:** 1 año
- 7 Fecha de Inicio:** Octubre 2013
- 8 Lugar de Ejecución:** Universidad Técnica de Ambato
- 9 Costo:** \$ 2000

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

El compost es un abono orgánico elaborado a partir de desechos de animales, verduras, frutas y otros elementos enriquecedores. Mejora las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo a más de producir un rendimiento óptimo en los cultivos cuando se aplican concentraciones adecuadas del compost, el mismo que se puede enriquecer con nutrientes o microorganismos eficientes para mejorar su calidad.

Una alternativa orgánica para mejorar los suelos es el empleo de compost enriquecido, el cual incorpora al suelo materia orgánica y humus, ayuda a suprimir enfermedades de plantas, incrementa el contenido de nutrientes del suelo, mejora la retención de agua en suelos arenosos y restaura la estructura del suelo.

El compost enriquecido es aconsejable para la regeneración de suelos degradados debido a que por su gran contenido nutritivo permite el desarrollo de microorganismos del suelo, los cuales se multiplican aumentando la actividad biológica e incrementando la estructura del suelo y aportando nutrientes vitales para el crecimiento vegetal.

La utilización de compost enriquecido, es recomendable para alimentar cualquier tipo de cultivo como hortalizas, frutales, macetas de casa, jardines, cereales, etc. Es muy importante que se utilice en cantidades adecuadas las cuales sustituyen perfectamente un programa de fertilización con químicos.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Debido al continuo uso del suelo, éste se ve afectado constantemente por procesos de degradación que a su vez provoca inestabilidad en la seguridad alimentaria a nivel mundial. Se ha demostrado que la degradación del suelo se produce principalmente por la erosión, la disminución de los nutrientes, la salinización y la compactación física del suelo. Estos efectos suelen traducirse en una reducción del rendimiento. La conservación y rehabilitación de tierras

constituyen una parte esencial del desarrollo agrícola sostenible. Los efectos negativos de un suelo degradado sobre la economía son más severos en los países que más dependen de la agricultura para obtener ingresos.

Es por esto que se ha pensado en la recuperación y mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos, de tal forma que se promueva la conservación, el manejo sustentable y el restablecimiento de fertilidad a los suelos que es uno de los recursos más importantes sobre todo para la seguridad alimentaria de un país.

Desde el punto de vista agronómico la materia orgánica es un componente clave para el mantenimiento de las funciones del suelo, al tiempo que lo protege del progreso de otros procesos de degradación. El contenido en materia orgánica condiciona muchas propiedades del suelo, es así, que cuando este componente es escaso las modifica severamente.

Para mejorar las condiciones nutritivas del suelo y sobretodo de materia orgánica se pretende utilizar compost enriquecido con microorganismos eficientes, en donde se busca combinar la riqueza nutritiva del abono orgánico con la biodiversidad microbiana que da estabilidad al sistema del suelo.

La materia orgánica presente en el compost enriquecido actúa como fuente de energía y nutrición para los microorganismos, estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. La gran biodiversidad de microorganismos del compost enriquecido da vida y estabilidad al sistema de los suelos.

La presencia de diversos microorganismos en el suelo permite mejorar su calidad incrementando la producción de los cultivos y protegiéndolos contra otros organismos del suelo que causan enfermedades, a más de ser fundamentales en la conservación de los recursos naturales creando una agricultura y medio ambiente más sostenibles.

Según lo expuesto anteriormente se justifica el empleo de compost enriquecido ya que además de proveer nutrientes y sustancias bioactivas a las plantas, la materia orgánica en el compost enriquecido es utilizada como alimento por los microorganismos benéficos, los que continuarán descomponiéndola, mejorando la vida del suelo, e incluso compitiendo contra los microorganismos patógenos.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la aplicación de compost enriquecido en parcelas de cultivos de lechuga sembrados con suelo agrícola degradado.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar compost enriquecido como fuente nutritiva a partir de desechos orgánicos.
- Aplicar 50 ton/ha de compost enriquecido en parcelas de suelo agrícola degradado, utilizando cultivos de lechuga.
- Determinar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo al ser tratado con compost enriquecido.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La factibilidad, indica la posibilidad de desarrollar una investigación de manera que se cumplan sus metas y objetivos con el empleo de recursos tanto operativos, técnicos y económicos.

La factibilidad operativa indica los recursos necesarios que se emplean durante cada una de las actividades a realizarse en el proyecto incluyendo los procesos de investigación, los cuales depende de los recursos humanos involucrados. Es así que en esta etapa se considerará el método de preparación del compost enriquecido, las condiciones adecuadas y precauciones que se debe tomar durante el proceso de producción del abono, así como también la dosis que se

empleará para evaluar su efecto sobre las propiedades tanto físicas, químicas y microbiológicas en los suelos agrícolas degradados.

La factibilidad técnica se encarga del manejo de los materiales e instrumentos, conocimientos, destrezas e ingenio que se requiere para el desarrollo de las actividades y procesos de la investigación. Es decir, en esta fase se tomará en consideración los antecedentes investigativos que permitan determinar el mejor material empleado para la preparación del compost enriquecido así como también el método más efectivo para dicha preparación de tal forma que se obtenga un producto de buena calidad a través de un proceso innovador y de fácil manejo.

La factibilidad económica es uno de los elementos más importantes para una investigación, debido a que a partir de esta etapa se conocerán los recursos económicos y financieros que se dispone para cada actividad y de esta manera disponer de los recursos humanos, físicos entre otros. A continuación se detalla la factibilidad económica para la producción de compost enriquecido.

Tabla 18. Recursos para la producción de compost enriquecido.

	TUTOR	TESISTA
RECURSOS HUMANOS		
Tutor	1000	
Tesista		
RECURSOS FÍSICOS		
Materia Prima	80	
Equipos	1000	
Insumos Agrícolas	50	
Material de Escritorio		50
OTROS		
Transporte		50
Imprevistos		50
Publicaciones		
Subtotal	2130	150
TOTAL	2280	

Elaborado por: Mario Estrella, 2013

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 Compost Enriquecido

Es un abono orgánico al que se ha dado un valor agregado mediante nutrientes específicos, microorganismos eficientes u otro tipo de producto que mejore la calidad del mismo; el cual puede ser producido a partir de residuos vegetales y animales, por medio de un proceso dirigido y controlado de mineralización y pre-humificación de la materia orgánica. El abono resultante de ese proceso es un material de alta calidad físico-química y microbiológica, que sirve para recuperar y/o mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas, y reducir los costos y contaminación por el uso de fertilizantes sintéticos (Ortiz, 2010).

6.6.1.1 Compost Enriquecido con Nutrientes

Un proceso de enriquecimiento del compost con nutrientes (fosfatos, nitratos, etc.) tiene la finalidad de convertirlo en un abono de buen rendimiento, este abono enriquecido sirve por un lado para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y de plantaciones gracias a las propiedades intrínsecas del compost y por otro gracias a la adición de nutrientes aumentaría el rendimiento de dichas plantaciones (Ekologistak, 2007).

6.6.1.2 Microorganismos Eficientes (EM)

Los microorganismos eficientes son una solución que contiene varios microorganismos benéficos tanto aeróbicos como anaeróbicos, los cuales tienen diferentes funciones, entre ellas restablecer el equilibrio microbiológico del suelo, mejorar sus condiciones físicas y químicas, incrementar la producción de los cultivos y su protección, además conserva los recursos naturales, generando una agricultura y medio ambiente más sostenible (Rolli, 2008).

6.6.1.3 Compost Enriquecido con Microorganismos Eficientes

El compost enriquecido con microorganismos eficientes resulta de la transformación de los residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido descompuestos bajo condiciones controladas, y que mediante la aplicación de EM se acelera el proceso de descomposición aumentando su calidad nutricional y biológica. El uso de la tecnología EM en la elaboración de compost acelera hasta tres veces el proceso de descomposición, reduce el mal olor y puede disminuir los costos hasta en un 80%. (APROLAB, 2007).

6.6.2 Ventajas del Compost Enriquecido

Es seguro para aplicarlo al cultivo porque es relativamente libre de patógenos y no causa la inanición de nitrógeno. En el Compost la mineralización total asegura un suministro de minerales en estado ionizado y la temperatura alta en

el proceso asegura la eliminación de microorganismos que podrían competir por los nutrientes (Shintani, et. al., 2000).

6.6.3 Desventajas del Compost Enriquecido

Se necesita gran cantidad de materia orgánica para producir un volumen suficiente para la finca y en el proceso de descomposición se puede perder gran parte del contenido nutricional y energético (59).

6.7 METODOLOGÍA

Tabla 19. Modelo Operativo (Plan de acción)

Fases	Metas	Actividad	Responsable	Recursos	Presupuesto	Tiempo
1. Formulación de la propuesta	Evaluación de la aplicación de compost enriquecido en parcelas de cultivos de lechuga sembrados con suelo agrícola degradado	Revisión bibliográfica	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$150	2 meses
2. Desarrollo preliminar de la propuesta	Cronograma de la propuesta.	Identificación de suelos agrícolas degradados y elaboración de compost enriquecido	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$100	2 meses
3. Implementación de la propuesta	Ejecución de la propuesta	Aplicación de 50 ton/ha de compost enriquecido en parcelas de suelo agrícola degradado, utilizando cultivos de lechuga	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$100	1 meses
4. Evaluación de la propuesta	Comprobación del proceso de la implementación.	Comprobación de la recuperación de suelos agrícolas degradados tratados con compost enriquecido mediante análisis físico, químico y microbiológico	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	\$600	7 meses

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

6.8 ADMINISTRACIÓN

La ejecución de la propuesta estará coordinada por los responsables del proyecto Dr. Ramiro Velasteguí, PhD y Egdo. Mario Estrella.

Tabla 20. Administración de la Propuesta

Indicadores a mejorar	Situación actual	Resultados esperados	Actividades	Responsables
Condiciones físicas, químicas y microbiológicas de suelos agrícolas degradados.	El compost enriquecido es poco estudiado en nuestra región y no existe ningún estudio sobre su aplicación en suelos agrícolas degradados.	Obtención de un abono orgánico de buena calidad. Recuperación de la fertilidad de los suelos.	Elaboración de compost enriquecido a partir de residuos orgánicos. Aplicación de 50 ton/ha de compost enriquecido en parcelas de suelo agrícola degradado previamente identificados, utilizando cultivos de lechuga. Evaluación de las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de los suelos luego del tratamiento con compost enriquecido. Determinación de las dosis más efectivas para la aplicación en suelos agrícolas degradados.	Investigador: Mario Estrella, Dr. Ramiro Velasteguí, PhD

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Tabla 21. Previsión de la Evaluación

Preguntas Básicas	Explicación
¿Quiénes solicitan evaluar?	- Sector científico
¿Por qué evaluar?	- Para obtener un abono de buena calidad. - Para conocer las dosis más efectivas en la aplicación a suelos agrícolas degradados.
¿Para qué evaluar?	- Disminuir la cantidad de suelos degradados y que sean aptos para el cultivo agrícola.
¿Qué evaluar?	- Tecnología utilizada. - Materias primas. - Calidad del abono. - Resultados obtenidos.
¿Quién evalúa?	- Director del proyecto - Tutor - Calificadores
¿Cuándo evaluar?	- Todo el tiempo desde la elaboración del compost enriquecido hasta determinar si dicho abono es efectivo o no para recuperar suelos agrícolas degradados.
¿Cómo evaluar?	- Mediante observación de campo, análisis de laboratorio y comprobaciones estadísticas de los resultados obtenidos.
¿Con qué evaluar?	- Experimentación. - Normas establecidas

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013.

