

**Elaboración de biocompostaje y su influencia en cultivos de *Lactuca sativa* L (LECHUGA),  
*Beta vulgaris* variedad *cicla* (ACELGA) y *Apium graveolens* var. *Dulce* (APIO ESPAÑA)**

**Diana Mayery Albarracín Sánchez**

**Universidad de Pamplona**

**Maestría en Biología Molecular y Biotecnología**

**Pamplona**

**2019**

**Elaboración de biocompostaje y su influencia en cultivos de *Lactuca sativa L* (LECHUGA),  
*Beta vulgaris* variedad *cicla* (ACELGA) y *Apium graveolens* var. *Dulce* (APIO ESPAÑA)**

**Diana Mayery Albarracín Sánchez**

**Directora de Trabajo de Grado**

**Ph.D Alba Lucía Roa Parra**

**Asesor**

**Esp. Fredy Solano Ortega**

**Proyecto de grado para optar el título en Maestría en Biología Molecular y Biotecnología**

**Línea de Investigación: Biotecnología**

**Grupo de Investigación: Recursos Naturales**

**Fuente de Financiación: Universidad de Pamplona. Sistema de Gestión Ambiental**

**Universidad de Pamplona**

**Maestría en Biología Molecular y Biotecnología**

**Pamplona**

**2019**

### **Agradecimientos**

*A la Universidad de Pamplona por haberme dado la oportunidad de estudiar este posgrado, a las compañeras del laboratorio de Control de Calidad, al laboratorio GINTAL de la Universidad por su colaboración para lograr la realización de este proyecto.*

*A todos los profesores y amigos que estuvieron pendientes de mi trabajo, muchas gracias.*

### **Dedicatoria**

*Dedico este libro a mi hijo Jerónimo quien me motivó a sacar este trabajo adelante, a Fredy, quien me apoyó en todo momento, a mi mamá quien siempre me acompaña y quien se sacrificó para darme una educación y a mis seres queridos que ya no están y que siempre creyeron que podía alcanzar esta meta, a mis profesoras especialmente a*

*Alba Lucía y Gladys, quienes se empeñaron en lograr que sus enseñanzas hicieran mella en mí y por dedicar mucho tiempo a que este trabajo culminara, a mis amigos, quienes siempre me alentaron a la realización de este proyecto, y en general a todos los que de alguna manera me ayudaron a lo largo de estos años, para que pudiera concretar esta obra.*

## Contenido

	<b>Págs.</b>
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Capítulo I .....	3
1. Título.....	3
1.1 Introducción .....	3
1.2 Justificación .....	5
1.3 Pregunta de investigación y formulación del problema.....	8
1.4 Objetivos .....	8
1.4.1 Objetivo general.....	9
1.4.2    Objetivos específicos. ....	9
Capítulo II.....	10
2. Marco referencial .....	10
2.1 Antecedentes .....	10
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	10
2.1.2 Antecedentes nacionales. ....	15
2.2 Marco teórico .....	20
2.2.1 Residuos sólidos orgánicos (RSO).....	20
2.2.1.1 Clasificación de los residuos sólidos orgánicos.....	21
2.2.1.1.2 Según su naturaleza y/o características físicas.....	22
2.2.1.2 Caracterización de los residuos sólidos orgánicos.....	23
2.2.1.2.1 Caracterización físico-química de los residuos sólidos orgánicos.....	23
2.2.1.3 Caracterización microbiológica de los residuos orgánicos. ....	23
2.2.1.4 Tratamiento de residuos sólidos orgánicos. ....	25
2.2.1.4.1 Procesos físicos.....	25
2.2.1.4.2 Procesos químicos.....	26
2.2.1.4.3 Procesos biológicos.....	26

2.2.1.4.4 Procesos térmicos.....	26
2.2.1.5 Recuperación de materiales para reúso o reciclaje. ....	26
2.2.1.6 Recuperación de energía. ....	27
2.2.2 Biocompost. ....	27
2.2.1 Cultivos Orgánicos.....	34
2.2.2 Descripción general de las hortalizas objeto del proyecto. ....	35
2.2.2.1 Cultivo de lechuga. ....	35
2.2.2.2 Morfología. ....	36
2.2.2.3 Requerimientos edafoclimáticos.....	38
2.2.2.4 Valor nutricional y medicinal. ....	39
2.2.2.5 Plagas y enfermedades y su manejo orgánico.....	40
2.2.2.6 Control biológico. ....	46
2.2.2.7 Producción. ....	47
2.2.3 Cultivo de acelga.....	47
2.2.3.1 Morfología. ....	48
2.2.3.2 Requerimientos edafoclimáticos.....	49
2.2.3.3 Valor nutricional y medicinal. ....	50
2.2.3.4 Enfermedades y manejo orgánico.....	50
2.2.3.5 Producción. ....	54
2.2.4 Cultivo de apio española. ....	54
2.2.4.1 Requerimientos edafoclimáticos.....	55
2.2.4.2 Control biológico. ....	56
2.2.4.3 Producción. ....	56
2.2.4.4 Plagas y enfermedades.....	56
2.3 Fundamentación legal.....	58
2.3.1 Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos. ....	58
2.3.2 Política para la Gestión Integral de los Residuos. 1998.....	59
2.3.3 R. 1045 de 2003. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. ....	59
2.3.4 Ley 187 2006 – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.....	60
2.3.5 Ley 9 del 24 de Enero de 1979. ....	60
2.3.6 Ley 99 del 22 de Diciembre de 1993. ....	60

2.3.7 Decreto 2811 de 1974.....	61
2.3.8 Decreto 1713 del 6 de Agosto de 2002.....	61
2.3.9. Resolución 00150 de Enero 21 de 2003. ....	61
2.3.10 Norma técnica Colombiana NTC 40.....	61
2.3.11 Norma técnica Colombiana NTC 1927.....	61
2.3.12 Norma técnica Colombiana NTC 5167 y resolución 00150 de 2003. ....	62
Capítulo III.....	63
3. Diseño metodológico .....	63
3.1 Nivel de la investigación.....	63
3.2 Variables de estudio .....	63
3.2.1 Del compost. ....	63
3.2.2 De las plantas. ....	64
3.3 Diseño de la investigación .....	64
3.3.1 Fase I.....	65
3.3.1.1 Descripción del sitio. ....	65
3.3.1.2 Obtención del compost. ....	66
3.3.1.3 Seguimiento del proceso.....	66
3.3.1.4 Análisis físicos químicos. ....	67
3.3.1.4.1 Temperatura. ....	68
3.3.1.4.2 Humedad.....	68
3.3.1.4.3 pH.....	69
3.3.1.4.4. Conductividad.....	70
3.3.1.4.5 Cuantificación de la capacidad de retención de agua, pH y conductividad eléctrica en un producto orgánico.....	71
3.3.1.4.6 Carbono orgánico.....	72
3.3.1.4.7 Nitrógeno. ....	73
3.3.1.4.8 Fósforo. ....	75
3.3.1.4.9 Capacidad de Intercambio Catiónico.....	76
3.3.1.4.10 Calcio, Magnesio y Potasio.....	77
3.3.1.4.11 Hierro, Zinc, Cobre, Manganeso, Calcio, Magnesio y Potasio.....	77

3.3.1.5 Determinación microbiológica.....	79
3.3.1.5.1 Bacterias Coliformes Totales.....	79
3.3.1.5.2 Bacterias Coliformes Fecales.....	80
3.3.1.5.3 Bacterias Termófilas.....	80
3.3.1.5.4 Mohos y Levaduras.....	81
3.3.1.5.5 Bacterias Celulolíticas.....	81
3.3.1.5.6 Bacterias Amonificantes.....	82
3.3.1.5.7 Bacterias degradadoras de Urea.....	83
3.3.1.5.8 Bacterias Amilolíticas.....	84
3.3.2 Fase II.....	84
3.3.2.1 Uso y aplicación del compostaje.....	84
3.3.2.2 Siembra y control de los cultivos.....	85
3.3.3 Fase III.....	86
3.3.3.1 Análisis Estadístico de la Obtención del compost.....	86
Capitulo IV.....	87
4. Resultados y discusión.....	87
4.1 Determinación de las características físico-químicas y microbiológicas durante la elaboración del bioabono por compostaje aerotérmico.....	87
4.1.1 Temperatura y humedad.....	87
4.1.2 pH y CE.....	90
4.1.3 Carbono orgánico y C/N.....	91
4.1.4 Análisis de componentes principales.....	92
4.1.5 Contenido de macro y micronutrimetos en el compost.....	93
4.1.6 Evaluación microbiológica.....	95
4.1.7 Coliformes Totales.....	96
4.1.8 Bacterias termófilas.....	98
4.1.9 Mohos y levaduras.....	100
4.1.10 Bacterias celulolíticas.....	101
4.1.11 Bacterias amonificantes.....	104
4.1.12 Bacterias degradadoras de la urea.....	107

4.1.13 Bacterias amilolíticas .....	109
4.2 Comparación de las características físico-químicas microbiológicas del bioabono producido con la normatividad vigente.....	110
4.3 Determinación de la productividad de los cultivos (crecimiento y desarrollo de las plantas, producción por planta y producción total por tratamiento) utilizando diferentes proporciones del bioabono.....	112
4.3.1 Respuesta de las plantas de Acelga, Apio y Lechuga a dosis de compost medida como peso seco total. ....	112
4.3.2 Respuesta de las plantas de Acelga y Lechuga a dosis de compost medida como número de hojas. ....	115
4.4 Modelo de ajuste para respuesta a dosis de compost por parte de las plantas de Acelga. Análisis de regresión no lineal. ....	117
4.5 Absorción de nutrientes por parte de plantas de Acelga, Apio y Lechuga como efecto de dosis de compost.....	120
4.5.1 Análisis de componentes principales para los contenidos foliares de las plantas de lechuga y acelga.....	120
4.5.1.1 Lechuga.....	120
4.5.1.2 Acelga. Análisis de componentes principales (ACP) para los contenidos foliares de las plantas de Acelga.....	123
4.5.1.3 ANAVA para contenido de nutrimentos en el tejido foliar.....	125
Conclusiones .....	128
Recomendaciones .....	130
Referentes bibliográficos .....	131
Apéndices.....	147

## Listado de tablas

	<b>Págs.</b>
Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Lacuta sativa</i> L. ....	36
Tabla 2. Clasificación taxonómica de <i>Beta vulgaris</i> variedad cicla .....	48
Tabla 3. Clasificación taxonómica del <i>Apium graveolens</i> .....	55
Tabla 4. Análisis fisicoquímicos del proceso de compostaje .....	67
Tabla 5. Determinaciones microbiológicas semanales .....	79
Tabla 6. Valores correspondientes a los promedios de las temperaturas registradas en las pilas durante 7 semanas. Cada valor corresponde al promedio de tres réplicas .....	97
Tabla 7. Resumen de resultados de análisis físicos, químicos y biológicos para el compost evaluado .....	112
Tabla 8. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis peso total acumulado por los cultivos evaluados como efecto de las dosis de compost utilizada. ....	113
Tabla 9. Resultado del análisis de las pruebas de Kruskal Wallis a posteriori .....	114
Tabla 10. Resultado del análisis de Kruskal Wallis para N° de hojas de la Acelga como efecto de las dosis de compost en el sustrato .....	116
Tabla 11. Resultados del análisis de Kruskal Wallis para N° de hojas de la Acelga como efecto de las dosis de compost en el sustrato.....	117
Tabla 12. Indicadores AIC y BIC .....	119
Tabla 13. Matriz de correlación de las estimaciones .....	119
Tabla 14. Cuadro con resultado (p-valor) de los análisis para los coeficientes estimados del modelo.....	119
Tabla 15. Matriz de correlaciones para macronutrientes, peso total y peso comercial .....	122
Tabla 16. Correlaciones de los componentes con las variables originales .....	123
Tabla 17. Autovalores para el ACP de las variables foliares para el cultivo de Acelga.....	124
Tabla 18. Shapiro-Wilks (modificado) .....	125
Tabla 19. Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks) .....	125

## Listado de figuras

	<b>Págs.</b>
Figura 1. Fase termófila .....	30
Figura 2. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje .....	31
Figura 3. Diseño de investigación.....	65
Figura 4. Valores de temperatura registrados durante el proceso de compostaje de residuos de poda. Los valores provienen del promedio de tres réplicas y las barras corresponden a la desviación estándar .....	88
Figura 5. Comportamiento de las Bacterias coliformes totales y Fecales en función de la temperatura .....	89
Figura 6. pH y CE registrados durante el proceso de compostaje de residuos de poda. Los valores provienen del promedio de tres réplicas y las barras corresponden a la desviación estándar .....	91
Figura 7. Valores de CO durante el proceso de compostaje de residuos de poda .....	92
Figura 8. Biplot del Análisis de Componentes Principales para el conteo de bacterias en el compost de poda como efecto de la evolución de la temperatura durante 15 semanas .....	93
Figura 9. Contenido de macro nutrientes en el compost. Se muestran los puntos en el gráfico y los valores en la tabla. Cada valor proviene del promedio de tres repeticiones. Las barras corresponden a la desviación estándar .....	94
Figura 10. Contenido de micro nutrientes en el compost. Se muestran los puntos en el gráfico y los valores en la tabla. Cada valor proviene del promedio de tres repeticiones. Las barras corresponden a la desviación estándar .....	95
Figura 11. Conteo de bacterias Coliformes Totales en compost de residuos de poda medido durante 17 semanas. Los valores provienen del promedio de tres réplicas siendo las barras la desviación estándar .....	96
Figura 12. Conteo de bacterias Coliformes Fecales en compost medido durante 17 semanas. Los valores provienen del promedio de tres réplicas siendo las barras la desviación estándar .....	98
Figura 13. Resultado del conteo de bacterias termófilas (UFC/g) en pilas durante el compostaje. Los puntos son producto del promedio de tres repeticiones y las barras representan la desviación estándar .....	99
Figura 14. Elaboración de compostaje aerotérmico.....	101

Figura 15. Resultado del conteo de bacterias celulolíticas (UFC/g) en pilas durante el compostaje. Los puntos son producto del promedio de tres repeticiones y las barras representan las desviaciones estándar .....	102
Figura 16. Conteo en placa de poblaciones de bacterias celulolíticas en compost (UFC / g). Cada punto proviene del promedio de tres repeticiones y las barras se corresponden con las desviaciones estándar.....	104
Figura 17. Resultado del conteo en placa de poblaciones bacterianas amonificantes en las pilas de compost. Cada punto provienen del promedio de tres repeticiones y las barras corresponden con las desviaciones estándar.....	105
Figura 18. Resultado del conteo en placa de poblaciones bacterianas amonificantes durante 17 semanas presentes en las pilas de compost incubadas a 37°C. Cada punto provienen del promedio de tres repeticiones y las barras corresponden con las desviaciones estándar.....	106
Figura 19. Evolución de las poblaciones de bacterias degradadoras de urea en las pilas de compost evaluadas. Los puntos provienen del promedio de tres réplicas y las barras constituyen la medida de la desviación estándar.....	107
Figura 20. Conteo en placa a lo largo de 17 semanas de poblaciones bacterianas presentes en las pilas de compostaje. Los puntos o marcadores provienen del promedio de tres réplicas y las barras se corresponden con la desviación estándar.....	108
Figura 21. Conteo a lo largo de 17 semanas de poblaciones de bacterianas Amilolíticas presentes en las pilas de compostaje. Los puntos o marcadores provienen del promedio de tres réplicas y las barras se corresponden con la desviación estándar .....	109
Figura 22. Conteo en placa con frecuencia semanal y durante 17 semanas de poblaciones bacterianas amilolíticas a 37°C presentes en las pilas de compostaje. Los puntos o marcadores provienen del promedio de tres réplicas y las barras se corresponden con la desviación .....	110
Figura 23. Resultado gráfico de las pruebas de Kruskal Wallis a posteriori en la que se presentan los contrastes de las medianas de los rangos de peso total como efecto de los tratamientos con las diferentes de dosis de compost .....	115
Figura 24. Medianas resultantes del análisis de Kruskal Wallis para el N° de hojas de la acelga y la lechuga como efecto de diferentes dosis de compost (0, 30, 50, 70 y 100%). Letras diferentes indican diferencias entre las medianas a $p>0.05$ .....	116

Figura 25. Peso total de la acelga (g/planta) como efecto de la dosis de compost empleada en la preparación del sustrato de cultivo (%) Valores predichos .....	118
Figura 26. Biplot del ACP para los contenidos de macronutrientes en el tejido foliar de plantas de lechuga como respuesta a las dos de compost. Se indica la repetición (puntos fucsia) correspondiente a la dosis. Los pares de valores; 1-2-3:q/ 1-2-3:30; 1-2-3.....	121
Figura 27. Distribución de variables y dosis estudiadas según Análisis de Componentes Principales 1 y 2 para el contenido de nutrientes en el tejido foliar (g kg). En los pares se indica la repetición correspondiente de cada Dosis. Los pares de valores; 1-2-3:30 .....	124
Figura 28. Acumulación de macronutrientes en el tejido foliar de plantas de acelga como efecto de la dosis de compost: 100-70-50-30% en contraste con el control químico (q).....	126
Figura 29. Acumulación de macronutrientes en el tejido foliar de plantas de lechuga como efecto de la dosis de compost: 100-70-50-30% en contraste con el control químico (q) .....	127

**Listado de apéndices****Págs.**

Apéndice A. Matriz de coeficientes de correlación del Análisis de componentes principales (ACP) para el conteo de bacterias en el compost durante 15 semanas de evolución .....	148
Apéndice B. Autovalores para los componentes del ACP.....	149
Apéndice C. Autovectores del Análisis de Componentes principales.....	150
Apéndice D. Tabla de valores de correlaciones con las variables originales .....	150
Apéndice E. QQ Plot para el modelo de peso total de la Acelga como efecto de dosis de compost .....	151

## Resumen

La investigación se enfoca en la producción de abono por compostaje aerotérmico en pila, utilizando como sustratos residuos de poda generados en la Universidad de Pamplona. Durante tres meses se monitorearon características de pH, temperatura, humedad, nutrientes (Nitrógeno, Fosforo, Potasio) y poblaciones microbianas (bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales, bacterias termófilas, mohos y levaduras). La calidad del abono producido se evaluó bajo la Norma Técnica Colombiana 5167.

Para observar la variación por pila y en el tiempo, se aplicó la prueba de Friedman, ( $\alpha=5\%$ ) no mostrando diferencias significativas en las variables dependientes por pila, mientras que por el factor tiempo sí. El Coeficiente de Spearman ( $\rho$ ) mostró correlación significativa entre grupos microbianos como Bacterias Coliformes Totales (BCT), Bacterias Coliformes Fecales (BCF), Bacterias Amilolíticas (BA) y Bacterias Celulolíticas (BC). Igualmente se hizo para las variables físico-químicas mostrando correlaciones como: pH y P, Conductividad y Humedad. El abono producido mostró el cumplimiento de los parámetros microbiológicos, demostrando la eficiencia del proceso aerotérmico. Posteriormente se evaluó el abono en distintas proporciones: arena (100:0, 70:30, 50:50 y 30:70) con cultivos de lechuga, apio España y acelga, para determinar la influencia sobre el crecimiento de las plantas, producción por planta y producción total por tratamiento. Las diferencias entre tratamientos, se determinaron mediante análisis no paramétrico de Kruskal Wallis. Las respuestas fueron lechuga con 70:30; para la acelga 50:50; apio 30:70. El ajuste de un modelo de regresión no lineal permitió obtener la Dosis Optima Económica (DOE) que para el caso de la acelga se ubicó en un  $40,15\% \pm$  un error estándar =  $6,49\%$ . Se encontró que el tratamiento orgánico supera a la fertilización química (0q), en cuanto al número de hojas, solo en el caso de la lechuga y con las dos dosis mayores (50% y 100%).

Palabras clave: compost aerotérmico, agricultura orgánica.

## Abstract

The research focuses on the production of compost by aerothermal pile composting, using pruning waste generated as substrates at the University of Pamplona. For three months, characteristics of pH, temperature, humidity, nutrients (Nitrogen, Phosphorus, Potassium) and microbial populations (total coliform bacteria, fecal coliform bacteria, thermophilic bacteria, molds and yeasts) were monitored. The quality of the produced fertilizer was evaluated under Colombian Technical Standard 5167.

To observe the variation by pile and in time, the Friedman test was applied ( $\alpha = 5\%$ ), showing no significant differences in the dependent variables per stack, while the time factor did. The Spearman Coefficient ( $\rho$ ) showed significant correlation between microbial groups such as Total Coliform Bacteria (BCT), Fecal Coliform Bacteria (BCF), Amilolytic Bacteria (BA) and Cellulolytic Bacteria (BC). It was also done for the physicochemical variables showing correlations such as: pH and P, Conductivity and Humidity. The fertilizer produced showed compliance with the microbiological parameters, demonstrating the efficiency of the aerothermal process. Subsequently, the fertilizer was evaluated in different proportions: sand (100:0, 70:30, 50:50 and 30:70) with lettuce, celery Spain and chard, to determine the influence on plant growth, production per plant and total production per treatment. The differences between treatments were determined by nonparametric analysis of Kruskal Wallis. The answers were lettuce with 70:30; for chard 50:50; celery 30:70. The adjustment of a non-linear regression model allowed us to obtain the Optimal Economic Dose (DOE), which for the chard case stood at  $40.15\% \pm$  a standard error = 6.49%. It was found that the organic treatment exceeds the chemical fertilization (0q), in terms of the number of leaves, only in the case of lettuce and with the two highest doses (50% and 100%).

**Keywords:** aerothermic compost, organic agriculture.

## Capítulo I

### 1. Título

**Elaboración de biocompostaje y su influencia en cultivos de *Lactuca sativa* L (LECHUGA), *Beta vulgaris* variedad *cicla* (ACELGA) y *Apium graveolens* var. *Dulce* (APIO ESPAÑA).**

#### 1.1 Introducción

La urbanización, industrialización y modificación del consumo de las sociedades han sobreexplotado los recursos naturales y el aumento de la producción de residuos, especialmente aquellos que no se reutilizan o se eliminan naturalmente (Patiño, 2008) citado por (Blanco, 2016). Esto ha representado un grave problema, debido a los altos volúmenes de residuos sólidos generados por los ciudadanos, pues cuando el manejo de éstos no es el adecuado, puede ocasionar problemas sanitarios que afectan la salud de los pobladores, de los recursos naturales (Suelo, Agua, Flora, Fauna) y su ambiente.

En la actualidad, el consumo de materiales de los recursos naturales está aumentando, particularmente en Asia oriental. Asimismo, los países continúan abordando los desafíos relacionados con la contaminación del aire, el agua y el suelo. El objetivo del consumo y la producción sostenibles es hacer más y mejores cosas con menos recursos. Se trata de crear ganancias netas de las actividades económicas mediante la reducción de la utilización de los recursos, la degradación y la contaminación, logrando al mismo tiempo una mejor calidad de vida. Se necesita, además, adoptar un enfoque sistémico y lograr la cooperación entre los participantes de la cadena de suministro, desde el productor hasta el consumidor final. Consiste

en sensibilizar a los consumidores mediante la educación sobre los modos de vida sostenibles, facilitándoles información adecuada a través del etiquetaje y las normas de uso, entre otros (Desarrollo sostenible, 2015).

El consumo y la producción sostenible consisten en fomentar el uso eficiente de los recursos y la energía, la construcción de infraestructuras que no dañen el medio ambiente, la mejora del acceso a los servicios básicos y la creación de empleos ecológicos, justamente remunerados y con buenas condiciones laborales. Todo ello se traduce en una mejor calidad de vida para todos y, además, ayuda a lograr planes generales de desarrollo, que rebajen costos económicos, ambientales y sociales, que aumenten la competitividad y que reduzcan la pobreza.

Una estrategia biotecnológica de reutilización de los residuos orgánicos la constituye el compostaje, que raramente se realiza formalmente. Las plantas de compostaje a menudo no tienen éxito debido a la contaminación y los costos de operación (poca separación de residuos); algunos proyectos de compostaje a pequeña escala a nivel de comunidad / vecindario son más sostenibles. El compostaje es elegible para proyectos, pero no está muy extendido por el aumento del uso de la digestión anaerobia, haciéndose más popular tanto en el patio trasero como en las instalaciones a gran escala. El flujo de desechos tiene una porción más pequeña de materiales compostables en los países de ingresos bajos y medios. Más segregación de la fuente hace que el compostaje sea más fácil.

En la Universidad de Pamplona se producen cerca de 2.000 kilos de residuos sólidos no peligrosos mensuales, de ellos 1.000 kilos son orgánicos, los cuales están siendo manejados de forma inadecuada y son arrojados a la basura como un desecho más, generando de esta manera un fuerte impacto en el ambiente, debido al gran volumen que ellos representan; lo anterior

ofrece una gran oportunidad para el aprovechamiento en labores agrícolas con beneficios tanto en el ámbito de la producción como de la rentabilidad de sus cultivos.

Según (Acosta & Peralta, 2015), el compostaje es una alternativa agroecológica que permite la degradación de materia orgánica a través de grupos funcionales de microorganismos particularmente bacterias y mohos, e incentiva el uso de los mismos al reducir dosis de fertilizantes químicos. En cuanto (Cajamarca, 2012) menciona que con el uso de abono orgánico se aumenta la capacidad que posee el suelo de absorber los distintos elementos nutritivos.

Con base en lo anterior, la presente investigación estuvo enfocada a la elaboración de un compost a partir de los desechos orgánicos que se generan en las áreas verdes del campus central de la Universidad de Pamplona y la evaluación en cultivos de *Lactuca sativa L* (LECHUGA), *Beta vulgaris* variedad *cicla* (ACELGA) y *Apium graveolens* var. *dulce* (APIO ESPAÑA).

A partir de lo anteriormente mencionado, se infiere que la investigación realizada apoya el Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad de Pamplona, lo cual, desde la perspectiva ambiental, es de gran importancia pues disminuirá significativamente el uso de los fertilizantes y mejorará la calidad de los suelos y los productos que en ellos se generan.

## **1.2 Justificación**

Los recursos naturales que provee la naturaleza son la base productiva de todos los procesos económicos que se desarrollan en los países del mundo, es por esto que economía y recursos naturales son inseparables. De esta forma los recursos naturales son la base física, química y biológica de la economía, que no siempre respeta los límites sustanciales productivos de los recursos naturales y por ende deteriora el ambiente poniendo en peligro cualquier forma de vida en el planeta y generando residuos, entre ellos, los residuos sólidos orgánicos.

En el Campus Universitario de la Universidad de Pamplona se generan dos toneladas mensuales de residuos sólidos no peligrosos, los cuales deben ser aprovechados atendiendo las recomendaciones del PGIRHS (Plan de Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares) de la Institución. Actualmente no son manejados adecuadamente, ya que gran parte de estos son depositados en rellenos sanitarios mal diseñados, a cielo abierto, sobre cuerpos de aguas, o son incinerados sin ningún control, lo cual dista en gran medida del cumplimiento de la responsabilidad ambiental que profesa la Misión de la Institución Educativa; de igual forma se observa un bajo registro sobre sistemas de información y seguimiento en las universidades latinoamericanas sobre manejo de residuos sólidos, ya que sólo el 50.8% de las mismas lo presentan (Amaya, 2012).

Por otra parte, es preciso mencionar la importancia que tiene la calidad de los alimentos que consumen los seres humanos, la cual, desde la perspectiva del Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA, 2011), debe ser adecuada para su consumo y utilización biológica, garantizando un estado de bienestar general que coadyuve al logro de su desarrollo, mencionado, además, que las personas deberían tener acceso físico y económico en todo momento a los alimentos en cantidad y de calidad adecuadas para llevar una vida saludable y activa; aspectos que sin duda son de gran relevancia en el manejo de los cultivos y de las técnicas de siembra y cosecha que en estos se utilicen.

En lo referente a las perspectivas de desarrollo del país y de la región, es preciso hacer mención del Plan de Desarrollo de Norte de Santander 2016- 2019, en el cual se tienen en cuenta aspectos de gran relevancia en lo que respecta a la diversificación de la producción con sistemas productivos promisorios para contribuir a la sostenibilidad y estabilidad de la economía familiar,

así como las Certificaciones socioambientales y productivas para generar competitividad y sostenibilidad en la producción (Gobernación de Norte de Santander, 2016).

Desde la perspectiva del manejo de los residuos, la presente investigación se justifica en gran medida desde el Artículo 9, numeral 2 del decreto 1713 de 2002, la cual menciona la importancia de la identificación de alternativas de manejo en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, haciendo énfasis en programas de separación en la fuente, presentación y almacenamiento, tratamiento, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final (Congreso de la República, 2002).

Con base en lo hasta aquí mencionado, se puede afirmar que la presente investigación se fundamentó en darle un valor agregado a los residuos orgánicos a través de la biotransformación en abono, producto que permitirá la disminución en la utilización de abonos químicos, promoverá mejores prácticas pedagógicas agrícolas y de mantenimiento de jardines, mejoramiento paisajístico, disminución de la inversión en insumos y evitará la proliferación de roedores por la acumulación de residuos atendiendo a normas primarias de Salud Pública.

Además, por otra parte, desde el punto de vista del contexto social y geográfico, se debe mencionar que se cuenta con las condiciones climáticas óptimas para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*), acelga (*Beta vulgaris* variedad *cicla*) y apio española (*Apium graveolens* var. *dulce*) y es allí donde se pretende lograr el mayor impacto de la investigación, toda vez que el biocompostaje obtenido en el proceso de tratamiento de los mencionados residuos, será utilizado para el mejoramiento de dichos cultivos, tanto desde el punto de vista de la calidad del producto, como desde la perspectiva comercial.

### **1.3 Pregunta de investigación y formulación del problema**

De acuerdo con los lineamientos legales mencionados, además de las generalidades y las posibilidades del aprovechamiento de los residuos sólidos en la Universidad de Pamplona, es pertinente plantear la siguiente pregunta.

¿Cuál es el efecto de la aplicación del biocompost como abono sobre la producción de un cultivo lechuga, acelga y apio España?

Conforme con la pregunta planteada, se buscó dar respuesta desde una alternativa biotecnológica para la transformación de los residuos sólidos orgánicos; práctica accesible al personal de servicios generales, con apoyo del talento científico para la estandarización del bioproceso y el posterior uso en las prácticas cotidianas realizadas en el Campus universitario, como actividades de ornamentación y proyectos pedagógicos agrícolas.

En concordancia con lo anterior, se puede afirmar que la ejecución de la investigación se justificó desde los aspectos mencionados y con el óptimo uso de los residuos orgánicos que debe realizar la Universidad de Pamplona, atendiendo, de esta manera, lo consignado en la Política Ambiental y el Plan de Desarrollo 2012-2020.

### **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general.**

Evaluar el efecto del abono obtenido por compostaje aerotérmico en cultivos de *Lactuca sativa* L (Lechuga), *Beta vulgaris* variedad *cicla* (Acelga) y *Apium graveolens* var. *dulce* (Apio española) con el propósito de ofrecer una alternativa orgánica de utilización de los residuos sólidos no peligrosos del Campus universitario de la Universidad de Pamplona en Pamplona, Norte de Santander.

### **1.4.2 Objetivos específicos.**

Determinar el comportamiento de las características físico-químicas y microbiológicas durante la elaboración del bioabono por compostaje aerotérmico.

Comparar las características físico-químicas microbiológicas del bioabono producido con la normatividad vigente.

Determinar la productividad de los cultivos (crecimiento y desarrollo de las plantas, producción por planta y producción total por tratamiento) utilizando diferentes proporciones del bioabono.

## Capítulo II

### 2. Marco referencial

#### 2.1 Antecedentes

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales.

En el artículo titulado “*Compostación de residuos alimentarios: situación y retos*”, realizado por (Cerda, y otros, 2017), se analiza los principales desafíos del proceso de compostaje de residuos alimentarios y examina los aspectos cruciales relacionados con la calidad del compost producido. Si bien se han realizado avances importantes en el proceso, tal microbiología de compostaje requiere mejoras en el monitoreo del proceso. Por lo tanto, los problemas específicos relacionados con el compostaje de residuos de alimentos, como la presencia de impurezas, se analizan a fondo en este estudio. Además, se determinan los impactos ambientales relacionados con el compostaje, como las emisiones de gases de efecto invernadero y los olores. Finalmente, se discute en detalle el uso de compost de residuos de alimentos en la biorremediación de suelos y los principales parámetros que controlan el proceso de compostaje, incluida la microbiología y el efecto cuando se compostan los desperdicios de alimentos FW. Se presta especial atención a parámetros clave como la porosidad, la microbiología del proceso, las técnicas respirométricas y los límites de estabilidad, la calidad del compost, las emisiones de gases de efecto invernadero GEI y la aplicación de compost en la biorremediación de suelos.

El trabajo de tesis doctoral (Arrigoni, 2016) titulado “*Optimización del proceso de compostaje de pequeña escala*”, menciona la importancia de la descentralización de residuos orgánicos como elemento clave de una adecuada gestión integral de residuos municipales, atendiendo aspectos tecnológicos del compostaje a pequeña escala, tales como los compostadores utilizados en el hogar o pequeños generadores. Se propone el estudio de la viabilidad del compostaje descentralizado en una zona con bajas temperaturas, en contraste con estándares internacionales de referencia en el estudio de la evolución del proceso. El objetivo de la tesis fue identificar aspectos de diseño en compostadores y de la gestión del proceso para la optimización e implementación de esta tecnología agropecuaria y ambiental, en las alternativas municipales de gestión de residuos. En este trabajo se confirmó i) la viabilidad de procesos de compostaje descentralizados de pequeña escala, con el cumplimiento de estándares de saneamiento y la estabilización de los materiales compostados, en relación a parámetros tales como: la temperatura, el carbono fácilmente degradable, la respiración microbiana y otros indicadores de estabilidad; II) la presencia de un efecto de estratificación no deseado (en compostadores estáticos de 500 l de capacidad), que afecta significativamente el desarrollo del proceso en la fracción inferior del compostador; III) un efecto positivo en variables relacionadas con la estabilidad, madurez y calidad de compost, asociado a la recirculación de líquidos lixiviados generados durante el proceso, práctica beneficiosa y dependiente del diseño de compostadores (captación de líquidos lixiviados) y IV) un efecto positivo sobre variables de estabilidad, madurez y calidad de compost, al incorporar residuos de origen animal en la mezcla (frente a vegetales estrictamente). Estos resultados permitieron concluir que el compostaje de pequeña escala es una tecnología viable en zonas de clima frío pero que su desempeño puede

mejorar si se revisan los criterios de diseño aplicados en compostadores estáticos, la conveniencia de la incorporación de residuos de origen animal sobre el saneamiento de los materiales, así como la conveniencia de recircular los líquidos lixiviados generados al mismo proceso de compostaje.

Por su parte, en el trabajo de tesis doctoral (Suárez, 2012) titulada “Evaluación del compostaje domiciliario como modelo de gestión de los residuos orgánicos. Caso de estudio: Comuna Villa La Serranita”, se menciona el compostaje domiciliario como una alternativa de tratamiento difundida entre las comunas y municipios de la provincia y la necesidad de conocer la cantidad de residuos orgánicos generados para generar material que pueda utilizarse como enmienda orgánica, potenciando los beneficios ambientales, a saber: reducción de residuos y producción de una enmienda. Menciona, además, que la reducción de la generación de residuos depende mucho de la cantidad de residuos orgánicos que se generan por habitante, fuertemente relacionada con aspectos económicos y sociales de cada población. Por ejemplo, el Reino Unido según Bench et al., (2005) presenta valores máximos de la fracción orgánica de alrededor del 20 %, en la India según Körner et al., (2008) los valores promedios son de 80 %, mientras que en Cuba el promedio es de 65%.