BIBLIOGRAFÍA

TEXTOS

1. Aldana, Miguel. 2001. "Producción Agrícola 2. Enciclopedia Agropecuaria". Segunda Edición. Editorial Terranova. Colombia. Págs: 299 – 301.
2. Cobiella, R. De La Rosa, P. y Golachea, M. 1995. "Aplicación de humus foliar como alternativa en la producción de hortalizas". Taller Nacional sobre Desertificación. Guantánamo - Cuba.
3. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1991. "Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica". San José, Costa Rica.
4. Estrella, Mario & Robalino, Dolores. 2009. "Apuntes de Diseño Experimental – Pruebas de Comparación Múltiple". Ambato – Ecuador.
5. León, Guillermo. 2007. "Control de Plagas y Enfermedades en los Cultivos". Primera Edición. Editorial Grupo Latino. Colombia. Págs: 684 – 687.
6. Morejón, G. 1993. "Principios Ecológicos Fundamentales Aplicados al Ecuador". Primera Edición. Editorial Fundación Ecológica Mazón. Cuenca – Ecuador. Págs. 30 – 32 y 59 – 63.
7. Parker, Rick. 2000. "La Ciencia de las Plantas". Primera Edición. Editorial Thompson Learning. España. Págs: 68 – 73, 80 – 85, 90 – 94 y 122 – 129.
8. Primo, Yúfera. & Carrasco, Dorrien. 1980. "Química Agrícola I – Suelos y Fertilizantes". Primera Edición. Editorial Alhambra S.A. España. Págs: 22 – 23 y 233 – 234.
9. Ramírez, Heriberto. 2004. "Biblioteca Ilustrada del Campo – Abonos Orgánicos". Primera Edición. Editorial Enlace Cultural. Colombia. Págs: 12 – 27 y 107 – 108.

10. Sánchez, Denis & Alvarado, Juan de Dios. 2008. "Manejo poscosecha de lechuga (*Lactuca sativa* L. variedad Capitata) producida en la provincia de Tungurahua". Ambato – Ecuador. Págs: 35 – 36.
11. Smith, Robert & Smith, Thomas. 2001. "Ecología". Cuarta Edición. Editorial Pearson Addison Wesley. Madrid. Págs. 132 – 138.
12. Thompson, Louis. 1974. "El Suelo y su Fertilidad". Tercera Edición. Editorial Reverte S.A. Barcelona – España. Págs: 75 – 81.
13. Thompson, M. & Troeh, R. 2002. "Los Suelos y su Fertilidad". Cuarta Edición. Editorial Reverte S.A. España. Págs: 79 – 82.
14. Universidad Técnica de Ambato. 2011. "Tríptico Informativo de la Facultad de Ingeniería Agronómica". Laboratorio Químico de Análisis de Suelos, Foliare, Aguas y Alimentos.
15. Urbano, Pedro. 2001. "Tratado de Fitotecnia General". Segunda Edición. Ediciones Mundi – Prensa. España. Págs: 567 – 569.
16. Velasteguí, Ramiro. 2005. "Alternativas Ecológicas para el Manejo Integrado Fitosanitario en los Cultivos". Primera Edición. Editorial AgroExpress. Quito. Págs: 116 – 119.

FUENTES ELECTRÓNICAS

17. Aliaga, Francisco. 1997. "Bases epistemológicas y proceso de investigación psicoeducativa". Disponible en:
<http://www.uv.es/aliaga/curriculum/ProcesoGeneraldeInvestigacion.pdf>
18. Álvarez, Jenny. 2009. "La calidad microbiológica del suelo y del compost del parque Itchimbía en su proceso de recuperación". Quito - Ecuador. Disponible en:
<http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/1002/2/T-ESPE-023922.pdf>

- 19.** Andina, Dorkas. 2012. "Calcio y Magnesio del Suelo". Disponible en: <http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/Calcio%20y%20Magnesio.pdf>
- 20.** Andrango, Néstor. 2010. "Eficiencia del abono bioprocanor de la empresa municipal de rastro Ibarra en dos cultivos para disminuir el efecto de la degradación del suelo". Ibarra - Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/134/2/03%20REC%2090%20TESIS%20COMPLETA.pdf>
- 21.** APROLAB. 2007. "Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces". Perú. Disponible en: http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/manual_para_elaboracion_de_compost.pdf
- 22.** Araya, Elías. 2003. "El Sistema de Incentivos para la recuperación de suelos degradados en programas de conservación de suelos". Chile. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/sistema.pdf>
- 23.** Bastías, José. 2010. "Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales sólidos". Chile. Disponible en: http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=4987317&idExpediente=4987317&modo=ficha
- 24.** Brechelt, Andrea. 2008. "El Compost como Abono Orgánico". República Dominicana. Disponible en: http://www.rap-al.org/articulos_files/Manual%201%20Andrea%20Brechelt.pdf
- 25.** Burés, Silvia. 2011. "La descomposición de la materia orgánica". Disponible en: <http://www.terralia.com/revista8/pagina20.htm>
- 26.** Canet, Rodolfo. 2007. "Aplicación agrícola de materia orgánica". España. Disponible en: http://www.ivia.es/rcanet/descargas/Aplicacion_agricola_materia_organica.pdf

- 27.** Constitución de la República del Ecuador – Asamblea Constituyente 2008. Disponible en:
http://www.eueomecuador.org/ES/PDF/NUEVA_CONSTITUCION_DE_L_ECUADOR.pdf
- 28.** Coraspe, Héctor & Tejera, Sergio. 1996. “Procedimiento para la toma de muestras de suelos”. Disponible en:
http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd54/suelos.htm
- 29.** Dauber, E. Terán, J. y Guzmán, R. 2002. “Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia”. Disponible en:
<http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC2.pdf>
- 30.** Díaz, 2002. “Guía de Lombricultura”. Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/4031482/Adex-Guia-De-Lombricultura>
- 31.** Ekologistak. 2007. “El compostaje en Bilbao: aspectos técnicos para una propuesta”. Bilbao - España. Disponible en:
<http://www.urdaibai.org/eu/erasoak/compostaje/Compostaje.pdf>
- 32.** EGMASA, 2010. “Use el compost en agricultura, viveros y paisajismo”. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/73934667/Use-EI-Compost>
- 33.** EHNE. 2002. “Gestión de la Fertilidad - Gestión de materias orgánicas (compostaje)”. Disponible en:
<http://www.ehne.org/pdfs/cdhorticultura/Edukina/02/02.pdf>
- 34.** Enríquez, Amalia. Cruz, Ricardo. Robledo, Lenia. Domínguez, Belkis y Mestre, Ileana. 2010. “Estado de amenaza de la especie *Guettarda undulata* (*Rubiaceae*), en la costa norte de Matanzas. Medidas para su conservación”. Cuba. Disponible en:
<http://www.uh.cu/centros/jbn/descargas/rjbn/xxx/rev14.pdf>

- 35.** Espinoza, Leo. 2011. "Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos". Estados Unidos. Disponible en:
http://www.uaex.edu/Other_Areas/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf
- 36.** Figueroa, Dino. 2004. "Estrategias de recuperación de suelos degradados". Disponible en:
http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh175/36_39.pdf
- 37.** Gasteiz, Victoria. 2011. "Calidad del suelo. Metodología del modelo". Disponible en: <http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/79/34/37934.pdf>
- 38.** González, Rosalía. 2003. "Fertilidad y manejo del suelo: bases para la agricultura orgánica". Cuba. Disponible en:
<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/aup/pdf/organica.pdf>
- 39.** Honorato, Ricardo & Bonomelli, Claudia. 2002. "Suelos degradados y agricultura sustentable". Disponible en:
http://www.uc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/15/informe2.pdf
- 40.** INPYME. 2002. "Costos y Presupuestos". Nicaragua. Disponible en:
http://www.infomipyme.com/Docs/NI/Offline/herramientas/Costo_y_presupuestos.pdf
- 41.** Jaramillo, E. 2010. "Propuesta de un plan de manejo participativo de desechos sólidos orgánicos en el Centro de la Urbe del Cantón Otavalo". Ecuador. Disponible en:
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/137/2/03%20REC%2095%20TESIS.pdf>
- 42.** Legaz, F. Serna, M.D. y Primo, E. 2011. "Sintomatologías de las deficiencias y excesos minerales en los cítricos". Valencia. Disponible en: <http://www.ivia.es/sdta/pdf/revista/citricos/05tema11.pdf>

43. Lessard, Robert. Gignac, Dennis. y Rochette, Philippe. 2010. "El ciclo del carbono: midiendo el flujo del CO₂ del suelo". Canadá. Disponible en: <http://www.greenteacher.com/articles/elciclodelcarbono.pdf>
44. Luna, Blanca & Polo, Adriana. 2009. "Elaboración de un producto turístico comunitario en las comunidades Pucutahua y Llangahua del cantón Ambato, Provincia de Tungurahua". Riobamba – Ecuador. Disponible en:
<http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=10&ved=0CEQQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fdspace.esPOCH.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F523%2F1%2F23T0208%2520LUNA%2520BLANCA%2520P.pdf&rct=j&q=suelos%20degradados%20en%20salasaca%2C%20pelileo&ei=DCAfTuSuDojV0QGZurjPAw&usg=AFQjCNE-LRjHB7uOclFLVcDN6wqdlh4FZA&cad=rja>
45. Mapes, Cristina. Díaz, Araceli. Collazo, Margarita. y Bye, Robert. 1995. "Desarrollo de cinco razas de amaranto (*Amaranthus spp.*) en Chalco, Estado de México. México D.F. Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/91844.pdf>
46. Martínez, Zeidy. 2008. "Algunos aspectos epidemiológicos del moho blanco de la lechuga (*Lactuca sativa*) en dos municipios productores de Cundinamarca". Colombia. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis110.pdf>
47. Matheus, Jesús. 2004. "Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)". Venezuela. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-33612004000300009&script=sci_arttext
48. Meléndez Gloria & Soto, Gabriela. 2003. "Taller de Abonos Orgánicos". Costa Rica. Disponible en: <http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/version%20electronica%20memoria.pdf>