Desde otra perspectiva, el artículo titulado “*Biodiversidad y evolución de bacterias mesófilas y termófilas durante el compostaje*” (López, y otros, 2012), concluyó que el éxito del proceso de compostaje depende mayoritariamente de la actuación de las diferentes poblaciones microbianas (bacterias, hongos y actinobacterias) que se suceden a lo largo de las diversas etapas del mismo. La caracterización de las especies microbianas participantes en los procesos de compostaje permitió, no sólo incrementar el grado de conocimiento existente en torno a este

importante método, sino que además contribuyó a la mejora. En este trabajo se estudiaron poblaciones de bacterias mesófilas y termófilas presentes en un proceso de compostaje, así como los perfiles evolutivos a lo largo del mismo. Se cuantificaron los niveles poblacionales de bacterias cultivables asociadas a diferentes etapas del proceso, hasta un total de 19 muestras, establecidas de acuerdo a criterios térmicos y de estabilidad, y se identificaron los diferentes morfotipos mediante análisis fotográfico de los medios sólidos utilizados en las técnicas de recuento. Las bacterias mesófilas y termófilas se mantuvieron en unos niveles de  $10^8$ - $10^9$  UFC/g durante la fase bio-oxidativa, y se redujeron a  $10^7$  UFC/g en la fase de maduración. Las bacterias mesófilas y 1257 de termófilas. El morfotipado permitió discernir 308 cepas diferentes bacterias mesófilas y 282 cepas termófilas. Estas últimas incluyeron tanto bacterias termotolerantes como termófilas, correspondiendo a esta última categoría la tercera parte de los morfotipos diferentes aislados. Se evaluó la persistencia de cada uno de dichos morfotipos durante el compostaje, estableciendo adicionalmente aquellos mayoritarios en cada una de las fases. Los resultados obtenidos en este estudio permitieron un mayor control del proceso de compostaje mediante el uso de las cepas seleccionadas como inoculantes.

En el trabajo titulado “*Determinación de la calidad microbiológica del abono orgánico bocashi durante el proceso de fabricación y almacenamiento*”, (Baltodano, 2012), expresa que el Bocashi es un abono orgánico que, además de utilizar para su elaboración materia orgánica proveniente de diferentes desechos, se aplica una dosis de microorganismos eficientes (EM) con el fin de acelerar el proceso de maduración. La calidad del abono va a depender de varios factores, entre los que se encuentran: humedad, temperatura, porcentaje de carbono y nitrógeno y la relación carbono: nitrógeno, ya que estos van a estar directamente relacionados con la

actividad microbiológica encargada de la descomposición de la materia prima orgánica. Para evaluar los factores antes mencionados, se utilizó bocashi sin EM como control y bocashi más EM. Se observó que la aplicación de EM tuvo un efecto mayor en la población de hongos y de los géneros que se encuentran en este producto; es *Aspergillus sp* el que mejor se adapta a las condiciones de elaboración del abono. Las temperaturas altas, así como el descenso en la humedad, tienen como resultado la disminución de las diferentes poblaciones de microorganismos. Además, la determinación del carbono fue importante para conocer el grado de descomposición de los materiales empleados y la de nitrógeno permitió definir el momento en que hay mayor disponibilidad de este elemento para que pueda ser utilizado por las plantas. En todos los casos, se obtuvo mejores resultados en el bocashi que contenía EM que en el control, demostrando que la aplicación de este producto es útil para obtener un abono de mejor calidad.

En el trabajo titulado “*Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras*”, Campo, Brenes, & Jiménez (2016), evaluaron técnicamente dos métodos de compostaje de residuos sólidos biodegradables con miras a utilizar el abono resultante en huertas caseras: el primero, basado en la utilización de un sustrato degradador inoculado con microorganismos de montaña, y el segundo, inoculado mediante el procedimiento Takakura, denominados MM y TK en adelante. En ambos sustratos se agregaron residuos sólidos biodegradables recolectados en comedores y sodas del Tecnológico de Costa Rica (TEC), cuya composición es similar a los residuos domiciliarios, y se analizaron las variables de temperatura, altura y pH del proceso de compostaje. Además, se hicieron pruebas sensoriales del proceso y el producto resultante, y un análisis microbiológico del abono obtenido. Ambos procesos presentaron comportamientos

adecuados para la degradación de los residuos sólidos, con temperaturas superiores a 50°C, una evolución de pH adecuada para este tipo de compostaje y una reducción en altura del volumen del material de compost. Además, no se observaron lixiviados ni se percibieron olores desagradables ni la presencia de insectos en los sitios de procesamiento. Si bien, por ambos métodos se obtuvo un abono inocuo y con características apropiadas para ser utilizado en huertas caseras, se identificaron diferencias significativas entre los procesos en cuanto a las variables temperatura y altura, no así en cuanto al pH; el compostaje con el método TK alcanzó una mayor temperatura y el volumen disminuyó más que con el MM, por lo que fue más eficiente en la reducción del residuo.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales.**

En la investigación de Arévalo. Chacón & Pastas (2016) titulada “*Utilización de los residuos sólidos en la elaboración de compostaje para el mejoramiento del suelo*” la propuesta fue dinamizar los procesos de preservación del medio ambiente, a través de la puesta en práctica del tratamiento de los residuos orgánicos, como recurso para mejorar la calidad de vida de las personas y el ambiente. Para esto, el grupo investigador se enfocó en involucrar a los estudiantes y la Comunidad Educativa de Obonuco en la producción de vermicompost y humus orgánico como una alternativa productiva y estratégica para reciclar residuos orgánicos, reeducar a los estudiantes sobre el cuidado del medio ambiente e incentivar a la comunidad sobre los mecanismos de mejoramiento del suelo para aumentar la producción de sus cultivos. Al final la propuesta contribuyó al mejoramiento de la calidad agrícola de las 5 familias participantes brindando un ejemplo a seguir con orientaciones para mejorar la producción de sus terrenos y huertas caseras, gracias al aprovechamiento de sus propios residuos transformados en humus.

Gracias a esta experiencia la producción del compostaje se constituyó en una estrategia pedagógica ambiental para utilizar correctamente los residuos orgánicos como una herramienta que mejoró las capas orgánicas del suelo en forma natural generando productividad en sus cultivos, puesto que contribuye a obtener productos con bajo porcentaje de sustancias químicas en la producción de alimentos.

En su tesis de maestría titulada “*Análisis comparativo de tres sustratos orgánicos, en el desarrollo de plántulas de café de la variedad Castillo*”, Portocarrero (2014) concluyó que existe respuesta favorable en el crecimiento de las plántulas de café en la etapa de almácigo al adicionar abono orgánico al suelo del almácigo: a) abono orgánico de origen agrícola (flores, pecuario, lácteos y porcino) producido en la finca Mandalay. b) Abono orgánico producido en la empresa agroindustrial Coconut dedicada al suministro de pulpa de coco. c) Abono orgánico generado en la empresa Frigocentro–central de sacrificios de bovinos y porcinos. Dicha respuesta se intensificó de manera proporcional a la dosis de abono orgánico aplicado y fue mejor cuando estuvo en una relación 25-75% suelo-abono.

Los datos también mostraron una alta variabilidad en los sustratos evaluados lo cual sugiere la necesidad de la caracterización de los componentes químicos y físicos presentes en las diferentes mezclas para determinar la mejor alternativa según el tipo de suelo a utilizar.

En el artículo titulado “*Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca*”, Muñoz, Muñoz, & Montes (2015) se evaluó el efecto de abonos orgánicos provenientes de residuos de cosecha y plazas de mercado de Popayán en cultivos de repollo y lechuga. Se recolectaron residuos de fincas de café y plazas de

mercados de Popayán, se elaboraron pilas de compost separadamente y se analizó cada compost para determinar contenido de nutrientes. Se aplicó compost en dos etapas de cultivo como fertilizante. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones, T0: Testigo, sin abono; T1: compost elaborado de pulpa de café, troncho de plátano y gallinaza, T2: compost elaborado con residuos de plazas de mercado. Las pruebas físico-químicas del compost cumplieron la norma NTC 5167 y la diferencia radicó en que T1 es fuente de Potasio y Fósforo y T2 de Nitrógeno. La aplicación del compost al suelo mejoró el pH, la materia orgánica y la Capacidad de Intercambio Catiónico.

La ganancia promedio en peso para los cultivos superó el 300%; así mismo los análisis microbiológicos cumplieron los parámetros de INVIMA de control y vigilancia de calidad de productos alimenticios. Se concluyó que los materiales utilizados para producción de compost influyen en las propiedades físico-químicas del abono orgánico y los compostajes cumplieron con 15 parámetros de la norma NTC 5167.

En el trabajo de grado de Maestría, titulado *“Influencia de la aplicación de Compost producido a partir de residuos de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) en un Vertisol de Valle del Cauca”* Ospina (2016), se planteó conocer los cambios producidos en las propiedades físicas y químicas del suelo clasificado como Vertisol, ubicado en el sur de Jamundí en el departamento de Valle del Cauca y del crecimiento de cultivo de caña de azúcar, al incorporar compost obtenido de los residuos de la agroindustria azucarera (cachaza, ceniza, hojas y vinaza).

De acuerdo con estudios realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA), los vertisoles ubicados en esta

región se consideran de fertilidad moderada, sin embargo, son suelos superficiales, pobres a imperfectamente drenados que afectan las propiedades físicas y a su vez las propiedades químicas y biológicas, por lo tanto, es importante realizar aplicaciones de materia orgánica.

En la actualidad se realiza la práctica de aplicación de compost en las suertes del ingenio, se ha establecido una dosis de  $20 \text{ t ha}^{-1}$  y tiempo de madurez de 70 días, no obstante, es necesario conocer cuáles son las condiciones óptimas para ser utilizadas en las labores agronómicas del cultivo de caña de azúcar en este tipo de suelo. Para esto, se llevó a cabo un ensayo en donde se evaluaron diferentes tratamientos utilizando tres compost con diferentes estados de maduración (70, 95 y 120 días) y dos dosis por encima ( $30$  y  $40 \text{ t ha}^{-1}$ ) del valor que se utiliza actualmente y 1 por debajo de este valor ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ), realizando 4 repeticiones, durante un ciclo de crecimiento del cultivo. Se evaluaron las variables físicas de textura, estabilidad de agregados, densidad aparente y real, capacidad de campo y punto de marchitez en el suelo. En cuanto a las variables químicas se determinó el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, Nitrógeno, Fosforo, Azufre, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Aluminio, Boro, Hierro, Cobre, Manganeso y Zinc para el suelo y elementos mayores y menores en tejido foliar. Para medir el crecimiento del cultivo se consideró población, altura y diámetro, para conocer la productividad se evaluó tonelada de caña de azúcar por hectárea (TCH) y tonelada de sacarosa por hectárea (TSH).

Los resultados obtenidos mostraron que la aplicación de compost, mejoró la resistencia del suelo a la acción de agua por el mayor aporte de materia orgánica, el grado de madurez del abono cambio el pH, aumentó el contenido de materia orgánica, Manganeso y Hierro, la dosis más alta contribuyó a una mejor disponibilidad de Potasio y Fósforo, por otra parte, la dosis más baja contribuyó a la disponibilidad de Magnesio y Sodio en el suelo. Los nutrientes que fueron extraídos por el cultivo y expresados en el tejido foliar fueron Potasio, Fósforo, Sodio y Zinc.

Aunque se presentaron cambios significativos en las variables agronómicas de población, altura y diámetro, estos resultados no se reflejaron en TCH y TSH.

En el trabajo de grado de Maestría, titulado “*Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero, Municipio de Dabeiba*” (Arenas, 2017), comparó dos sistemas diferentes para establecer el más eficiente en términos del comportamiento de algunas variables y calidad del compost. En la fase inicial del proyecto se realizó la recolección diaria de los residuos orgánicos generados en el Centro Educativo Rural (CER) durante 20 días, para determinar estadísticamente la cantidad generada por día. En la segunda fase se prepararon las pacas digestoras y el proceso de compostaje a cielo abierto, para hacer una comparación entre ambas técnicas. En la ejecución de toda la investigación participaron los estudiantes y demás miembros de la comunidad educativa. En la tercera fase, se hizo seguimiento a la evolución del proceso, mediante la cuantificación, cada cinco días, de tres parámetros de control: pH, Humedad y Temperatura. El proceso más eficiente fue el compostaje en pacas digestoras, obteniendo un pH estable, entre 7 y 8, durante la mayor parte de la descomposición aeróbica. De la misma manera, en las pacas digestoras la humedad se conservó estable durante la gran parte del tiempo y con valores óptimos entre 40 y 60%. Caso contrario ocurrió en el proceso de compostaje a cielo abierto, donde el pH se mantuvo por debajo de 7 la mayor parte del tiempo y la humedad descendió rápidamente hasta valores críticos inferiores a 40%. Con respecto a la temperatura, en las pacas digestoras se evidenció un ascenso en la temperatura los primeros días, hasta alcanzar la etapa termófila, superior a 60°C, conservando una humedad superior al 40 %, con un pH cercano a 8; condiciones que indican liberaciones altas de CO<sub>2</sub> y conversión adecuada de los compuestos

orgánicos. En la cuarta fase, se buscó el proceso de compostaje más eficiente (pacas digestoras y cielo abierto) y menos contaminante, implementado para el tratamiento de los residuos orgánicos del CER y por las familias que habitan el entorno cercano al Colegio, mediante campañas educativas realizadas por los mismos estudiantes del Centro Educativo.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Residuos sólidos orgánicos (RSO).**

Según Flores, (2001) citado por (Inga, 2015) los residuos sólidos orgánicos son aquellos residuos que provienen de restos orgánicos, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente), se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica, como ejemplos: los restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos, etcétera; o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. Se exceptúa de estas propiedades al plástico, porque a pesar de tener su origen en un compuesto orgánico, posee una estructura molecular más complicada.

Los residuos sólidos orgánicos, son todos aquellos que tienen en su estructura básicamente carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y pueden descomponerse por la acción natural de organismos vivos como lombrices, bacterias y mohos. Estos pueden ser cáscaras de verduras, residuos de alimentos, frutos, residuos de cosechas, hojas de árboles, entre otros, los cuales se generan en actividades de cocina, consumo de alimentos, jardinería y poda de plantas, centros de abasto de frutas, verduras u otros productos generados por acción de la naturaleza (Ministerio del Medio Ambiente).

### **2.2.1.1 Clasificación de los residuos sólidos orgánicos.**

Según Flores, (2001) citado por (Inga, 2015) existen muchas formas de clasificar los residuos sólidos orgánicos; sin embargo, las dos más conocidas están relacionadas con la fuente de generación y con su naturaleza y/o características físicas.

#### *2.2.1.1.1 Según su fuente de generación.*

Los residuos sólidos orgánicos según su fuente se clasifican en:

Residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles.

Residuos sólidos orgánicos institucionales.

Residuos sólidos de mercados.

Residuos sólidos orgánicos de origen comercial.

Residuos sólidos orgánicos domiciliarios.

***Residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles:*** se consideran dentro de esta fuente a los residuos almacenados también en las papeleras públicas; su contenido es muy variado, pueden encontrarse desde restos de frutas hasta papeles y plásticos. En este caso, sus posibilidades de aprovechamiento son un poco más limitadas, por la dificultad que representa llevar adelante el proceso de separación física.

***Residuos sólidos orgánicos institucionales:*** residuos provenientes de instituciones públicas (gubernamentales) y privadas. Se caracteriza mayormente por contener papeles y cartones y también residuos de alimentos provenientes de los comedores institucionales.

***Residuos sólidos de mercados:*** son aquellos residuos provenientes de mercados de abastos y otros centros de venta de productos alimenticios. Es una buena fuente para el aprovechamiento de orgánicos y en especial para la elaboración de compost y fertilizante orgánico.

***Residuos sólidos orgánicos de origen comercial:*** son residuos provenientes de los establecimientos comerciales, entre los que se incluyen tiendas y restaurantes. Estos últimos son la fuente con mayor generación de residuos orgánicos debido al tipo de servicio que ofrecen como es la venta de comidas. Requieren de un trato especial por ser fuente aprovechable para la alimentación de ganado porcino (previo tratamiento).

***Residuos sólidos orgánicos domiciliarios:*** “son residuos provenientes de hogares, cuya característica puede ser variada, pero que mayormente contienen restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados, podas de jardín y papeles”. Representa un gran potencial para su aprovechamiento en los departamentos del país (Caldas, 2016).

#### *2.2.1.1.2 Según su naturaleza y/o características físicas.*

Los residuos sólidos orgánicos según su naturaleza y/o característica se clasifican en:

Residuos de alimentos.

Estiércol.

Restos vegetales.

Papel y cartón.

Cuero.

Plásticos.

### ***2.2.1.2 Caracterización de los residuos sólidos orgánicos.***

#### ***2.2.1.2.1 Caracterización físico-química de los residuos sólidos orgánicos.***

Los residuos sólidos orgánicos están compuestos por: azúcares, almidón, proteínas, hemicelulosa, celulosa, lignina, ceras y lignocelulosa. La descomposición es llevada a cabo por los microorganismos hidrolizando las macromoléculas anteriores e incorporando a las células estos compuestos orgánicos para los procesos de síntesis, respiración y fermentación durante el proceso de compostaje (Rynk, 1992).

Ya que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad de sustrato, temperatura y pH (Rostagno, 2015).

Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén siempre dentro de un rango óptimo (Rostagno, 2015).

Por su parte Sztern & Pravia (1999) afirman que “La transformación de los residuos, es una alternativa que cada vez se pone en práctica en las actividades de producción, ya que permite minimizar el daño ambiental y de salud pública, además contribuye al mejoramiento de las condiciones del suelo para el crecimiento y desarrollo de los cultivos”.

#### ***2.2.1.3 Caracterización microbiológica de los residuos orgánicos.***

Los organismos que participan en el proceso de compostaje son, según (Laich F., 2011):

***Microbiota:*** bacterias, Hongos (Mohos y levaduras) y microalgas.

**Microfauna:** protozoos.

**Macroflora:** plantas grandes y Setas.

**Macrofauna:** ácaros, hormigas, termitas, miriápodos, ciempiés, arañas, escarabajos y gusanos.

Los Hongos (mohos y levaduras) son los responsables de la descomposición de los azúcares, incluso azúcares complejos como la celulosa y el almidón, a través de las enzimas celulasas y amilasas, un ejemplo lo constituye *Aspergillus oryzae*.

Las bacterias de los géneros *Erwinia* sp, *Bacillus* sp y *Pseudomonas* sp intervienen en la hidrólisis de la hemicelulosa dando finalmente azúcares y ácido galacturónico mediante la enzima citasa; además el género *Proteus* sp interviene en la hidrólisis de las proteínas.

Las especies del género *Bacillus* sp, son también responsables de la descomposición de los azúcares, mientras que *Streptomyces* sp y *Nocardia* sp, desempeñan un gran papel en la amonificación de los compuestos nitrogenados del humus; estos presentan menor desarrollo que los mohos y otras bacterias, son menos activos en las etapas tempranas de compostaje y son visibles a unos 100 mm por debajo de la superficie de la masa del compost (Laich, 2011).

Existen otros organismos que se encuentran en menor número como son las algas, las que requieren luz solar para su actividad y condiciones de humedad.

En cuanto a la presencia de microorganismos patógenos humanos (Marmolejo y otros, 2009) mencionan que los valores de bacterias coliformes totales son similares en varios tipos de residuos orgánicos tratados. Sin embargo, con respecto a los coliformes fecales ellos hallaron un mayor valor en sustratos cuya procedencia aseguraba un mayor contenido de residuos de la higiene personal, presentes en aproximadamente 8,9% de los residuos residenciales generados en la localidad. Así mismo los productos de las pilas mostraron una reducción en las bacterias

coliformes totales y fecales respecto a los valores reportados para las materias primas. Dicho resultado está asociado con el comportamiento de la temperatura, que alcanzó valores del rango termofílico mayores a 55°C temperatura que elimina este tipo de microorganismo.

#### ***2.2.1.4 Tratamiento de residuos sólidos orgánicos.***

El tratamiento se define como el procedimiento mecánico, físico, químico, biológico o térmico, mediante el cual se cambian las características de los residuos sólidos y se reduce su volumen y / o peligrosidad. Ley General, para la Prevención y Gestión de residuos Peligrosos (LGPGIR). Los métodos y tecnologías de tratamiento son parte integral del manejo de los residuos sólidos urbanos. Con ello se busca la recuperación de materiales, el reúso y la reincorporación a procesos productivos, así como la optimización de los requerimientos para el manejo y la disposición final de aquellos que no son reutilizables (Yáñez, y otros, 2009).

Se mencionan a continuación algunos ejemplos de procesos físicos, químicos, biológicos, térmicos y productos obtenidos.

##### *2.2.1.4.1 Procesos físicos.*

Separación (manual o mecanizada).

Trituración.

Separación magnética.

Compactación.

*2.2.1.4.2 Procesos químicos.*

Hidrólisis.

Oxidación.

Vitrificación.

Polimerización.

*2.2.1.4.3 Procesos biológicos*

Composteo.

Digestión anaerobia

*2.2.1.4.4 Procesos térmicos.*

Incineración.

Pirólisis.

Esterilización.

Microondas.

***2.2.1.5 Recuperación de materiales para reuso o reciclaje.***

Separación (manual o mecanizada).

Vitrificación.

Composteo.

Pirólisis.

### ***2.2.1.6 Recuperación de energía.***

Digestión anaerobia.

Incineración.

Pirólisis (Yáñez, y otros, 2009).

### **2.2.2 Biocompost.**

Según La FAO (FAO, 2015) compostaje es el proceso natural de putrefacción o descomposición de la materia orgánica, como residuos, desechos animales y restos de alimentos por los microorganismos, en condiciones controladas. Siendo importante porque mejora la salud del suelo en general y su resiliencia ante las crisis como la sequía incluyendo la adaptación al cambio climático. El compostaje se define como la descomposición y estabilización biológica de substratos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas como resultado del calor producido biológicamente para obtener un producto final estable, libre de patógenos y semillas, que puede ser aplicado de forma beneficiosa al suelo (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

En el mismo orden de ideas Barrena (2006) define el compostaje como la descomposición y estabilización biológica de substratos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas como resultado del calor producido biológicamente, para producir un producto final estable, libre de patógenos y semillas, y que puede ser aplicado de forma beneficiosa al suelo.

Durante el proceso de compostaje los microorganismos transforman el residuo orgánico (Soliva, 2001). El proceso de degradación aeróbica en estado sólido es un sistema trifásico: solido, líquido y gaseoso. La fase solida está representada por la cantidad de partícula,

constituida por fracciones inorgánicas como por fracciones orgánicas. La partícula interacciona con la fase acuosa que está adherida a su superficie formando una biopelícula con los microorganismos, donde tienen lugar todos los procesos biológicos. Este estrato interacciona directamente con la fase gaseosa con la cual intercambia los gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) (Barrena, 2006).

En cuanto el proceso de degradación biológica de residuos orgánicos está documentado desde el siglo I d.C. (Holgado y col, 1988) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008). Desde entonces, los agricultores han seguido esta práctica (degradación natural) utilizando el producto resultante como abono. Los productos así obtenidos no siempre conservaban su potencial nutritivo debido a la falta de control sobre el proceso. Actualmente (Helynen, 2004; Fitzpatrick y col., 2005) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008), el control, tanto del proceso de producción (compostaje) como del producto final (compost) se hace necesario para asegurar una óptima calidad y mínimos costes.

El compostaje se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios (Haug, 1993) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008), que actúan de manera sucesiva, sobre la materia orgánica original, en función de la influencia de determinados factores, produciendo elevadas temperaturas, reduciendo el volumen y el peso de los residuos y provocando su humificación y oscurecimiento (Nakasaki, 2005) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008). Durante este proceso se han de controlar los distintos factores que aseguren una correcta proliferación microbiana y, por consiguiente, una adecuada mineralización de la materia orgánica (Cronje y col, 2003) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008). El hecho de que el compostaje sea biooxidativo exige una condición biológica que lo hace diferente de procesos físicos y químicos, así como de aquellos que no se realicen de forma aeróbica. También se ha de diferenciar entre el compostaje, como proceso controlado, de los procesos naturales no controlados que suelen

desembocar en anaerobiosis más o menos acusadas. Al estar regidas estas reacciones por los ciclos biológicos de los microorganismos que intervienen en ellas, el compostaje requiere un tiempo mínimo. Por tanto, un compostaje que pretenda la obtención de un producto final útil como fertilizante (material orgánico estabilizado) no se puede dejar transcurrir espontáneamente, sino que en él han de controlarse las variables necesarias para garantizar la total terminación del proceso en un tiempo corto y con unos costes mínimos (Hedegaard y col, 1996; De Bertoldi y col, 1985; Körner y col, 2003) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008).

Las variables más importantes que afectan a los sistemas de compostaje pueden ser clasificados en dos tipos de parámetros en los que hay que establecer un control: parámetros de seguimiento (aquellos que han de ser medidos, seguidos durante todo el proceso y adecuados, en caso de ser necesario, para que sus valores se encuentren en los intervalos considerados correctos para cada fase del proceso (Jeris y col, 1973) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008) y parámetros relativos a la naturaleza del sustrato (aquellos que han de ser medidos y adecuados a su valores correctos, fundamentalmente al inicio del proceso (Madejón y col, 2001) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008). Entre los parámetros de seguimiento se encuentran: temperatura, humedad, pH, aireación y espacio de aire libre. Entre los relativos a la naturaleza del sustrato: tamaño de partícula, relaciones C/N y C/P, nutrientes, materia orgánica y conductividad eléctrica. Los valores o intervalos óptimos están influenciados por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar y el sistema de compostaje elegido (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008).

Las sustancias fácilmente degradables como los azúcares, las grasas, el almidón y las proteínas, son rápidamente consumidos. Esta fase es muy importante, ya que, al alcanzarse temperaturas tan elevadas, se consigue uno de los objetivos principales del compostaje: eliminar

los microorganismos patógenos y las semillas de malas hierbas, con lo que se asegura la higienización del producto final. La higienización tiene que conseguir tres objetivos: prevenir el crecimiento y la diseminación de patógenos, destruir los que hay presentes y obtener un producto final no recolonizable por patógenos.

La fase termófila se caracteriza por un elevado consumo de oxígeno y la liberación de una gran cantidad de energía por parte de la población microbiana. Las proteínas pasan a péptidos, aminoácidos y amoníaco y, progresivamente la mezcla se va alcalinizando. En función de las condiciones de temperatura, humedad y pH, el amoníaco estará en equilibrio con el ion amonio. Lo anterior, se visualiza de mejor manera en la figura 1.

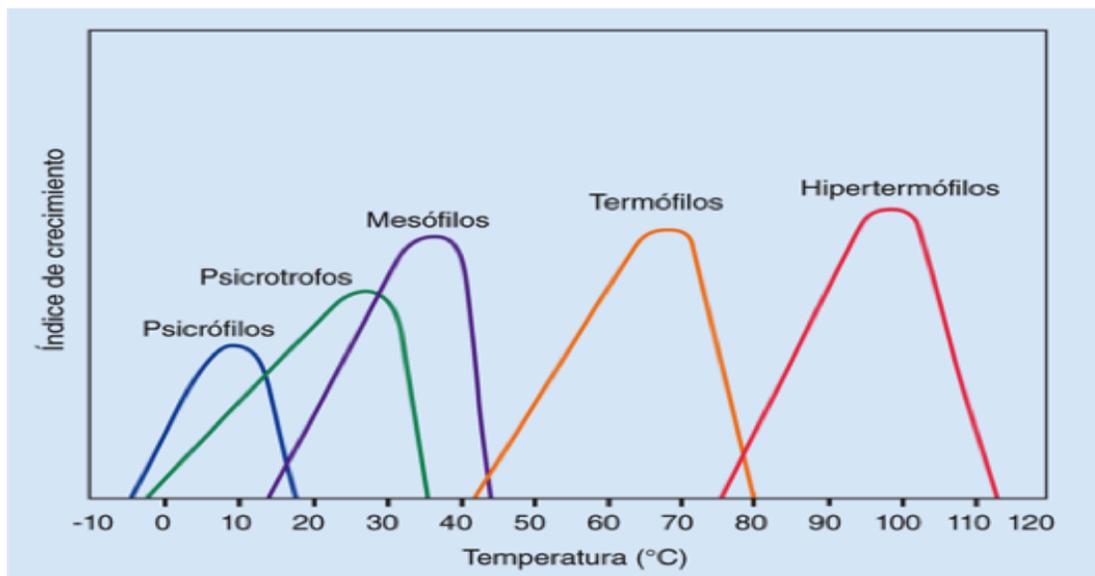
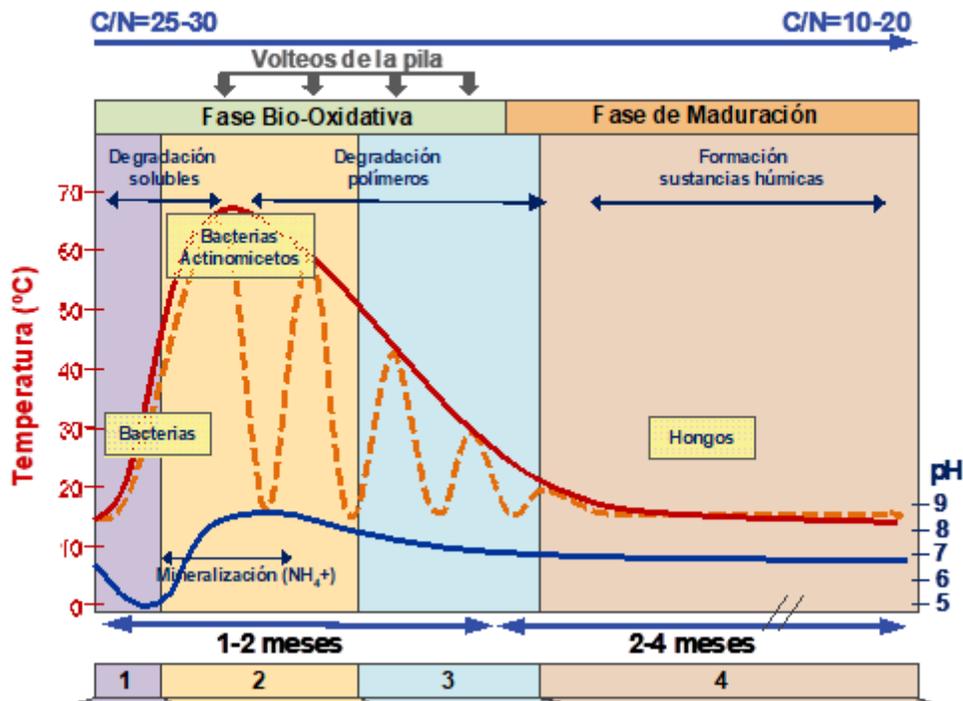


Figura 1. Fase termófila  
Fuente: Brooks & Butel, 2006

Al principio del proceso, se desarrollan las familias de microorganismos mesófilos, que inician la descomposición de las moléculas más fácilmente degradables. Esta actividad de descomposición genera energía que se libera en forma de calor, y se traduce en un incremento

paulatino de la temperatura. Al avanzar el proceso varían las condiciones, empiezan a aparecer los microorganismos termófilos, a la vez que van disminuyendo los mesófilos. La temperatura de la pila se determina por la temperatura ambiente, la temperatura inicial y la tasa de descomposición de los microorganismos (Kulikowska, 2016). El proceso de compostaje se puede dividir en las siguientes cuatro etapas según la temperatura: (1) la fase de calentamiento; (2) la fase termofílica; (3) la fase de enfriamiento, y (4) la fase de madurez (Onwosi et al., 2017) (Figura 2).



1. Fase mesófila	2. Fase termófila	3. Fase de enfriamiento	4. Fase de maduración
<i>Pseudomonas</i> sp <i>Bacillus</i> sp <i>Lactobacillus</i> sp <i>Penicillium</i> sp; <i>Aspergillus</i> sp <i>Mucor</i> sp	<i>Bacillus</i> sp <i>Thermus</i> sp <i>Hydrogenobacter</i> sp <i>Streptomyces</i> sp	<i>Streptomyces</i> sp Protozoos Nematodos	<i>Pseudomonas</i> sp <i>Penicillium</i> sp <i>Aspergillus</i> sp Algas Nematodos

Figura 2. Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje  
 Fuente: Moreno & Moral, 2008 Redibujado.

La temperatura puede interactuar con las comunidades microbianas dominantes e indica la tasa de degradación de las materias orgánicas (Putranto y Chen, 2017). Una temperatura más alta durante la fase termofílica se asocia con una mayor degradación microbiana de los polisacáridos, proteínas y grasas (Jiang et al., 2015; Onwosi et al., 2017). Además, cuanto antes se produce la fase termofílica, las materias orgánicas anteriores se degradan y se estabilizan (Awasthi et al., 2014). La fase termofílica es crucial para la degradación de la lignina; en condiciones termofílicas, la degradación de la lignina conduce a la formación de restos fenólicos y quinona que pueden servir como precursores para la humificación (Sánchez, Monedero et al., 1999; Cayuela et al., 2006) citado por (Xiao, Hong, Shu, & Wu, 2019).

Posteriormente viene la fase de maduración, que se compone de una etapa de enfriamiento, con temperaturas que van desde los 40 °C a temperatura ambiental y una fase de estabilización, que se desarrolla a temperatura ambiente y que se caracteriza por una baja de actividad microbiana y por la aparición de organismos superiores (Soliva, 2001). En esta fase, los microorganismos mesófilos y algunos tipos de microfauna colonizan el compost que está parcialmente maduro. Además, se genera una intensa competición por el alimento, la formación de antibióticos y la aparición de antagonismo para obtener un producto más o menos estable según la duración de la fase (Laich, 2011).

Durante el proceso de compostaje, se lleva a cabo una compleja sucesión de poblaciones de microorganismos capaces de degradar o descomponer una materia orgánica compleja. Las bacterias son las más numerosas en el proceso de compostaje, y constituyen entre el 80% y el 90% de los microorganismos existentes en el compost. Se trata de un grupo de gran diversidad metabólica, que utilizan un amplio rango de enzimas de degradación de compuestos orgánicos.

La cuantificación de las bacterias aerobias totales representa, de alguna manera, un índice de actividad biológica. Dentro de este tipo de microorganismos, se puede destacar el grupo de las *Pseudomonas fluorescentes*, constituido por algunas especies de bacterias asociadas a procesos de biocontrol de patógenos de plantas y a procesos de estimulación del desarrollo radicular. La utilización de un compost maduro con una alta población de *Pseudomonas sp fluorescentes*, podría actuar como un estimulador de desarrollo de las raíces y un “protector” frente a diferentes fitopatógenos (Laich, 2011).

Por su parte los Actinomycetes durante el proceso de modificación de la materia orgánica del compost son relevantes, debido a la capacidad enzimática para degradar compuestos orgánicos complejos (celulosa, lignina, etc). Así mismo, muchas de las especies que participan en este proceso son tolerantes a altas temperaturas que alcanza el compost, durante el proceso de degradación aeróbica. Por tal motivo, es un grupo de microorganismos abundante en el compost. Así mismo, los Actinomycetes poseen la capacidad de regular el microbiota rizosférica a través de la producción de antibióticos y otros compuestos (Laich, 2011).

Los hongos filamentosos constituyen un grupo muy amplio, participando en la degradación aeróbica de la materia orgánica debido a su alta capacidad lignocelulítica. Así mismo, se encuentran en el suelo como parte del microbiota normal, implicados en procesos de degradación y solubilización de compuestos orgánicos complejos y compuestos inorgánicos. En contrapartida muchas especies son causantes de enfermedades de plantas. Por lo expuesto, es importante realizar una correcta caracterización de este grupo de microorganismos durante la utilización del compost como sustrato (Laich, 2011).

De acuerdo con lo anterior, y con base en los beneficios que representa el biocompost en diversas hortalizas, se presenta a continuación una descripción general de los productos que se

tuvieron en cuenta para el proyecto, es decir, *Lactuca sativa L* (Lechuga), *Beta vulgaris* variedad *cicla* (ACELGA) y *Apium graveolens* var, *dulce* (Apio española).

### **2.2.1 Cultivos Orgánicos.**

Los cultivos orgánicos se caracterizan por el no uso de compuestos químicos (fertilizantes, fungicidas, conservantes, abonos, etc.) o cualquier otra sustancia que afecte la calidad de vida de otros seres vivos que estén presentes en el ambiente (Díaz, 2015).

Un cultivo orgánico es un sistema de producción de alimentos que pone por encima de cualquier otra cosa el cuidado del medio ambiente, por lo cual se basa en la utilización de procesos biológicos y agronómicos, que ponen la naturaleza y el ambiente como eje central de la vida y recurso primordial para el desarrollo pleno de todos los seres vivos y se constituye en una alternativa para la agricultura convencional (Díaz, 2015).

Los cultivos orgánicos nacen de la necesidad del ser humano de consumir alimentos saludables, que no producen ninguna alteración en su salud. Se originan a partir del interrogante de cómo es el proceso de cultivo de la gran mayoría de los productos de diario consumo, que en mayor porcentaje es altamente negativo debido al amplio uso de químicos que facilitan la conservación de los alimentos. Muchas de las veces las comunidades son ajenas al proceso de producción de la gran mayoría de alimentos que consumen a diario, sin pensar lo dañinos que pueden llegar a ser los químicos que se utilizan en la fumigación y conservación de estos productos, adicional al gran daño que le hacen en general a la naturaleza (Díaz, 2015).

El principio de los cultivos orgánicos es conservar la fertilidad de la tierra, respetar el medio ambiente de una forma sostenible y equilibrada. No menos importante la contribución a una vida saludable y mejoramiento de la calidad de vida de los consumidores de estos alimentos y por otra

parte constituirse en un sistema ecológico y social para combatir la pobreza de una manera autosostenible (Díaz, 2015).

Los cultivos orgánicos se caracterizan por la utilización de fertilizantes como el compost, polvos minerales y otros productos de origen orgánico. Se caracterizan por utilizar métodos como son las barreras o terrazas naturales, que previenen en alto porcentaje la erosión de la tierra, así como también se utiliza la rotación de cultivos. Igualmente se utilizan métodos de empacamiento natural y ecológico, siempre considerando como base primordial el cuidado de la naturaleza y la salud del ser humano (Díaz, 2015). Lo anterior coincide en gran medida con la resolución 187 de 31 de julio de 2006 emitida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social el cual contempla en su Artículo 1 entre otras el procesamiento, empaçado, etiquetado, almacenamiento, certificación, etc., de productos agropecuarios (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006).

## **2.2.2 Descripción general de las hortalizas objeto del proyecto.**

### ***2.2.2.1 Cultivo de lechuga.***

*La lechuga* (*Lactuca sativa* L.), pertenece a la familia Asteraceae, contiene alto porcentaje de agua (90-95%), como también folatos, provitamina A o beta-caroteno y cantidades apreciables de vitamina C, estas dos últimas con acción antioxidante, relacionadas con la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso de cáncer (Carranza, Lancho, Miranda, & Chaves, 2009).

La lechuga es una planta herbácea anual, dicotiledónea, autógena, cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L. y está ampliamente relacionada con la lechuga silvestre *Lactuca serriola*;

cuando joven contiene en sus tejidos un jugo lechoso llamado látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta. Dentro de la familia Asteraceae también hay otras especies de importancia medicinal como los cardos, el diente de león, la cerraja y la alcachofa (Osorio & Lobo, 1983; Díaz et al., 1995; Valadez, 1997) citado por (Velásquez, 2016). En la tabla No. 1 se puede observar la clasificación taxonómica de la lechuga.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Lactuca sativa* L.

	Reino	Vegetal
División		Espermatofita
Clases		Angiospermas
Subclase		Dicotiledonea
Familia		Asteracea
Tribu		Cichorieae
Género		Lactuca
Especie		sativa
Variedad Botánica		Capitata

Fuente: (Osorio & Lobo, 1983; Díaz et al., 1995; Valadez, 1997; Velásquez, 2016).

### 2.2.2.2 Morfología.

**Raíz.** La raíz principal es pivotante, corta, puede llegar a penetrar hasta 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones; crece muy rápido, con abundante látex, tiene numerosas raíces laterales de absorción, las cuales se desarrollan en la capa superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997; Alzate & Loaiza, 2008) citado por (Velásquez, 2016).

**Tallo.** El tallo es pequeño, muy corto, cilíndrico y no se ramifica cuando la planta está en el estado óptimo de cosecha; sin embargo, cuando finaliza la etapa comercial, el tallo se alarga

hasta 1,2 m de longitud, con ramificación del extremo y presencia, en cada punta, de las ramillas terminales de una inflorescencia (Valadez, 1997) citado por (Velásquez, 2016).

**Hojas.** Por su forma son lanceoladas, oblongas o redondas el borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, lo cual depende de la variedad. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997) citado por (Velásquez, 2016).

**Flores.** Las flores están agrupadas en capítulos dispuestos en racimos o corimbos, compuestos por 10 a 25 floretes con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas. El florete tiene pétalos periféricos ligulados, amarillos o blancos. Los interiores presentan corola tubular de borde dentado. El androceo está formado por cinco estambres adheridos a la base de la corola, con presencia de cinco anteras soldadas que forman un tubo polínico, que rodea el estilo. El cáliz es filamentosos y al madurar, la semilla forma el papus o vilano, que actúa como órgano de diseminación anemófila, o sea, por el viento. Los pétalos son soldados (gamosépalos) (Leslie & Pollard, 1954; Whitaker & Ryder, 1964; Valadez, 1997) citado por (Velásquez, 2016).

El gineceo es unicarpelar, con ovario ínfero y el estigma bifido, que se poliniza al desarrollarse y atravesar el tubo de las anteras. Los lóbulos del estigma se separan, lo que permite la caída del polen sobre los papilos estigmáticos. Las flores son perfectas y la corola es amarilla, simpétala. El ovario es bilobulado. Los cinco estambres están, cada uno, unidos separadamente a la base del tubo de la corola, pero las anteras están unidas y forman un cilindro alrededor del estilo (Leslie & Pollard, 1954) citado por (Velásquez, 2016).

**Semilla.** El fruto es un aquenio típico y la semilla es exalbuminosa, picuda y plana, la cual botánicamente es un fruto (Osorio & Lobo, 1983); tiene forma aovada, achatada, con tres a cinco costillas en cada cara, de color blanco, amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 5 mm. En su base se encuentra el vilano o pappus plumoso, que facilita la diseminación por el viento; este se desprende fácilmente, con lo cual el aquenio de la semilla queda limpio (Granval & Graviola, 1991; Valadez, 1997) citado por (Velásquez, 2016).

### **2.2.2.3 Requerimientos edafoclimáticos.**

**Temperatura.** La temperatura óptima de germinación oscila entre 18 - 20°C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14 - 18°C por el día y 5 - 8°C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Durante el acogollado se requieren temperaturas entorno a los 12°C por el día y 3 - 5°C por la noche.

Este cultivo soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas, ya que como temperatura máxima puede soportar hasta los 30 °C y como mínima temperaturas de hasta -6 °C. Cuando la lechuga soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia.

**Humedad relativa.** El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. Los problemas que presenta

este cultivo en invernadero es que se incrementa la humedad ambiental, por lo que se recomienda su cultivo al aire libre, cuando las condiciones climatológicas lo permitan.

**Sustratos.** Los sustratos preferidos por la lechuga son los ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje, situando el pH óptimo entre 6,7 y 7,4. En los suelos humíferos, la lechuga vegeta bien, pero si son excesivamente ácidos será necesario encalar. Este cultivo, en ningún caso admite la sequía, aunque la superficie del suelo es conveniente que esté seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbres de cuello (Biblioteca técnica servicios y almácigos S.A La Serena, 2011).

#### ***2.2.2.4 Valor nutricional y medicinal.***

La lechuga es fuente de calcio, hierro y vitamina A, proteína, ácido ascórbico (vitamina C), tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) y niacina.

El aporte de calorías de esta hortaliza es muy bajo, mientras que en vitamina C es muy rica; las hojas exteriores tienen más cantidad de esta vitamina que las interiores. También resulta una fuente importante de vitamina K; Otras vitaminas que destacan en la lechuga son la A, la E y el ácido fólico. Así mismo, aporta potasio y fósforo y está compuesta en un 94% de agua.

En el ámbito medicinal, la lechuga es refrescante y digestiva; posee virtudes calmantes y notable eficacia como soporífero, por tanto, evita el insomnio, la nerviosidad, el mal humor, la irritabilidad, entre otras. Macerada, junto con avena, sirve como pomada que alivia irritaciones de la piel, alergias, erupciones y quemaduras. También, sirve para prevenir la desmineralización y sus consecuencias, por ejemplo, raquitismo, tuberculosis, caries dentaria y ósea, además, la

cantidad de celulosa y agua orgánica que contiene la lechuga en sus tejidos ayuda considerablemente en el proceso digestivo (Velásquez, 2016).

#### **2.2.2.5 Plagas y enfermedades y su manejo orgánico.**

Mildeo velloso (*Bremialactucaae*).

El mildeo velloso de la lechuga es causado por el hongo *Bremialactucaae* (Pardo Cardona, 1990) citado por (Velásquez, 2016). Este patógeno produce la mayoría de las lesiones sobre el follaje más viejo, aunque puede infectar cualquier parte de la planta. Las manchas comienzan en forma de áreas amarillentas o verde claro sobre la superficie superior de la hoja; en la cara inferior corresponde a estas manchas un crecimiento de aspecto velloso blanquecino (Ávila et al., 1999; Lopes et al., 2010) citado por (Velásquez, 2016).

El proceso de infección ocurre en presencia de agua libre y el desarrollo de la enfermedad se favorece bajo condiciones húmedas, a temperaturas diurnas de 12 a 20 °C y nocturnas de 6 a 10°C. El micelio y las esporas (oosporas) pueden sobrevivir en el suelo sobre restos de lechuga (*Lactuca sativa*) y lechuguilla (*Lactuca serriola*) (Osorio, 1998) citado por (Velásquez, 2016). Raras veces el hongo es llevado en la semilla. Este puede vivir varios meses en residuos de cosecha. La diseminación local se produce mediante los esporangios transportados por el viento. Estos esporangios pueden producir un tubo germinativo e infectar directamente la planta o producir esporas móviles las cuales inician la infección sobre el nuevo sustrato colonizado. La humedad, la temperatura relativa alta y las temperaturas bajas favorecen el desarrollo de la enfermedad (Ávila et al., 1999) citado por (Velásquez, 2016).

Como en todas las enfermedades, el mejor control es el preventivo. El cultivo se debe llevar a cabo en suelos bien drenados, evitando las siembras demasiado densas y la proliferación de malezas, con control de la humedad y rotación con otras especies (Jaramillo, y otros, 2014).

*Mancha de la hoja de la lechuga, Septoriosis (Septoria lactucae)*

Esta enfermedad es causada por el hongo *Septoria lactucae* (Pardo, 1990; Tamayo & Jaramillo, 1992; Tamayo & Correa, 1992) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). El problema se presenta de forma esporádica y puede ser severo en condiciones de humedad prolongada y mucha lluvia. Este patógeno sobrevive en la semilla, residuos de cosecha y malezas hospederas (Almodóvar, 2001) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). Los factores favorables para la epidemia son la presencia de lluvias y de agua libre, ya que son fundamentales para la liberación del inóculo y para la infección (Almodóvar, 2001; Latorre et al., 1990; Lopes et al., 2010) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). Este hongo en un primer momento provoca pequeñas manchas irregulares y cloróticas, situadas más bien sobre las hojas viejas. Las manchas crecen progresivamente y adquieren un tono de oliváceo a marrón claro. Un halo amarillo, más o menos marcado, las circunda. En el centro de estas manchas se distinguen a simple vista minúsculas estructuras negras, llamadas picnidios. Una vez muerto el tejido foliar, la mancha se seca, se resquebraja y se observa gran número de perforaciones (Blancard, 2005; Lopes et al., 2010) citado por (Jaramillo, y otros, 2014).

*Cercosporiosis (Cercospora longissima.)*

La cercosporiosis está ampliamente extendida por el mundo y es esencialmente dañina en algunas zonas de producción tropical, donde el clima cálido y húmedo favorece su desarrollo. Es

causada por *Cercospora longissima*. Se disemina por efecto del salpicado y del arrastre del agua lluvia, por residuos de plantas enfermas que persisten en el suelo o por la semilla. Esta enfermedad se favorece con temperaturas relativamente altas y abundante humedad ambiental. En el manejo ambiental se deben eliminar completamente los residuos de la cosecha, establecer una rotación de cultivos y emplear semilla libre de cercosporiosis (Latorre et al., 1990; Zambolin et al., 1997; Lopes et al, 2010) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). Las prácticas culturales adecuadas para el control de esta enfermedad son rotación de cultivos, buen drenaje y destrucción de los hospederos alternos. El uso de fungicidas foliares puede ser efectivo en condiciones altamente propicias para la enfermedad (Zambolin et al., 1997; Almodóvar, 2001) citado por (Jaramillo, y otros, 2014).

*Pudrición blanda, moho blanco, esclerotinia (Sclerotinia sclerotiorum (Libert.) de Bary y Sclerotinia minor Jagger*

La pudrición blanda de la lechuga es causada por el hongo *Sclerotinia sclerotiorum* (Libert.) de Bary. (Tamayo & Jaramillo, 1992) citado por (Velásquez, 2016) y por *Sclerotinia minor Jagger*. El patógeno afecta más de 360 especies de plantas, entre ellas, lechuga, tomate, crucíferas, zanahoria, alcachofa, apio, pepino, fríjol, habichuela y arveja. Es una de las enfermedades más destructivas de la lechuga. Se presenta tanto en el cultivo como en el almacenamiento y causa damping-off en semilleros y pudrición de plántulas adultas (Ávila & Velandia, 1992; Tamayo & Jaramillo, 1992) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). Algunos de los factores que favorecen el patógeno *S. sclerotiorum* son las altas humedades, las densidades de siembra, la inadecuada rotación de cultivos, los suelos contaminados con este microorganismo, la rotación con cultivos susceptibles como fríjol, repollo y papa, ya que estos son hospederos que

favorecen la multiplicación del patógeno y la incidencia de esta enfermedad (Laemmlen, 2009; Tamayo & Jaramillo, 1992) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). La pudrición blanda en lechuga ocurre en dos fases: la primera se produce con el adelgazamiento en un bajo porcentaje de plantas; la segunda, que es cuando la mayor infección se produce, ocurre en la maduración o cerca de esta. El síntoma inicial es un marchitamiento de la capa más externa de las hojas, que da a la planta una apariencia estresada, ya que la infección avanza hacia el interior de las capas de hojas; la planta entera, incluyendo la cabeza, se marchita.

Las hojas afectadas quedan en el suelo y la planta adquiere un color amarillento; síntomas similares pueden resultar del ataque de áfidos en la raíz de las lechugas (Lopes et al., 2010) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). Se observa una descomposición acuosa suave, tanto por encima como por debajo de las plantas; posteriormente, en condiciones de humedad, el hongo produce un micelio blanco y se producen esclerocios negros en la superficie inferior de las hojas, tocando el suelo, alrededor de la corona y a lo largo de la raíz. Pueden ser tan pequeños como una semilla de mostaza o tan grandes como un fríjol; dependiendo de la especie de hongo y de la temperatura durante su formación, toda la planta puede colapsar en menos de dos días; de ahí el nombre de pudrición blanda, que describe bien el síntoma final en la lechuga (Lopes et al., 2010) citado por (Jaramillo, y otros, 2014).

*Botrytis, moho gris, pudrición basal (Botrytis cinérea Pers.:Fr.)*

El moho gris causado por *Botrytis cinerea* (Varón, 1977) es una de las enfermedades más severas en cultivos de lechuga en invernadero en Grecia, Finlandia y España, entre otros países. En Colombia, donde la mayoría de los cultivos están al aire libre, la enfermedad se presenta cuando las condiciones de humedad le son favorables, ya sea por manejo inadecuado del riego,

por precipitaciones constantes o por rocíos frecuentes, y puede afectar plantas como remolacha, zanahoria, pepino y tomate (Ávila et al., 1999) citado por (Jaramillo et al., 2016). Durante los periodos de condiciones ambientales desfavorables, como el tiempo seco, el patógeno logra su supervivencia en la forma de esclerocios; sin embargo, *B. cinerea* puede vivir sobre malezas o sobre diversas especies de plantas cultivadas en el campo por tiempo indefinido. Invade el huésped por penetración directa a partir del micelio originado en los esclerocios o por esporas, las cuales son diseminadas por el viento, agua del riego, herramientas, partes de plantas o por animales. Después de la penetración en la planta, el hongo invade el tejido y lo necrosa; luego se forman los esclerocios sobre la superficie afectada o también puede aparecer una capa grisácea, afelpada, constituida por las fructificaciones del hongo, cuyas unidades reproductivas darán origen a nuevos ciclos (Ávila et al., 1999; Lopes et al., 2010) citado por (Cantos, 2019).

Inicialmente el hongo causa podredumbre de la base de las hojas y de la corona, pero eventualmente se extiende a toda la planta, que muestra sus hojas marchitas y con una esporulación grisácea sobre los tejidos parasitados. En lechuga coexiste frecuentemente con esclerotiniosis (Latorre et al., 1990) citado por (Cantos, 2019).

*Marchitez vascular, Fusarium (Fusarium oxysporum f. sp. lactucae (Sacc.) Snyder & Hans*

La enfermedad ha sido reportada en lechuga en el departamento de Antioquia (Saldarriaga, 1993) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). Este hongo vascular, citado fundamentalmente en varios condados de California, en Japón y en escasos países europeos, provoca oscurecimientos de los vasos en las raíces y en el tallo. Algunas hojas situadas a un lado de las lechugas amarillean o presentan necrosis en la periferia del limbo (tipburn). Las plantas a veces quedan enanas o no acogollan. En este caso son visibles, igualmente, lesiones de color rojizo oscuro en

el sistema vascular de las raíces y del pivot, mientras que las plántulas se marchitan y mueren (Blancard, 2005) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). El patógeno *Fusarium oxysporum* es un habitante natural del suelo que sobrevive entre cultivos en los residuos de cosechas, en suelo, como micelio o como clamidosporas; su diseminación a corta distancia ocurre a través del agua, especialmente cuando se utiliza riego por gravedad y en los equipos de trabajo; a larga distancia, en plantas afectadas y en suelo contaminado. La enfermedad es más frecuente en suelos ácidos, mal drenados y de textura liviana.

El hongo penetra directamente en las raíces de las plantas, a través de heridas o por los puntos de formación de las raíces laterales y posteriormente crece en los vasos de la xilema, en los cuales ocasiona taponamiento (Jaramillo & Díaz, 2006) citado por (Jaramillo, y otros, 2014). El primer síntoma de marchitamiento por *Fusarium* sp se produce en el aclareo cuando algunas plantas se marchitan y mueren. Las plantas infectadas presentan un color distintivo, rojo-marrón, que se extiende desde la raíz a la corteza superior de la corona. Las cabezas afectadas por más tiempo exhiben una quemadura de puntas que se limita a menudo a un lado de la planta, acompañada de amarilleo de las hojas y rayas de color marrón o negro del tejido vascular foliar. Algunas plantas se atrofian o no forman cabeza (Davis et al., 1997) citado por (Jaramillo, y otros, 2014).

#### *Antracnosis de la lechuga (Michodochium panattonianum)*

La antracnosis de la lechuga es causada por el hongo *Michodochium panattonianum* (Buriticá, 1995) citado por (Cantos, 2019). La enfermedad se puede manifestar en todas las variedades de lechuga y en la maleza conocida con el nombre de cerraña (*Sonchus oleraceus* L.) citado por (Cantos, 2019). Los síntomas se caracterizan por la presencia de lesiones pequeñas de

crecimiento rápido hasta formar manchas angulares o circulares de color cereza de aproximadamente 4 mm de diámetro; en las caras inferiores del nervio medio se presentan lesiones pardas hundidas semejantes a daños ocasionados por babosas. Si las plantas son atacadas en los primeros estados de crecimiento, se quedan pequeñas. La enfermedad progresa de las hojas más viejas a las más jóvenes y cualquier parte de la hoja puede ser infectada (Ávila & Velandia, 1992) citado por (Cantos, 2019). Aparecen primero manchas pequeñas, acuosas, de color café, en las hojas inferiores. Éstas se van ensanchando y toman un color paja. Poco después se caen los centros y dejan el característico agujero. El hongo puede sobrevivir sobre residuos de cosecha y huéspedes o como microesclerocios en hojas infectadas. Las esporas del hongo son diseminadas por la lluvia, por el transporte de suelo infestado o por el movimiento de plántulas enfermas (Ávila & Velandia, 1992; Sepúlveda, 2005) citado por (Cantos, 2019). Las esporas germinan, producen apresorios cortos que penetran directamente en las células epidermales y se desarrollan lesiones necróticas visibles después de las 96 horas; luego aparece la esporulación del hongo sobre y dentro del tejido de la hoja. La infección se favorece por un periodo húmedo mayor de ocho horas y una temperatura de 15 °C (Jaramillo, y otros, 2014).

#### ***2.2.2.6 Control biológico.***

Incluye el uso de enemigos naturales como *Aphidius* spp., *Praon* sp. *Lysiplebu* sp. en el control de áfidos, *Diglyphus begini* en el control de minadores, entomopatógenos como *Verticillium lecanii*, *Beauveria bassiana*, *Metharizium anisopliae* en el control de insectos y chizas o *Paecilomyces* sp en el control de nemátodos. Los entomopatógenos son mohos que atacan a insectos sin causar daño a la planta (Cantos, 2019). En general se necesita una humedad relativa alta para que estos logren el control y no siempre tienen un efecto rápido en el control de

la mayoría de los insectos. Es importante revisar los registros de estos productos en el ICA y el Ministerio de Salud, ya que no todos están registrados. Lo mismo se puede decir de los insecticidas hechos con base en extractos de plantas (Lee & Escobar, 2000) citado por (Cantos, 2019).

#### **2.2.2.7 Producción.**

En Colombia la lechuga es una hortaliza importante desde el punto de vista del área sembrada y el valor de la producción. Según (Agronet 2014) citado por (Velásquez, 2016) la participación en la producción de lechuga, en Colombia, está concentrada en cinco departamentos, de los cuales el mayor productor es Cundinamarca (64,20%), seguido de Nariño (16,44%), Antioquia (12,77%), Valle del Cauca (2,15%) y Norte de Santander (1,8%). En Norte de Santander, para el año 2016, la producción de lechuga ascendió a 1097 toneladas según reporte de (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural, 2016).

#### **2.2.3 Cultivo de acelga.**

La acelga es una planta que pertenece a la especie *Beta vulgaris* variedad *cicla*. Es originaria de los países Europeos de la Costa Mediterránea y del norte de África donde encontró un clima templado adecuado ya que le perjudica los cambios bruscos de temperatura. Se sabe que ya se consumía en el siglo I d. C., cultivada por griegos, romanos, árabes entre otros. Fueron estos últimos los que desarrollaron su cultivo y descubrieron sus propiedades medicinales, siendo considerada alimento básico de la nutrición humana durante mucho tiempo (Vallejo, 2013). En la tabla 2 se puede observar la clasificación taxonómica de la acelga.

Tabla 2. Clasificación taxonómica de *Beta vulgaris* variedad cicla

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	Beta
Especie	vulgaris
Subespecie	B. v. var. cicla
Nombre trinomial	<i>Beta vulgaris var. cicla</i>

Fuente: (Vallejo, 2013)

### 2.2.3.1 Morfología.

**Tallo.** También llamado peciolo o penca este suele ser de gran tamaño, de 3 a 4 cm de ancho y de 15 a 20 cm de largo muy carnoso y succulento; es de color blanco crema o amarillo (Infoagro, 2017).

**Hojas.** Constituyen la parte comestible, son grandes, de forma oval, ligeramente acorazonada, con marcadas nervaduras que nacen de la mitad del tallo, el color difiere según variedades entre verde oscuro, verde claro y amarillo (Infoagro, 2017).

**Flores.** Para que se presente la floración necesita pasar por un periodo de temperaturas bajas. El vástago floral alcanza una altura promedio de 1.20 m. La inflorescencia está compuesta por una larga panícula. Las flores son sésiles y hermafroditas pudiendo aparecer solas o en grupos de 2 o 3. Estas son muy poco destacadas ya que su color verde se confunde con el resto de la planta (Martínez, 2012).

**Frutos y semillas.** Son muy pequeñas y están encerradas en un pequeño fruto al que comúnmente se le llama semilla (realmente es un fruto), el que contiene de 3 a 4 semillas (Palacios, 2012). Estas semillas tienen una duración germinativa media de 6 años. Pueden conservar, sin embargo, su capacidad germinativa hasta 10 años o más (Marín et al., 2012; Morales, 2012).

### **2.2.3.2 Requerimientos edafoclimáticos.**

**Temperatura.** La acelga es una planta de clima templado, que vegeta bien con temperaturas medias; le perjudica bastante los cambios bruscos de temperatura. Las variaciones bruscas de temperatura, cuando las bajas siguen a las elevadas, pueden hacer que se inicie el segundo periodo de desarrollo, subiéndose a flor la planta (Infoagro, 2017).

La planta se hiela cuando las temperaturas son menores de  $-5^{\circ}\text{C}$  y detiene su desarrollo cuando las temperaturas bajan de  $5^{\circ}\text{C}$ . En el desarrollo vegetativo las temperaturas están comprendidas entre un mínimo de  $6^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $27$  a  $33^{\circ}\text{C}$ , con un medio óptimo entre  $15$  y  $25^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas de germinación están entre  $5^{\circ}\text{C}$  de mínima y  $30$  a  $35^{\circ}\text{C}$  de máxima, con un óptimo entre  $18$  y  $22^{\circ}\text{C}$  (Infoagro, 2017).

**Luminosidad.** No requiere excesiva luz, perjudicándole cuando ésta es elevada, si va acompañada de un aumento de la temperatura. La humedad relativa está comprendida entre el 60 y 90% en cultivos en invernadero. En algunas regiones tropicales y subtropicales se desarrolla bien, siempre y cuando esté en zonas altas y puede comportarse como perenne debido a la ausencia de invierno marcado en estas regiones (Infoagro, 2017).

**Sustrato.** La acelga necesita sustratos de consistencia media; vegeta mejor cuando la textura tiende a arcillosa que cuando es arenosa. Requiere suelos profundos, permeables, con gran poder de absorción y ricos en materia orgánica en estado de humificación. Es un cultivo que soporta muy bien la salinidad del suelo, resistiendo bien a cloruros y sulfatos, pero no tanto al carbonato sódico. Requiere suelos algo alcalinos, con un pH óptimo de 7,2 vegetando en buenas condiciones en los comprendidos entre 5,5 y 8 y no tolerando los suelos ácidos (Infoagro, 2017).

### **2.2.3.3 Valor nutricional y medicinal.**

La composición nutritiva de la acelga se destaca por su significativo aporte de minerales (calcio, hierro y potasio) y principalmente, por su elevado suministro de vitaminas A y B a la dieta. Las hojas exteriores, que suelen ser las más verdes, son las que contienen mayor cantidad de vitaminas y carotenos.

La acelga goza de numerosas aplicaciones medicinales y alimenticias, por ser emoliente, refrescante, digestiva, diurética, diaforética y nutritiva. Se emplea con éxito la decocción de las hojas en las inflamaciones de la vejiga y contra el estreñimiento. Igualmente presta valiosos servicios en las hemorroides y en las enfermedades de la piel. La acelga en ensalada con zumo de limón, sirve para fortalecer el estómago y vigoriza el cerebro, así como para desinflamar los nervios (Infoagro, 2017).

### **2.2.3.4 Enfermedades y manejo orgánico.**

Pulgón (*Aphisfabae*)

Estos insectos se sitúan en el envés de las hojas provocando daños que pueden afectar a la comercialización de las acelgas. Aparece generalmente en primavera o verano (Infoagro, 2017).

*Mosca de la remolacha (Pegomia betae o P. hyoscyami).*

Los adultos tienen la cabeza grisácea con una rayita roja en la parte frontal; los ojos son rosados y las patas amarillas. Las larvas tienen una longitud de unos 7mm; son de cabeza gruesa, dividida por una hendidura; no tienen patas y son de color blancuzco. La ninfa es de forma oval y color rosado. Los huevos son de color blanco sucio, rugosos, de 1 mm de longitud. Las larvas perforan la epidermis y penetran en el interior de los tejidos del limbo, haciendo galerías que pueden llegar a ocupar toda la superficie foliar. Su tratamiento se basa en el control de los adultos mediante productos de contacto como diazinon, naled o triclorfon (Infoagro, 2017).

*Mosca minadora (Liriomyza huidobrensis)*

Son moscas muy pequeñas de color negro, cuyas larvas cavan galerías en el interior de las hojas. Se trata con algún insecticida sistémico (Morales, 2012).

*Alacrán cebollero (Grillotalpa grillotalpa)*

Es un insecto que excava túneles en el suelo y se alimenta de las raíces o bulbos de las plantas (Morales, 2012).

*Caracoles y babosas.*

El daño lo producen los adultos juveniles al alimentarse de hojas y tallos, esto lo hacen principalmente de noche y en días nublados (Morales, 2012).

*Gusano blanco (Melolontha melolontha)*

Las larvas tienen un cuerpo blanquecino, con el extremo posterior abdominal de color negruzco. El insecto adulto tiene de 2 a 3 cm de largo, con la cabeza de color negro y el resto del cuerpo parduzco ocre. El ciclo evolutivo larvario completo es de 3 años, siendo en la primavera del segundo año cuando producen mayores daños (Infoagro, 2017).

*Gusano de alambre (Agriotes lineatum)*

Los adultos miden de 6 a 12 cm de longitud, son de color oscuro y de forma alargada. Las larvas son de color pardo dorado, con cierta semejanza a los ciempiés, de forma cilíndrica y cuerpo notablemente rígido y una longitud de 2 a 5 cm. Producen galerías en las raíces de las plantas, provocando heridas que más tarde son colonizadas por distintos Mohos del suelo causando enfermedad (Infoagro, 2017).

*Gusano gris (Agrotis segetum)*

Produce daños en la vegetación, seccionando el cuello de las plántulas recién plantadas. Para su control se aconseja desinfectar el suelo antes de la plantación y evitar la entrada de adultos al interior del invernadero mediante mallas mosquitera en las ventanas. En los cultivos al aire libre puede hacerse un tratamiento aéreo (Infoagro, 2017).

*Enfermedades Mildew (Peronospora farinosa, Peronospora spimaceae)*

Es un hongo que produce manchas en las hojas que se van volviendo amarillas y una especie de capa algodonosa en el envés de las hojas. Se puede tratar con fungicidas ricos en cobre (Infoagro, 2017).

*Oídio.*

Produce una especie de moho sobre toda la hoja que empeora y se extiende con las altas temperaturas. De no pararse la infección producirá la caída de las hojas (Infoagro, 2017).

*Cercosporiosis (Cercospora beticola).*

Forma manchas grises en las hojas rodeadas de un halo o cerco más oscuro rojizo. Las manchas terminan por juntarse y producen la muerte de las hojas. Esta enfermedad se acrecienta con el aumento de la humedad, por lo que se recomienda dejar espacio en las plantaciones para que las plantas se ventilen (Infoagro, 2017).

*Podredumbre blanda o "Pie negro" (Erwinia carotovora).*

El síntoma inicial es la aparición de una pequeña lesión de aspecto húmedo que va creciendo en hojas, tallos y frutos. Por las grietas producidas sale un exudado pegajoso formado por millones de bacterias. Cuando la podredumbre afecta a las raíces, se observa un oscurecimiento del pie de la planta, en la base del tallo. Clorosis y muerte final. Se aconseja usar semillas sanas (Morales, 2012).

*Peronospora (Peronospora schatii).*

Las hojas centrales presentan color más claro, deformándose, aparecen más o menos rizadas. El envés queda cubierto por un moho gris o violáceo de aspecto aterciopelado. El tratamiento es con zineb, diclofluanida, maneb, etc., cuando aparezcan los primeros síntomas (Infoagro, 2017).

### *Sclerotinia (Sclerotinia libertiana).*

El micelio se desarrolla en los tejidos, produciendo un moho blancuzco en el que se observan los esclerocios. En las raíces aparecen manchas grandes que al final se reblandecen, pudriéndose (Infoagro, 2017).

Para estos casos se deben prevenir mediante trampas y cultivos atrayentes (caléndulas, sonchus o cerraja, diente de león y taco de reina) (Goites, 2008).

### **2.2.3.5 Producción.**

La producción de acelga en Colombia durante el año 2014, según el (Infoagro, 2017) fue de 2.362 toneladas, de las cuales el departamento de Cundinamarca aportó 1.238 toneladas, seguido por el departamento del Cauca con 770 toneladas, por su parte Norte de Santander aportó 24 toneladas, lo cual representa una participación del departamento del 1,02% en la producción total del país.

### **2.2.4 Cultivo de apio española.**

El apio pertenece a la familia de las Umbelíferas; en esta especie vegetal hay dos variedades botánicas: *Apium graveolens* var. *Dulce* y *Apium graveolens* var. *Rapaceum*; este último es el apio-nabo; el primero se describe a continuación.

Tiene raíz pivotante, potente y profunda, con raíces secundarias superficiales. Del cuello de la raíz brotan tallos herbáceos que alcanzan de 30 a 80 cm de altura.

Las hojas son grandes que brotan en forma de corona; el peciolo es una penca muy gruesa y carnosa que se prolonga en gran parte del limbo. En el segundo año emite el tallo floral, con flores blancas o moradas; el fruto es un aquenio.

La semilla tiene una facultad germinativa media de 5 años; en un gramo de semilla entran aproximadamente 2.500 unidades.

Según Thompson y Kelly, la floración en el apio se motiva principalmente por la acción de temperaturas vernalizantes durante un cierto tiempo (normalmente temperaturas por debajo de 7°C a 10°C, actuando por un período comprendido entre 14 y 28 días), cuando la planta ya tiene un cierto tamaño, momento en que es capaz de recibir el estímulo vernalizador. Desde que se planta hasta que se recolecta tiene una duración aproximadamente de unos 4 meses (Infoagro, 2017). En la tabla No. 3 se puede ver la clasificación taxonómica del apio española.

Tabla 3. Clasificación taxonómica del *Apium graveolens*

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Apiales
Familia	Apiaceae
Género	Apium
Especie	<i>Apium graveolens</i> L.

Fuente: Infoagro, 2017

#### **2.2.4.1 Requerimientos edafoclimáticos.**

La temperatura óptima para la fase de crecimiento vegetativo está próxima a los 18°C. Las heladas producen el desprendimiento de la epidermis de los pecíolos (pencas), si la misma es muy intensa produce el ahuecado de las pencas (Sendra, Tonelli, & Ali, 2011).

No es un cultivo muy exigente en suelos, se adapta a diferentes texturas siempre que tengan un adecuado drenaje. El pH óptimo es de 5.8 y los límites entre 5.5 y 6.5, la conductividad óptima de 1 mmhos/cm. Es medianamente resistente a la salinidad, salvo en estado de plántula donde es más sensible (Sendra, Tonelli, & Ali, 2011).

Es un cultivo exigente en agua de buena calidad, requiere abundante cantidad de agua especialmente en los períodos de alta temperatura y al final del cultivo; necesita una lámina mínima de unos 800 mm (Sendra, Tonelli, & Ali, 2011).