- 49.** Montiel, Georgina. 2009. "Proyecciones Financieras". Disponible en: <http://www.ama.org.mx/pags/XXIVCongreso/GeorginaMontiel-ProyeccionesFinancieras.pdf>
- 50.** Murrell. 2003. "Transformaciones de los nutrientes en el suelo". Canadá. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/428A7BFC6E27E1A8852579A3007796F3/\\$FILE/Transformaciones%20de%20los%20nutrientes%20en%20el%20suelo.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/428A7BFC6E27E1A8852579A3007796F3/$FILE/Transformaciones%20de%20los%20nutrientes%20en%20el%20suelo.pdf)
- 51.** Noni, Georges & Trujillo, Germán. 1986. "La Erosión actual y potencial en Ecuador: localización, manifestaciones y causas". Disponible en: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23659.pdf
- 52.** Ortiz, Francisco. 2010. "Manual de Elaboración de Composta". México. Disponible en: http://www.metrocert.com/files/Manual_de_elaboracion_de_composta.pdf
- 53.** Ousset, Luis. 2002. "Estudio Económico". Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mepi/rivera_e_mc/capitulo4.pdf
- 54.** Reus. 2010. "El Suelo – Propiedades Físicas". Disponible en: <http://www.hortojardi.com/segismundo/SUELOS6x1.pdf>
- 55.** Rolli, Uwe. 2008. "Microorganismos Efectivos – EM en la Agricultura". México. Disponible en: <http://www.emmexico.com/agricultura.pdf>
- 56.** Sainz, Hernán. Echeverría, Hernán. y Angelini, Hernán. 2011. "Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina". Argentina. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/763CD09F960A786D852579830071448F/\\$FILE/6.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/763CD09F960A786D852579830071448F/$FILE/6.pdf)

57. Sanzano, Agustín. 2011. "El potasio del suelo". Disponible en:
<http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/El%20Potasio%20del%20Suelo.pdf>
58. SENPLADES. 2010. "Agenda zonal para el buen vivir – Zona de planificación 3". Disponible en:
http://www.pnud.org.ec/art/frontEnd/images/objetos/agenda_3.pdf
59. Shintani, Masaki. Leblanc, Humberto. y Tabora, Pánfilo. 2000. "BOKASHI (Abono Orgánico Fermentado)". Costa Rica. Disponible en:
<http://www.reboreda.es/Documentos/el%20libro%20del%20bokashi.pdf>
60. Van Voss, Heerma. Aguirre, Nikolay. y Hofstede, Robert. 2001. "Sistemas forestales integrales para la Sierra del Ecuador". Disponible en:
<http://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/12914/Sistemas%20forestales%20integrales.pdf?sequence=1>
61. Varela, Santiago. 2005. "Efecto del compost de biosólidos sobre la recuperación de un bosque quemado de *Nothofagus pumilio* (Lenga)". Argentina. Disponible en:
<http://www.inta.gov.ar/bariloche/info/documentos/forestal/ecologia/tesisvarela.pdf>

ANEXOS

DATOS OBTENIDOS

Tabla B-1. Cantidad empleada de residuos de rosas y estiércol vacuno para la elaboración del compost.

Material	Peso (Kg)
Residuos de rosas	20
Estiércol vacuno	19.25

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-2. Temperaturas obtenidas durante el proceso de compostaje.

Día	Temperatura (°C)
1	42
4	38
7	40
10	42
13	36
16	37
19	41
22	45
25	50
28	48
31	53
34	57
37	62
40	60
43	61
46	58
49	63
52	65
55	57
58	52
61	45
64	41

67	36
70	32
73	28
76	22
79	23
82	20
85	21

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-3. Resultados del análisis químico del compost al final del proceso de compostaje y al final del experimento.

Etapa	pH	%MO	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	%C	C/N
Compost al final del proceso de compostaje	7,3	26,8	1,5	0,50	0,55	0,96	0,18	15,1	10
Compost al final del experimento	7,1	27,8	0,81	1,5	1,7	0,98	0,21	16,1	20

Elaborado por: Laboratorio de Suelos, Facultad de Recursos Naturales,
ESPOCH, 2013

Tabla B-4. Resultados del análisis Físico – Químico del suelo agrícola degradado empleado para la investigación.

Textura	Estructura	pH	%MO	NH4 (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	CaO (Meq/100g)	MgO (Meq/100g)	%N	%C	C/N
Franco Arenoso	Suelta	9,8	1,1	2,5	13,8	442,6	4,5	0,2	0,028	0,68	24

Elaborado por: Laboratorio de Suelos, Facultad de Recursos Naturales, ESPOCH, 2013

Tabla B-5. Resultados del análisis químico al inicio del experimento.

R. Experimentales Tratamientos		pH	%MO	NH4 (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	CaO (Meq/100g)	MgO (Meq/100g)	%N	%C	C/N
		C1	R1	9,8	1,2	2,8	17,6	428,7	5,1	0,26	0,025
R2	9,8		1,3	2,4	17,4	594,4	4,8	0,24	0,022	0,75	34
R3	9,7		1,4	3,7	22,0	481,9	4,8	0,19	0,022	0,81	37
R4	9,8		1,2	2,7	22,1	563,7	4,5	0,21	0,020	0,70	35
C2	R1	9,6	1,6	2,8	27,0	558,1	4,8	0,17	0,034	0,92	27
	R2	9,7	1,5	3,5	27,2	488,3	4,0	0,20	0,033	0,87	26
	R3	9,7	1,4	3,0	31,8	472,6	4,5	0,22	0,036	0,81	23
	R4	9,7	1,2	3,1	31,7	566,8	4,3	0,20	0,034	0,70	21
C3	R1	9,7	1,6	3,0	26,5	494,4	3,8	0,27	0,033	0,92	28
	R2	9,6	1,4	2,8	29,8	500,5	3,5	0,20	0,035	0,81	23

	R3	9,7	1,8	3,4	24,9	490,8	3,5	0,18	0,045	1,04	23
	R4	9,6	1,5	3,1	24,7	493,9	3,7	0,24	0,047	0,83	18
C4	R1	9,6	1,8	2,8	25,4	257,8	4,6	0,31	0,045	1,04	23
	R2	9,6	1,6	3,0	25,0	233,5	4,1	0,27	0,035	0,92	26
	R3	9,5	1,8	3,2	32,6	248,7	3,9	0,27	0,034	1,04	31
	R4	9,6	1,6	3,7	32,8	251,7	4,1	0,25	0,035	0,92	26
C5	R1	9,4	2,0	2,9	29,6	273,9	3,9	0,28	0,056	1,16	21
	R2	9,4	1,8	2,9	29,8	270,8	3,5	0,25	0,052	1,04	20
	R3	9,5	1,6	3,7	39,3	370,1	3,9	0,23	0,050	0,92	18
	R4	9,3	1,4	3,9	39,7	373,1	3,4	0,19	0,048	0,81	17

Elaborado por: Laboratorio de Suelos, Facultad de Recursos Naturales, ESPOCH, 2013

Tabla B-6. Resultados del análisis químico a la mitad del experimento.

R. Experimentales Tratamientos		pH	%MO	NH ₄ (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	CaO (Meq/100g)	MgO (Meq/100g)	%N	%C	C/N
		C1	R1	10,2	1,2	5,5	14,3	303,3	5,2	0,20	0,062
R2	10,0		1,2	4,0	12,1	313,3	4,7	0,21	0,065	0,87	13
R3	10,1		1,3	6,5	15,1	325,8	5,4	0,18	0,090	0,81	9
R4	10,2		1,3	5,2	13,5	312,7	5,2	0,20	0,087	0,87	10
C2	R1	10,1	1,2	3,2	28,8	606,6	3,8	0,20	0,039	0,80	21

	R2	10,0	1,2	3,0	27,6	616,6	4,6	0,21	0,048	0,81	17
	R3	10,0	1,4	4,2	25,0	597,6	3,5	0,22	0,037	0,80	22
	R4	10,0	1,4	4,3	26,0	603,7	4,1	0,23	0,052	0,81	16
C3	R1	10,1	1,4	3,4	32,2	546,1	3,9	0,19	0,084	0,81	10
	R2	10,1	1,4	3,6	32,8	550,9	3,2	0,23	0,056	0,87	16
	R3	10,0	1,5	4,8	34,9	557,7	3,5	0,21	0,076	0,81	11
	R4	10,1	1,3	3,9	35,7	578,4	3,4	0,20	0,062	0,75	12
C4	R1	10,0	1,4	6,5	37,3	910,5	3,8	0,25	0,039	0,81	21
	R2	10,0	1,4	6,9	41,3	728,5	4,0	0,27	0,041	0,75	18
	R3	10,1	1,3	7,2	40,5	870,6	4,1	0,26	0,050	0,81	16
	R4	9,90	1,4	7,0	42,9	687,9	3,9	0,26	0,049	0,81	17
C5	R1	10,0	1,4	4,5	62,4	474,6	3,7	0,20	0,049	0,81	17
	R2	9,90	1,5	5,2	63,4	494,6	3,9	0,22	0,051	0,87	17
	R3	9,80	1,4	4,1	61,4	468,9	3,8	0,23	0,039	0,81	21
	R4	10,0	1,4	4,9	59,7	478,2	3,6	0,21	0,041	0,81	20

Elaborado por: Laboratorio de Suelos, Facultad de Recursos Naturales, ESPOCH, 2013

Tabla B-7. Resultados del análisis químico al final del experimento.

R. Experimentales Tratamientos		pH	%MO	NH4 (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	CaO (Meq/100g)	MgO (Meq/100g)	%N	%C	C/N
		C1	R1	9,6	1,1	2,8	9,6	542,1	5,3	0,30	0,069
R2	9,7		1,2	3,1	10,1	551,3	4,9	0,28	0,071	0,70	10
R3	9,7		1,1	2,9	9,8	550,2	5,0	0,28	0,068	0,63	9
R4	9,7		1,1	2,7	10,0	538,3	4,8	0,29	0,068	0,66	10
C2	R1	9,7	1,0	3,2	17,1	512,6	4,5	0,28	0,071	0,58	8
	R2	9,6	1,4	3,5	18,4	541,2	4,3	0,25	0,070	0,81	12
	R3	9,6	1,1	3,3	16,2	539,2	4,4	0,27	0,070	0,62	9
	R4	9,7	1,2	3,4	17,8	543,6	4,3	0,28	0,067	0,70	10
C3	R1	9,7	1,0	3,4	23,0	578,9	4,6	0,31	0,067	0,58	9
	R2	9,7	1,3	3,6	25,0	546,9	4,6	0,30	0,065	0,75	12
	R3	9,8	1,2	3,5	24,6	558,1	4,7	0,31	0,068	0,61	9
	R4	9,6	1,2	3,4	23,5	563,7	4,6	0,31	0,066	0,71	11
C4	R1	9,6	1,2	3,7	22,0	497,8	4,0	0,29	0,068	0,70	10
	R2	9,5	1,4	4,0	24,3	486,2	3,9	0,31	0,070	0,81	12
	R3	9,5	1,3	3,6	26,1	501,8	4,0	0,30	0,071	0,75	11
	R4	9,5	1,2	3,8	23,7	496,5	4,1	0,31	0,066	0,78	12
C5	R1	9,6	1,2	3,9	27,1	594,3	4,8	0,28	0,070	0,70	10

	R2	9,5	1,3	4,1	28,1	562,1	4,5	0,30	0,069	0,75	11
	R3	9,5	1,4	4,2	27,2	600,6	4,7	0,29	0,073	0,75	10
	R4	9,4	1,3	3,9	28,7	587,2	4,9	0,30	0,071	0,76	11

Elaborado por: Laboratorio de Suelos, Facultad de Recursos Naturales, ESPOCH, 2013

Tabla B-8. Resultados del análisis vegetal al inicio del experimento.