#### ***2.2.4.2 Control biológico.***

Un método que resulta muy eficaz, y empleado tanto en semilleros como en invernaderos es tratar la tierra con agua caliente, pues los nemátodos mueren a temperaturas de 40 - 50°C. Adicional aplicar en forma preventiva extractos botánicos (extracto de Nim más ajo en dosis de medio litro por bomba o extracto EM5 (Líquido de acción repelente de plagas) en dosis de 250 ml por bomba de 4 galones) y caldo sulfocalcico en dosis de 250 cml por bomba de 4 galones. Para problemas con plagas del suelo aplicar extractos de ajo más epacina (Morales, 2012).

#### ***2.2.4.3 Producción.***

La producción de apio en Colombia durante el año 2014, según (Minagricultura, 2017) fue de 8.258 toneladas, de las cuales el departamento de Cundinamarca aportó 5.625 toneladas, seguido por el departamento de Antioquia con 1.658 toneladas; por su parte Norte de Santander aportó 975 toneladas, lo cual representa una participación del departamento del 11,81% en la producción total del país.

#### ***2.2.4.4 Plagas y enfermedades.***

##### *Mosca del apio (Phylophyllo heraclei L.)*

La hembra pone sus huevos en las hojas de los apios y también en otras umbelíferas. Las larvas excavan galerías en el interior de las hojas, entre la epidermis, con lo que pueden secarse

los tejidos. Tienen dos generaciones: en primavera y a finales de verano. En primavera los daños pueden ser más graves en las plantaciones jóvenes. En otoño, los apios ya están suficientemente desarrollados para que las larvas diseminadas ocasionen estragos (Infoagro, 2017).

*Pulgones (Aphis sp., Myzus persicae)*

Además del daño directo que ocasionan, los pulgones son vectores de enfermedades viróticas, por tanto, son doblemente peligrosos. Los pulgones se alimentan picando la epidermis, por lo que producen fuertes abarquillamientos en las hojas que toman un color amarillento (Infoagro, 2017).

*Gusanos grises (Agrotis sp.).*

Las orugas, de color grisáceo y en muchas ocasiones enrolladas, devoran las partes aéreas de las plantas durante la noche, en tanto que permanecen en suelo o bajo las hojas secas durante el día. Cuando las plantas están recién trasplantadas destrozan el cuello de la raíz. Su mayor incidencia en este cultivo tiene lugar en el mes de abril.

*Nemátodos (Dytilenchus dipsaci Kuehm.).*

Los apios muestran un tamaño más pequeño de lo normal, hojas amarillentas y algo deformadas y, si se extraen las plantas del suelo, pueden observarse abultamientos radiculares.

*Mildiu del apio (Plasmopara nivea Schr.)*

Produce amarilleos y desecación de las hojas, pudiendo originar la destrucción total de las plantas jóvenes.

*Mancha foliar (Cercospora apii)*

Es una enfermedad por hongo. Aparecen manchas amarillas y éstas crecen rápidamente. Este hongo viene de la tierra y se transmite por el viento o agua. Las plantas afectadas crecen lento y las hojas afectadas se secan. Disminuye el rendimiento de la cosecha.

*Mancha foliar o tizón (Cercospora apii Fres.)*

Al principio produce manchas amarillentas en las hojas y después grisáceas, hasta producir la necrosis foliar. Suele atacar al apio en los meses de verano.

*Septoriosis (Septoria apii (Briosi et Car.) Chest., Septoria apii graveolentis (Dorg))*

Los dos Mohos se manifiestan por la presencia en las hojas de manchas de color marrón claro, en las que se observan unos puntos negros que son los picnidios del hongo. Generalmente al poco tiempo, las hojas se abarquillan y desecan. En ataques severos la infección puede llegar hasta las pencas del apio. *Septoria apii* produce manchas grandes y *Septoria appi graveolentis* produce manchas de menor tamaño. Esta enfermedad puede transmitirse por semilla (Infoagro, 2017).

## 2.3 Fundamentación legal

### 2.3.1 Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos.

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el

territorio nacional. Esta norma establece los criterios para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde su generación hasta su disposición final.

Las actividades de manejo de desechos sólidos deberán realizarse en forma tal que se eviten situaciones como:

Contaminación del aire, suelo o agua.

Generación de olores objetables, polvo y otras molestias.

Disposición final no sanitaria de los desechos sólidos.

### **2.3.2 Política para la Gestión Integral de los Residuos. 1998.**

Ministerio del Medio Ambiente. Esta política define los principios de la Gestión Integral para todos los tipos de residuos. Establece el máximo aprovechamiento y mínimo de residuos con destino al Relleno Sanitario. Define las categorías de Residuo Aprovechable y No Aprovechable, para impedir o minimizar los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente, que ocasionan los residuos de todo orden, y minimizar la generación y la disposición final como alternativa ambiental deseable. Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. 2005. Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Directrices para la Gestión de Residuos Peligrosos. Incluye Suelos Contaminados.

### **2.3.3 R. 1045 de 2003. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.**

Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones (Mapa normativo para el aprovechamiento de los Residuos sólidos en Colombia, sf).

#### **2.3.4 Ley 187 2006 – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.**

Artículo 1. Objeto. En el presente documento se describen los principios, directrices, normatividad y requisitos mínimos que deben cumplir los operadores para la producción primaria, procesamiento, empaquetado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización interna de productos obtenidos mediante sistemas de producción agropecuaria ecológica, así como los organismos de control y el sistema de control para dichos productos. Lo anterior se establece con el fin de garantizar a los consumidores que los productos agropecuarios ecológicos y los que son procesados dirigidos a la alimentación humana, cumplan con lo establecido en el presente reglamento, y de igual manera garantizar la idoneidad y transparencia de todos los operadores y los organismos de control.

#### **2.3.5 Ley 9 del 24 de enero de 1979.**

Se regulan íntegramente todos los aspectos de orden sanitario que puedan afectar la salud individual o colectiva de la comunidad como un bien de interés público e instaura disposiciones generales sobre residuos sólidos y control de descarga de los mismos que puedan afectar las condiciones sanitarias del medio ambiente.

#### **2.3.6 Ley 99 del 22 de diciembre de 1993.**

Se definen los principios de la gestión ambiental del país, se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA.

### **2.3.7 Decreto 2811 de 1974.**

Código de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Control y manejo de los residuos sólidos y orgánicos. Describe una visión integral de rehúso, reciclaje, restauración de suelos y responsabilidad ambiental.

### **2.3.8 Decreto 1713 del 6 de agosto de 2002.**

Orientado a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios.

### **2.3.9. Resolución 00150 de enero 21 de 2003.**

Por la cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia.

### **2.3.10 Norma técnica Colombiana NTC 40.**

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas Y Certificación ICONTEC. Abonos o fertilizantes y productos afines.

### **2.3.11 Norma técnica Colombiana NTC 1927.**

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas Y Certificación ICONTEC. Tercera edición. Fertilizantes y acondicionadores de suelos, definiciones y clasificación.

### **2.3.12 Norma técnica Colombiana NTC 5167 y resolución 00150 de 2003.**

Límites permisibles de parámetros físico-químicos y microbiológicos del compost para ser utilizado como acondicionador del suelo.

## Capítulo III

### 3. Diseño metodológico

#### 3.1 Nivel de la investigación.

La investigación se clasifica dentro del grupo de investigaciones experimentales ya que en la Fase I se planteó comparar la calidad del abono obtenido: Compostaje Aerotérmico (CA) basado en las características físico-químicas y microbiológicas con la normatividad vigente (ICONTEC. NTC 5167 de 2011). Y en la Fase II se evaluó el efecto de las diferentes proporciones de abono: arena (70:30, 50:50 y 30:70) en tres cultivos: *Lactuca sativa L* (LECHUGA), *Beta vulgaris* variedad *cicla* (ACELGA) y *Apium graveolens* var. *Dulce* (APIO ESPAÑA)

#### 3.2 Variables de estudio

##### 3.2.1 Del compost.

Se monitorearon las características fisicoquímicas y microbiológicas del abono producido durante el proceso.

*Las variables físico-químicas analizadas fueron:*

Semanalmente se registró: temperatura, pH y humedad.

Semanalmente se determinó: Conductividad eléctrica, Carbono orgánico, Fósforo, Calcio, Capacidad de Intercambio Catiónico, Magnesio, Potasio, Hierro, Zinc, Cobre y Manganeseo.

*Las variables microbiológicas analizadas fueron:*

Semanalmente se analizó: Bacterias Coliformes totales, Bacterias Coliformes Fecales, Mohos y Levaduras, Bacterias termófilas, Bacterias Celulolíticas (25°C), Bacterias Celulolíticas (37°C), Bacterias Amonificantes (25°C), Bacterias Amonificantes (37°C), Bacterias degradadoras de Urea (37°C), Bacterias degradadoras de Urea (25°C), Bacterias amilolíticas (25°C), Bacterias amilolíticas (37°C).

### **3.2.2 De las plantas.**

Se monitorearon características físicoquímicas y microbiológicas de las plantas cosechadas.

Las variables físico-químicas analizadas fueron: peso total de la planta, número de hojas, Calcio, magnesio, fósforo y potasio.

Las variables microbiológicas analizadas fueron: Bacterias Coliformes totales y fecales por la técnica de número más probable y recuento de huevos de parásitos.

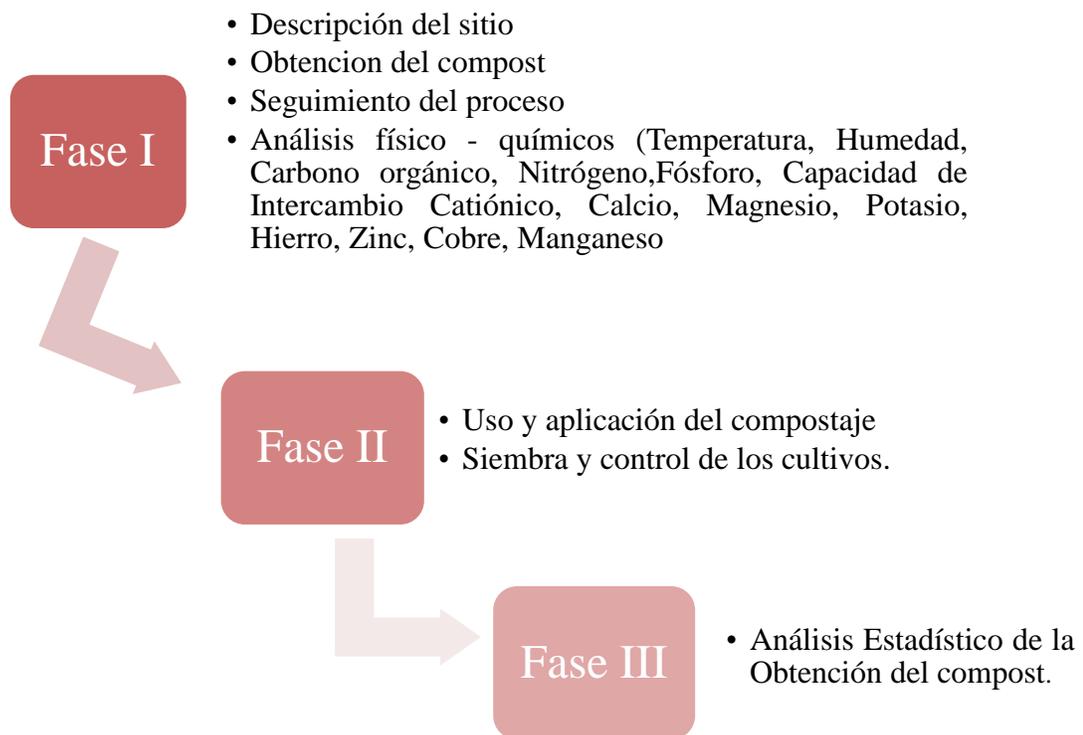
### **3.3 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación comprendió tres Fases:

Fase I: Obtención del compost.

Fase II: Evaluación del abono en tres cultivos.

Fase III: Análisis de los resultados.



*Figura 3.* Diseño de investigación  
Fuente. elaboración propia

### 3.3.1 Fase I.

La Fase I comprende las siguientes actividades:

#### 3.3.1.1 Descripción del sitio.

El trabajo se realizó en las instalaciones de la Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander Colombia, ubicada en las coordenadas 7° 23' 13. 69'' latitud N; 72° 38' 55. 61'' de longitud O, con una altura de 2.380 msnm y una temperatura promedio de 16°C.

### ***3.3.1.2 Obtención del compost.***

Para la obtención de compost, se aplicó la biotecnología del compostaje aerotérmico. Inicialmente se recolectó material de poda del campus central y se trasladó al vivero donde se secó naturalmente. Luego se trituró en un Molino Desintegrador Forrajero Marca Pinhero Modelo Pd-5. Las unidades experimentales consistieron en tres pilas uniformes en composición y dimensiones: Se tomaron muestras de compost desde el principio y hasta el final obteniendo: Relación carbono nitrógeno 35, tamaño de partícula 2-5 cm, altura y diámetro de la pila: 1,5 m, humedad 70% y temperatura ambiental 19 +/- 2°C. Se pesaron y mezclaron 1000 kg de residuos para cada pila las cuales fueron ventiladas a través de volteos manuales semanales durante tres meses para facilitar la aireación y evitar la formación de núcleos de anaerobiosis. Durante el bioproceso se realizaron mediciones semanales de temperatura, pH y humedad. Semanalmente fueron tomadas manualmente buscando el centro de la pila con el fin de tomar una muestra homogénea para el respectivo análisis físico-químico: conductividad (potenciométrico), carbono oxidable (método incineración el cual está descrito en la metodología), nitrógeno total (método de micro-Kjeldahl), fósforo (colorimétrico), capacidad de intercambio catiónico (Método IGAC), calcio, magnesio, potasio, hierro, zinc, cobre y manganeso (Espectrofotometría de absorción atómica y colorimetría).

### ***3.3.1.3 Seguimiento del proceso.***

Durante el bioproceso se realizaron mediciones semanales de temperatura, pH y humedad. Semanalmente fueron tomadas muestras para análisis físico-químico: conductividad, carbono orgánico, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio, hierro, zinc,

cobre y manganeso. Para el análisis de nitrógeno se tomaron muestras al iniciar y finalizar el proceso.

### 3.3.1.4 Análisis físicos químicos.

Los métodos utilizados para la determinación de los análisis físico-químicas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis fisicoquímicos del proceso de compostaje

Nombre de la prueba	Método	Unidades
Temperatura	Termómetro	°C
Humedad	Gravimétrico	% H
pH	Potenciométrico	pH
Conductividad	Potenciométrico	μS/cm
Carbono orgánico	Walkley y Black modificado para colorimetría	%
Nitrógeno	MicroKjeldahl	%N
Fósforo	Colorimétrico	ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico	Método del acetato de amonio, volumétrico	Meq/100gr
Calcio	Espectrofotometría de absorción atómica	ppm
Magnesio	Espectrofotometría de absorción atómica	ppm
Potasio	Espectrofotometría de absorción atómica	ppm
Hierro	Espectrofotometría de absorción atómica	ppm
Zinc	Espectrofotometría de absorción atómica	ppm
Cobre	Espectrofotometría de absorción atómica	ppm
Manganeso	Espectrofotometría de absorción atómica	ppm

Fuente: elaboración propia

Los procedimientos que se realizaron fueron los siguientes:

#### *3.3.1.4.1 Temperatura.*

La temperatura tiene importancia fundamental en relación con la actividad de los micro y meso-organismos, la descomposición de la materia orgánica y la germinación de semillas (Pazos, 2008). Según Bueno, Díaz y Cabrera, (2008) al disponerse el material a utilizar en el compostaje en pilas, en un reactor, etc., si las condiciones son las adecuadas, comienza la actividad microbiana. Inicialmente todo el material está a la misma temperatura, pero al crecer los microorganismos se genera un calor aumentando la temperatura del material. El síntoma más claro de la actividad microbiana es el incremento de la temperatura de la masa que se composte, por lo que la temperatura ha sido considerada tradicionalmente como una variable fundamental en el control del compostaje (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008). En el proceso de la investigación se tomó la temperatura con un termómetro de punzón, se registró al inicio y semanalmente, teniendo en cuenta las variaciones que se presentaron, las muestras fueron las cuales se tomaron en las horas de la mañana, en el centro de la pila y se mezclaban para tomar una sola.

#### *3.3.1.4.2 Humedad.*

Algunos autores como (Haug, 1993; Madejón y col, 2002; Jeris y col, 1973) consideran que la humedad de los materiales es la variable más importante en el compostaje y ha sido calificada como un importante criterio para la optimización del compostaje. La importancia de una humedad apropiada fue demostrada por Shulze (1962). Este autor estudió la variación de la cantidad de oxígeno consumido por una masa inicial durante el compostaje, en un reactor cerrado a una temperatura constante, en función de la humedad. Pequeñas variaciones de humedad provocaban grandes cambios en la temperatura (Léiva, 2013-2014).

En este proceso para la determinación de humedad se pesaron 5g de muestra fresca y se depositaron en una cápsula previamente tarada a 70°C, posteriormente fueron introducidas en una mufla, manteniéndose a 105°C por 12 horas o hasta tener un peso constante. Se enfriaron en un desecador y se pesaron; el porcentaje de humedad (McKean, 1993). Se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{(\text{Peso de muestra húmeda} - \text{Peso de muestra seca})}{(\text{Peso de muestra seca})} \times 100$$

#### 3.3.1.4.3 pH.

El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. En muchos trabajos se usa esta variable para estudiar la evolución del compostaje. Sin embargo, su medida, que se realiza en el laboratorio sobre el extracto acuoso de las muestras tomadas en las pilas, es sólo una aproximación del pH “in situ” (Sundberg y col, 2004) citado por (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008). Mediante el seguimiento del pH se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2008).

El pH es un valor que nos indica si un producto o material es ácido (pH inferior a 7), alcalino (pH superior a 7) o neutro (pH igual a 7). Conviene que el compost sea lo más neutro posible porque los microorganismos responsables de la descomposición de los restos orgánicos no toleran valores muy alejados del 7. Si esto se produjese, el proceso de compostaje se detendría o se ralentizaría notablemente.

El pH del suelo es uno de los parámetros que mejor refleja sus propiedades químicas, El pH es un factor que determina la disponibilidad de muchos de los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas. Aunque no sea posible deducir la acidez total del suelo midiendo el pH, hay tres rangos de pH que son muy informativos sobre la química del suelo.

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4,5 a 8,5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0 - 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5 - 8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2 (Goites, 2008).

Respecto al proceso desarrollado se pesó 10 g de muestra; se agregó 20 ml de agua destilada, se agitó intermitentemente durante media hora. Se dejó en reposo por media hora y en el potenciómetro se tomó la lectura con electrodo de vidrio, previamente calibrado con una solución amortiguadora de pH 4.0, se comprobó el ajuste con la solución amortiguadora de pH 4.0. El electrodo de vidrio penetró en la masa del suelo y electrodo de referencia fue sumergido dentro del líquido. Se tomó los datos de las lecturas con aproximación de una cifra decimal.

#### *3.3.14.4. Conductividad.*

La medida de la Conductividad Eléctrica (CE) del suelo y de las aguas de riego permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. El análisis de la CE se hace para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la

germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorción de agua por parte de estas (McKean, 1993).

*3.3.1.4.5 Cuantificación de la capacidad de retención de agua, pH y conductividad eléctrica en un producto orgánico.*

El método utilizado para evaluar el pH y la conductividad eléctrica de un producto orgánico, es el mismo empleado para la caracterización de la salinidad en suelos, esto es en pasta de saturación. Este método permite tener resultados comparables entre los laboratorios, a la vez que aporta información muy cerca a la realidad, puesto que sólo tiene la influencia del medio acuoso, situación semejante al comportamiento del material al entrar en contacto con el suelo. Sobre el mismo método de análisis es posible obtener información acerca de la capacidad de retención de agua del material (porcentaje de saturación). A su vez el pH se puede determinar utilizando una relación material orgánico agua (ICONTEC, 2004).

Determinación de Conductividad Eléctrica (1:5) NOM-AA-021 REC-NAT-2000 Método AS-18). Se pesó 50 g de muestra se añadieron 50 ml de agua desionizada, se agitó la suspensión y se dejó reposar durante 24 horas, se procedió a filtrar mediante embudo buchner al vacío y el filtrado se coloca en celda para su respectiva medición de la CE, en el potenciómetro teniendo en cuenta las unidades reportadas. Entre cada medición se enjuagó la celda 2 ó 3 veces con agua desionizada. Después se tomó la temperatura de la solución.

#### 3.3.1.4.6 Carbono orgánico.

El carbono orgánico en el compost es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008).

Este método considera que la materia orgánica del compost tiene, en promedio, un 56% de carbono. Por lo tanto, para obtener el contenido de carbono orgánico de una muestra se divide por 1,8 el contenido de materia orgánica determinado por el Método 6.1. Este procedimiento es aplicable, como método alternativo, a todos los tipos de compost (NCh 2880, 2004).

Para el caso de la presente investigación la determinación de carbono orgánico se realizó por el método Walkley-Black, en el cual la muestra se oxida con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica. Dicho proceso se realizó valorando por retroceso la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la MO, con una solución de sulfato ferroso, utilizando como indicador difenilamina, y también se determinó por colorimetría, cuantificando el color del ácido crómico reducido a  $\lambda_{\max} = 585\text{nm}$ , el cual es proporcional a la materia orgánica que reacciona. Además, se realizó la respectiva curva de calibración con patrones de sacarosa R.A (Mckean, 1993).

Por otra parte, es procedente anotar que no existe un método de rutina para determinar la materia orgánica (MO) en el suelo de una manera satisfactoria. Por esa razón normalmente se estima indirectamente utilizando la medida del contenido del carbón orgánico (CO) en el suelo. Se usa un procedimiento modificado de Walkley y Black (1934), que está basado en una oxidación húmeda, para determinar el contenido de CO en el suelo. Se oxida la muestra en una

solución de dicromato de potasio, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado (McKean, 1993).

Se pesaron 0,30 g de muestra tamizada de suelo (2 mm) y se colocaron en un Erlenmeyer de 250 ml, se agregaron 10 ml de solución de dicromato de potasio 0,1 M y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y se agitó vigorosamente durante un minuto. Se dejó reposar durante 30 minutos. Una vez frío, se diluyó con agua destilada hasta completar un volumen de 100 ml y se adicionaron 5 ml de ácido fosfórico concentrado. Se dejó reposar durante 10 minutos, se agregaron de 20 a 30 gotas de difenilamina al 0,5% y se valoró el exceso de dicromato con una solución de sulfato ferroso 1 M, teniendo en cuenta el paso de un color púrpura oscuro a un verde brillante, llevando un blanco para cada serie de muestras.

#### *3.3.1.4.7 Nitrógeno.*

El N es uno de los macronutrientes indispensables para el desarrollo y crecimiento de las plantas. El N es muy abundante en el suelo y depende del contenido en materia orgánica. Existe entre 0.02 - 0.4 % de N en suelo del cual el 98% está en forma orgánica. Solo una pequeña fracción resulta asimilable por las plantas. El N sirve a las plantas para la formación de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y constituye más del 20% del peso seco de la planta.

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes en un compost. Cuando analizamos su contenido total (TN) nos referimos a la suma de sus formas inorgánicas (amonio, nitrato y nitrito,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  respectivamente) y orgánicas (amino ácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos que tengan nitrógeno en su estructura). En la actualidad, existen dos métodos para su análisis (los más empleados en los laboratorios de análisis): el método Kjeldahl (digestión húmeda) y el método Dumas (digestión seca) (Tortosa, 2019).

Para el caso de la presente investigación, se realizó por medio del método micro-Kjeldahl por medio de dos pasos: el primero es una digestión a temperatura alta con ácido sulfúrico en la presencia de unos reactivos que promueven la conversión del nitrógeno orgánico, en la muestra a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) inorgánico, formando sulfato de amonio. El segundo paso es la determinación de  $\text{NH}_4^+$  después de la digestión (McKean, 1993).

Se pesó 0,5 g de muestra en un tubo de digestión con 1 g de mezcla de catalizador comercial de Se-Cu, se agregó 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y se dejó reposar, posteriormente se colocó la muestra a digestión, a una temperatura de 260 °C durante dos horas, pasado ese tiempo se aumentó la temperatura a 360 °C por 1 hora más. La muestra tratada previamente y fría se llevó al equipo para ser neutralizada, se adicionaron 10 ml de agua desionizada e hidróxido de sodio al 32% hasta alcanzar su punto neutro (con mucha precaución la reacción es altamente exotérmica), obteniéndose un cambio de coloración en la reacción, y posteriormente se colocó la manguera del destilador dentro de la mezcla de solución de ácido bórico e indicadores, la cual se hizo burbujear durante 10 - 15 min para la recuperación de la destilación por arrastre de vapor para obtener un volumen 50 ml (Flecher & Malagón, 1979). Posteriormente se llevó a cabo la titulación agregando al Erlenmeyer de 250 ml tres gotas de solución indicadora (mezcla comercial de bromocresol-rojo de metilo). Se realizó la titulación con ácido sulfúrico 0,1 N teniendo en cuenta el punto final de viraje.

$$\%N = \frac{V \cdot N \times 0,014}{W} \times 100$$

N = Normalidad del ácido sulfúrico

V = Volumen del ácido empleado en la titulación

W = Peso de la muestra (McKean, 1993).

#### 3.3.1.4.8 Fósforo.

Los métodos de análisis para la cuantificación de los elementos minerales presentes en un producto orgánico, son los establecidos para cuantificar los mismos, en un material vegetal. Para tal efecto existen diferentes métodos el aquí descrito es un método definido como mineralización por vía seca. Por este método es posible cuantificar fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, cobre, manganeso, zinc, boro y azufre. Sin embargo, estos elementos también se pueden determinar por mineralización vía húmeda (ICONTEC, 2004).

Para el caso de la presente investigación, se determinó el P por medio del método de azul de molibdeno (Murphy y Ailey, 1962). El método estuvo basado en la producción de un complejo de fosfomolibdato en una solución ácida, el cual fue reducido por ácido ascórbico para formar un color azul. Es muy sensible y la Intensidad del color azul varía con la concentración de P en la solución.

Se pesó 5 g de suelo en un frasco de extracción de forma alta. Se agregó una cucharadita de carbón activado y 100 ml de  $\text{NaHCO}_3$  0,5 m. Se agitó durante media hora con agitador mecánico y filtró la suspensión, usando papel filtro Whatman N°. 40. Se Tomó una alícuota de 5 ml de filtrado en un balón aforado de 25 ml, luego 5 ml de la solución de molibdato y se llevó con agua a unos 22 ml. Luego se adicionó 1,0 ml de la solución diluida con cloruro estañoso, se aforó a volumen y agitó. A los 10 minutos se tomó la lectura de color desarrollado, en un fotolorímetro a 660 nm.

Se preparó una curva patrón de 0 a 10 ppm de fosfato diácido de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), adicionando los reactivos necesarios y llevando a 25 ml.

En algunos suelos ricos en fosforo puede ser necesario utilizar menos de 5 ml de alícuota, en cuyo caso. Se preparó un blanco de reactivos para cada seria de determinaciones.

#### 3.3.1.4.9 Capacidad de Intercambio Catiónico.

La Capacidad de Intercambio Catiónico, CIC, es un indicador que hace referencia a la cantidad de cationes que pueden ser retenidos por un suelo dado un determinado pH, y que pueden ser intercambiados por otros contenidos en la solución del suelo.

El método descrito es el del acetato de amonio 1 N pH 7.0 el cual presenta algunas ventajas sobre los demás métodos conocidos. Se basa en el reemplazo de las posiciones de intercambio por el ión amonio y su posterior desplazamiento con una solución de cloruro de sodio, produciendo cloruro de amonio el cual en presencia de formaldehído forma estequiométricamente un complejo nitrogenado y ácido clorhídrico el cual es evaluado con hidróxido de sodio (ICONTEC, 2004).

Para este caso los cationes Intercambiables, Incluyendo Al, fueron desplazados con una sal no amortiguada y la CIC se tomó como la suma de los cationes en el extracto (McKean, 1993).

Se pesaron 5 g de compost en un erlenmeyer de 250 ml y se adicionaron 25 ml de acetato de amonio 1 N y neutro. Se agitó mecánicamente por 30 minutos, dejando en reposo durante la noche. Se filtró al vacío por embudo buchner extrayendo con mas acetato. Se guardo el filtrado para realizar análisis de cationes por absorción atómica.

Después de lavar el compost con acetato de amonio, se lavó el exceso de amonio con 50 ml de alcohol etílico al 95% en cinco porciones de 10 ml cada una, se despreció el filtrado. Se cambió de erlenmeyer para recibir el nuevo filtrado y se desplazó el ion amonio mediante el lavado de 10 ml de solución de NaCl al 10 %. Al filtrado anterior se le agregó 10 ml de formaldehído neuneutralizado, para titular finalmente con 3 gotas de fenoltaleína y se valoró con una solución de NaOH 0,1N. Fue necesario hacer un blanco.

$$\frac{meq}{100 \text{ gr suelo}} = \frac{\text{Volumen ml NaOH} \times N \text{ NaOH}}{\text{Peso muestra gr}} \times 100$$

#### 3.3.1.4.10 Calcio, Magnesio y Potasio.

El Calcio (Ca) es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. El Magnesio (Mg) es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15 al 20 por ciento del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes. El Mg se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta y el Potasio (K), que suple del uno al cuatro por ciento del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones. Activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida). Por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, 2002).

Para efectos de la presente investigación, se desplazaron los cationes Intercambiables con una solución de acetato de amonio amortiguada. Se midió la concentración de cada catión por medio de absorción atómica (McKean, 1993).

#### 3.3.1.4.11 Hierro, Zinc, Cobre, Manganeso, Calcio, Magnesio y Potasio.

Estos micronutrientes son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta, siendo comparables con las vitaminas en la nutrición humana. Son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño.

Para los productos orgánicos minerales, el método de mineralización de los elementos tiene en cuenta su presencia en material orgánico como en el mineral. Para el primer tipo de nutrientes

se requiere un agente oxidante y en el caso de los de origen minerales suficientes la digestión con ácido clorhídrico. A su vez, con esta muestra es posible cuantificar los metales pesados tales como el Cadmio, Plomo, Cromo, Níquel, Mercurio y Arsénico, empleando los mismos métodos con los que se cuantifican en suelos. La muestra se mineraliza en una mezcla de ácido nítrico y clorhídrico (agua regia) y se evalúan por absorción atómica o por otro método equivalente (ICONTEC, 2004).

Para la presente investigación el contenido total de Ca, Mg, K, Cu y Fe se determinó primero al compost y luego de la destrucción de la materia orgánica en los tejidos de las plantas cosechadas por medio de una digestión ácida y/o una calcinación. Para medir los niveles de los elementos, se usó el procedimiento de absorción atómica (McKean, 1993). La técnica de espectrofotometría de absorción atómica se basa en el principio de que los átomos absorben luz a longitudes de onda características. Una lámpara de cátodo hueco (que tiene, como cátodo, el elemento para determinar) emite una línea de espectro que es característica del elemento. La muestra se atomiza en una llama y los átomos absorben energía a la línea resonante (McKean, 1993).

Se colocó 5.0 g de una muestra secada al aire, molida y tamizada en un Erlenmeyer. Se agregó 20 ml de solución de extracción (0.05N HCl + 0.025N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Se agitó en un agitador mecánico durante 15 minutos, luego se filtró a través del papel de filtro Whatman N° 42 en un matraz volumétrico de 50 ml y por último se diluyó hasta 50 ml con la solución de extracción (Shimadzu, AA7000).

### 3.3.1.5 Determinación microbiológica.

De igual forma se realizaron determinaciones microbiológicas semanales como se muestra en la Tabla No. 5.

Tabla 5. Determinaciones microbiológicas semanales

Análisis microbiológico	Temperatura / tiempo (°C/h)	Método	Medio empleado
Bacterias coliformes totales	37°C / 48	Recuento en placa	Agar chromocult
Bacterias coliformes fecales	37°C / 48		Agar chromocult
Mohos y levaduras	25°C / 6 días		Agar Rosa de Bengala
Bacterias termófilas	45°C / 48		Agar SPS
Bacterias celulolíticas	37°C / 48 y 25°C / 48		Agar Carboximetilcelulosa
Bacterias amonificantes	37°C / 48 y 25°C / 48		Agar Amonio
Bacterias degradadoras de urea	37°C / 48 y 25°C / 48		Agar Urea
Bacterias amilolíticas	37°C / 48 y 25°C / 48		Agar almidón

Fuente: elaboración propia

Los procedimientos que se realizaron fueron los siguientes:

#### 3.3.1.5.1 Bacterias Coliformes Totales.

La denominación de coliformes se le otorga a todo aquel grupo de bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común y son de mucha importancia como indicadores de contaminación del agua y de los alimentos, sin embargo, el nombre de coliformes totales comprenden la totalidad del grupo (Micro de Alimentos, 2008). Los coliformes totales se encuentran en el intestino del hombre y los animales, pero también en otros ambientes como suelo, plantas, cáscara de huevo, etc. (Pascual & Calderón, 1999). Las bacterias coliformes son

capaces de proliferar en los alimentos, incrementando su número rápidamente, sin necesidad de que haya habido una alta contaminación (Soto, 2016).

En el presente proyecto se pesaron 11 gramos de las muestras, cada uno de los cuales fueron llevados a 99 ml de agua peptona 0,1% (p/v). Posteriormente se realizaron diluciones seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  en agua peptona a 0.1 (p/v).

A partir de las diluciones preparadas se realizó siembra en superficie en agar Chromoculth. Las cajas se incubaron a 35°C por 24 horas.

#### *3.3.1.5.2 Bacterias Coliformes Fecales.*

Las bacterias coliformes fecales forman parte del total del grupo coliformes, por lo tanto presentan las mismas características que las coliformes totales, pero son capaces de reproducirse a temperaturas entre 44 y 44,5 °C. Su termotolerancia se debe a una superior estabilidad de las proteínas al calor y es así que normalmente se encuentran en el tracto entérico de los animales. En este grupo la principal bacteria que representa la meta de identificación es *Escherichia coli* (Hernández, 2002).

A partir de las diluciones preparadas se realizó siembra en superficie en agar Chromoculth. Las cajas se incuban a 37°C para bacterias por 24 horas.

#### *3.3.1.5.3 Bacterias Termófilas.*

Estas bacterias son las que degradan la materia orgánica bajo condiciones de altas temperaturas entre 40°C y 77°C. Realizan la descomposición en un tiempo muy corto, debido a su actuación rápida sobre la pila de compost (García, Vargas, Aragón, & Humberto, 2018).

En el presente proyecto se pesaron 11 gramos de las muestras, cada uno de los cuales fueron llevados a 99 ml de agua peptona 0.1% (p/v). Posteriormente se realizaron diluciones seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  en agua peptona a 0.1 (p/v).

A partir de las diluciones preparadas se realizó siembra en superficie en agar Plate Count (SPC). Las cajas se incuban a 45°C por 24 horas.

#### 3.3.1.5.4 Mohos y Levaduras.

Según Mayea (1992), se refiere a la actividad que realiza la microbiota en el compostaje. Los hongos (mohos y levaduras) son los responsables de la descomposición de los azúcares, y la celulosa, también intervienen en la degradación del almidón, por la acción de las enzimas amilasas, específicamente *Aspergillus oryzae* (Hurtado, 2014).

Se pesaron 11 gramos de las muestras, cada uno de los cuales fueron llevados a 99 ml de agua peptona 0.1% (p/v). Posteriormente se realizaron diluciones seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  en agua peptona a 0.1 (p/v).

A partir de las diluciones preparadas se realizó siembra en superficie en agar Rosa de Bengala. Las cajas se incuban a 25°C para mohos y levadura por seis días.

#### 3.3.1.5.5 Bacterias Celulolíticas.

Los organismos que fijan nitrógeno aparecen en compañía de bacterias capaces de descomponer celulosa, ya que utilizan los productos intermedios de esta descomposición. Por esta razón, no es importante inocular semillas o suelos con fijadores de nitrógeno sino dar las condiciones para que estos puedan trabajar. Las bacterias celulolíticas no movilizan nutrientes;

pero, facilitan la formación de agregados, al segregar ácidos poliurónicos que tienen carácter coloidal, producido especialmente por *Cytophaga* sp y *Sporocytophaga* sp (Calvo, 2011).

En el presente proyecto se pesaron 11 gramos de las muestras, cada uno de los cuales fueron llevados a 99 ml de agua peptona 0.1% (p/v). Posteriormente se realizaron diluciones seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  en agua peptona a 0.1 (p/v).

A partir de las diluciones preparadas se realizó siembra en superficie en agar

Carboximetilcelulosa (CMC en solución madre de compost) al 1% (p/v). Las cajas se incubaron a temperatura del suelo o a 25°C para Mohos por 72 horas y a 37°C para bacterias por 48 horas.

**Nota:** se establecieron las temperaturas de adaptación de los microorganismos para realizar la incubación.

Transcurrido el tiempo de incubación se adicionó rojo congo al 1% (p/v) como revelador a las colonias presentes en los medios, luego de quince minutos se retiró el exceso y se adicionó NaCl 0.1M dejando en reposo por quince minutos más, para luego hacer el recuento de las colonias que presentaron halos de hidrólisis.

#### 3.3.1.5.6 Bacterias Amonificantes.

Las bacterias amonificantes están presentes de las evaluaciones realizadas, y ellas son responsables de la primera parte del proceso de mineralización del N, que comprende el paso del material orgánico hasta la forma de  $N-NH^+$ , punto de inicio de la nitrificación. Este proceso, es complejo pues mientras la nitrificación es aeróbica estricta y la realizan grupos microbianos ampliamente caracterizados, la amonificación puede ocurrir por vía aeróbica y/o anaeróbica y los

microorganismos que participan en ella son abundantes y diversos (Orozco, 1999; Coyne, 2000; Madigan et al. 2003 y Sylvia et al. 2005 citado por (Gallejo, 2012).

En el presente proyecto se pesaron 11 g de las muestras, cada uno de los cuales fueron llevados a 99 ml de agua peptona 0.1 (p/v). A partir de las diluciones preparadas se realizó siembra en superficie en agar amonio. Las cajas se incubaron a temperatura del suelo a 25°C para hongos por 72 horas y a 37°C para bacterias por 48 horas.

Pasado el proceso de incubación se contaron las colonias rojas en agar Amonio (Microorganismos formadores de NH<sub>4</sub>). Se realizó el conteo de UFC/g de suelo.

#### 3.3.1.5.7 Bacterias degradadoras de Urea.

Es el fertilizante más importante en el mercado en términos de producción, consumo y comercio nacional e internacional. Los microorganismos que poseen la enzima específica ureasa hidrolizan la urea, con la cual se libera moléculas de amonio como producto final, virando a rojo violeta el indicador rojo de fenol (Koneman, 2001). Al desdoblar la urea en amoniaco también hay liberación de CO<sub>2</sub>, se utiliza para diferenciar géneros como: *Proteus* sp, *Klebsiella pneumoniae* y bacterias entéricas (Prescott, 2004).

En el presente proyecto se pesaron 11 gramos de las muestras, cada uno de los cuales fueron llevados a 99 ml de agua peptona 0.1% (p/v). Posteriormente se realizaron diluciones seriadas de 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-5</sup> en agua peptona a 0.1 (p/v).

A partir de las diluciones preparadas se realizó siembra en superficie en agar Urea. Las cajas se incuban a 25°C para hongos por 72 horas y a 37°C para bacterias por 48 horas.

#### *3.3.1.5.8 Bacterias Amilolíticas.*

Las bacterias amilolíticas son catalizadores bioquímicos de la hidrólisis de almidones, y constituyen uno de los principales productos de la biotecnología microbiana. Las amilasas son enzimas de interés industrial muy importantes ya que tienen una gran variedad de aplicaciones biotecnológicas en diferentes industrias como la papelera, textilera y de alimentos, entre otras Gupta, et al., (2003) citado por (Jiménez, 2011).

Se pesaron 11 g de las muestras, cada uno de los cuales fueron llevados a 99 ml de agua peptona 0.1 (p/v). Posteriormente se realizaron diluciones seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-5}$  en agua peptona a 0.1 (p/v), luego se realizó siembra en superficie en agar almidón (en solución madre de suelo) (p/v).

Las cajas se incubaron a temperatura del suelo a 25°C para mohos por 72 horas y a 35°C para bacterias por 48 horas.

Pasado el proceso de incubación se contaron las colonias y se revelaron con lugol al 1% (p/v) como revelador de las colonias que presentaron halos de hidrólisis. Se realizó el conteo de UFC/g de suelo.

### **3.3.2 Fase II.**

Fase II comprende las siguientes actividades:

#### *3.3.2.1 Uso y aplicación del compostaje.*

En esta fase se describe cómo se prepararon los tratamientos que comprende el experimento. Se necesitaron cuatrocientos kilos de compostaje y cuatrocientos kilos de arena para cada especie a sembrar. Con el compostaje obtenido se prepararon las mezclas para cuatro tratamientos. Se

aislaron noventa recipientes que permitieron la preparación de las diferentes mezclas o combinaciones como substrato o como abono en proporciones. Para el primero se mezclaron tres kilos de compost más siete kilos de arena (30:70). Para el segundo tratamiento se mezclaron cinco kilos de compost más cinco kilos de arena (50:50). Para el tercero se mezclaron siete kilos de compost más tres kilos de arena (70:30). Para el cuarto tratamiento se tomaron 10 kilos de compost (100%). Para el quinto tratamiento se pesaron 10 kilos de arena más un gramo de abono químico comercial (triple quince). El sexto tratamiento estuvo compuesto por 10 kilos de arena (100%). En conclusión, fueron siete tratamientos y uno se dejó como unidad experimental testigo para que sirviera como control.

### **3.3.2.2 Siembra y control de los cultivos.**

Los cultivos empleados para este experimento fueron: *Lactuca sativa L* (Lechuga), *Beta vulgaris* variedad *cicla* (Acelga) y *Apium graveolens* var. *dulce* (Apio española). En los noventa recipientes y para cada uno de los seis tratamientos, se sembraron quince plántulas de cada planta. Estas siembras se realizaron el mismo día, bajo invernadero en condiciones iniciales uniformes en cuanto a la semilla, ambiente y temperatura. El riego se realizó de forma manual y el control de plagas y enfermedades se manejó con biopreparados.

La cosecha se realizó manualmente. De acuerdo con el tiempo establecido agronómicamente, tanto la lechuga como la acelga se evaluaron dos meses después de la siembra; el Apio española a los tres meses. Se evaluaron algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas a las plantas. Dentro de las variables físicas se determinó: Peso total de la planta, peso comercial, número de hojas y color. Se midió el contenido en el tejido foliar de: calcio, magnesio, fósforo y potasio. Los análisis microbiológicos realizados incluyeron:

Bacterias Coliformes totales y fecales por la técnica de número más probable y recuento de huevos de parásitos.

### **3.3.3 Fase III.**

La Fase III comprende:

#### ***3.3.3.1 Análisis Estadístico de la Obtención del compost.***

Para analizar los resultados de la investigación, se aplicaron pruebas estadística descriptivas, inferenciales y multivariadas. En una primera etapa se evaluaron el comportamiento de las características físico-químicas y microbiológicas del abono obtenido mediante el proceso de compostaje aerotérmico (CA) y se compararán con los parámetros de la normatividad vigente (ICONTEC. NTC 5167 de 2011). Para evaluar los tratamientos de compostaje, se aplicaron pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas a fin de obtener cuál de las dosis nos permite obtener los mejores rendimientos en los cultivos y tejido foliar de la lechuga, acelga y apio española. Para observar la relación entre los contenidos de macronutrientes de las plantas y el rendimiento de los cultivos se aplicó un Análisis de Componentes Principales (Di Rienzo, Casanoves & Balzarini , 2018). El nivel de significancia fue del 5%. Los paquetes estadísticos utilizados fueron INFOSTAT y SPSS.

## Capítulo IV

### 4. Resultados y discusión

#### 4.1 Determinación de las características físico-químicas y microbiológicas durante la elaboración del bioabono por compostaje aerotérmico

Los rasgos críticos de calidad del compost dependen del uso que se le quiera dar. La respuesta de la planta es el principal indicador para la mayor parte de las aplicaciones pH y CE son características clave para un uso en dosis altas como sustrato en contenedor, y requiere además por exigencia del mercado, presentar un color de marrón oscuro a negro, ser maduro y estable, con un agradable olor a tierra mojada (Sullivan & Miller, 2001).

##### 4.1.1 Temperatura y humedad.

La temperatura es un factor importante en el proceso de compostado ya que es un reflejo de la actividad biológica de los microorganismos, determina en gran parte la rapidez con la cual los materiales son metabolizados, es fundamental en la maduración del compostado. Observando la curva de temperatura de acuerdo a los datos registrados ocurrió durante el proceso una actividad microbiana adecuada y un equilibrio entre la humedad, la aireación y la composición de la mezcla (Figura 3).

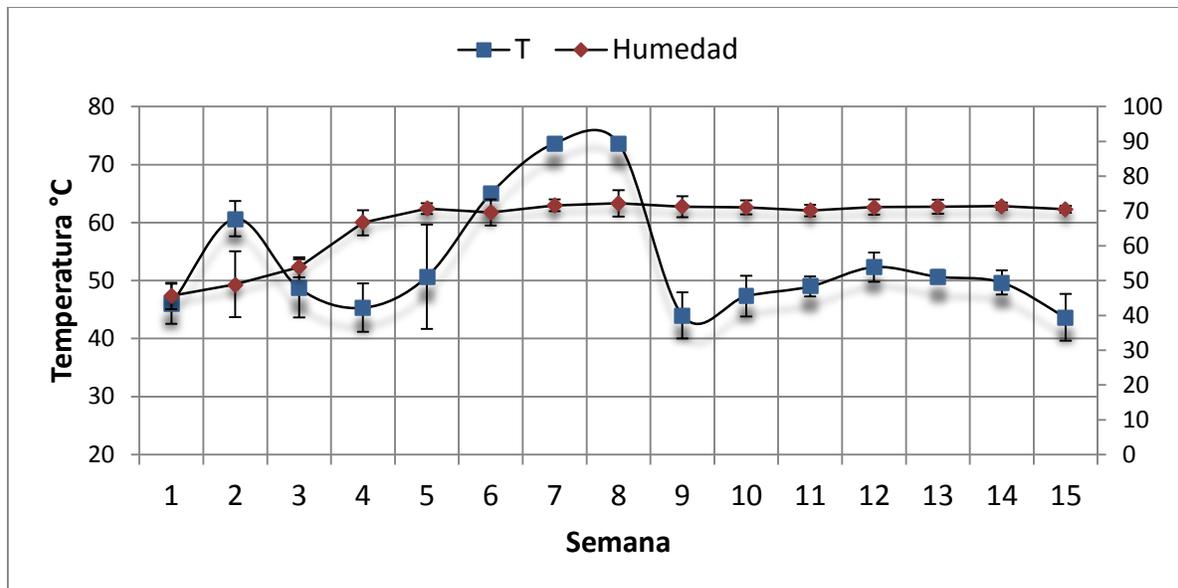


Figura 4. Valores de temperatura registrados durante el proceso de compostaje de residuos de poda. Los valores provienen del promedio de tres réplicas y las barras corresponden a la desviación estándar  
Fuente: elaboración propia

El proceso comenzó con una fase inicial mesofílica, incrementándose la temperatura por encima de los 40 °C, iniciando seguidamente la fase termofílica alcanzando sus valores más altos entre los días 19 y 31 con temperaturas que superaron los 65 °C, se interpreta esto como una intensa actividad degradativa por parte de los microorganismos sobre los compuestos de fácil alteración como los almidones, grasas y azúcares. Con respecto al comportamiento de la variable temperatura la Figura 4 muestra los resultados obtenidos, en la cual la temperatura en las pilas, ascendió progresivamente, entre las semanas 6 y 9 alcanzando valores de 70 °C, condición óptima para eliminar patógenos parásitos y malezas (Pierre, et al., 2009) hecho que se ilustra con el conteo de coliformes fecales en la Figura 4. Luego disminuyó a 40°C en el día 15 y se mantuvo estable a partir del día 45 en 20 °C. Estos eventos se ven favorecidos por la humedad del sistema, la cual se mantuvo alrededor del 70% (Figura 4).

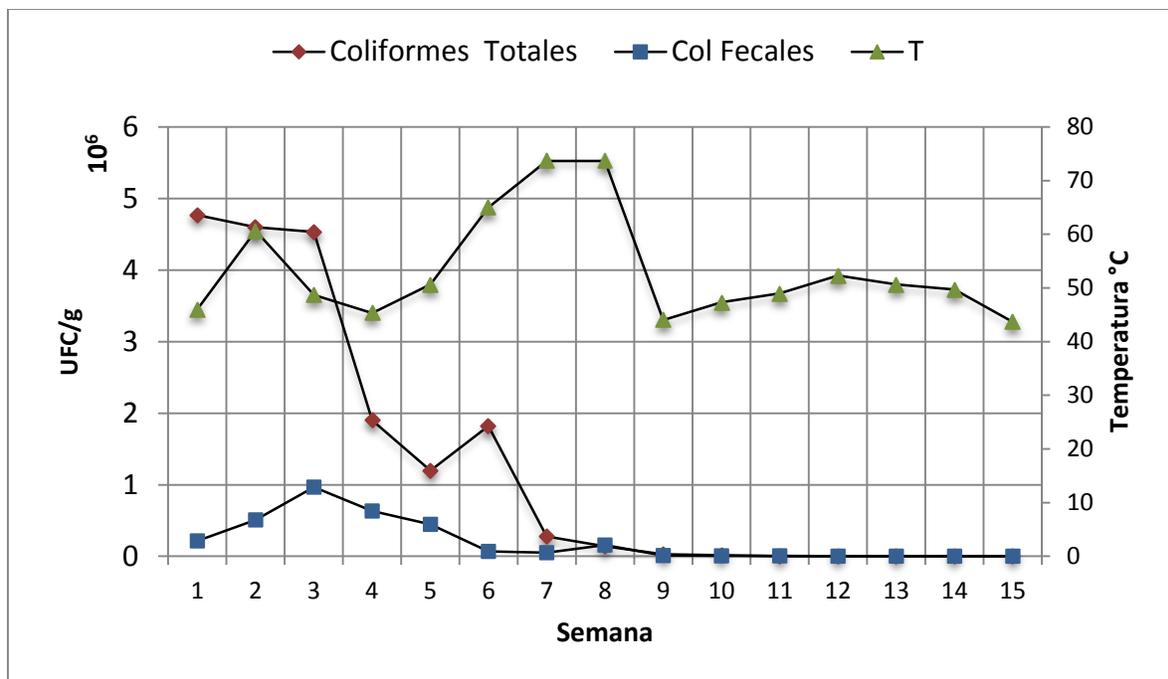


Figura 5. Comportamiento de las Bacterias coliformes totales y Fecales en función de la temperatura  
Fuente: elaboración propia

Después de la semana 9 la temperatura comienza a descender, dando inicio así la etapa de enfriamiento. Las temperaturas máximas que se alcanzaron durante el proceso, nos permiten inferir que los compost fueron liberados de la presencia de patógenos, pero al no superar los 70 °C (Figura 4), se evitó por la muerte del microbiota beneficioso y también de las enzimas encargadas de la degradación de la materia orgánica.

Con respecto a la humedad esta osciló entre 65 y 70%, rango óptimo, es de vital importancia para mantener la actividad microbiana, pues cuando la humedad es excesiva (más del 65 %), la multiplicación microbiana es suprimida, no por el exceso de agua, sino por la ocupación de los poros, que disminuye el intercambio gaseoso, disminuyendo de esta forma el oxígeno y generando un proceso anaeróbico.

#### 4.1.2 pH y CE.

pH muy básicos provocan la formación de precipitados de elementos como el zinc y el cobre, además de la volatilización de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), en contraste pH muy ácidos provocan la liberación de iones de calcio, aluminio y cobre, en términos generales pH en condiciones de basicidad o acidez extremas pueden afectar negativamente el desarrollo de los cultivos (Lopez, Mondejar, Bernal & Ros, 2010).

El pH durante el proceso de compostaje mostró fluctuaciones en las que no se consiguieron valores cercanos a la neutralidad, esto está asociado a la generación de amoníaco que seguramente se presentarían al continuar la evolución del compost. La conductividad eléctrica dependiente de la concentración de sales aumenta conforme discurre el proceso por el contenido de sales que se incrementa a medida que avanza la descomposición de los materiales aunado a esto la pérdida de masa hace que las sales se concentren, los altos contenidos de sales pueden repercutir sobre la germinación de las semillas y el desarrollo de los cultivos (Soliva, López, & Huerta, 2008), en la Figura 5 se muestra la curva de la conductividad eléctrica con respecto al tiempo de compostaje.

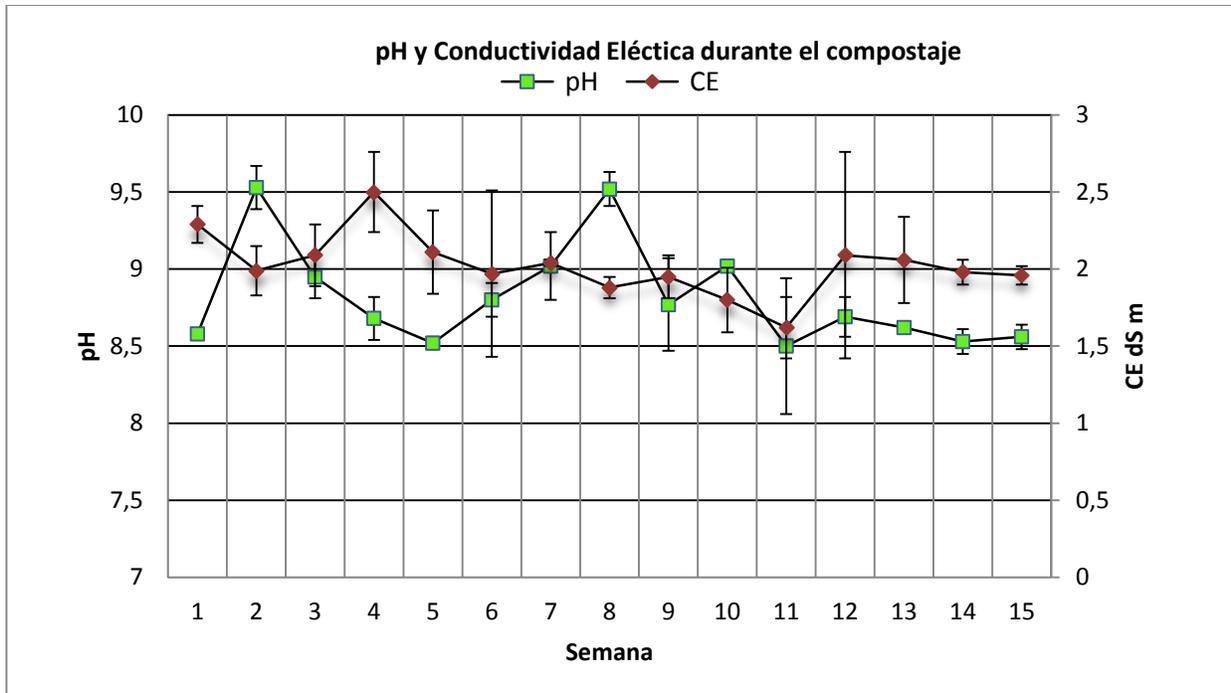


Figura 6. pH y CE registrados durante el proceso de compostaje de residuos de poda. Los valores provienen del promedio de tres réplicas y las barras corresponden a la desviación estándar  
Fuente: elaboración propia

#### 4.1.3 Carbono orgánico y C/N.

La curva de carbono porcentaje del carbono disminuye ligeramente. El descenso del carbono orgánico ocurrió debido a la mineralización y esta a su vez sucede por la pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico debido a la degradación y mineralización de los componentes orgánicos de los materiales compostados (Moreno y Mormeneo, 2007).

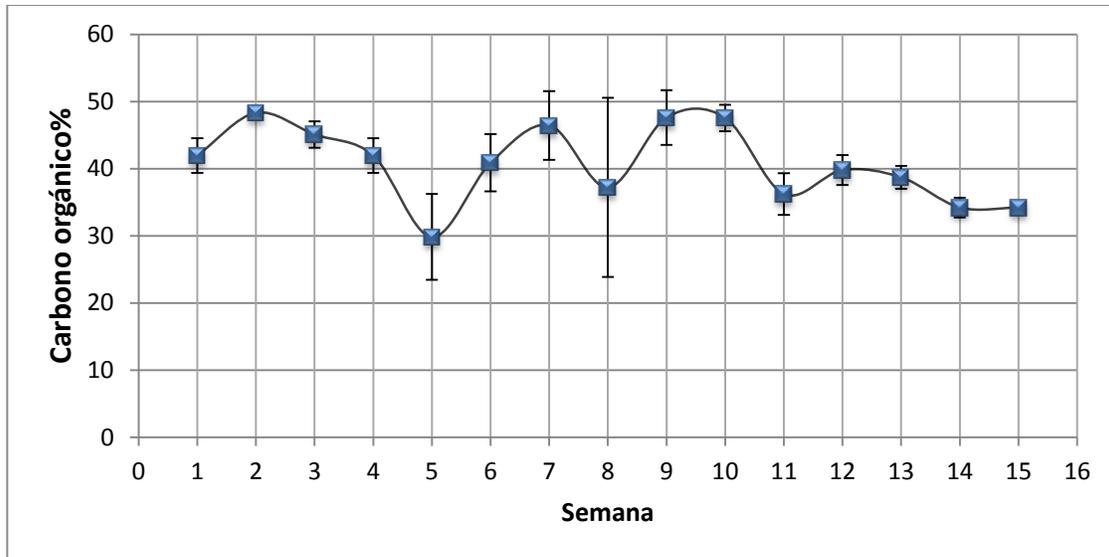


Figura 7. Valores de CO durante el proceso de compostaje de residuos de poda  
Fuente: elaboración propia

Una relación C/N de 25 a 30, se considera adecuada para iniciar el proceso, esto es debido a que si existe una relación mayor, es posible que no haya suficiente nitrógeno para el crecimiento óptimo de las poblaciones microbianas, produciendo inmovilización de  $\text{NH}_4^+$  y de  $\text{NO}_3^-$  por otra parte si la relación es menor a 25 a comienzos del proceso el nitrógeno se encontrará en exceso y puede perderse como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

#### 4.1.4 Análisis de componentes principales.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la figura 3 se puede concluir que hay un efecto de la temperatura en el transcurso del tiempo de evolución del compost. Ello se dilucida al apreciar el grupo de crecimiento a  $25^\circ\text{C}$  y  $37^\circ\text{C}$  formando un clúster muy cerca del CP1 el cual es justamente el responsable de la máxima variabilidad (CP1=50,4%). Caso opuesto, en ángulo obtuso se muestran los coliformes totales y fecales que prosperaron al inicio del proceso durante la fase mesófila (CP2 =19,7%). Tales apreciaciones se pueden constatar más fehacientemente en

la matriz de correlaciones que junto a los autovalores, la correlación con los datos originales y el coeficiente de correlación cofenética (0,955) deja sustento sobre la calidad del análisis. Gracias a este análisis se podría reducir el número de variables a medir dejando solo aquellas que representan a los dos grupos definidos.

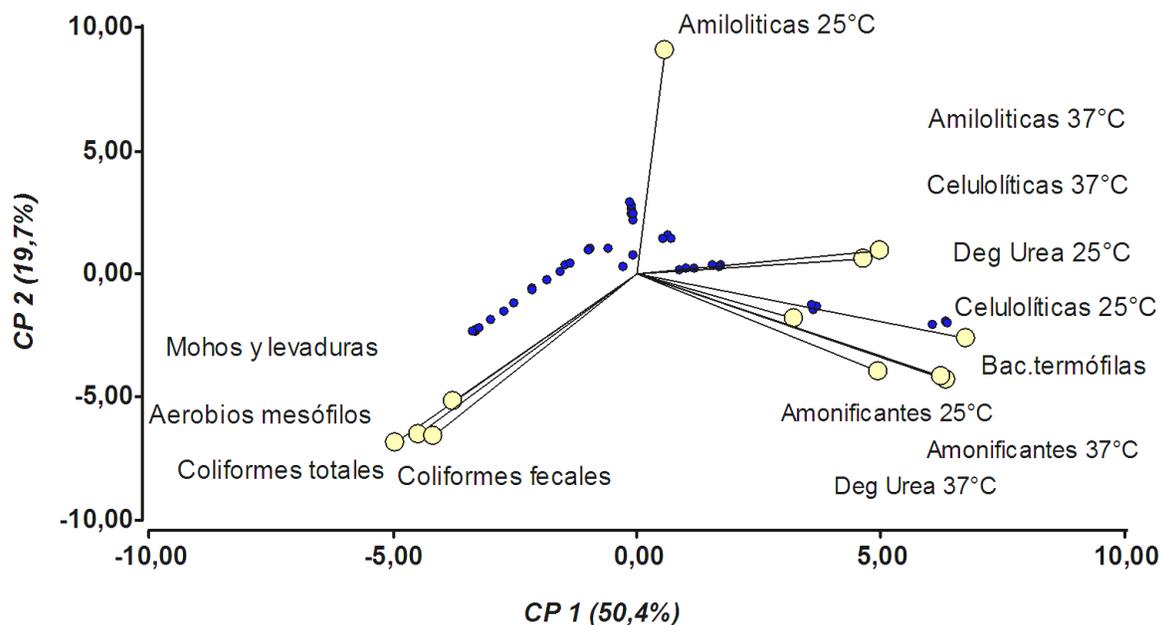


Figura 8. Biplot del Análisis de Componentes Principales para el conteo de bacterias en el compost de poda como efecto de la evolución de la temperatura durante 15 semanas

Fuente: elaboración propia

#### 4.1.5 Contenido de macro y micronutrimetos en el compost.

Los contenidos de macroelementos en el compost dependen fundamentalmente del material de origen, el calcio, magnesio y potasio son macronutrientes absorbidos por las plantas en forma catiónica y tienen relaciones antagónicas entre sí. En la figura 8 se puede comprobar los valores obtenidos para los macroelementos antes mencionados para el inicio y final del presente ensayo y notar cómo se incrementan los valores de manera sostenida dando muestra fehaciente de la eficiencia que tiene el proceso en cuanto a la conservación y bioacumulación de los nutrimentos.

Nutrientes que luego más adelante en este trabajo se comprobará cómo son proporcionados a los cultivos.

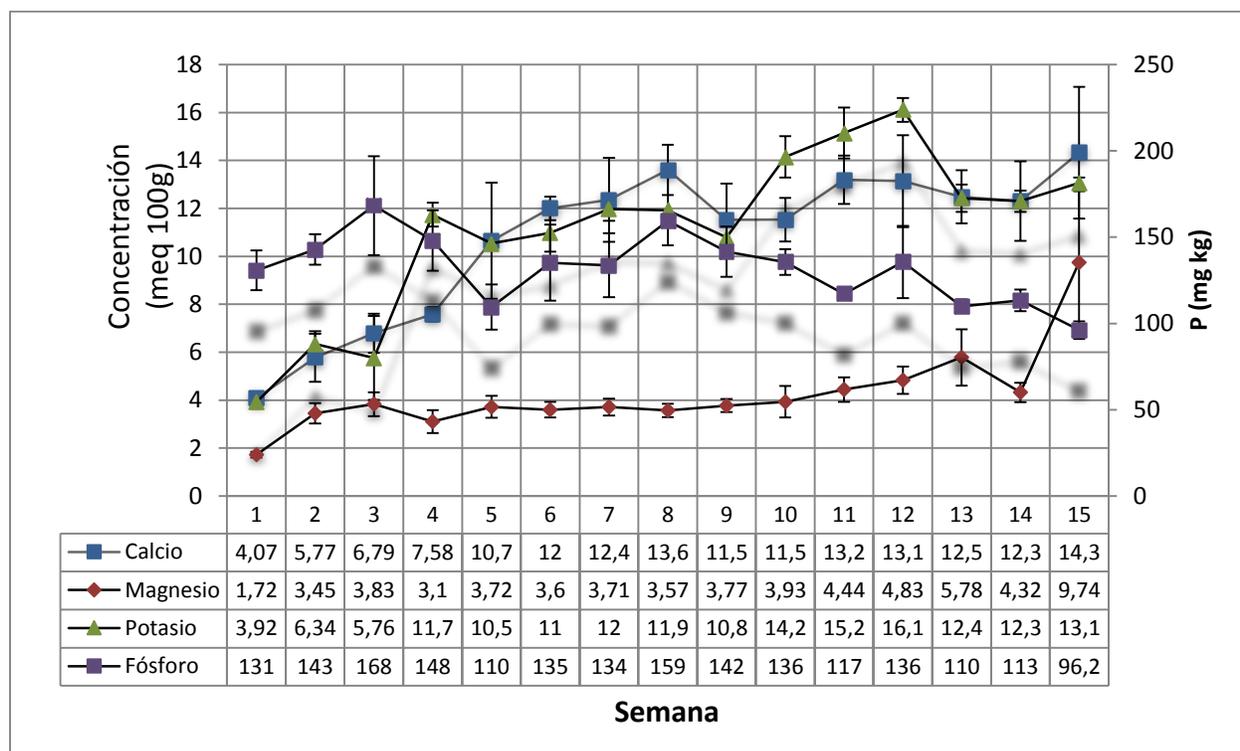


Figura 9. Contenido de macro nutrientes en el compost. Se muestran los puntos en el gráfico y los valores en la tabla. Cada valor proviene del promedio de tres repeticiones. Las barras corresponden a la desviación estándar  
Fuente: elaboración propia

Como se ha podido observar entre los múltiples beneficios que tiene el aprovechamiento de los residuos empleando la técnica del compostaje es la recuperación de los nutrientes presentes en esos materiales que en muchos casos son conducidos a los vertederos. Junto al aporte de macronutrientes nutrientes, los compost también son reserva de hierro, Mn, Cu, Zn, B y molibdeno, elementos esenciales para la producción de los cultivos y la calidad de los alimentos y se ha demostrado que la deficiencia de Fe, Mn, Cu y Zn causan desnutrición humana (Zhenli, Xiaoe, Brian, Stoffella, & Calvert, 2001). Con lo expuesto vale enfatizar las ventajas tanto

económicas como sociales y ambientales del uso de compost para el mejoramiento de los suelos y preparación de sustratos de cultivo (figura 9).

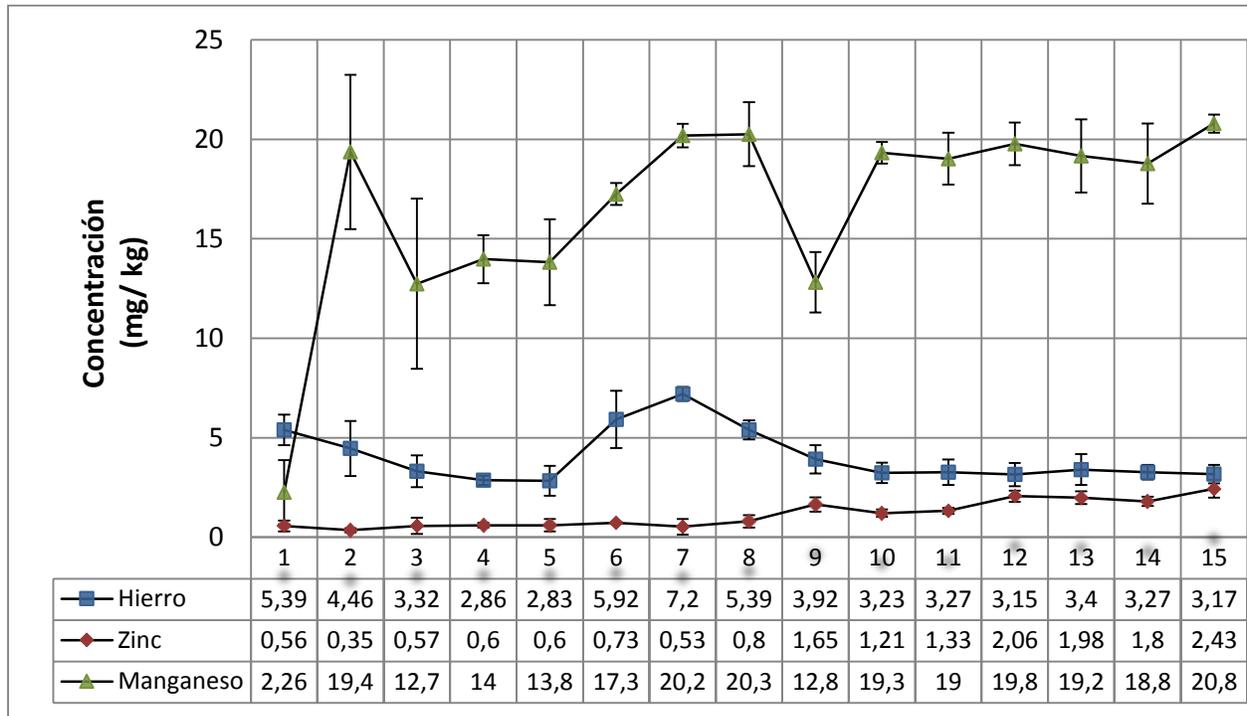


Figura 10. Contenido de micro nutrientes en el compost. Se muestran los puntos en el gráfico y los valores en la tabla. Cada valor proviene del promedio de tres repeticiones. Las barras corresponden a la desviación estándar Fuente: elaboración propia

#### 4.1.6 Evaluación microbiológica.

Del conteo de poblaciones microbiamas termófilas durante el compostaje de residuos de poda del campus universitario se obtuvo como resultado una fluctuación que se corresponde con lo señalado con la literatura (Stolfella y Khan 2001) desde el orden  $10^4$ , pasando en la etapa termófila y ubicándose en  $10^7$  ya en la fase de enfriamiento, sin embargo, no alcanza el orden  $10^9$  como señala este autor. Es probable que aspectos asociados a la C/N inicial mayor a la requerida (30) influyera en un retardo de la aparición de la fase termófila y en la expresión de las poblaciones.

#### 4.1.7 Coliformes Totales.

De acuerdo con (Sánchez y otros, 2015), en el grupo Coliformes totales se encuentran todas las bacterias entéricas que se caracterizan por poseer propiedades bioquímicas similares como ser bacilos Gram negativos no esporulados, ser aerobias o anaerobias facultativas y fermentar la lactosa a 35°C en 48 horas que pueden ser usados como indicador sanitario aplicable a la evaluación de la calidad microbiológica de un producto, aunque su presencia no necesariamente implica un riesgo sanitario.