R. Experimentales		Diámetro (cm)	Color (Escala subjetiva)	BSF (g)	BSS (g)	BAF (g)	BAS (g)
Tratamientos							
C1	R1	5,1	2	0,40	0,28	1,56	0,12
	R2	6,1	2	0,57	0,19	1,34	0,20
	R3	5,8	1	0,61	0,21	1,71	0,26
	R4	5,7	1	0,45	0,12	1,94	0,14
C2	R1	4,8	1	0,55	0,19	0,90	0,20
	R2	5,6	1	0,46	0,26	2,00	0,09
	R3	5,9	1	0,59	0,15	1,56	0,24
	R4	5,5	2	0,58	0,24	0,97	0,14
C3	R1	5,9	1	0,69	0,15	0,97	0,10
	R2	5,2	2	0,51	0,24	1,14	0,21
	R3	5,6	1	0,57	0,19	1,69	0,24
	R4	5,8	1	0,45	0,18	1,46	0,19
C4	R1	4,9	1	0,57	0,25	0,92	0,12
	R2	5,3	1	0,65	0,16	0,75	0,10
	R3	5,7	1	0,61	0,25	1,67	0,18
	R4	5,2	1	0,49	0,20	1,40	0,16
C5	R1	5,8	2	0,63	0,18	1,82	0,10
	R2	5,8	1	0,68	0,14	1,08	0,18
	R3	5,1	1	0,54	0,22	1,51	0,16
	R4	5,4	2	0,52	0,18	1,95	0,20

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-9. Resultados del análisis vegetal a la mitad del experimento.

R. Experimentales		Diámetro (cm)	Color (Escala subjetiva)	BSF (g)	BSS (g)	BAF (g)	BAS (g)
Tratamientos							
C1	R1	6,0	3	0,43	0,22	0,83	0,17
	R2	4,8	3	0,73	0,24	1,02	0,16
	R3	7,0	4	0,79	0,25	1,16	0,17
	R4	5,6	4	0,82	0,27	1,65	0,27
C2	R1	6,0	3	0,59	0,18	0,93	0,16
	R2	6,2	3	0,49	0,16	0,84	0,18
	R3	7,6	3	0,38	0,13	0,92	0,20
	R4	5,5	2	0,38	0,13	2,73	0,11
C3	R1	6,0	3	0,80	0,25	1,46	0,23
	R2	7,4	2	0,53	0,16	1,49	0,24
	R3	7,2	2	0,86	0,27	1,40	0,26
	R4	7,7	2	0,76	0,21	1,51	0,21
C4	R1	7,5	1	0,70	0,22	1,79	0,22
	R2	6,0	2	0,77	0,24	3,15	0,51
	R3	7,2	1	0,09	0,20	2,56	0,39
	R4	10,5	2	1,33	0,48	2,49	0,44
C5	R1	7,7	1	2,57	0,77	3,36	0,39
	R2	11,0	1	2,06	0,65	3,61	0,73
	R3	10,0	2	2,47	0,91	2,96	0,44
	R4	9,9	1	1,69	0,49	3,68	0,52

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-10. Resultados del análisis vegetal al final del experimento.

R. Experimentales		Diámetro (cm)	Color (Escala subjetiva)	BSF (g)	BSS (g)	BAF (g)	BAS (g)
Tratamientos							
C1	R1	6,3	3	2,34	1,15	2,66	0,47
	R2	5,2	4	1,27	0,94	1,42	0,92
	R3	7,3	4	1,42	0,91	1,80	0,35
	R4	6,0	4	1,31	0,69	3,23	0,97
C2	R1	6,9	3	0,98	0,37	1,05	0,59
	R2	6,5	3	1,09	0,66	0,85	0,42
	R3	7,8	3	0,88	0,23	1,03	0,64
	R4	6,8	3	1,05	0,54	2,14	0,38
C3	R1	8,0	2	2,25	1,32	5,04	1,44
	R2	7,2	2	1,01	0,43	3,84	0,93
	R3	7,5	2	1,87	0,68	4,22	1,56
	R4	9,0	1	1,84	0,41	6,78	2,60
C4	R1	10,0	1	3,87	1,88	8,47	2,51
	R2	8,0	2	2,42	1,89	6,23	3,06
	R3	8,2	1	2,74	1,19	7,17	2,85
	R4	10,3	1	2,58	1,52	5,00	2,35
C5	R1	11,0	1	2,96	1,66	9,25	2,78
	R2	12,5	1	4,68	2,39	15,35	3,71
	R3	11,2	1	2,99	1,16	9,93	2,86
	R4	10,5	1	3,81	2,37	11,91	2,20

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-11. Promedios del análisis químico al inicio del experimento.

R. Experimentales Tratamientos	pH	%MO	NH4 (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	CaO (Meq/100g)	MgO (Meq/100g)	%N	%C	C/N
C1	9,8	1,28	2,90	19,78	517,18	4,80	0,23	0,022	0,74	33
C2	9,7	1,43	3,10	29,43	521,45	4,40	0,20	0,034	0,83	24
C3	9,7	1,58	3,08	26,48	494,90	3,63	0,22	0,040	0,90	23
C4	9,6	1,70	3,18	28,95	247,93	4,18	0,28	0,037	0,98	26
C5	9,4	1,70	3,35	34,60	321,98	3,68	0,24	0,052	0,98	19

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-12. Promedios del análisis químico a la mitad del experimento.

R. Experimentales Tratamientos	pH	%MO	NH4 (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	CaO (Meq/100g)	MgO (Meq/100g)	%N	%C	C/N
C1	10,1	1,25	5,30	13,75	313,78	5,13	0,20	0,076	0,84	11
C2	10,0	1,30	3,68	26,85	606,13	4,00	0,22	0,044	0,81	17
C3	10,1	1,40	3,93	33,90	558,28	3,50	0,21	0,070	0,81	12
C4	10,0	1,38	6,90	40,50	799,38	3,95	0,26	0,045	0,80	18
C5	9,9	1,43	4,68	61,73	479,08	3,75	0,22	0,045	0,83	18

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-13. Promedios del análisis químico al final del experimento.

R. Experimentales Tratamientos	pH	%MO	NH4 (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	CaO (Meq/100g)	MgO (Meq/100g)	%N	%C	C/N
C1	9,7	1,13	2,88	9,88	545,48	5,00	0,29	0,068	0,65	9
C2	9,7	1,18	3,35	17,38	534,15	4,38	0,27	0,069	0,66	10
C3	9,7	1,18	3,48	24,03	561,90	4,63	0,31	0,067	0,66	10
C4	9,5	1,28	3,78	24,03	495,58	4,00	0,30	0,069	0,77	11
C5	9,5	1,30	4,03	27,78	586,05	4,73	0,29	0,072	0,76	10

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-14. Promedios del análisis vegetal al inicio del experimento.

R. Experimentales Tratamientos	Diámetro (cm)	Color (Escala subjetiva)	BSF (g)	BSS (g)	BAF (g)	BAS (g)
C1	5,68	2	0,51	0,20	1,64	0,18
C2	5,45	1	0,55	0,21	1,36	0,17
C3	5,63	1	0,56	0,19	1,32	0,19
C4	5,28	1	0,58	0,22	1,18	0,14
C5	5,53	2	0,59	0,18	1,59	0,16

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-15. Promedios del análisis vegetal a la mitad del experimento.

R. Experimentales Tratamientos	Diámetro (cm)	Color (Escala subjetiva)	BSF (g)	BSS (g)	BAF (g)	BAS (g)
C1	5,85	4	0,69	0,25	1,17	0,19
C2	6,33	3	0,46	0,15	1,36	0,16
C3	7,08	2	0,74	0,22	1,47	0,23
C4	7,80	2	0,72	0,29	2,50	0,39
C5	9,65	1	2,20	0,70	3,40	0,52

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

Tabla B-16. Promedios del análisis vegetal al final del experimento.

R. Experimentales Tratamientos	Diámetro (cm)	Color (Escala subjetiva)	BSF (g)	BSS (g)	BAF (g)	BAS (g)
C1	6,20	4	1,59	0,92	2,28	0,68
C2	7,00	3	1,00	0,45	1,27	0,51
C3	7,93	2	1,74	0,71	4,97	1,63
C4	9,13	1	2,90	1,62	6,72	2,69
C5	11,30	1	3,61	1,90	11,61	2,89

Elaborado por: Mario Estrella Saltos, 2013

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS QUÍMICO

INICIO DEL EXPERIMENTO

pH

Tabla B-17. Análisis de varianza del pH.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	20	0,86	0,82	0,62

Tabla B-18. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,31	4	0,08	22,36	<0,0001
Tratamientos	0,31	4	0,08	22,36	<0,0001
Error	0,05	15	3,5E-03		
Total	0,37	19			

Tabla B-19. Prueba de Tukey para el pH.

Alfa=0,05 DMS=0,12918

Error: 0,0035 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	9,78	4	0,03	A	
2	9,68	4	0,03	A	B
3	9,65	4	0,03	A	B
4	9,58	4	0,03		B
5	9,40	4	0,03		C

MATERIA ORGÁNICA

Tabla B-20. Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%MO	20	0,55	0,43	11,19

Tabla B-21. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de materia orgánica.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	0,54	4	0,14	4,60	0,0127
Tratamientos	0,54	4	0,14	4,60	0,0127
Error	0,44	15	0,03		
Total	0,99	19			

Tabla B-22. Prueba de Tukey para el porcentaje de materia orgánica.

Alfa=0,05 DMS=0,37503

Error: 0,0295 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
4	1,70	4	0,09	A	
5	1,70	4	0,09	A	
3	1,58	4	0,09	A	B
2	1,43	4	0,09	A	B
1	1,28	4	0,09		B

NITRÓGENO

Tabla B-23. Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NH ₄ (mg/L)	20	0,14	0,00	13,51

Tabla B-24. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del nitrógeno amoniacal.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	0,43	4	0,11	0,60	0,6678
Tratamientos	0,43	4	0,11	0,60	0,6678
Error	2,67	15	0,18		
Total	3,09	19			

FÓSFORO

Tabla B-25. Análisis de varianza del fósforo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P (mg/L)	20	0,69	0,60	13,49

Tabla B-26. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fósforo.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	465,40	4	116,35	8,25	0,0010
Tratamientos	465,40	4	116,35	8,25	0,0010
Error	211,55	15	14,10		
Total	676,95	19			

Tabla B-27. Prueba de Tukey para el fósforo.

Alfa=0,05 DMS=8,20002

Error: 14,1035 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
5	34,60	4	1,88	A
2	29,43	4	1,88	A
4	28,95	4	1,88	A
3	26,48	4	1,88	A B
1	19,78	4	1,88	B

POTASIO

Tabla B-28. Análisis de varianza del potasio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K (mg/L)	20	0,88	0,85	11,37

Tabla B-29. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	258245,81	4	64561,45	28,22	<0,0001
Tratamientos	258245,81	4	64561,45	28,22	<0,0001
Error	34315,25	15	2287,68		
Total	292561,07	19			

Tabla B-30. Prueba de Tukey para el potasio.