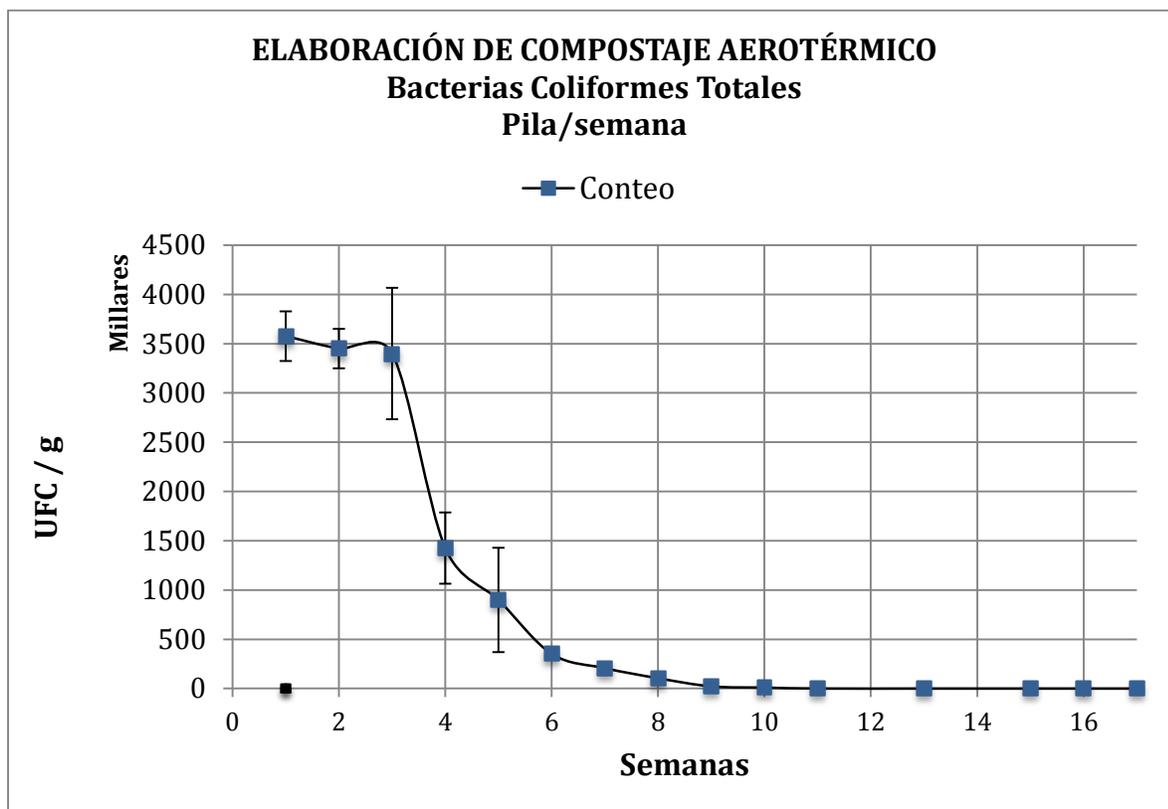


Figura 11. Conteo de bacterias Coliformes Totales en compost de residuos de poda medido durante 17 semanas. Los valores provienen del promedio de tres réplicas siendo las barras la desviación estándar

Fuente: elaboración propia

La temperatura debe seguir una evolución tal que garantice su permanencia a 55° durante dos semanas, a 60° durante una semana y 65° durante tres días. Esto según normativa

internacional entre ellas la (NADF-020-AMBT; 2011). En este trabajo se registraron temperaturas a lo largo del proceso que indican el cumplimiento del mencionado requisito. Observando los valores para las semanas 3, 4, 5 y 6 como también se contó con más de tres días con temperaturas mayores a 65° (Ver tabla 10). Esa evolución de la temperatura vino acompañada con la disminución progresiva de los Coliformes fecales medidos semanalmente hasta tener valores nulos (Figura 11).

Tabla 6. Valores correspondientes a los promedios de las temperaturas registradas en las pilas durante 7 semanas. Cada valor corresponde al promedio de tres réplicas

<b>Temperaturas promedio por semana</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
46,0	46	47,3	70,6	70,6	47,3	52,3
50,6	48,66	45,3	72,3	72,3	57,3	51,6
54,66	51,33	50,6	73,6	73,6	52,6	50,0
55	49,33	51,3	73,6	73,6	43,0	44,6
56,6	42,6	57,6	73,6	73,6	49,0	
50	45,33	61,66	73,6	73,6	50,6	
42	44,66	65	73,6	73,6	51,0	
<b>50,71</b>	<b>46,85</b>	<b>54,13</b>	<b>73,04</b>	<b>73,04</b>	<b>50,14</b>	<b>49,66</b>

Fuente: elaboración propia

Una de las bondades más importante del tratamiento de residuos orgánicos mediante el compostaje es la de brindar la posibilidad de llevar al mínimo, e incluso, eliminar poblaciones microbianas indeseables que son típicas en dichos materiales por su naturaleza como es el caso de excretas, por ejemplo.

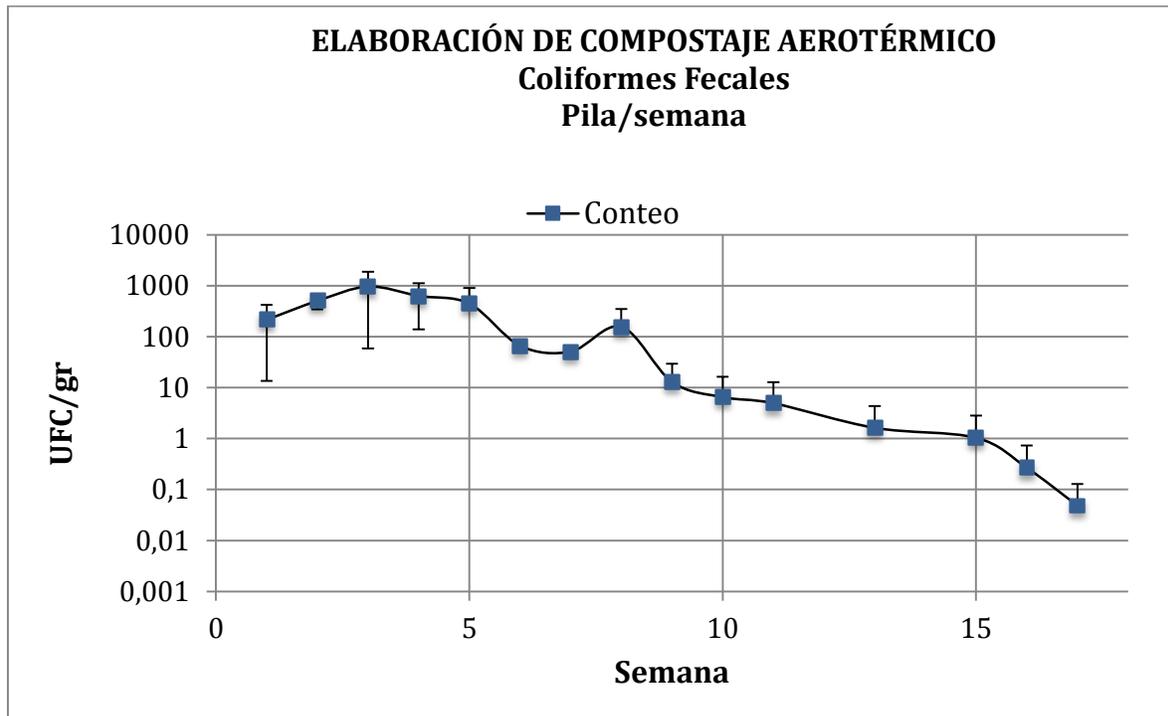


Figura 12. Conteo de bacterias Coliformes Fecales en compost medido durante 17 semanas. Los valores provienen del promedio de tres réplicas siendo las barras la desviación estándar  
Fuente: elaboración propia

#### 4.1.8 Bacterias termófilas.

La transformación de la materia orgánica por parte de microorganismos quimioheterótrofos muy abundantes principalmente al inicio del proceso de compostaje implica la generación de energía parcialmente disipada en forma de calor. Calor que debe ser retenido en el sustrato o material para que puedan ser eliminados los organismos patógenos presentes en él. Dada esta dinámica se evidencia una sucesión de poblaciones microbianas que se van alternando y a su vez calentando cada vez más la pila prosperando solo aquellos tolerantes a las altas temperaturas a partir de 45°C (Moreno y Mormeneo 2008). Poblaciones termotolerantes y termófilas han sido identificadas como actinomicetos (*Thermoactinomyces* sp.) *Bacillus* sp, bacterias gram negativas del género *Thermus*. En la figura 13 se observa un alto conteo para bacterias termófilas

asociable al incremento de la temperatura a partir de la semana 6 y que encuentra su pico cuatro semanas después. Posteriormente y como consecuencia del decrecimiento de la temperatura una vez han cesado las reacciones aceleradas de la fase biooxidativa las poblaciones termófilas son relevadas nuevamente, ya en esta fase de enfriamiento y maduración principalmente por poblaciones fúngicas y bacterianas mesófilas que irán en ascenso hasta estabilizarse cuando la temperatura alcance los 20°C punto que no logra observarse en la gráfica.

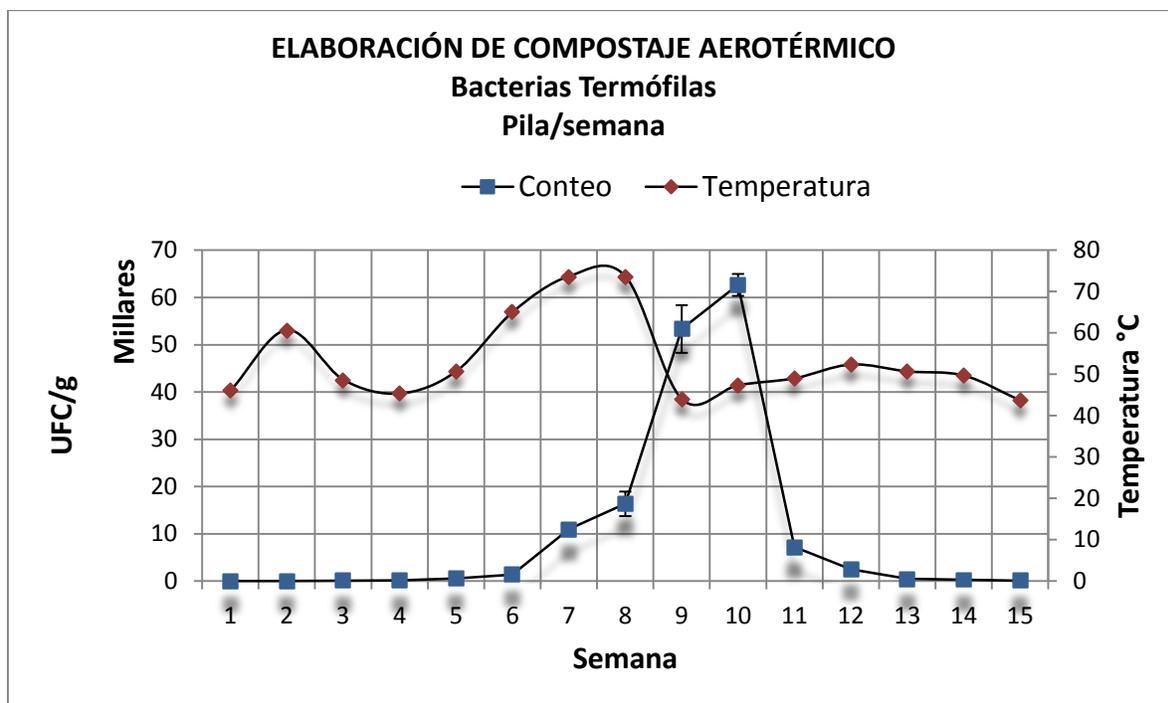


Figura 13. Resultado del conteo de bacterias termófilas (UFC/g) en pilas durante el compostaje. Los puntos son producto del promedio de tres repeticiones y las barras representan la desviación estándar  
Fuente: elaboración propia

#### **4.1.9 Mohos y levaduras.**

Aun cuando es compleja la información general sobre la magnitud y diversidad microbiana durante el compostaje y cada una de sus fases existe un patrón general en el que la diversidad decrece conforme aumenta la temperatura y vuelve a aumentar cuando esta desciende como consecuencia de reinoculaciones externas dependientes de la disponibilidad de nutrientes (Moreno y Mormeneo 2008). Una vez ha avanzado la degradación de los materiales presentes en la pila predominan polímeros de difícil degradación que marcan el predominio de hongos y actinomicetos. Los hongos hallados durante el compostaje pertenecen a las clases Ascomycetes, Zygomycetes, Basidiomicetes, Saccharomycetes principalmente de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* etc y levaduras de los géneros *Candida*, *Rhodotorula* y *Phichia* entre otros. Evaluaciones globales obtenidas para las actividades metabólicas de los aislados se muestran en la figura 13 un mayor porcentaje para la actividad amonificante con 86,5%, un 25% repartido en las actividades amilolítica, hemicelulolítica, lipolítica y proteolítica amonificantes, 3,6% lignolítica quedando el resto para las tres restantes; celulolítica, pectinolítica, y solubilizadora de fosfatos (Vargas Suarez, López, Jurado, Cervera y Moreno, 2012).

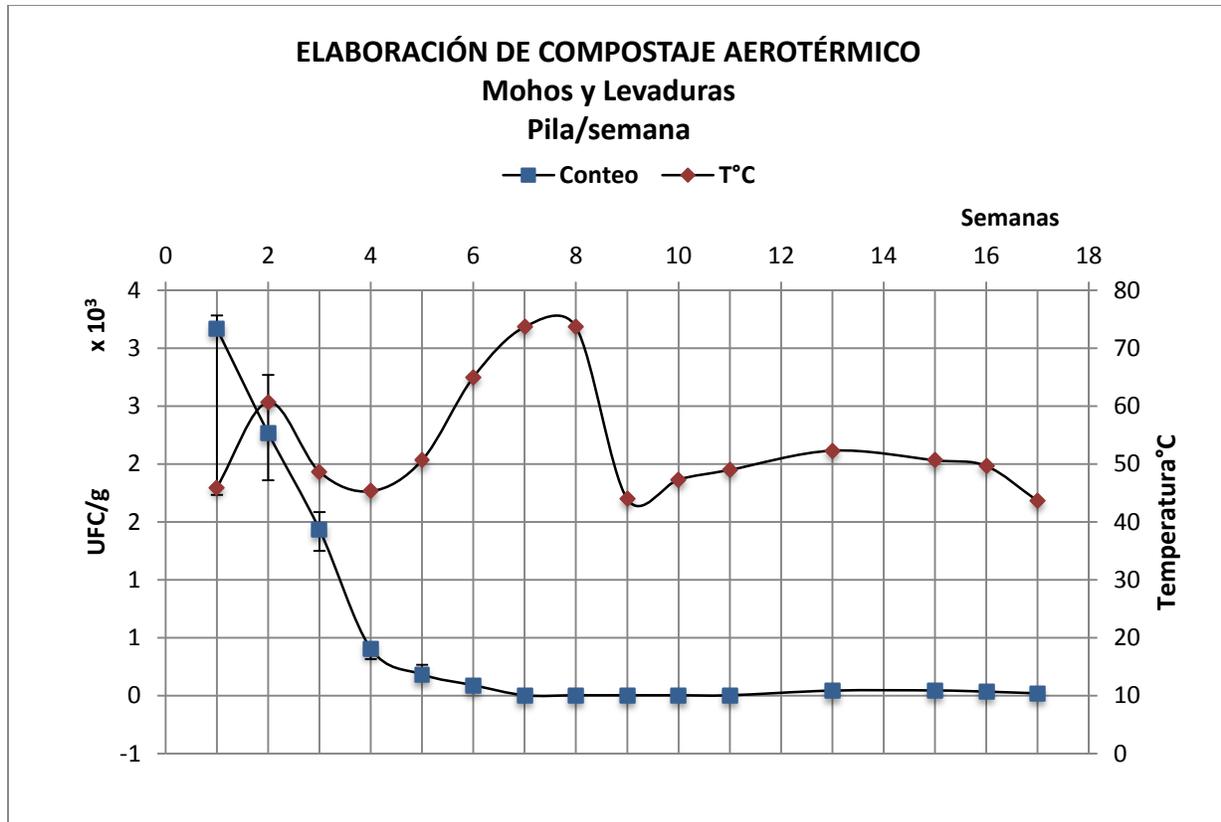


Figura 14. Elaboración de compostaje aerotérmico  
Fuente: elaboración propia

#### 4.1.10 Bacterias celulolíticas.

Sobre lo evidenciado en relación al conteo de bacterias celulolíticas se presenta la figura 14 a continuación. Allí se detecta un crecimiento muy rápido de naturaleza exponencial típico que se restringe drásticamente al presentarse un pico en la temperatura ( $>60^{\circ}\text{C}$ ) en la semana 5 (figura 15) que una vez cesa deja nuevamente observar un ascenso sostenido hasta la semana 11 en la que descienden de manera continua debido a cambios inherentes a la naturaleza del sustrato que ellas mismas propiciaron evidenciando al final de la evaluación el conteo más bajo coincidiendo en este aspecto con lo reportado por (Guzmán, et al., 2015) medido en compost estables.

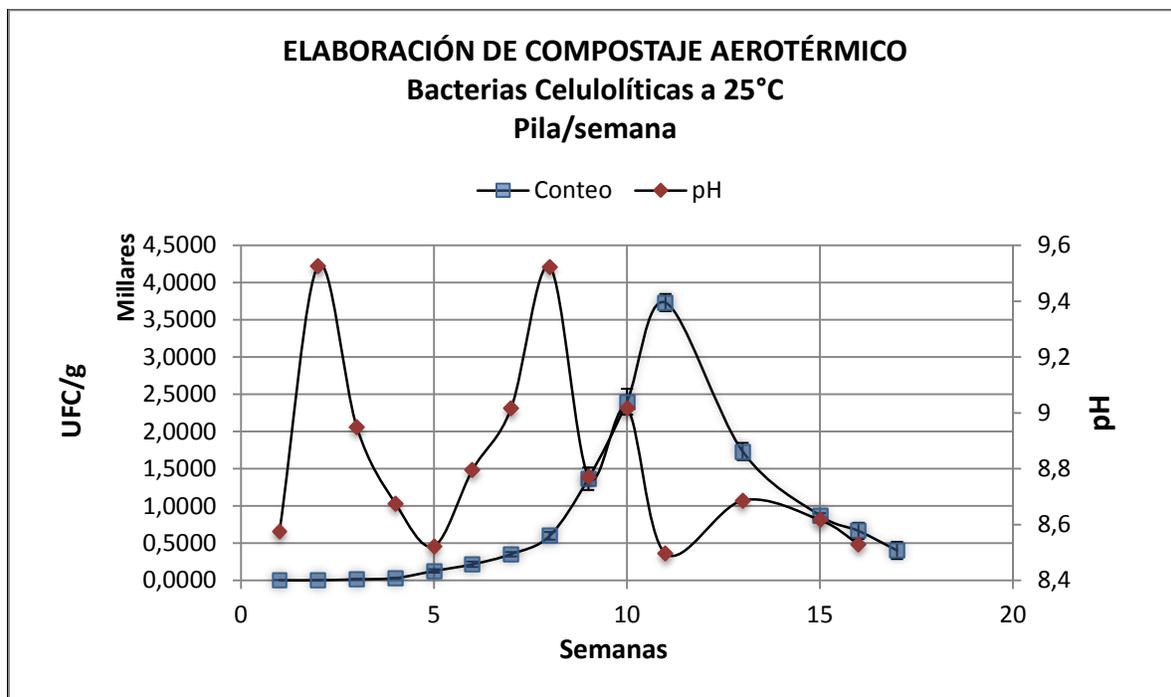


Figura 15. Resultado del conteo de bacterias celulolíticas (UFC/g) en pilas durante el compostaje. Los puntos son producto del promedio de tres repeticiones y las barras representan las desviaciones estándar  
Fuente: elaboración propia

La diversidad de las comunidades microbianas se sucede en la pila de compostaje vital para que se materialice en un producto que cumpla con los requisitos deseados cumpliendo con la normativa establecida. Son ellas las responsables de convertir residuos en recursos para la agricultura, justamente porque es la celulosa el material predominante: entre 15 - 65% (Viteri et al 2016) que aunque tiende a ser muy particular en función del tipo de sustrato y las condiciones de manejo gracias al conocimiento alcanzado se cuenta con un patrón homogéneo en cuanto a las poblaciones presentes en cada fase del compostaje (Moreno y Mormeneo 2008). A propósito del tipo de sustrato Haug (1993) indica que en un lapso de tiempo de 200 días se degrada entre 23% y 53% de las celulosas y hemicelulosas por ser estas fácilmente degradables, siguen en degradabilidad los compuestos lipídicos y al final estarán las ligninas que no se degradan fácilmente.

Por lo mencionado se comprende la importancia de la cuantificación de poblaciones celulolíticas pues garantizan la disponibilidad mineral para otras comunidades que les relevarán en etapas avanzadas del proceso. Enzimas extracelulares como las celulasas, liberadas por bacterias celulolíticas, como las contabilizadas en esta prueba, son las encargadas de catalizar transformaciones vitales en la degradación de los materiales orgánicos destacando entre ellas las de los géneros *Cellulosomas* sp, *Pseudomonas* sp, *Cytophaga* sp. y *Bacillus* sp (Guzmán et al 2015).

Tanto hongos como levaduras son abundantes en los residuos lo que explica el alto conteo al inicio del proceso, pero una vez avanzada la degradación mediada por bacterias con un aumento rápido de la temperatura las poblaciones de mohos y levaduras fueron decreciendo en forma exponencial como se observa (figura 15). La evidencia científica sostiene que una vez superada la fase termofílica e iniciada la fase de enfriamiento y maduración los hongos vuelven a poblar la mezcla, cuando la temperatura alcanza los 20°C. Tal afirmación explica el bajo conteo de las poblaciones fúngicas en la semana 15 de evaluación ya que en ese momento aún la temperatura de mantiene en 40°C situación que muy probablemente cambió en las semanas posteriores.

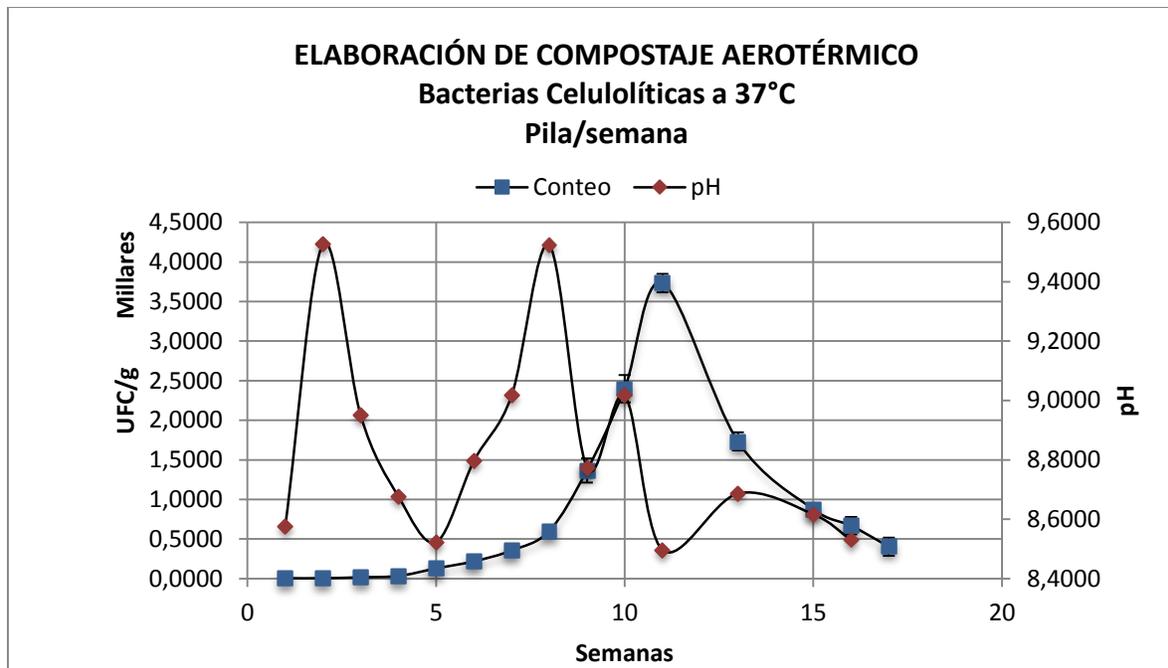


Figura 16. Conteo en placa de poblaciones de bacterias celulolíticas en compost (UFC / g). Cada punto proviene del promedio de tres repeticiones y las barras se corresponden con las desviaciones estándar  
Fuente: elaboración propia

El conteo de bacterias celulolíticas medido a 25°C y a 37°C (figuras 14 y 15) muestra un comportamiento muy similar que indica inexistencia de restricción en ese rango de temperatura y que se asocia más a la evolución del pH del sustrato y en la fase avanzada del proceso, a la disponibilidad de sustancia fácilmente degradables.

#### 4.1.11 Bacterias amonificantes.

Como amonificación se conoce al proceso de desaminación de compuestos orgánicos nitrogenados complejos: proteínas, aminoácidos como ácidos nucleicos. Cuando los microorganismos descomponedores actúan sobre la materia orgánica pueden liberar diversas moléculas como el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que combinado con el agua del sustrato o suelo forma  $\text{NH}_4$  (Moro y otros 2014).

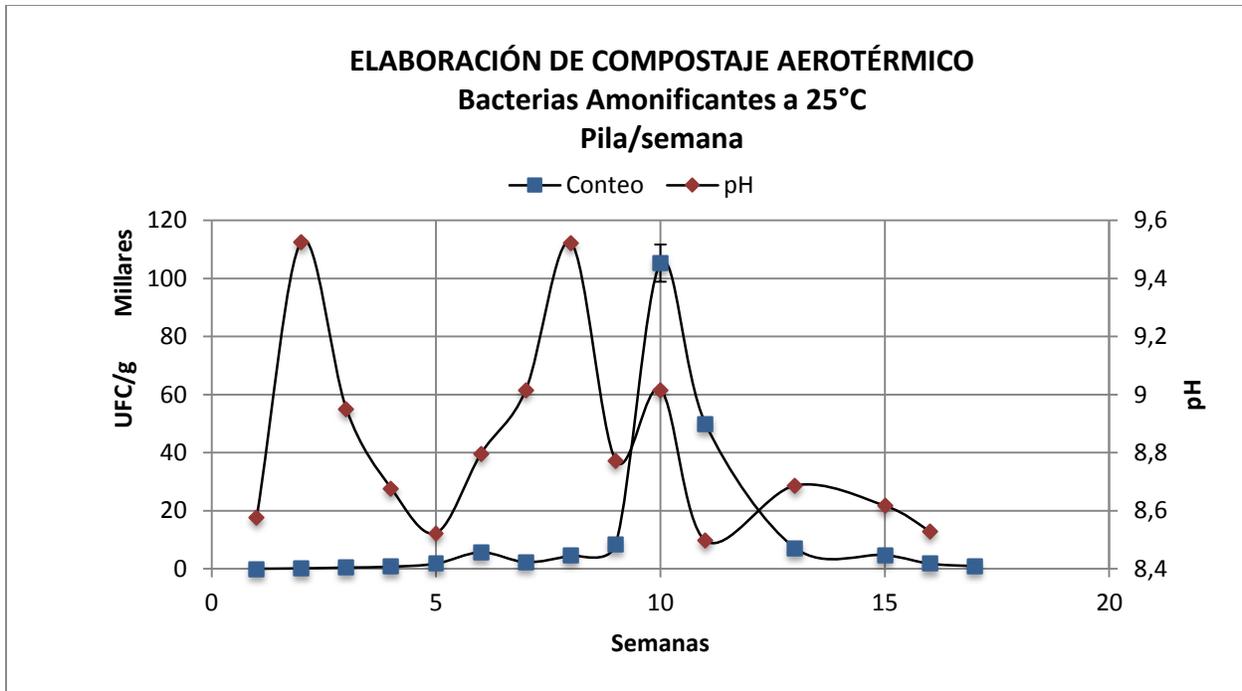


Figura 17. Resultado del conteo en placa de poblaciones bacterianas amonificantes en las pilas de compost. Cada punto proviene del promedio de tres repeticiones y las barras corresponden con las desviaciones estándar  
Fuente: elaboración propia

Existe un marcado interés en conocer la dinámica microbiana propicia asociada al ciclo del N en los suelos, pero también en el compost toda vez que de ella depende la tasa de mineralización de la materia orgánica en descomposición. Se observa en las figuras 17 y 18 correspondientes que las dos temperaturas de incubación marcaron la misma tendencia en el crecimiento de estas poblaciones y destaca en ambas situaciones la evolución que siguen aquellos microorganismos ávidos de materia orgánica fácilmente mineralizable presente en el sustrato en la etapa media del proceso y vuelve a descender en la etapa avanzada cuando el remanente de materia orgánica se hace más estable y madura.

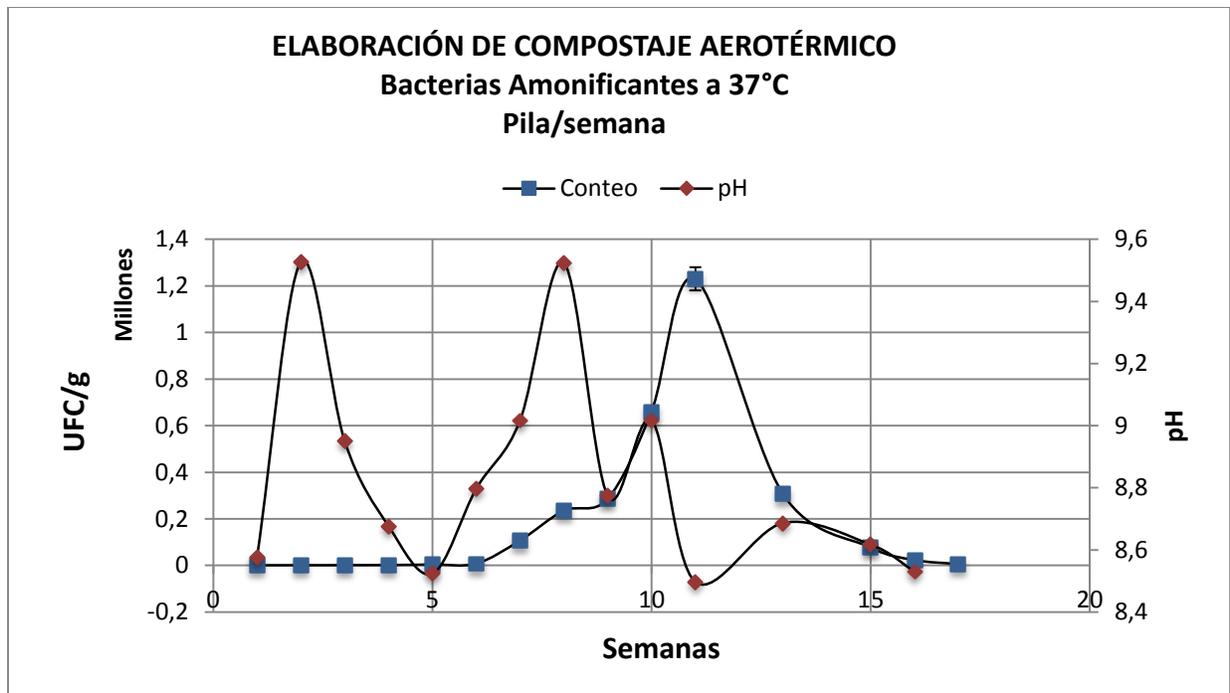


Figura 18. Resultado del conteo en placa de poblaciones bacterianas amonificantes durante 17 semanas presentes en las pilas de compost incubadas a 37°C. Cada punto proviene del promedio de tres repeticiones y las barras corresponden con las desviaciones estándar

Fuente: elaboración propia

La capacidad microbiana de fijar nitrógeno atmosférico es un rasgo de gran trascendencia para el ciclaje del nitrógeno, una estrategia del ecosistema para garantizar el suministro del elemento a las plantas. Según Borah et al (2014) microorganismos fijadores de N del género *Azospirillum* sp y *Azotobacter* sp también *Pseudomonas* sp, (Álvarez, et al., 2014) están en el compost de manera natural en una concentración que ronda  $3$  y  $5 \times 10^5$  UFC/g. Es de destacar que tanto la actividad fijadora de nitrógeno como la amonificante y celulolítica son considerados atributos microbianos que lo catalogan como promotores del crecimiento de plantas. Por ello la relevancia de hacer seguimiento de las poblaciones de esos géneros en los compost

#### 4.1.12 Bacterias degradadoras de la urea.

Siguiendo el proceso semana a semana se observa fluctuación que a toda luz demuestra está asociada con las características presentes en el medio como lo es el pH u otras múltiples causas. Se percibe una etapa de gran crecimiento en las semanas 10 – 14 simultáneo con un marcado ascenso del pH explicado por la reacción alcalina del  $\text{NH}_4$  liberado al ser desdoblada la molécula de urea seguida de un descenso vertiginoso de las mismas que ya al final se perfila en un leve ascenso evolución que se evidencia de la misma manera cuando la incubación se hace a  $37^\circ\text{C}$  lo cual constituye un buen indicio pues revela la plasticidad de los aislamientos.

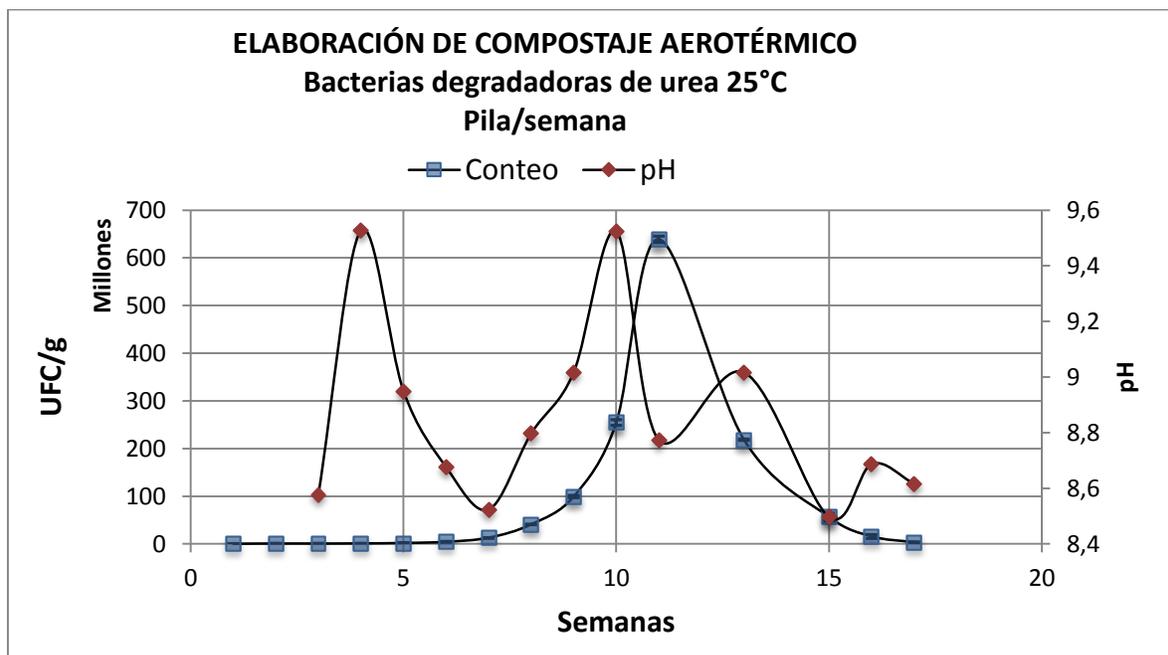


Figura 19. Evolución de las poblaciones de bacterias degradadoras de urea en las pilas de compost evaluadas. Los puntos provienen del promedio de tres réplicas y las barras constituyen la medida de la desviación estándar  
Fuente: elaboración propia

Se evidencia la importancia de hacer seguimiento a este evento para plantear experiencias en los que se propicien condiciones más favorecedoras de estos géneros bacterianos e incluso se

puedan inocular a los compost previa evaluación en cuanto a la presencia de poblaciones pertenecientes a grupos funcionales benéficos en él.

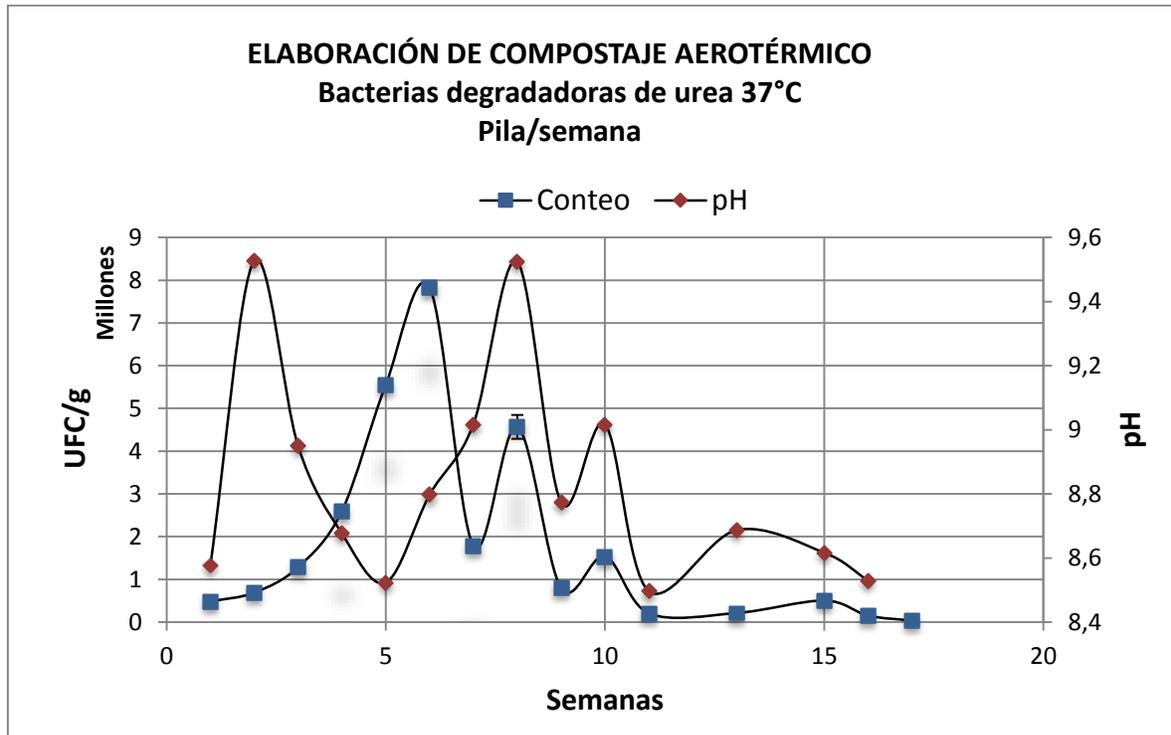


Figura 20. Conteo en placa a lo largo de 17 semanas de poblaciones bacterianas presentes en las pilas de compostaje. Los puntos o marcadores provienen del promedio de tres réplicas y las barras se corresponden con la desviación estándar

Fuente: elaboración propia

La investigación de la capacidad celulolítica microbiana tiene una gran importancia por su posible aplicación futura como inóculo en el compostaje de residuos orgánicos fibrosos (Guzmán et al 2015) o como catalizador en procesos industriales. Estos autores reportaron actividad tanto celulolítica como amilolítica importante de varios aislamientos que, además fueron tolerantes a temperaturas superiores a 50°C y pH mayor a 8 y cercano a 3 rasgo verificado por el desarrollo de los halos de hidrólisis correspondientes.

#### 4.1.13 Bacterias amilolíticas

En esta investigación se reporta presencia sostenida y consistente de poblaciones microbianas celulolíticas y amilolíticas en un alto tenor. Como se constata en las figuras 21 y 22 al descender el pH al final del proceso haciendo menos alcalino y con ello más propicio para la expresión metabólica de las poblaciones implicadas observándose concentraciones de  $2,2 \times 10^3$  UFC/g a  $25^\circ\text{C}$  y  $4,3 \times 10^6$  UFC/g a  $37^\circ\text{C}$  que revela el potencial prospectivo de las poblaciones celulolíticas presentes en el compost.

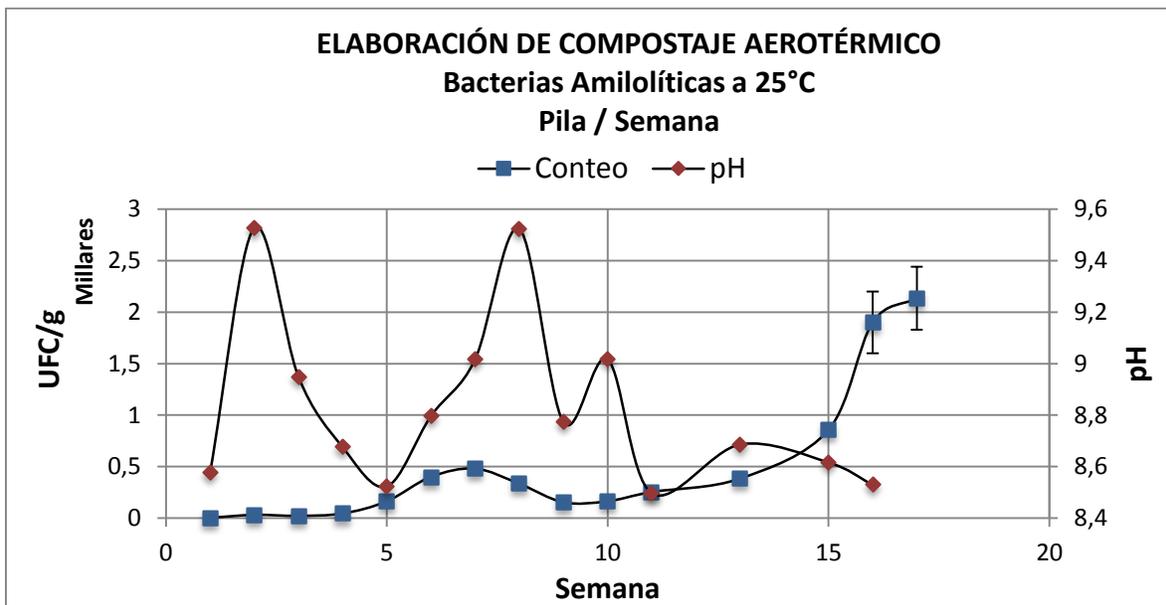


Figura 21. Conteo a lo largo de 17 semanas de poblaciones de bacterianas Amilolíticas presentes en las pilas de compostaje. Los puntos o marcadores provienen del promedio de tres réplicas y las barras se corresponden con la desviación estándar

Fuente: elaboración propia

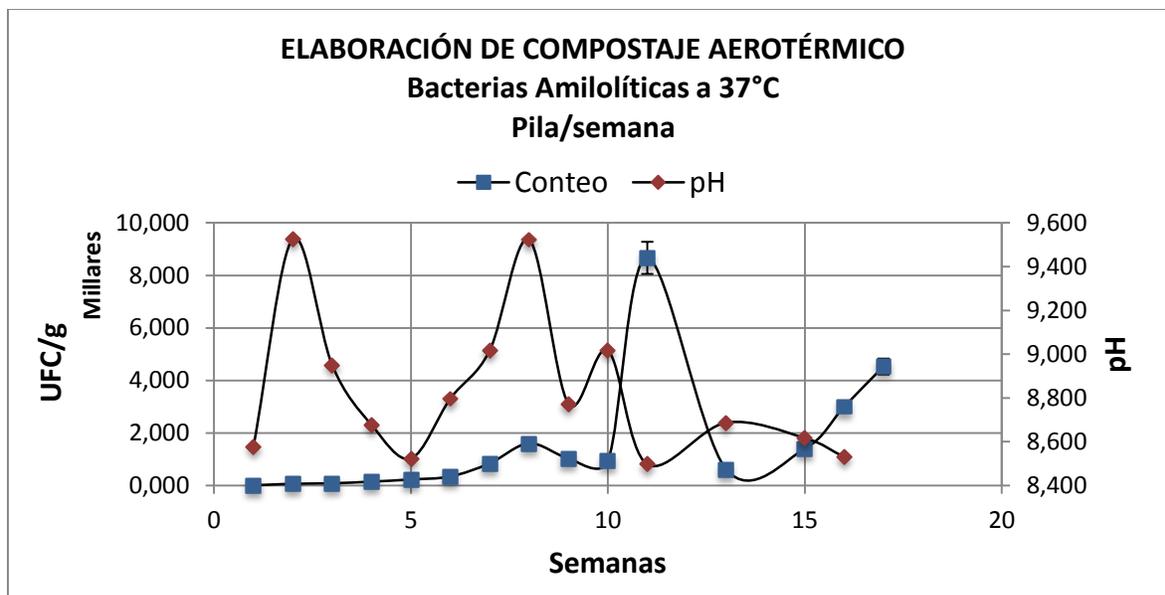


Figura 22. Conteo en placa con frecuencia semanal y durante 17 semanas de poblaciones bacterianas amilolíticas a 37°C presentes en las pilas de compostaje. Los puntos o marcadores provienen del promedio de tres réplicas y las barras se corresponden con la desviación  
Fuente: elaboración propia

#### 4.2 Comparación de las características físico-químicas microbiológicas del bioabono producido con la normatividad vigente.

La evaluación de las características de los productos del compostaje es una obligación para garantizar que el material obtenido sea inocuo tanto para las personas como para los cultivos a ser tratados con ellos. Como se observa en la tabla 5 existe en el país un lineamiento formal a cumplir que marca la pauta al respecto, la Norma NTC 5167 Abono o fertilizantes orgánicos sólidos. Con ella se han verificado algunos parámetros físicos y químicos del compost elaborado, sin embargo, hay algunos aspectos no contemplados en este instrumento de gran importancia para precisar la calidad total del producto a la hora de definir sus posibles usos, así como sus posibles limitaciones y/o restricciones. Estamos hablando del índice de germinación por ejemplo que informa sobre un posible efecto fitotóxico.

Con respecto a los resultados de la evaluación del compost de residuos de poda compostados en el Campus universitario de la Universidad de Pamplona se encontró en cierta medida adecuación a lo establecido en la Norma quedando como pauta para próximas evaluaciones incorporar pruebas de fitotoxicidad y pruebas físicas. A propósito de esta última afirmación cabe mencionar una situación recurrente a la hora de encargar análisis de este tipo en laboratorios de servicio a los agricultores. En estos laboratorios se analiza los compost tal como si fueran suelos y esto, tal como se puede constatar en el caso de la cuantificación de los macros y micronutrientes genera valores incomparables.

Como resultado de la evaluación de las propiedades químicas (tabla 5): pH, CE, MO, CO y N, los materiales reflejan problemas de aptitud como enmienda edáfica y componente en mezcla para plantas en contenedor, y en consecuencia pasarían a la categoría B según la norma chilena (NCh 2880, 2004).

Por otra parte, es importante tener en cuenta que el radio Ct/Nt, criterio usado tradicionalmente para establecer el grado de estabilidad del compost, puede presentar gran variabilidad incluso en materiales bien compostados, ya sea que exhiban alto contenido de compuestos resistentes como la lignina (alta Ct/Nt) o alto contenido de N (baja Ct/Nt), propio de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora, como explican (Iglesias, et al., 2008).

Tabla 7. Resumen de resultados de análisis físicos, químicos y biológicos para el compost evaluado

Variable	Compost poda	Valores de referencia	Fuente
<b>N% (TOTAL)</b>	1,2	** >1,0	
<b>P (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (%)</b>	0,0096 ± 0,001	**>1,0	*Sadzawka <i>et al.</i> , (2004)
<b>K (K<sub>2</sub>O) (%)</b>	0,51	** >1,0	
<b>C/N</b>	34	*≤25 tipo A; ≤30 tipo B;	
<b>pH</b>	8,56 ± 0,08 ✓	*5,0-8,5; 7,5** mayor de 4 y menor de 9**	** NTC5167 Abono o fertilizantes orgánicos sólidos
<b>CE</b>	1,96 ± 0,06 ✓	*≤3 tipo A; ≤8 tipo B; **	
<b>MO (CX1,8)**</b>	61,59 ± 0,65 ✓	*≥20; **28,5	
<b>Humedad (%)</b>	64,6± 0,38	* 30 – 45 ** máximo 30	
<b>Ig% berro</b>		>50%	Zucconi <i>et al.</i> , (1981)
<b>Cic meq 100g</b>	10,49 ± 0,46 ✓	Mínimo 30 (meq/100g)	NTC5167 Abono o fertilizantes orgánicos sólidos
<b>Carbono oxidable (%)</b>	34,22 ± 0,36 ✓	Mínimo 15%	
<b>Da g/cm<sup>3</sup></b>		Máximo 0,6 g/cm <sup>3</sup> <0,2*-0,4 **≤0,7	NTC5167 Abono o fertilizantes orgánicos sólidos

Fuente: elaboración propia

### 4.3 Determinación de la productividad de los cultivos (crecimiento y desarrollo de las plantas, producción por planta y producción total por tratamiento) utilizando diferentes proporciones del bioabono.

#### 4.3.1 Respuesta de las plantas de Acelga, Apio y Lechuga a dosis de compost medida como peso seco total.

Se analizaron las respuestas en cuanto a peso total acumulado por los cultivos evaluados como efecto de las dosis de compost utilizadas aplicando una prueba de Kruskal Wallis del programa estadístico Infostat (Di Rienzo, Casanoves, & Balzarini, 2018). Se seleccionó dicha prueba por ser una alternativa no paramétrica cuando no se cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad para la aplicación del ANOVA paramétrico.

**Hipótesis:****H0:** Las tres muestras provienen de la misma población**H1:** Al menos una de las muestras proviene de una población con mediana diferente

En la tabla titulada “Estadístico de contraste” se observa el valor del estadístico H, que fue 242,67. Siendo el valor de P menor a 0,0001. En consecuencia, se puede decir que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen evidencias suficientes para plantear que las dosis de compost difieren, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 8. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis peso total acumulado por los cultivos evaluados como efecto de las dosis de compost utilizada.

Variable	Dosis	Cultivo	N	Medianas	Promedio rangos	H	P
Peso total	0	Acelga	15	6,88	21,70	242,67	<0,0001
Peso total	0	Apio	15	17,00	38,47		
Peso total	0	Lechuga	15	4,15	9,43		
Peso total	0q	Acelga	15	194,00	117,33		
Peso total	0q	Apio	15	160,00	90,57		
Peso total	0q	Lechuga	15	89,00	71,30		
Peso total	30	Acelga	15	170,00	115,73		
Peso total	30	Apio	15	472,00	217,53		
Peso total	30	Lechuga	15	98,00	74,70		
Peso total	50	Acelga	15	222,00	140,23		
Peso total	50	Apio	15	497,00	231,40		
Peso total	50	Lechuga	15	150,00	117,33		
Peso total	70	Acelga	15	219,00	147,57		
Peso total	70	Apio	15	695,00	250,60		
Peso total	70	Lechuga	15	368,00	204,13		
Peso total	100	Acelga	15	208,00	154,27		
Peso total	100	Apio	15	686,00	244,47		
<u>Peso total</u>	<u>100</u>	<u>Lechuga</u>	<u>15</u>	<u>324,00</u>	<u>192,23</u>		

Fuente: elaboración propia

En vista de que existen diferencias entre las medianas al nivel de significancia mencionado (tabla 6) se procedió a efectuar las pruebas de Kruskal Wallis a posteriori para detectar qué tratamientos muestran diferencias. Estos resultados se pueden ver en la tabla 9.

Tabla 9. Resultado del análisis de las pruebas de Kruskal Wallis a posteriori

Tratamiento	Medianas	Rangos	Comparaciones entre pares
0:lechuga	4,15	9,43	a
0:acelga	6,88	21,7	a b
0:apio	17	38,47	a b c
0q:lechuga	89	71,3	b c d
30:lechuga	98	74,7	b c d
0q:apio	160	90,57	c d e
30:acelga	170	115,73	d e f
50:lechuga	150	117,33	d e f
0q:acelga	194	117,33	d e f
50:acelga	222	140,23	e f g
70:acelga	219	147,57	f g
100:acelga	208	154,27	f g h
100:lechuga	324	192,23	g h i
70:lechuga	368	204,13	h i j
30:apio	472	217,53	i j
50:apio	497	231,4	i j
100:apio	686	244,47	i j
70:apio	695	250,6	j
Medias Con Una Letra Común No Son Significativamente Diferentes ( $P > 0,05$ )			

Fuente: elaboración propia

Se puede deducir del resultado presentado que cada cultivo tiene una respuesta particular que en el caso del apio la mejor respuesta para peso total se evidenció cuando los sustratos de las plantas se prepararon con compost en un 30, 50, 70 a 100% y en el de acelga con la dosis 50:50 y la lechuga con las dosis 70 y 100% superando ambos con ventaja el tratamiento con fertilización química (0q). En el caso de la Acelga las medianas de los pesos totales como efecto del

tratamiento químico (0q) es igualado por las dosis 50, 70 y 100% al nivel de significancia evaluado (figura 23).

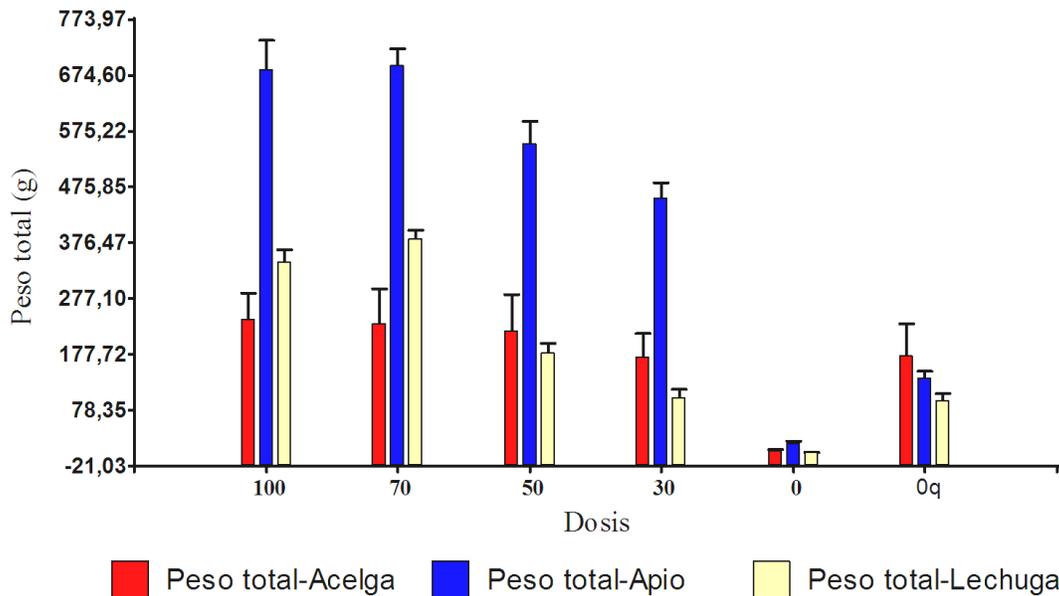


Figura 23. Resultado gráfico de las pruebas de Kruskal Wallis a posteriori en la que se presentan los contrastes de las medianas de los rangos de peso total como efecto de los tratamientos con las diferentes de dosis de compost Fuente: elaboración propia

#### 4.3.2 Respuesta de las plantas de Acelga y Lechuga a dosis de compost medida como número de hojas.

La respuesta de las plantas de acelga y lechuga se percibe de acuerdo a los resultados del análisis estadístico bastante diferenciado para los dos cultivos como respuesta a las dosis de compost y a la fertilización química. Para el tratamiento sin aporte orgánico la respuesta es similar pero posteriormente se incrementa con el tratamiento químico igualando todos los tratamientos con fertilización orgánica, vale recordar en este momento que la diferencia en la respuesta vendrá entonces relacionada con el peso de las hojas y no por su número. Contrasta el

caso de la lechuga pues se observa que el número de hojas se incrementa significativamente ( $p>0.05$ ) con las dos 70 y 100% de manera conjunta con sus pesos (Tabla 10).

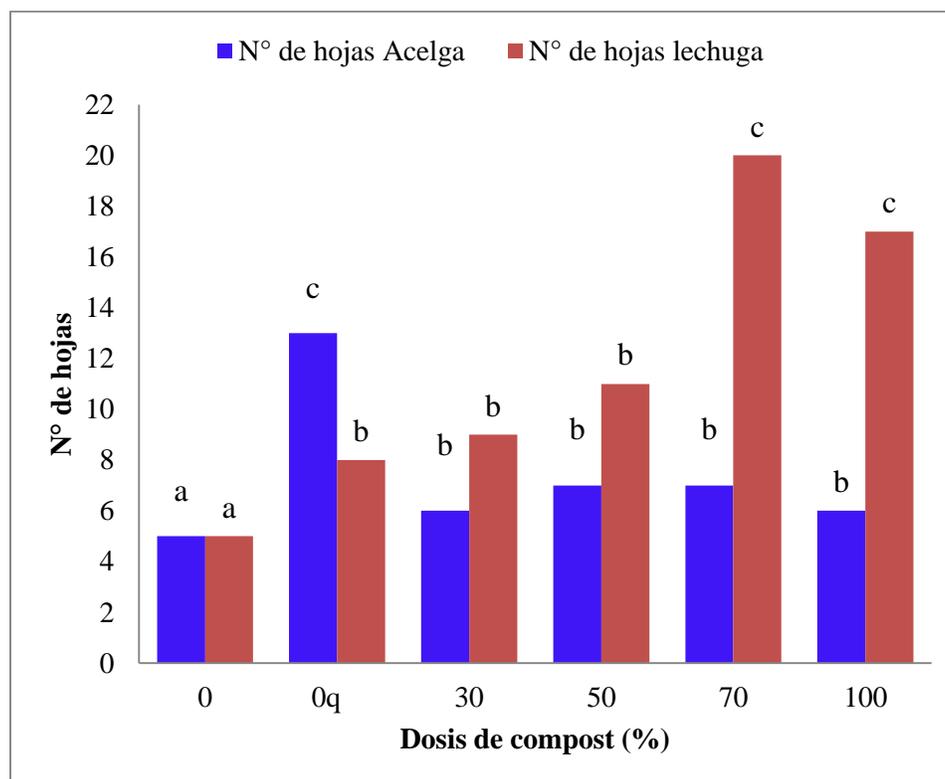


Figura 24. Medianas resultantes del análisis de Kruskal Wallis para el N° de hojas de la acelga y la lechuga como efecto de diferentes dosis de compost (0, 30, 50, 70 y 100%). Letras diferentes indican diferencias entre las medianas a  $p>0.05$

Fuente: elaboración propia

Tabla 10. Resultado del análisis de Kruskal Wallis para N° de hojas de la Acelga como efecto de las dosis de compost en el sustrato

Variable	Dosis	N	D.E.	Medianas	H	p
N° de hojas acelga	0	15	0,85	5	52,67	<0,0001
N° de hojas acelga	0q	15	3,4	13		
N° de hojas acelga	100	15	0,92	6		
N° de hojas acelga	30	15	1,05	6		
N° de hojas acelga	50	15	0,92	7		
N° de hojas acelga	70	15	0,7	7		

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Resultados del análisis de Kruskal Wallis para N° de hojas de la Acelga como efecto de las dosis de compost en el sustrato

Variable	Dosis	N	D.E.	Medianas	Rangos	H	p
N° hojas lechuga	0	15	1,06	5	10,67	65,71	<0,0001
N° hojas lechuga	0q	15	2,2	8	29,87		
N° hojas lechuga	100	15	2,74	17	69,9		
N° hojas lechuga	30	15	4,32	9	40,77		
N° hojas lechuga	50	15	3,83	11	46,07		
N° hojas lechuga	70	15	2,58	20	75,73		

Fuente: elaboración propia

#### 4.4 Modelo de ajuste para respuesta a dosis de compost por parte de las plantas de acelga.

##### Análisis de regresión no lineal.

La comparación de modelos alternativos de regresión no lineal se basa en varios criterios. En general se busca que el cuadrado medio del error (CM Error) sea lo menor posible, que el número de parámetros del modelo sea lo menor posible (principio de simplicidad), que el error estándar de las estimaciones de los parámetros sea lo más pequeño posible y que los coeficientes estimados no se encuentren altamente correlacionados. Finalmente, el gráfico de dispersión de los residuos versus los valores predichos puede también servir como herramienta de adecuación del modelo (Balzarini, y otros, 2008). En este caso como en aquellos estudios de respuesta a diferentes dosis de fertilización es útil contar con un modelaje de la respuesta que permita conocer con un mínimo margen de error la dosis más apropiada. En este caso se ajustó un modelo lineal plateau para predecir la respuesta de la Acelga a las dosis de compost con la intención de obtener la Dosis Óptima Económica (DOE) seleccionando esta opción con otras opciones como el modelo cuadrático o el exponencial en función del menor valor de CM Error que es el mejor indicador para estos casos seguido del AIC y el BIC. Como se observa en la figura la DOE sería; para el caso de la Acelga 40,15% + - el error estándar =6,49.

Modelo Peso total para Acelga:  $\text{alfa} + (\text{beta1} * \text{Dosis}) * (\text{Dosis} < \text{gamma}) + (\text{beta1} * \text{gamma}) * (\text{Dosis} \geq \text{gamma})$

Sustituyendo

Modelo Peso total para Acelga:  $79,09 + (3,77 * \text{Dosis}) * (\text{Dosis} \leq 40,15)$

Como puede apreciarse en la figura 24 del ajuste del modelo descrito se desprende un dato de gran relevancia pues permite optimizar el uso de la enmienda o compost a la hora de preparar un sustrato para el cultivo de acelga. Tal valor es  $40,15 \pm 6,49$ . Dado este conocimiento se capta la importancia de estandarizar los procesos en función de poder predecir la respuesta de los cultivos enmendados.

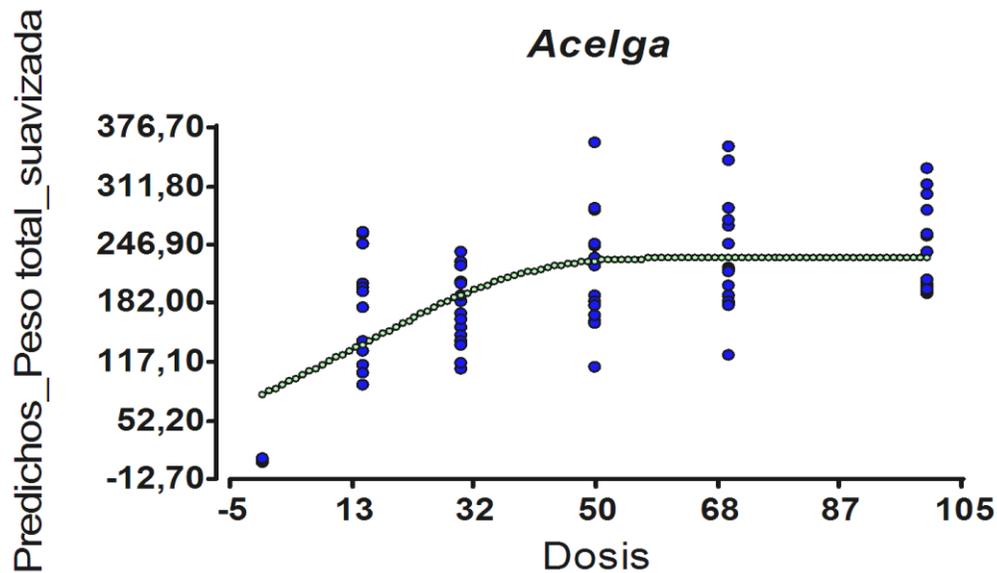


Figura 25. Peso total de la acelga (g/planta) como efecto de la dosis de compost empleada en la preparación del sustrato de cultivo (%) Valores predichos

Fuente: elaboración propia

Tabla 12. Indicadores AIC y BIC

Variable	AIC	BIC	Iteración
Peso total	874.30	883,78	7

Fuente: elaboración propia

#### 4.4.1 Matriz de covarianzas de las estimaciones

Tabla 13. Matriz de correlación de las estimaciones

	ALFA	BETA1	GAMMA
ALFA	1,00	-0,89	0,56
BETA1	-0,89	1,00	-0,83
GAMMA	0,56	-0,83	1,00

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Cuadro con resultado (p-valor) de los análisis para los coeficientes estimados del modelo

Parámetros	Estimación	E.E.	T	p-valor
ALFA	79,09	22,43	3.53	0,0007
BETA1	3,77	1,01	3.75	0,0003
GAMMA	40,15	6,49	6.19	<0,0001

Fuente: elaboración propia

#### Prueba de Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Peso total	79	197,62	74,31	0,95	0,0510

Del análisis se deduce el cumplimiento del requisito al encontrarse los residuos alineados con los valores predichos. Como no hay evidencias para rechazar el supuesto de distribución normal ( $p=0,0510$ ).

## **4.5 Absorción de nutrientes por parte de plantas de acelga, apio y lechuga como efecto de dosis de compost**

### **4.5.1 Análisis de componentes principales para los contenidos foliares de las plantas de lechuga y acelga.**

#### ***4.5.1.1 Lechuga.***

Se utilizaron métodos multivariados como el Análisis de Componentes Principales (ACP), con la finalidad de explorar y hallar tendencias en el comportamiento de los datos correspondientes al conjunto de variables y tratamientos. El Análisis de Componentes Principales es una metodología multivariada que explica la estructura de varianza y covarianza mediante combinaciones lineales de las variables del sistema, reduciendo así el volumen de información. Geométricamente, las combinaciones lineales representan la selección de un nuevo sistema de coordenadas, obtenido por la rotación del sistema original, en el cual los ejes indican las direcciones con máxima variabilidad, dando una descripción más simplificada de la estructura de covarianza (Balzarini, y otros, 2008).

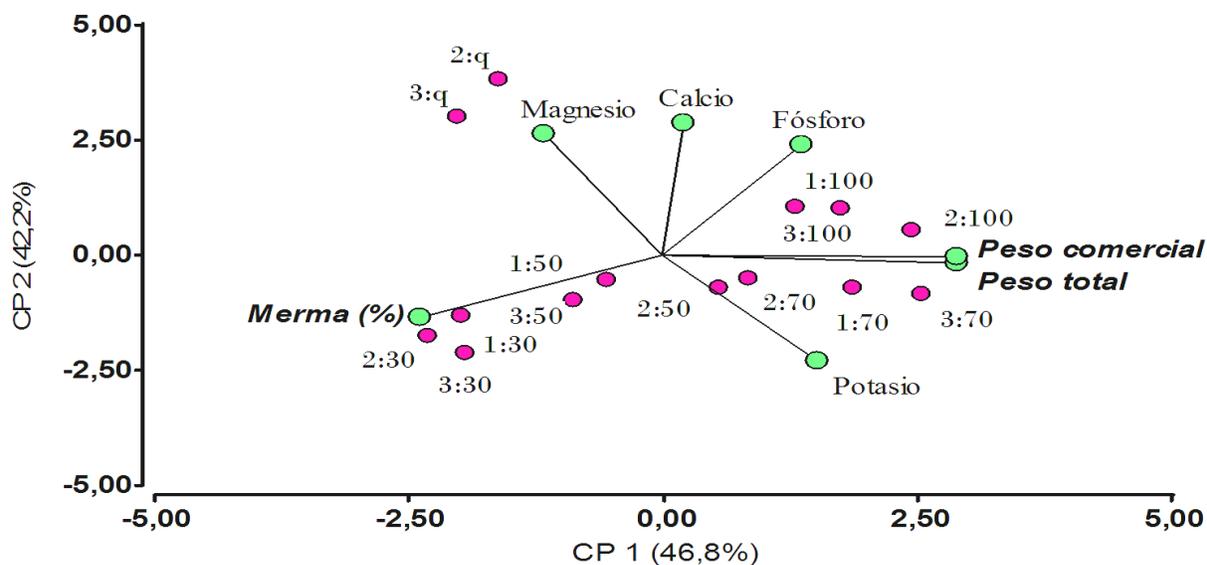


Figura 26. Biplot del ACP para los contenidos de macronutrientes en el tejido foliar de plantas de lechuga como respuesta a las dosis de compost. Se indica la repetición (puntos fucsia) correspondiente a la dosis. Los pares de valores; 1-2-3/q/ 1-2-3:30; 1-2-3  
Fuente: elaboración propia

Para el análisis de los datos de macro y micronutrientes en el tejido foliar se trabajó con los datos estandarizados, se solicitó la correlación de cada componente principal con las variables originales (Correlaciones con las variables originales).

El gráfico biplot muestra la dispersión de las observaciones y/o variables, en un mismo plano y permite identificar asociaciones entre las observaciones, las variables o entre ambas. Las observaciones se muestran como puntos y las variables son los vectores desde el origen con un círculo terminal. Las correlaciones entre las variables se pueden interpretar a través de los ángulos entre los vectores. Ángulos rectos indican falta de correlación como en el caso de Peso Total y concentración de Ca en el tejido foliar; si son agudos indican correlación positiva (valores cercanos a  $0^\circ$  indicarían fuerte correlación positiva) y si son obtusos, correlación negativa (ver tablas 15 y 16) (ángulos cercanos a  $180^\circ$  mostrarían alta correlación negativa entre las variables) como se observa entre Ca, Mg y P por un lado y Potasio y Peso Total por el otro.

En definitiva, se aprecia que los nutrientes con mayor impacto en la expresión del mayor peso comercial son P y K.

En esta investigación la variabilidad de los datos que permite interpretar el comportamiento de las variables en relación a las Dosis, se encuentra representada en un 46,8% por el componente N° 1 (CP 1) y en un 42,2% por el componente N° 2 (CP 2) ambos ejes con autovalores superiores a 1 (3,27 y 2,96 respectivamente), presentando alta correlación con las variables originales y una buena estructura de los datos dado el valor de correlación cofenética = 0,988 (tabla 16). El mayor peso alcanzado por las plantas de lechuga se observa asociado principalmente a la mejor disponibilidad de fósforo y potasio contrariamente a lo ocurrido con los menores pesos alcanzados con los tratamientos 30 y 50% en los que se expresa en mayor medida las pérdidas de producto comercial denominado como Merma (%). También se hace notoria la deficiencia nutricional presente en el tratamiento sin compost y con fertilización química (q) en la que se evidencia un marcado déficit de nutrientes.

Tabla 15. Matriz de correlaciones para macronutrientos, peso total y peso comercial

Variable	Peso total	Peso comercial	Merma (%)	Calcio	Potasio	Magnesio	Fósforo
Peso total	1						
Peso comercial	1	1					
Merma (%)	-0,78	-0,81	1				
Calcio	0,01	0,04	-0,41	1			
Potasio	0,53	0,49	0,01	-0,6	1		
Magnesio	-0,42	-0,39	-0,06	0,7	-0,81	1	
Fósforo	0,4	0,41	-0,61	0,77	-0,22	0,46	1

Fuente: elaboración propia

### Correlaciones con las variables originales.

Tabla 16. Correlaciones de los componentes con las variables originales

Variables	cp 1	cp 2
Peso total	0,99	-0,05
Peso comercial	0,99	-0,01
Merma (%)	-0,82	-0,44
Calcio	0,07	0,93
Potasio	0,52	-0,74
Magnesio	-0,4	0,85
Fósforo	0,46	0,78

Correlación cofenética = 0,988

Fuente: elaboración propia

#### ***4.5.1.2 Análisis de componentes principales (ACP) para los contenidos foliares de las plantas de acelga.***

De acuerdo al ACP la variabilidad mostrada por los datos correspondientes al contenido foliar de nutrientes en las plantas de Acelga se encuentra representada en un 38,7% por el componente número 1 (CP1), un 29,6 % por el componente número 2 (CP2) y un 16,3% por el componente 3 (CP3) lo que explica el 85% de la varianza (ver Autovalores). Se observa en el biplot generado la alta correlación negativa entre Peso total y Comercial con la menor dosis de compost: 30% siendo este tratamiento el que se muestra más asociado al porcentaje de pérdida de producto denominado en este trabajo como Merma (%). Se aprecia así mismo una alta asociación entre el tratamiento 100% y la concentración de P, K y Mg. En este caso se mantiene la tendencia para la importancia de Peso Total y Peso comercial para el componente 2, como expresión del rendimiento.