Alfa=0,05 DMS=104,43586

Error: 2287,6835 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
2	521,45	4	23,91	A
1	517,18	4	23,91	A
3	494,90	4	23,91	A
5	321,98	4	23,91	B
4	247,93	4	23,91	B

CALCIO

Tabla B-31. Análisis de varianza del óxido de calcio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CaO (Meq/100g)	20	0,79	0,73	6,44

Tabla B-32. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de calcio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	3,94	4	0,99	13,92	0,0001
Tratamientos	3,94	4	0,99	13,92	0,0001
Error	1,06	15	0,07		
Total	5,01	19			

Tabla B-33. Prueba de Tukey para el óxido de calcio.

Alfa=0,05 DMS=0,58113

Error: 0,0708 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	4,80	4	0,13	A	
2	4,40	4	0,13	A	B
4	4,18	4	0,13		B C
5	3,68	4	0,13		C
3	3,63	4	0,13		C

MAGNESIO

Tabla B-34. Análisis de varianza del óxido de magnesio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MgO (Meq/100g)	20	0,46	0,31	13,76

Tabla B-35. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de magnesio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	0,01	4	3,2E-03	3,16	0,0452
Tratamientos	0,01	4	3,2E-03	3,16	0,0452
Error	0,02	15	1,0E-03		
Total	0,03	19			

Tabla B-36. Prueba de Tukey para el óxido de magnesio.

Alfa=0,05 DMS=0,06956

Error: 0,0010 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
4	0,28	4	0,02	A	
5	0,24	4	0,02	A	B
1	0,23	4	0,02	A	B
3	0,22	4	0,02	A	B
2	0,20	4	0,02		B

NITRÓGENO TOTAL

Tabla B-37. Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno total.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%N	20	0,86	0,83	11,69

Tabla B-38. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de nitrógeno total.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	1,8E-03	4	4,4E-04	23,70	<0,0001
Tratamientos	1,8E-03	4	4,4E-04	23,70	<0,0001
Error	2,8E-04	15	1,9E-05		
Total	2,1E-03	19			

Tabla B-39. Prueba de Tukey para el porcentaje de nitrógeno total.

Alfa=0,05 DMS=0,00945

Error: 0,0000 gl: 15

Tratamientos	Medias	n		E.E.
5	0,05	4	2,2E-03	A
3	0,04	4	2,2E-03	B
4	0,04	4	2,2E-03	B
2	0,03	4	2,2E-03	B
1	0,02	4	2,2E-03	C

CARBONO ORGÁNICO

Tabla B-40. Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%C	20	0,53	0,41	11,33

Tabla B-41. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de carbono orgánico.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	0,17	4	0,04	4,31	0,0161
Tratamientos	0,17	4	0,04	4,31	0,0161
Error	0,15	15	0,01		
Total	0,32	19			

Tabla B-42. Prueba de Tukey para el porcentaje de carbono orgánico.

Alfa=0,05 DMS=0,21906

Error: 0,0101 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
5	0,98	4	0,05	A
4	0,98	4	0,05	A
3	0,90	4	0,05	A B
2	0,83	4	0,05	A B
1	0,74	4	0,05	B

CARBONO/NITRÓGENO

Tabla B-43. Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C/N	20	0,71	0,63	13,81

Tabla B-44. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la relación carbono/nitrógeno.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	450,80	4	112,70	9,20	0,0006
Tratamientos	450,80	4	112,70	9,20	0,0006
Error	183,75	15	12,25		
Total	634,55	19			

Tabla B-45. Prueba de Tukey para la relación carbono/nitrógeno.

Alfa=0,05 DMS=7,64222

Error: 12,2500 gl: 15

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
1	33,50	4	1,75	A	
4	26,50	4	1,75	A	B
2	24,25	4	1,75		B
3	23,50	4	1,75		B
5	19,00	4	1,75		B

MITAD DEL EXPERIMENTO

pH

Tabla B-46. Análisis de varianza del pH.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
pH	20	0,51	0,37	0,77

Tabla B-47. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,09	4	0,02	3,83	0,0244
Tratamientos	0,09	4	0,02	3,83	0,0244
Error	0,09	15	0,01		
Total	0,18	19			

Tabla B-48. Prueba de Tukey para el pH.

Alfa=0,05 DMS=0,16913

Error: 0,0060 gl: 15

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
1	10,13	4	0,04	A	
3	10,08	4	0,04	A	B
2	10,03	4	0,04	A	B
4	10,00	4	0,04	A	B
5	9,93	4	0,04		B

MATERIA ORGÁNICA

Tabla B-49. Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
%MO	20	0,50	0,37	5,58

Tabla B-50. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de materia orgánica.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,09	4	0,02	3,75	0,0262
Tratamientos	0,08	4	0,02	3,75	0,0262
Error	0,09	15	0,01		
Total	0,17	19			

Tabla B-51. Prueba de Tukey para el porcentaje de materia orgánica.

Alfa=0,05 DMS=0,16437

Error: 0,0057 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	1,25	4	0,04	A	
2	1,30	4	0,04	A	B
4	1,38	4	0,04	A	B
3	1,40	4	0,04	A	B
5	1,43	4	0,04		B

NITRÓGENO

Tabla B-52. Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NH ₄ (mg/L)	20	0,80	0,75	13,57

Tabla B-53. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del nitrógeno amoniacal.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	26,65	4	6,66	15,09	<0,0001
Tratamientos	26,65	4	6,66	15,09	<0,0001
Error	6,62	15	0,44		
Total	33,27	19			

Tabla B-54. Prueba de Tukey para el nitrógeno amoniacal.

Alfa=0,05 DMS=1,45083

Error: 0,4415 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
4	6,90	4	0,33	A	
1	5,30	4	0,33		B
5	4,68	4	0,33		B C
3	3,93	4	0,33		B C
2	3,68	4	0,33		C

FÓSFORO

Tabla B-55. Análisis de varianza del fósforo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P (mg/L)	20	0,99	0,99	4,95

Tabla B-56. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fósforo.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	5052,30	4	1263,08	413,06	<0,0001
Tratamientos	5052,30	4	1263,08	413,06	<0,0001
Error	45,87	15	3,06		
Total	5098,17	19			

Tabla B-57. Prueba de Tukey para el fósforo.

Alfa=0,05 DMS=3,81820

Error: 3,0578 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
5	61,73	4	0,87	A
4	40,50	4	0,87	B
3	33,90	4	0,87	C
2	26,85	4	0,87	D
1	13,75	4	0,87	E

POTASIO

Tabla B-58. Análisis de varianza del potasio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K (mg/L)	20	0,93	0,92	8,92

Tabla B-59. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	504920,84	4	126230,21	52,18	<0,0001
Tratamientos	504920,84	4	126230,21	52,18	<0,0001
Error	36289,24	15	2419,28		
Total	541210,08	19			

Tabla B-60. Prueba de Tukey para el potasio.

Alfa=0,05 DMS=107,39770

Error: 2419,2825 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
4	799,38	4	24,59	A	
2	606,13	4	24,59	B	
3	558,28	4	24,59	B	C
5	479,08	4	24,59		C
1	313,78	4	24,59		D

CALCIO

Tabla B-61. Análisis de varianza del óxido de calcio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CaO (Meq/100g)	20	0,83	0,78	7,21

Tabla B-62. Prueba de Tukey para el óxido de calcio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	6,24	4	1,56	18,17	<0,0001
Tratamientos	6,24	4	1,56	18,17	<0,0001
Error	1,29	15	0,09		
Total	7,53	19			

Tabla B-63. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de calcio.

Alfa=0,05 DMS=0,63970

Error: 0,0858 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
1	5,13	4	0,15	A
2	4,00	4	0,15	B
4	3,95	4	0,15	B
5	3,75	4	0,15	B
3	3,50	4	0,15	B

MAGNESIO

Tabla B-64. Análisis de varianza del óxido de magnesio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MgO (Meq/100g)	20	0,78	0,73	5,95

Tabla B-65. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de magnesio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,01	4	2,3E-03	13,57	0,0001
Tratamientos	0,01	4	2,3E-03	13,57	0,0001
Error	2,6E-03	15	1,7E-04		
Total	0,01	19			

Tabla B-66. Prueba de Tukey para el óxido de magnesio.

Alfa=0,05 DMS=0,02847

Error: 0,0002 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
4	0,26	4	0,01	A
2	0,22	4	0,01	B
5	0,22	4	0,01	B
3	0,21	4	0,01	B
1	0,20	4	0,01	B

NITRÓGENO TOTAL

Tabla B-67. Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno total.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%N	20	0,81	0,76	13,05

Tabla B-68. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de nitrógeno total.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	3,4E-03	4	8,6E-04	16,27	<0,0001
Tratamientos	3,4E-03	4	8,6E-04	16,27	<0,0001
Error	7,9E-04	15	5,3E-05		
Total	4,2E-03	19			

Tabla B-69. Prueba de Tukey para el porcentaje de nitrógeno total.

Alfa=0,05 DMS=0,01584

Error: 0,0001 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
1	0,07	4	3,6E-03	A
3	0,07	4	3,6E-03	A
2	0,05	4	3,6E-03	B
5	0,05	4	3,6E-03	B
4	0,04	4	3,6E-03	B

CARBONO ORGÁNICO

Tabla B-70. Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%C	20	0,23	0,03	4,04

Tabla B-71. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de carbono orgánico.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	5,0E-03	4	1,3E-03	1,15	0,3712
Tratamientos	5,0E-03	4	1,3E-03	1,15	0,3712
Error	0,02	15	1,1E-03		
Total	0,02	19			

CARBONO/NITRÓGENO

Tabla B-72. Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C/N	20	0,81	0,76	11,53

Tabla B-73. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la relación carbono/nitrógeno.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	212,30	4	53,08	16,41	<0,0001
Tratamientos	212,30	4	53,08	16,41	<0,0001
Error	48,50	15	3,23		
Total	260,80	19			

Tabla B-74. Prueba de Tukey para la relación carbono/nitrógeno.

Alfa=0,05 DMS=3,92624

Error: 3,2333 gl: 15

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
5	18,75	4	0,90	A
4	18,00	4	0,90	A
2	18,00	4	0,90	A
1	11,75	4	0,90	B
3	11,50	4	0,90	B

FINAL DEL EXPERIMENTO

pH

Tabla B-75. Análisis de varianza del pH.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
pH	20	0,67	0,58	0,68

Tabla B-76. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianz a	Probabilida d
Modelo	0,13	4	0,03	7,67	0,0014
Tratamiento s	0,13	4	0,03	7,67	0,0014
Error	0,06	15	4,3E-03		
Total	0,20	19			

Tabla B-77. Prueba de Tukey para el pH.

Alfa=0,05 DMS=0,14374

Error: 0,0043 gl: 15

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
3	9,70	4	0,03	A	
1	9,68	4	0,03	A	
2	9,65	4	0,03	A	B
4	9,53	4	0,03		B C
5	9,50	4	0,03		C

MATERIA ORGÁNICA

Tabla B-78. Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
%MO	20	0,32	0,13	9,30

Tabla B-79. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de materia orgánica.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,09	4	0,02	1,74	0,1943
Tratamientos	0,09	4	0,02	1,74	0,1943
Error	0,19	15	0,01		
Total	0,28	19			

NITRÓGENO

Tabla B-80. Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NH ₄ (mg/L)	20	0,91	0,88	4,17

Tabla B-81. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del nitrógeno amoniacal.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	3,06	4	0,77	35,86	<0,0001
Tratamientos	3,06	4	0,77	35,86	<0,0001
Error	0,32	15	0,02		
Total	3,38	19			

Tabla B-82. Prueba de Tukey para el nitrógeno amoniacal.

Alfa=0,05 DMS=0,31892

Error: 0,0213 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	4,03	4	0,07	A	
4	3,78	4	0,07	A	B
3	3,48	4	0,07		B C
2	3,35	4	0,07		C
1	2,88	4	0,07		D

FÓSFORO

Tabla B-83. Análisis de varianza del fósforo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P (mg/L)	20	0,98	0,98	4,97

Tabla B-84. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fósforo.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	801,47	4	200,37	190,49	<0,0001
Tratamientos	801,47	4	200,37	190,49	<0,0001
Error	15,78	15	1,05		
Total	817,25	19			

Tabla B-85. Prueba de Tukey para el fósforo.

Alfa=0,05 DMS=2,23937

Error: 1,0518 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	27,78	4	0,51	A	
4	24,03	4	0,51		B
3	24,03	4	0,51		B
2	17,38	4	0,51		C
1	9,88	4	0,51		D

POTASIO

Tabla B-86. Análisis de varianza del potasio.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
<u>K (mg/L)</u>	20	0,89	0,86	2,26

Tabla B-87. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	18123,23	4	4530,81	29,98	<0,0001
Tratamientos	18123,23	4	4530,81	29,98	<0,0001
Error	2266,86	15	151,12		
Total	20390,08	19			

Tabla B-88. Prueba de Tukey para el potasio.

Alfa=0,05 DMS=26,84219

Error: 151,1237 gl: 15

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
5	586,05	4	6,15	A	
3	561,90	4	6,15	A	B
1	545,48	4	6,15		B C
2	534,15	4	6,15		C
4	495,58	4	6,15		D

CALCIO

Tabla B-89. Análisis de varianza del óxido de calcio.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
<u>CaO (Meq/100g)</u>	20	0,89	0,86	3,02

Tabla B-90. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de calcio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	2,29	4	0,57	30,36	<0,0001
Tratamientos	2,29	4	0,57	30,36	<0,0001
Error	0,28	15	0,02		
Total	2,57	19			

Tabla B-91. Prueba de Tukey para el óxido de calcio.

Alfa=0,05 DMS=0,29965

Error: 0,0188 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	5,00	4	0,07	A	
5	4,73	4	0,07	A	B
3	4,63	4	0,07		B C
2	4,38	4	0,07		C
4	4,00	4	0,07		D

MAGNESIO

Tabla B-92. Análisis de varianza del óxido de magnesio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MgO (Meq/100g)	20	0,70	0,61	3,42

Tabla B-93. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de magnesio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	3,4E-03	4	8,5E-04	8,55	0,0008
Tratamientos	3,4E-03	4	8,5E-04	8,55	0,0008
Error	1,5E-03	15	1,0E-04		
Total	4,9E-03	19			

Tabla B-94. Prueba de Tukey para el óxido de magnesio.

Alfa=0,05 DMS=0,02183

Error: 0,0001 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
3	0,31	4	0,01	A
4	0,30	4	0,01	A
5	0,29	4	0,01	A
1	0,29	4	0,01	A B
2	0,27	4	0,01	B

NITRÓGENO TOTAL

Tabla B-95. Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno total.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%N	20	0,47	0,33	2,47

Tabla B-96. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de nitrógeno total.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	3,8E-05	4	9,6E-06	3,30	0,0396
Tratamientos	3,8E-05	4	9,6E-06	3,30	0,0396
Error	4,3E-05	15	2,9E-06		
Total	8,2E-05	19			

Tabla B-97. Prueba de Tukey para el porcentaje de nitrógeno total.

Alfa=0,05 DMS=0,00372

Error: 0,0000 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	0,07	4	8,5E-04	A	
2	0,07	4	8,5E-04	A	B
1	0,07	4	8,5E-04	A	B
4	0,07	4	8,5E-04	A	B
3	0,07	4	8,5E-04		B

CARBONO ORGÁNICO

Tabla B-98. Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%C	20	0,37	0,20	9,19

Tabla B-99. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de carbono orgánico.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,04	4	0,01	2,16	0,1238
Tratamientos	0,04	4	0,01	2,16	0,1238
Error	0,06	15	4,1E-03		
Total	0,10	19			

CARBONO/NITRÓGENO

Tabla B-100. Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C/N	20	0,27	0,08	11,34

Tabla B-101. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la relación carbono/nitrógeno.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	7,50	4	1,88	1,39	0,2849
Tratamientos	7,50	4	1,88	1,39	0,2849
Error	20,25	15	1,35		
Total	27,75	19			

**ANÁLISIS
GLOBAL DEL
EXPERIMENTO**

pH

Tabla B-102. Análisis de varianza del pH.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	15	0,96	0,93	0,58

Tabla B-103. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del pH.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	0,65	6	0,11	34,25	<0,0001
Tiempo	0,51	2	0,25	80,21	<0,0001
Tratamientos	0,14	4	0,04	11,26	0,0023
Error	0,03	8	3,2E-03		
Total	0,68	14			

Tabla B-104. Prueba de Tukey para el pH de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=0,10170

Error: 0,0032 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.	
1	10,02	5	0,03	A
0	9,64	5	0,03	B
2	9,62	5	0,03	B

Tabla B-105. Prueba de Tukey para el pH de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,05 DMS=0,15873

Error: 0,0032 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	9,87	3	0,03	A	
3	9,83	3	0,03	A	B
2	9,80	3	0,03	A	B
4	9,70	3	0,03		B C
5	9,60	3	0,03		C

MATERIA ORGÁNICA

Tabla B-106. Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%MO	15	0,91	0,84	5,12

Tabla B-107. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de materia orgánica.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	0,40	6	0,07	13,60	0,0008
Tiempo	0,26	2	0,13	26,90	0,0003
Tratamientos	0,14	4	0,03	6,95	0,0102
Error	0,04	8	4,9E-03		
Total	0,44	14			

Tabla B-108. Prueba de Tukey para el porcentaje de materia orgánica de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=0,12668

Error: 0,009 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.		
0	1,54	5	0,03	A	
1	1,35	5	0,03		B
2	1,21	5	0,03		C

Tabla B-109. Prueba de Tukey para el porcentaje de materia orgánica de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,05 DMS=0,19772

Error: 0,0049 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
5	1,48	3	0,04	A
4	1,45	3	0,04	A
3	1,39	3	0,04	A B
2	1,30	3	0,04	A B
1	1,22	3	0,04	B

NITRÓGENO

Tabla B-110. Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NH4 (mg/L)	15	0,72	0,51	19,58

Tabla B-111. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del nitrógeno amoniacal.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	11,72	6	1,95	3,45	0,0547
Tiempo	8,74	2	4,37	7,72	0,0136
Tratamientos	2,98	4	0,75	1,32	0,3415
Error	4,53	8	0,57		
Total	16,25	14			

Tabla B-112. Prueba de Tukey para el nitrógeno amoniacal de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=1,35939

Error: 0,5658 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.	
1	4,90	5	0,34	A
2	3,50	5	0,34	B
0	3,12	5	0,34	B

FÓSFORO

Tabla B-113. Análisis de varianza del fósforo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P (mg/L)	15	0,80	0,65	26,21

Tabla B-114. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del fósforo.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianz a	Probabilida d
Modelo	1693,25	6	282,21	5,26	0,0176
Tiempo	542,20	2	271,10	5,06	0,0381
Tratamiento s	1151,05	4	287,76	5,37	0,0213
Error	428,93	8	53,62		
Total	2122,18	14			

Tabla B-115. Prueba de Tukey para el fósforo de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=13,23293

Error: 53,6162 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.	
1	35,35	5	3,27	A
0	27,85	5	3,27	A B
2	20,62	5	3,27	B

Tabla B-116. Prueba de Tukey para el fósforo de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,05 DMS=20,65471

Error: 53,6162 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
5	41,37	3	4,23	A
4	31,16	3	4,23	A B
3	28,14	3	4,23	A B
2	24,55	3	4,23	A B
1	14,47	3	4,23	B

POTASIO

Tabla B-117. Análisis de varianza del potasio.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K (mg/L)	15	0,31	0,00	29,06

Tabla B-118. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del potasio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	76745,41	6	12790,90	0,59	0,7300
Tiempo	54123,85	2	27061,93	1,25	0,3361
Tratamientos	22621,55	4	5655,39	0,26	0,8943
Error	172698,68	8	21587,34		
Total	249444,09	14			

CALCIO

Tabla B-119. Análisis de varianza del óxido de calcio.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
CaO (Meq/100g)	15	0,75	0,56	8,17

Tabla B-120. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de calcio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	2,83	6	0,47	3,92	0,0397
Tiempo	0,68	2	0,34	2,81	0,1194
Tratamientos	2,16	4	0,54	4,47	0,0343
Error	0,96	8	0,12		
Total	3,80	14			

Tabla B-121. Prueba de Tukey para el óxido de calcio de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,05 DMS=0,97918

Error: 0,1205 gl: 8

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
1	4,98	3	0,20	A	
2	4,26	3	0,20	A	B
5	4,05	3	0,20	A	B
4	4,04	3	0,20	A	B
3	3,92	3	0,20		B

MAGNESIO

Tabla B-122. Análisis de varianza del óxido de magnesio.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
MgO (Meq/100g)	15	0,89	0,81	6,73

Tabla B-123. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del óxido de magnesio.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,02	6	3,0E-03	10,79	0,0018
Tiempo	0,01	2	0,01	24,88	0,0004
Tratamientos	4,2E-03	4	1,1E-03	3,75	0,0528
Error	2,3E-03	8	2,8E-04		
Total	0,02	14			

Tabla B-124. Prueba de Tukey para el óxido de magnesio de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=0,03033

Error: 0,0003 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.	
2	0,29	5	0,01	A
0	0,23	5	0,01	B
1	0,22	5	0,01	B

Tabla B-125. Prueba de Tukey para el óxido de magnesio de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,05 DMS=0,04734

Error: 0,0003 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
4	0,28	3	0,01	A
5	0,25	3	0,01	A B
3	0,25	3	0,01	A B
1	0,24	3	0,01	A B
2	0,23	3	0,01	B

NITRÓGENO TOTAL

Tabla B-126. Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno total.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
%N	15	0,69	0,46	23,17

Tabla B-127. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de nitrógeno total.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	2,8E-03	6	4,7E-04	2,98	0,0777
Tiempo	2,6E-03	2	1,3E-03	8,27	0,0113
Tratamientos	2,1E-04	4	5,3E-05	0,34	0,8447
Error	1,3E-03	8	1,6E-04		
Total	4,1E-03	14			

Tabla B-128. Prueba de Tukey para el porcentaje de nitrógeno total de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=0,02261

Error: 0,0002 gl: 8

<u>Tiempo</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2	0,07	5	0,01	A
1	0,06	5	0,01	A B
0	0,04	5	0,01	B

CARBONO ORGÁNICO

Tabla B-129. Análisis de varianza del porcentaje de carbono orgánico.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
%C	15	0,81	0,67	7,28

Tabla B-130. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del porcentaje de carbono orgánico.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,12	6	0,02	5,83	0,0131
Tiempo	0,09	2	0,04	13,01	0,0031
Tratamientos	0,03	4	0,01	2,23	0,1552
Error	0,03	8	3,4E-03		
Total	0,15	14			

Tabla B-131. Prueba de Tukey para el porcentaje de carbono orgánico de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=0,10543

Error: 0,0034 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.	
0	0,89	5	0,03	A
1	0,82	5	0,03	A
2	0,70	5	0,03	B

CARBONO/NITRÓGENO

Tabla B-132. Análisis de varianza de la relación carbono/nitrógeno.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C/N	15	0,82	0,69	24,26

Tabla B-133. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la relación carbono/nitrógeno.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	603,07	6	100,51	6,10	0,0114
Tiempo	580,13	2	290,07	17,60	0,0012
Tratamientos	22,93	4	5,73	0,35	0,8386
Error	131,87	8	16,48		
Total	734,93	14			

Tabla B-134. Prueba de Tukey para la relación carbono/nitrógeno de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=7,33720

Error: 16,4833 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.	
0	25,00	5	1,82	A
1	15,20	5	1,82	B
2	10,00	5	1,82	B

**PRUEBA DE
CONTRASTES
DEL ANÁLISIS
QUÍMICO**

Tabla B-135. Coeficientes del contraste*.

<u>Tratamientos</u>	<u>Ct.1</u>
1	1,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
<u>5</u>	<u>-1,00</u>

* Los coeficientes de la tabla B-189 se aplican para todas las respuestas experimentales.

Tabla B-136. Prueba de contrastes para el pH.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	0,27	0,11	1	0,11	33,68	0,0004
Total		0,11	1	0,11	33,68	0,0004

Tabla B-137. Prueba de contrastes para el porcentaje de materia orgánica.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-0,26	0,10	1	0,10	20,11	0,0020
Total		0,10	1	0,10	20,11	0,0020

Tabla B-138. Prueba de contrastes para el nitrógeno amoniacal.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-0,33	0,16	1	0,16	0,28	0,6093
Total		0,16	1	0,16	0,28	0,6093

Tabla B-139. Prueba de contrastes para el fósforo.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-26,90	1085,42	1	1085,42	20,24	0,0020
Total		1085,42	1	1085,42	20,24	0,0020

Tabla B-140. Prueba de contrastes para el potasio.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-3,56	18,97	1	18,97	8,8E-04	0,9771
Total		18,97	1	18,97	8,8E-04	0,9771

Tabla B-141. Prueba de contrastes para el óxido de calcio.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	0,92	1,28	1	1,28	10,61	0,0116
Total		1,28	1	1,28	10,61	0,0116

Tabla B-142. Prueba de contrastes para el óxido de magnesio.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-0,01	1,5E-04	1	1,5E-04	0,53	0,4864
Total		1,5E-04	1	1,5E-04	0,53	0,4864

Tabla B-143. Prueba de contrastes para el porcentaje de nitrógeno total.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	1,0E-03	1,5E-06	1	1,5E-06	0,01	0,9244
Total		1,5E-06	1	1,5E-06	0,01	0,9244

Tabla B-144. Prueba de contrastes para el porcentaje de carbono orgánico.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-0,11	0,02	1	0,02	5,66	0,0446
Total		0,02	1	0,02	5,66	0,0446

Tabla B-145. Prueba de contrastes para la relación carbono/nitrógeno.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	2,00	6,00	1	6,00	0,36	0,5630
Total		6,00	1	6,00	0,36	0,5630

ANÁLISIS VEGETAL

MITAD DEL EXPERIMENTO

DIÁMETRO DEL FOLLAJE

Tabla B-146. Análisis de varianza del diámetro del follaje de la lechuga.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Diámetro (cm)	20	0,60	0,50	17,01

Tabla B-147. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del diámetro del follaje de la lechuga.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	35,47	4	8,87	5,69	0,0054
Tratamientos	35,47	4	8,87	5,69	0,0054
Error	23,40	15	1,56		
Total	58,87	19			

Tabla B-148. Prueba de Tukey para el diámetro del follaje de la lechuga.

Alfa=0,05 DMS=2,72689

Error: 1,5597 gl: 15

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
5	9,65	4	0,62	A	
4	7,80	4	0,62	A	B
3	7,08	4	0,62	A	B
2	6,33	4	0,62		B
1	5,85	4	0,62		B

COLOR DEL FOLLAJE

Tabla B-149. Análisis de varianza del color del follaje.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Color (EA)	20	0,76	0,70	23,66

Tabla B-150. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del color del follaje.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	13,50	4	3,38	11,91	0,0001
Tratamientos	13,50	4	3,38	11,91	0,0001
Error	4,25	15	0,28		
Total	17,75	19			

Tabla B-151. Prueba de Tukey para el color del follaje.

Alfa=0,05 DMS=1,16225

Error: 0,2833 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	3,50	4	0,27	A	
2	2,75	4	0,27	A	B
3	2,25	4	0,27		B C
4	1,50	4	0,27		C
5	1,25	4	0,27		C

BIOMASA SUBTERRÁNEA ESTADO FRESCO

Tabla B-152. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado fresco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BSF (g)	20	0,84	0,80	32,32

Tabla B-153. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado fresco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	7,84	4	1,96	20,26	<0,0001
Tratamientos	7,84	4	1,96	20,26	<0,0001
Error	1,45	15	0,10		
Total	9,29	19			

Tabla B-154. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado fresco.

Alfa=0,05 DMS=0,67899

Error: 0,0967 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
5	2,20	4	0,16	A
3	0,74	4	0,16	B
4	0,72	4	0,16	B
1	0,69	4	0,16	B
2	0,46	4	0,16	B

BIOMASA SUBTERRÁNEA ESTADO SECO

Tabla B-155. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado seco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BSS (g)	20	0,83	0,79	31,84

Tabla B-156. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado seco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,77	4	0,19	18,46	<0,0001
Tratamientos	0,77	4	0,19	18,46	<0,0001
Error	0,16	15	0,01		
Total	0,93	19			

Tabla B-157. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado seco.

Alfa=0,05 DMS=0,22351

Error: 0,0105 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
5	0,71	4	0,05 A
4	0,29	4	0,05 B
1	0,25	4	0,05 B
3	0,22	4	0,05 B
2	0,15	4	0,05 B

BIOMASA AÉREA ESTADO FRESCO

Tabla B-158. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado fresco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BAF (g)	20	0,78	0,72	26,60

Tabla B-159. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado fresco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	14,45	4	3,61	13,06	0,0001
Tratamientos	14,45	4	3,61	13,06	0,0001
Error	4,15	15	0,28		
Total	18,59	19			

Tabla B-160. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado fresco.

Alfa=0,05 DMS=1,14837

Error: 0,2766 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	3,40	4	0,26	A	
4	2,50	4	0,26	A	B
3	1,47	4	0,26	B	C
2	1,36	4	0,26	B	C
1	1,17	4	0,26		C

BIOMASA AÉREA ESTADO SECO

Tabla B-161. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado seco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BAS (g)	20	0,74	0,67	30,68

Tabla B-162. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado seco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	0,36	4	0,09	10,77	0,0003
Tratamientos	0,36	4	0,09	10,77	0,0003
Error	0,13	15	0,01		
Total	0,49	19			

Tabla B-163. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado seco.

Alfa=0,05 DMS=0,20095

Error: 0,0085 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	0,52	4	0,05	A	
4	0,39	4	0,05	A	B
3	0,24	4	0,05	B	C
1	0,19	4	0,05	B	C
2	0,16	4	0,05		C

FINAL DEL EXPERIMENTO

DIÁMETRO DEL FOLLAJE

Tabla B-164. Análisis de varianza del diámetro del follaje de la lechuga.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Diámetro (cm)	20	0,85	0,81	10,54

Tabla B-165. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del diámetro del follaje de la lechuga.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	63,68	4	15,92	20,74	<0,0001
Tratamientos	63,68	4	15,92	20,74	<0,0001
Error	11,52	15	0,77		
Total	75,20	19			

Tabla B-166. Prueba de Tukey para el diámetro del follaje de la lechuga.

Alfa=0,05 DMS=1,91310

Error: 0,7677 gl: 15

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
5	11,30	4	0,44	A
4	9,13	4	0,44	B
3	7,93	4	0,44	B C
2	7,00	4	0,44	C
1	6,20	4	0,44	C

COLOR DEL FOLLAJE

Tabla B-167. Análisis de varianza del color del follaje.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Color (EA)	20	0,91	0,88	18,01

Tabla B-168. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del color del follaje.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	22,30	4	5,58	37,17	<0,0001
Tratamientos	22,30	4	5,58	37,17	<0,0001
Error	2,25	15	0,15		
Total	24,55	19			

Tabla B-169. Prueba de Tukey para el color del follaje.

Alfa=0,05 DMS=0,84566

Error: 0,1500 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
1	3,75	4	0,19	A
2	3,00	4	0,19	A
3	1,75	4	0,19	B
4	1,25	4	0,19	B
5	1,00	4	0,19	B

BIOMASA SUBTERRÁNEA ESTADO FRESCO

Tabla B-170. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado fresco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BSF (g)	20	0,79	0,73	26,39

Tabla B-171. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado fresco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	18,02	4	4,50	13,76	0,0001
Tratamientos	18,02	4	4,50	13,76	0,0001
Error	4,91	15	0,33		
Total	22,92	19			

Tabla B-172. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado fresco.

Alfa=0,05 DMS=1,24905

Error: 0,3272 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	3,61	4	0,29	A	
4	2,90	4	0,29	A	B
3	1,74	4	0,29		B C
1	1,59	4	0,29		C
2	1,00	4	0,29		C

BIOMASA SUBTERRÁNEA ESTADO SECO

Tabla B-173. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado seco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BSS (g)	20	0,74	0,67	33,87

Tabla B-174. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado seco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	6,03	4	1,51	10,48	0,0003
Tratamientos	6,03	4	1,51	10,48	0,0003
Error	2,16	15	0,14		
Total	8,18	19			

Tabla B-175. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado seco.

Alfa=0,05 DMS=0,82784

Error: 0,1437 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	1,90	4	0,19	A	
4	1,62	4	0,19	A	B
1	0,92	4	0,19		B C
3	0,71	4	0,19		C
2	0,45	4	0,19		C

BIOMASA AÉREA ESTADO FRESCO

Tabla B-176. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado fresco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BAF (g)	20	0,88	0,85	29,30

Tabla B-177. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado fresco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	269,23	4	67,31	27,21	<0,0001
Tratamientos	269,23	4	67,31	27,21	<0,0001
Error	37,11	15	2,47		
Total	306,34	19			

Tabla B-178. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado fresco.

Alfa=0,05 DMS=3,43439

Error: 2,4740 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	11,61	4	0,79	A	
4	6,72	4	0,79	B	
3	4,97	4	0,79	B	C
1	2,28	4	0,79	C	D
2	1,27	4	0,79		D

BIOMASA AÉREA ESTADO SECO

Tabla B-179. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado seco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BAS (g)	20	0,86	0,82	27,87

Tabla B-180. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado seco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	19,46	4	4,87	22,20	<0,0001
Tratamientos	19,46	4	4,87	22,20	<0,0001
Error	3,29	15	0,22		
Total	22,75	19			

Tabla B-181. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado seco.

Alfa=0,05 DMS=1,02209

Error: 0,2191 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	2,89	4	0,23	A	
4	2,69	4	0,23	A	
3	1,63	4	0,23		B
1	0,68	4	0,23		B C
2	0,51	4	0,23		C

**ANÁLISIS
GLOBAL DEL
EXPERIMENTO**

DIÁMETRO DEL FOLLAJE

Tabla B-182. Análisis de varianza del diámetro del follaje de la lechuga.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
<u>Diámetro (cm)</u>	15	0,80	0,64	15,18

Tabla B-183. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del diámetro del follaje de la lechuga.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	35,89	6	5,98	5,21	0,0181
Tiempo	20,19	2	10,09	8,80	0,0095
Tratamientos	15,70	4	3,93	3,42	0,0653
Error	9,18	8	1,15		
Total	45,07	14			

Tabla B-184. Prueba de Tukey para el diámetro del follaje de la lechuga de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=1,93583

Error: 1,1474 gl: 8

<u>Tiempo</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2	8,31	5	0,48	A
1	7,34	5	0,48	A B
0	5,51	5	0,48	B

Tabla B-185. Prueba de Tukey para el diámetro del follaje de la lechuga de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,10 DMS=2,01685

Error: 1,1474 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	8,83	3	0,62	A	
4	7,40	3	0,62	A	B
3	6,88	3	0,62	A	B
2	6,26	3	0,62		B
1	5,91	3	0,62		B

COLOR DEL FOLLAJE

Tabla B-186. Análisis de varianza del color del follaje.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Color (EA)	15	0,72	0,50	37,64

Tabla B-187. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) del color del follaje.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	11,47	6	1,91	3,37	0,0580
Tiempo	2,80	2	1,40	2,47	0,1460
Tratamientos	8,67	4	2,17	3,82	0,0504
Error	4,53	8	0,57		
Total	16,00	14			

Tabla B-188. Prueba de Tukey para el color del follaje de la lechuga de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,10 DMS=1,41735

Error: 0,5667 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
1	3,33	3	0,43	A	
2	2,33	3	0,43	A	B
3	1,67	3	0,43		B
4	1,33	3	0,43		B
5	1,33	3	0,43		B

BIOMASA SUBTERRÁNEA ESTADO FRESCO

Tabla B-189. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado fresco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BSF (g)	15	0,81	0,67	46,20

Tabla B-190. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado fresco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	10,90	6	1,82	5,63	0,0145
Tiempo	7,02	2	3,51	10,88	0,0052
Tratamientos	3,89	4	0,97	3,01	0,0863
Error	2,58	8	0,32		
Total	13,48	14			

Tabla B-191. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado fresco de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=1,02643

Error: 0,3226 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.	
2	2,17	5	0,25	A
1	0,96	5	0,25	B
0	0,56	5	0,25	B

Tabla B-192. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado fresco de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,10 DMS=1,06939

Error: 0,3226 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
5	2,13	3	0,33	A
4	1,40	3	0,33	A B
3	1,01	3	0,33	B
1	0,93	3	0,33	B
2	0,67	3	0,33	B

BIOMASA SUBTERRÁNEA ESTADO SECO

Tabla B-193. Análisis de varianza de la biomasa subterránea estado seco.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BSS (g)	15	0,80	0,65	59,49

Tabla B-194. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa subterránea estado seco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianzas	Probabilidad
Modelo	3,35	6	0,56	5,27	0,0175
Tiempo	2,50	2	1,25	11,77	0,0041
Tratamientos	0,86	4	0,21	2,02	0,1842
Error	0,85	8	0,11		
Total	4,20	14			

Tabla B-195. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado seco de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=0,58845

Error: 0,1060 gl: 8

<u>Tiempo</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2	1,12	5	0,15	A
1	0,32	5	0,15	B
0	0,20	5	0,15	B

Tabla B-196. Prueba de Tukey para la biomasa subterránea estado seco de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,10 DMS=0,61308

Error: 0,1060 gl: 8

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
5	0,93	3	0,19	A
4	0,71	3	0,19	A B
1	0,46	3	0,19	A B
3	0,37	3	0,19	A B
2	0,27	3	0,19	B

BIOMASA AÉREA ESTADO FRESCO

Tabla B-197. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado fresco.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
<u>BAF (g)</u>	15	0,68	0,44	73,80

Tabla B-198. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado fresco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	79,50	6	13,25	2,85	0,0865
Tiempo	45,71	2	22,86	4,91	0,0406
Tratamientos	33,79	4	8,45	1,82	0,2191
Error	37,22	8	4,65		
Total	116,72	14			

Tabla B-199. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado fresco de acuerdo al tiempo.

Tukey Alfa=0,05 DMS=3,89818

Error: 4,6527 gl: 8

Tiempo	Medias	n	E.E.		
2	5,37	5	0,96	A	
1	1,98	5	0,96	A	B
0	1,42	5	0,96		B

Tabla B-200. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado fresco de acuerdo a los tratamientos.

Alfa=0,10 DMS=4,06133

Error: 4,6527 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
5	5,53	3	1,25	A	
4	3,47	3	1,25	A	B
3	2,59	3	1,25	A	B
1	1,70	3	1,25	A	B
2	1,33	3	1,25		B

BIOMASA AÉREA ESTADO SECO

Tabla B-201. Análisis de varianza de la biomasa aérea estado seco.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
BAS (g)	15	0,76	0,57	84,42

Tabla B-202. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) de la biomasa aérea estado seco.

Fuente de Varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Modelo	9,05	6	1,51	4,14	0,0344
Tiempo	7,02	2	3,51	9,63	0,0074
Tratamientos	2,03	4	0,51	1,39	0,3189
Error	2,92	8	0,36		
Total	11,97	14			

Tabla B-203. Prueba de Tukey para la biomasa aérea estado seco de acuerdo al tiempo.

Alfa=0,05 DMS=1,09140

Error: 0,3647 gl: 8

<u>Tiempo</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2	1,68	5	0,27	A
1	0,30	5	0,27	B
0	0,17	5	0,27	B

**PRUEBA DE
CONTRASTES
DEL ANÁLISIS
VEGETAL**

Tabla B-204. Coeficientes de los contrastes*.

<u>Tratamientos</u>	<u>Ct.1</u>
1	1,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
<u>5</u>	<u>-1,00</u>

* Los coeficientes de la tabla B-189 se aplican para todas las respuestas experimentales.

Tabla B-205. Prueba de contrastes para el diámetro del follaje de la lechuga.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-2,92	12,76	1	12,76	11,12	0,0103
Total		12,76	1	12,76	11,12	0,0103

Tabla B-206. Prueba de contrastes para el color del follaje.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	2,00	6,00	1	6,00	10,59	0,0116
Total		6,00	1	6,00	10,59	0,0116

Tabla B-207. Prueba de contrastes para la biomasa subterránea estado fresco.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-1,20	2,17	1	2,17	6,73	0,0319
Total		2,17	1	2,17	6,73	0,0319

Tabla B-208. Prueba de contrastes para la biomasa subterránea estado seco.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-0,47	0,33	1	0,33	3,13	0,1151
Total		0,33	1	0,33	3,13	0,1151

Tabla B-209. Prueba de contrastes para la biomasa aérea estado fresco.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-3,84	22,08	1	22,08	4,75	0,0501
Total		22,08	1	22,08	4,75	0,0501

Tabla B-210. Prueba de contrastes para la biomasa aérea estado seco.

Tratamientos	Contraste	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón de varianza	Probabilidad
Contraste1	-0,84	1,06	1	1,06	2,90	0,1269
Total		1,06	1	1,06	2,90	0,1269

ESTUDIO ECONÓMICO

Tabla B-211. Costos de Balances y Depreciaciones.

Ítem	Costo total anual (\$)	Depreciación (\$)
Balance de insumos	1000	-
Balance de maquinaria	700	70
Balance de muebles y enseres	150	15
Servicios básicos	250	-
Balance de personal o mano de obra	6000	-
Horas de trabajo para elaboración del compost	1500	-

Tabla B-212. Costos Fijos, Costos variables y Punto de equilibrio

COSTOS FIJOS	Sueldos	1500
	Depreciación	85
	Total	1585
	Costo fijo unitario	3.17
COSTOS VARIABLES	Servicios Básicos	250
	Insumos	1000
	Total	1250
	Costo variable unitario	2.5
	Costo total unitario	5.67
MÉTODO ARITMÉTICO	Punto de Equilibrio	500
	Ingresos	2835
	Costo Total	2835

Tabla B-213. Precios de abonos comerciales

PRODUCTO	CANTIDAD COMERCIAL (qq)	PRECIO (\$)
Humus de Lombriz ¹	1	6.65
Ecoabonaza ¹	1	4.45
12 – 12 – 36 – 2 ²	1	56.35
18 – 46 – 0 ²	1	45.80
Humita 40 ²	1	112.72
Abono Azul ²	1	59.50

Fuente: ¹Bioproducción

²El Huerto

Tabla B-214. Cuadro de Ingresos

AÑO	CANTIDAD (qq)	PRECIO/U (\$)	TOTAL (\$)
2012	500	5.67	2835.00
2013	500	5.91	2952.94
2014	500	6.15	3075.78
2015	500	6.41	3203.73
2016	500	6.67	3337.01
2017	500	6.95	3475.83

Para determinar las proyecciones se tomó en cuenta la inflación anual de diciembre del 2012 que según el Banco Central del Ecuador es de 4.16%.

FOTOGRAFÍAS



Figura D-1. Preparación del montón



Figura D-2. Volteo del montón.



Figura D-3. Registro de la temperatura del montón.



Figura D-4. Etapa final del compost.



Figura D-5. Tamizado del compost.



Figura D-6. Compost obtenido a partir de residuos de rosas.



Figura D-7. Suelo Degradado, Sector Jesús del Gran Poder del cantón Cevallos.



Figura D-8. Muestreo del Suelo Degradado.



Figura D-9. Pesado del compost a diferentes dosis.



Figura D-10. Cultivo de lechuga como especie vegetal indicadora.



S.D.: Suelo Degradado
C: Compost

Figura D-11. Lechugas sembradas con diferentes dosis de compost, al final del experimento.