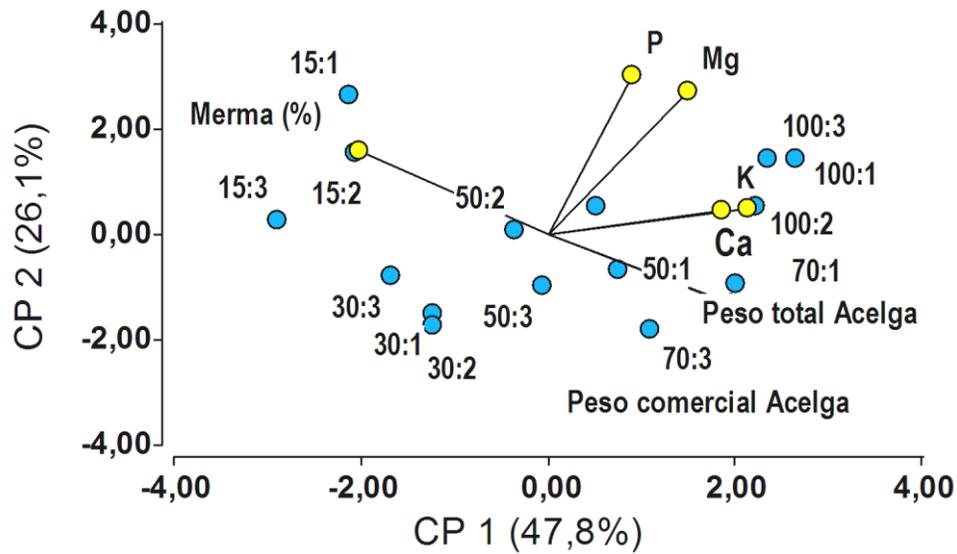


Figura 27. Distribución de variables y dosis estudiadas según Análisis de Componentes Principales 1 y 2 para el contenido de nutrientes en el tejido foliar (g kg). En los pares se indica la repetición correspondiente de cada Dosis. Los pares de valores; 1-2-3:30  
 Fuente: elaboración propia

En este caso los autovalores revelan la importancia de tres ejes o componentes principales ya que son mayores a 1, en ellos estaría repartida la variabilidad del estudio para Acelga. También se observa un elevado coeficiente de correlación cofenética = 0,93.

Tabla 17. Autovalores para el ACP de las variables foliares para el cultivo de Acelga

Lambda	valor	Proporción	prop acum
1	3,35	0,48	0,48
2	1,83	0,26	0,74
3	1,23	0,18	0,92
4	0,38	0,05	0,97
5	0,16	0,02	0,99
6	0,05	0,01	1
7	2,10e-04	3,10e-05	1

Fuente: elaboración propia

Llama la atención el resultado recurrente, primero con lechuga y ahora con acelga de la estrecha correlación positiva del alto rendimiento de la acelga con la alta concentración de P y K y en general todos los nutrimentos proporcionados evidentemente por el compost pues se evidencia la misma correlación positiva con los tratamientos 100 y 70%.

#### 4.5.1.3 ANAVA para contenido de nutrimentos en el tejido foliar.

Para esta evaluación en primer lugar se procedió a comprobar los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro – Wills. Como resultado se observa que no hay evidencias para rechazar el supuesto de distribución normal ( $p < 0,05$ ) (tabla 18) en todos los casos. Al ejecutar un ANAVA multivariado para contenidos foliares de macronutrimentos se obtienen los valores presentes en la tabla 18 donde se deduce que las dosis utilizadas presentan diferencias estadísticas significativas entre sí ( $p \leq 0,05$ ) como también interacción con la variable cultivo razón por la cual la evaluación de los cultivos se realiza por separado.

Tabla 18. Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	N	Media	D.e.	w*	P (unilateral d)
Peso total planta	15	195,47	63,76	0,94	0,5958
Ca	15	109,51	34,34	0,92	0,3747
K	15	186,35	95,33	0,89	0,1534
Mg	15	63,25	14,7	0,91	0,237
P	15	30,23	15,89	0,88	0,0921

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)

F.v.	Estadístico	F	Gl(num)	Gl(den)	p
Dosis	1,20e-03	24,98	16	50	<0,0001
Cultivo	0,02	166,5	4	16	<0,0001
Dosis*cultivo	4,40e-03	15,21	16	50	<0,0001

Fuente: elaboración propia

Posteriormente se aplicó ANAVA para lechuga y acelga consiguiéndose diferencias altamente significativas a  $p \leq 0,05$  lo que permite presentar los resultados en gráficos, ilustrativo del fenómeno. Como se aprecia en las figuras 27 y 28 el contenido de nutrientes es directamente proporcional a la magnitud las dosis aplicadas de manera notoria en el caso de la acelga y sobre todo con el potasio por el conocido consumo de lujo que lo caracteriza. Una acumulación que no se corresponde con un incremento el rendimiento pues el mayor peso obtenido lo proporcionó la dosis 30:70. Esto pone en evidencia la importancia del ajuste de la Dosis óptima para la máxima economía en el uso de los recursos.

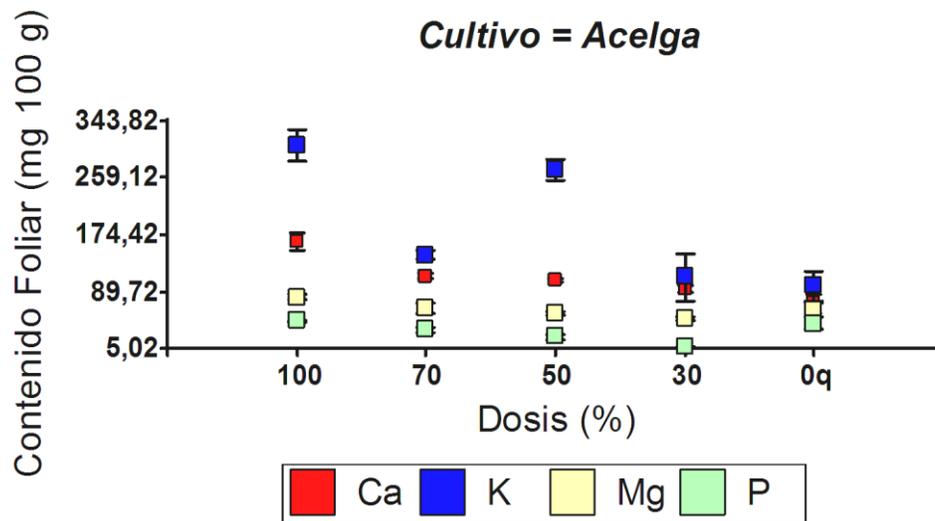


Figura 28. Acumulación de mscronutrientes en el tejido foliar de plantas de acelga como efecto de la dosis de compost: 100-70-50-30% en contraste con el control químico (q)  
Fuente: elaboración propia

Una respuesta contrastante se tiene con la lechuga para todos los nutrientes excepto K. Ellos mantienen una baja concentración en el tejido foliar aún en presencia de las dosis mayores. De acuerdo a lo hallado es la asimilación del K lo que marca la respuesta significativa a la enmienda orgánica y confirma que el compost puede constituirse como fuente de fertilizante y suplir adecuadamente los cultivos evaluados.

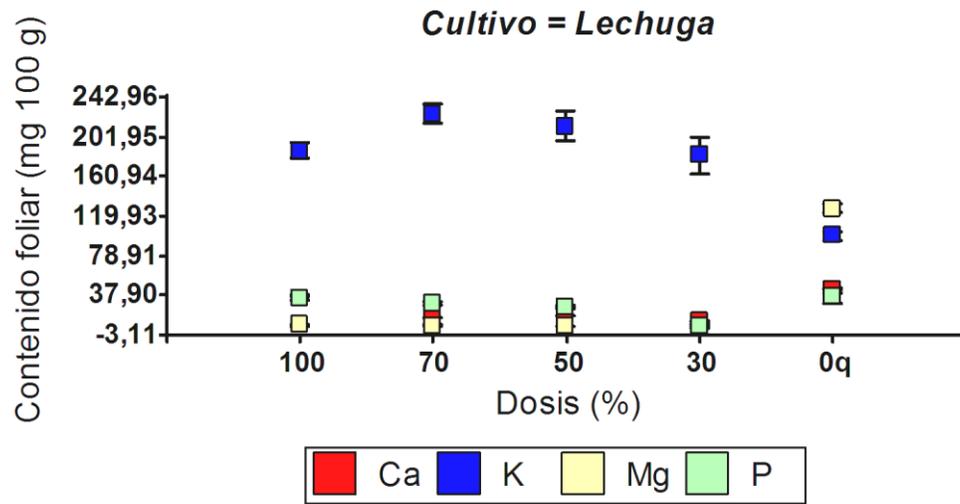


Figura 29. Acumulación de macronutrientes en el tejido foliar de plantas de lechuga como efecto de la dosis de compost: 100-70-50-30% en contraste con el control químico (q)

Fuente: elaboración propia

## Conclusiones

A partir del planteamiento de la pregunta de la investigación, es decir, ¿cuál es el efecto de la aplicación del biocompost como abono sobre la producción de un cultivo lechuga, acelga y apio España? Se puede concluir que:

A mayor cantidad de biocompost, mayor rendimiento de los cultivos en cuanto a peso, número de hojas y tamaño. Como se evidencia en el tratamiento 100% compost y 70% compost y 30% arena.

A través de la utilización del biocompost, las plantas asimilan macro y micronutrientes, lo cual se evidencia en el análisis del tejido foliar; aspectos que inciden de manera directa sobre el consumidor final.

Respecto al planteamiento de cada uno de los objetivos específicos, se puede concluir que:

Al determinar el comportamiento de las características físico-químicas y microbiológicas durante y al final de la elaboración del bioabono por compostaje aerotérmico, se destacan los siguientes aspectos:

Referente a las características físico-químicas, se evidencia una dinámica congruente con la esperada en el sentido de proporcionar un medio físico-químico favorable para el desarrollo de transformaciones necesarias para el logro de un producto maduro y beneficioso para el suelo y las plantas mediadas por las poblaciones microbianas características.

En lo que se refiere a las características microbiológicas se pone en evidencia el poder transformador del compostaje aerotérmico, pues propicia la sucesión microbiana necesaria para la transformación de los residuos orgánicos en recurso valioso e inocuo para la agricultura.

En cuanto a la comparación de las características físico-químicas microbiológicas del bioabono producido con la normatividad vigente, es preciso mencionar la concordancia de los parámetros medidos con lo pautado con la Norma colombiana vigente, lo cual deja en evidencia la calidad del producto y la factibilidad de su uso y comercialización.

Por último, y referido a la determinación de la productividad de los cultivos (crecimiento y desarrollo de las plantas, producción por planta y producción total por tratamiento) utilizando diferentes proporciones del bioabono, es procedente mencionar que el beneficio del producto elaborado con la técnica aerotérmica empleada brinda una herramienta de fundamental en el logro de los Objetivos del Desarrollo Sostenible, específicamente desde la pretensión de combatir el hambre y la pobreza a través de las prácticas de una agricultura limpia climáticamente inteligente.

## Recomendaciones

Es recomendable que en las instituciones de investigación se realice el monitoreo de otras poblaciones microbianas en la elaboración del compostaje y la adición microorganismos eficientes y biocontroladores que permitan una cualificación del compost, así como su enriquecimiento.

Elaborar bioabono por compostaje aerotérmico ajustando al inicio la relación C:N de 25- 30 por adición de fuentes de nitrógeno procedentes de residuos de actividades agropecuarias que permita la obtención de un bioabono con la madurez , riqueza mineral y estabilidad requerida. Lo que propiciará una mejor evolución en la pila de compostaje proporcionando un mejor ajuste de parámetros como una  $C/N < 20$ .

Clasificar taxonómicamente la vegetación de la que provienen los residuos de poda de la Universidad de Pamplona con el fin de evitar inconvenientes en la germinación de otras plantas.

## Referentes bibliográficos

AbcAgro. (2017). El cultivo de Apio. Recuperado el 2 de febrero de 2017, de En línea.

Disponible en: <http://www.abcagro.com/hortalizas/apio.asp>.

Acosta, C. W., & Peralta, F. M. (2015). Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. Tesis optar el Título de Zootecnia, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá - Colombia. Recuperado el 22 de Enero de 2019, de [http://repositorio.ucundinamarca.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1234/elaboraci%  
c3%93n%20de%20abonos%20org%  
c3%81nicos%20a%20partir%20del%20compostaje%20de%20r.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://repositorio.ucundinamarca.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1234/elaboraci%c3%93n%20de%20abonos%20org%c3%81nicos%20a%20partir%20del%20compostaje%20de%20r.pdf?sequence=1&isallowed=y)

Acurio, G. (1997). Diagnóstico de la situación de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana.

Aira, M., F. Monroy & J. Domínguez. (2007). Microbial biomass governs enzyme activity decay during aging or worm-worked substrates through vermicomposting. Journal of Environmental Quality. 36: 448 - 452.

Amaya, P. M. (2012). Definición de indicadores para la evaluación de las políticas de sustentabilidad en Universidades Latinoamericanas. Obtenido de [http://ariusa.net/apc-aa-  
files/66676664676466676466676466676466/2014-11-25-jba-version-definitiva\\_2.pdf](http://ariusa.net/apc-aa-files/66676664676466676466676466676466/2014-11-25-jba-version-definitiva_2.pdf)

- Andrade, R. Y. (2015). Calidad microbiológica de lechuga lista para el consumo. Loja Ecuador: Universidad La Rioja. Recuperado el 23 de Abril de 2018, de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/11784/1/ANDRADE%20ROBLEZ%20YANIO%20FERNANDO.pdf>.
- Arévalo, V. S., Chacón, V. R., & Pastas, A. J. (2016). Utilización de los residuos sólidos en la elaboración de compostaje para el mejoramiento del suelo. Tesis de grado Especialización, Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá. Recuperado el 12 de Abril de 2019, de <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/641/Ar%C3%A9valoVallejoSandraLucia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Arrigoni, J. P. (2016). Optimización del proceso de compostaje de pequeña escala. Bariloche - Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de [https://www.researchgate.net/profile/Juan\\_Arrigoni/publication/311616230\\_Optimizaci%C3%B3n\\_del\\_proceso\\_de\\_compostaje\\_de\\_peque%C3%B1a\\_escala/links/58512eaf08ae7d33e012963c.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan_Arrigoni/publication/311616230_Optimizaci%C3%B3n_del_proceso_de_compostaje_de_peque%C3%B1a_escala/links/58512eaf08ae7d33e012963c.pdf)
- Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. (2002). Los fertilizantes y su uso. Recuperado el 29 de Junio de 2017, de [https://www.fertilizer.org/images/LibraryDownloads/2002\\_IFA\\_FAO\\_fertilizantesuso.pdf](https://www.fertilizer.org/images/LibraryDownloads/2002_IFA_FAO_fertilizantesuso.pdf)

Barrena, G. (2006). Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Tesis para optar al grado de Doctor. Barcelona - España: Universidad Autónoma de Barcelona.

Bautista, O. 1983. Introducción to tropical Horticulture. p. 205 – 206.

Benítez, E. Sainz, H. Nogales, R. (2005). Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocelluloses olive waste. *Bioresource Technology* 96(7):785-790.

Biblioteca técnica servicios y almácigos S.A la Serena. (24 de enero de 2011). Chile . Obtenido de [http://www.almacigos.cl/bt/el% 20cultivo %20 de% 20la%20lechuga.pdf](http://www.almacigos.cl/bt/el%20cultivo%20de%20la%20lechuga.pdf)

Blanco, A. A. (2016). Localización óptima de contenedores de residuos sólidos urbanos en Alcalá de Henares. *Revista Electrónica de Medioambiente*, 17(1). doi: <https://doi.org/10.5209/MARE.53155>

Bueno, M. P., Díaz, B. M., & Cabrera, C. F. (2008). Factores que afectan el proceso de compostaje . *Dialnet* , 93-110. Recuperado el 22 de Mayo de 2019, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proc%20eso%20de%20compostaje.pdf>

Bueno, P., & Díaz, M. (2008). Factores que afectan al proceso compostaje (1 ed.). Madrid - España : Ediciones Díaz de Santos .

Cajamarca, V. D. (2012). Procedimientos para la elaboración de abonos orgánicos. Cuenca - Ecuador : Universidad de Cuenca. Recuperado el 23 de Enero de 2019, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3277/1/TESIS.pdf>

Caldas, C. J. (2016). Reciclaje y aprovechamiento de residuos urbanos orgánicos en el edificio los Naranjos municipio de Santa Rosa de Cabal, Colombia. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado el 24 de Enero de 2019, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6477/62844586132C145.pdf?sequence=1>

Calvo, G. S. (2011). Bacterias Simbióticas fijadoras de nitrógeno. Dialnet, 173-186. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de [file:///C:/Users/LaRoca/Downloads/Dialnet-BacteriasSimbioticasFijadorasDeNitrogeno-3761553%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/LaRoca/Downloads/Dialnet-BacteriasSimbioticasFijadorasDeNitrogeno-3761553%20(2).pdf)

Campo, R. R., Brenes, P. L., & Jiménez, M. M. (2016). . (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. Revista Tecnología En Marcha, 25-32. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2982>

- Cantos, T. P. (2019). Relación genotipo ambiente de cinco variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Recuperado el 28 de Mayo de 2019, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39561/1/Cantos%20Torres%20Pr%C3%B3spero%20Guillermo.pdf>
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., & Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) "Batavia" cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Recuperado el 29 de Enero de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/1803/1803>
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (23 de Junio de 2017). Compostación de residuos alimentarios: situación y retos. *Bioresource Technology*, 1-43. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech>.
- Congreso de la República. (2002). Decreto 1713. Recuperado el 28 de Diciembre de 2018, de <http://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2002decreto1713.pdf>
- Cruz, H. A. (2012). Caracterización y manejo de residuos sólidos, de siete predios en Salento - Quindío. Universidad del Tolima. Armenia: Fundación Universitaria San Martín.
- Dalzell, H. Biddlestone, W. Gray, A. Thuraiarajan, K. (1991). Boletín de suelo de la FAO 56. Producción y uso de compost en ambientes tropicales y subtropicales. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de fomento de tierras y aguas. FAO. p.178

Desarrollo sostenible. (2015). Objetivo 12: producción y consumo sostenible. Recuperado el 20 de Marzo de 2019, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

De Baca, N. (1956). Compost. Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura. Guatemala. p.1- 8.

De Bertoldi, M. Zucconi, F. y Civilini M. (1989). “Temperature, Pathogen Control and Product Quality”, The Biocycle Guide to Composting Municipal Wastes. The JG Press, Inc.pág. 35-47.

Díaz, Y. (5 de Julio de 2015). La importancia de los cultivos orgánicos en el cuidado de la naturaleza y la salud del ser humano. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de El campesino: <http://www.elcampesino.co/la-importancia-de-los-cultivos-organicos-en-el-cuidado-de-la-naturaleza-y-la-sal>

Edwards, C. (2004).Earthworm ecology.2 ed. St. Lucie Press/CRC Press, Boca Raton, FL. London, New Your- Washington.p. 448.

Evaluación del compostaje domiciliario como modelo de gestión de los residuos orgánicos. Caso de estudio: Comuna Villa La Serranita. (Agosto de 2012). Recuperado el 2 de Abril de 2017, de [http://www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/pdf/acuerdos\\_trabajo/DTR3.pdf](http://www.inti.gob.ar/compostajedomiciliario/pdf/acuerdos_trabajo/DTR3.pdf)

Flores, D. (2001). Guía Práctica No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito Ecuador. Guía Práctica No.2. p. 8-12.

Gallejo, B. J. (2012). Efecto de dos abonos verdes sobre la minerilización del nitrógeno y la dinámica de bacterias oxidantes del amonaco y del nitrito en un ciclo de cultivo de maiz Zea mays L. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Recuperado el 15 de Mayo de 2018, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/10454/1/7009003.2012.pdf>

Gobernación de Norte de Santander. (2016). Plan de Desarrollo para Norte de Santander 2016-2019. Un norte productivo para todos. Recuperado el 28 de Diciembre de 2018, de <http://www.sednortedesantander.gov.co/sitio/images/documentos/informesdelsector/PDD%20NDS%202016-2019.pdf>

Gobernacion de Antioquia. (2016). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas practicas agricolas en el oriente antioqueño. Recuperado el 6 de abril de 2017, de <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/manual%20del%20cultivo%20de%20la%20lechuga.pdf>

Gobierno de la ciudad de México. NADF-020-AMBT (2011). Norma Ambiental para el Distrito Federal. Equipos de cremación e incineración. Recuperado el 12 de Febrero de 2019, [http://data.sedema.cdmx.gob.mx/padla/index.php?option=com\\_content&view=article&id=333:nadf-020-ambt-2011&catid=53:normas-ambientales-del-distrito-federal&Itemid=87](http://data.sedema.cdmx.gob.mx/padla/index.php?option=com_content&view=article&id=333:nadf-020-ambt-2011&catid=53:normas-ambientales-del-distrito-federal&Itemid=87)

Goites, E. D. (2008). Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar. (P. edición, Ed.)

Recuperado el 12 de Enero de 2019, de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual\\_cultivos\\_pro\\_huerta\\_-\\_cerbas.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_cultivos_pro_huerta_-_cerbas.pdf)

Hernández, C. F. (2002). Fundamentos de Epidemiología: El Arte Detectivesco de la

Investigación Epidemiológica. Costa Rica: 1 edición. Recuperado el 25 de Febrero de 2018, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4301/1/TESIS.pdf>

Hurtado, V. J. (2014). Evaluación del Efecto Acelerador de Microorganismos Transformadores

de Materia Orgánica (TMO) en el Proceso de Compostaje de las Deyecciones de Bovinos, Porcinos y Conejos. 2014: Universidad de Manizales. Recuperado el 25 de Noviembre de 2018, de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1901/Trabajo%20Grado%20Jaime%20Hurtado%20Villegas%20V%20Cohorte.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ICONTEC. (15 de Junio de 2004). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5167 . Obtenido de

<file:///C:/Users/LaRoca/Downloads/138627365-NTC-5167-Apartes1-1-Norma-Para-Abonos-Organicos-y-Fertilizantes.pdf>

Infoagro. (2017). Infoagro.com. Recuperado el 12 de Junio de 2018, de El cultivo de la acelga:

<http://www.infoagro.com/hortalizas/acelga.htm>

Inga, C. Y. (2015). Caracterización de residuos sólidos municipales de la zona urbana del distrito de llata, provincia de Huamalies, Departamento de Huanuco. Tingo María - Perú: Universidad Agraria Nacional de la Selva. Recuperado el 3 de Mayo de 2019, de [https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/FI\\_NALLL.pdf](https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/FI_NALLL.pdf)

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Colombia. 2006. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Sexta Edición. Bogotá, IGAC. Pp. 73 -75

Jaramillo, N. J., Aguilar, P. A., Espitia, M. E., Tamayo, M. P., Argüello, O., & Guzmán, A. M. (2014). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el Oriente Antioqueño. (M. Colombia, Ed.) Recuperado el 15 de Abril de 2019, de [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/75472\\_65800.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/75472_65800.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Jimenez, A. M. (2011). Biotecnología de procesos para la obtención de preparaciones enzimáticas termoestables con actividad amilolítica para aplicación comercial. Puebla - México. Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/6569/174616\\_NUTRAVIA.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/6569/174616_NUTRAVIA.pdf)

Koneman, E. (2001). Diagnóstico microbiológico: texto y atlas color (5 ed.). Buenos Aires, Buenos Aires: Médica Panamericana. Recuperado el 12 de Octubre de 2018, de <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis145.pdf>

Laich, F. (21 de Octubre de 2011). El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje.

Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file>

Léiva, L. F. (2013-2014). Producción sostenible del compostaje para el champiñón de la Rioja a través del análisis del ciclo de vida. Universidad la Rioja . España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Recuperado el 12 de Enero de 2019

López, M., Vargas, G. M., Suárez, E., López, G. J., Jurado, M., Bernal, M. A., Moreno, J. (2012). Biodiversidad y evolución de bacterias mesófilas y termófilas durante el compostaje. España: Universidad de Almería.

Mapa normativo para el aprovechamiento de los Residuos sólidos en Colombia. (sf). Obtenido de Manual compostaje: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/Normatividad.pdf>

Marmolejo, L. F., Torres, P., Oviedo, E. R., Bedoya, D. F., Amézquita, C. P., Klinger, R., . . . Díaz, L. (Julio-Diciembre de 2009). Flujo de residuos: Elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos: Elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos solidos municipales:. Redalyc, 11(2), 79-93. Recuperado el 15 de Enero de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323541009>

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo.

Scielo, 8(1), 68-96. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000100006](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006)

Mckean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal . Obtenido de Laboratorio de

servicios analíticos: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/S593.M2Manual\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_suelos\\_y\\_tejido\\_vegetal\\_Una\\_gu%C3%ADa\\_t%C3%B3rica\\_y\\_pr%C3%A1ctica\\_de\\_metodologia.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_t%C3%B3rica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf)

Mendoza, D. (Septiembre de 2010). Vermicompost y compost de residuos hortícolas como

componentes de sustratos para la producción de planta ornamental y aromática. caracterización de los materiales y respuesta vegetal. Recuperado el 3 de Abril de 2017, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8685/tesisUPV3395.pdf>

Minagricultura. (2017). Estadísticas agrícolas . Obtenido de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (31 de Julio de 2006).

<https://www.ica.gov.co/getattachment/efc964b6-2ad3-4428-aad5-a9f2de5629d3/187.aspx>. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <https://www.ica.gov.co/getattachment/efc964b6-2ad3-4428-aad5-a9f2de5629d3/187.aspx>

Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural. (2016). . (2016). Regional Norde de Santander Cultivos- Produccion en toneladas año 2013. Recuperado el 11 de Abril de 2017, de <http://www.portalpruebas.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/bienestar/compras-locale>.

Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). Bolivia. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://www.mmaya.gob.bo/>

Morales, C. J. (2012). El cultivo de la acelga. Perú: Universidad Veracruzana. Recuperado el 24 de Enero de 2019, de <https://studylib.es/doc/7976770/el-cultivo-de-la-acelga--beta-vulgaris-var.-cicla->

Moreno, C., & Moral, H. (2008). Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Sucesion-microbiana-y-ambiental-durante-el-compostaje-Adaptado-de-Moreno-Casco\\_fig2\\_230787246](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Sucesion-microbiana-y-ambiental-durante-el-compostaje-Adaptado-de-Moreno-Casco_fig2_230787246)

Muñoz, C. J., Muñoz, P. J., & Montes, R. C. (2015). Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayan, Cauca. Scielo, 13(1), 73-82. Recuperado el 12 de Febrero de 2019, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612015000100009&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612015000100009&script=sci_abstract&tlng=es)

NCh 2880. (Santiago, Chile. 19 p. de 2004). Compost – Clasificación y requisitos. Obtenido de Instituto Nacional de Normalización : <http://www.ingeachile.cl/ descargas/ normativa/ agricola/NCH2880.pdf>

Ospina, B. I. (2016). Influencia de la aplicación de Compost producido a partir de residuos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en un Vertisol de Valle del Cauca. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 20 de Enero de 2019, de [http://www.bdigital.unal.edu.co/54465/1/2016-Isabel\\_Cristina\\_Ospina.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/54465/1/2016-Isabel_Cristina_Ospina.pdf)

PESA. (2011). Seguridad Alimentaria y Nutricional. Conceptos Básicos. Recuperado el 30 de Diciembre de 2018, de <http://www.fao.org/3/a-at772s.pdf>

Portocarrero, A. P. (2014). Análisis comparativo de tres sustratos orgánicos, en el desarrollo de plántulas de café de la variedad Castillo. Manizales: Universidad de Manizales. Recuperado el 24 de Enero de 2019, de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1744/Analisis%20comparativo%20de%20tres%20abonos%20organicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Prescott, L. (2004). Microbiología (5 ed.). (Interamericana, Ed.) España, Madrid: Mc Graw Hill . Recuperado el 14 de Marzo de 2018, de <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis145.pdf>

Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor.

Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Rostagno, M. (2015). Máquina volteadora para la elaboración de fertilizante orgánico a través de guano de gallina”. Argentina: Universidad de Córdoba. Recuperado el 12 de Abril de

2019, de <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4300/PI%20-%20Rostagno%20Marianela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rynk, R. (1992). On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service.

Sendra, N., Tonelli, B., & Ali, S. (2011). Cátedra Horticultura, cultivo de apio . Obtenido de

<http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/3353/apio%20Open.pdf>

Soliva, M. (2001). Compostatge i gestió de residuos orgànics. Compostatge i gestió de residuos orgànics . Obtenido de Diputació de Barcelona: Barcelona

Soto, C. F. (2016). Efecto del aceite esencial y zumo de Citrus latifolia tanaka sobre la calidad microbiológica de ensaladas frescas expandidas en el mercado Central de Trujillo.

Trujillo Perú: Universidad César Vallejo. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/154573436.pdf>

Suárez, M. F. (2012). Evaluación del compostaje domiciliario como modelo de gestión de los residuos orgánicos. Caso de estudio: Comuna Villa La Serranita. Tesis de grado para obtener el título de Magister en Agronomía, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires - Argentina. Recuperado el 25 de Enero de 2019, de [https://www.academia.edu/4065551/Plan\\_de\\_tesis\\_Ma.\\_Fernanda\\_Su%C3%A1rez\\_FRC-UTN\\_P%C3%A1g.\\_1\\_de\\_15\\_Universidad\\_Tecnol%C3%B3gica\\_Nacional\\_Facultad\\_Regional\\_C%C3%B3rdoba\\_Direcci%C3%B3n\\_de\\_PosgradoPLAN\\_DE\\_TAREAS](https://www.academia.edu/4065551/Plan_de_tesis_Ma._Fernanda_Su%C3%A1rez_FRC-UTN_P%C3%A1g._1_de_15_Universidad_Tecnol%C3%B3gica_Nacional_Facultad_Regional_C%C3%B3rdoba_Direcci%C3%B3n_de_PosgradoPLAN_DE_TAREAS).

Sztern, D., & Pravia, M. (1999). Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Perú: Organización panamericana de la salud. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf>

Tchobanoglous, G. (1994). Gestión integral de Residuos Sólidos. España : McGraw-Hill.

Tortosa, G. (23 de Abril de 2019). Compostando ciencia Lab. Obtenido de <http://www.compostandociencia.com/2014/07/determinacion-del-contenido-total-de-nitrogeno-en-un-compost/>

Vallejo, A. J. (2013). Elaboración De Un Manual Guía Técnico Práctico Del Cultivo De Hortalizas De Mayor Importancia Socio-Económica De La Región Interandina. Quito: Universidad Central de Ecuador. Recuperado el 12 de Mayo de 2018, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2037/1/T-UCE-0004-37.pdf>

- Velásquez, F. S. (2016). Modelo tecnológico para el cultivo de Lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el Oriente Antioqueño. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de ISBN: 978-958-8955-10-0: <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20LA%20LECHUGA.pdf>
- Xiao, X. G., Hong, T. L., Shu, & Wu, b. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. Elsevier, 501-510. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719301548>
- Yáñez, I., Orta, T., Monje, I., Rojas, M., Toscano, L., Renteria, J., . . . Hernández, L. (Noviembre de 2009). Estudio de evaluación de tecnologías alternativas o complementarias para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos. Instituto de Ingeniería UNAM. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de [https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones\\_conagua/RESIDUOS%20PELIGROSOS/EST-EVA2009.pdf](https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones_conagua/RESIDUOS%20PELIGROSOS/EST-EVA2009.pdf)

## **Apéndices**



Mohos y levaduras	<0,0001	0,0051	<0,0001										
Bacterias termófilas	0,0269	0,1065	0,0717	0,073									
Celulolíticas 25°C	0,0004	0,0084	0,0016	0,0059	0,0025								
Celulolíticas 37°C	0,001	0,0137	0,0028	0,0173	0,3575	<0,0001							
Amonificantes 25°C	0,0535	0,1353	0,0756	0,1162	<0,0001	<0,0001	0,0178						
Amonificantes 37°C	0,0095	0,0561	0,0274	0,0443	0,006	<0,0001	0,0008	<0,0001					
Deg Urea 25°C	0,0167	0,0704	0,032	0,0676	0,087	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001				
Deg Urea 37°C	0,0167	0,0704	0,032	0,0676	0,087	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001			
Amilolíticas 25°C	0,0036	0,0213	0,0058	0,0174	0,119	0,5995	0,7942	0,2242	0,1841	0,2686	0,2686		
Amilolíticas 37°C	0,0038	0,0316	0,0108	0,0239	0,7071	<0,0001	0,0565	0,0712	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0089	

Fuente: elaboración propia

#### Apéndice B. Autovalores para los componentes del ACP

Autovalores			
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
<b>1</b>	<b>6,55</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
<b>2</b>	<b>2,56</b>	<b>0,2</b>	<b>0,7</b>
<b>3</b>	<b>1,48</b>	<b>0,11</b>	<b>0,81</b>
4	0,75	0,06	0,87
5	0,63	0,05	0,92
6	0,42	0,03	0,95
7	0,28	0,02	0,97
8	0,18	0,01	0,99
9	0,09	0,01	1

Fuente: elaboración propia

## Apéndice C. Autovectores del Análisis de Componentes principales

Autovectores		
Variables	e1	e2
Coliformes totales	-0,28	-0,38
Coliformes fecales	-0,21	-0,29
Aerobios mesófilos	-0,25	-0,36
Mohos y levaduras	-0,23	-0,37
Bacterias termófilas	0,18	-0,1
Celulolíticas 25°C	0,38	-0,15
Celulolíticas 37°C	0,26	0,03
Amonificantes 25°C	0,28	-0,22
Amonificantes 37°C	0,35	-0,24
Deg Urea 25°C	0,35	-0,23
Deg Urea 37°C	0,35	-0,23
Amilolíticas 25°C	0,03	0,51
Amilolíticas 37°C	0,28	0,05

Fuente: elaboración propia

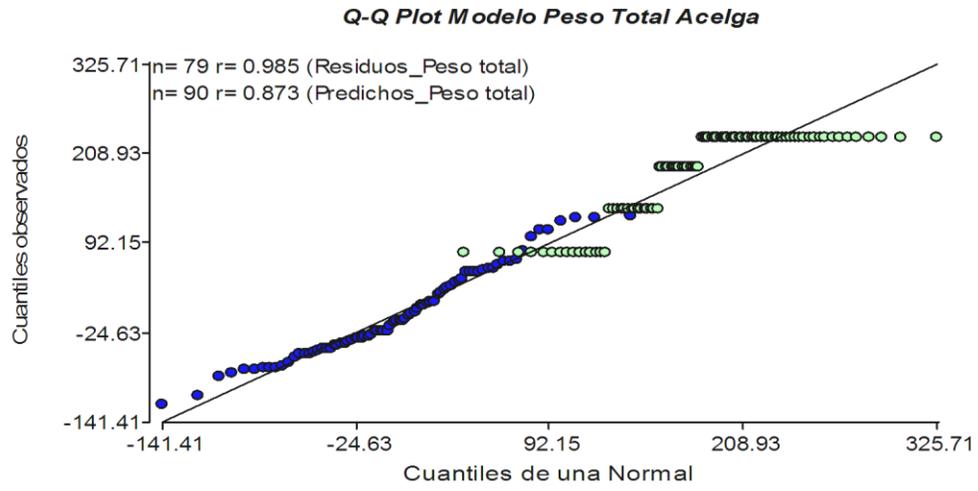
## Apéndice D. Tabla de valores de correlaciones con las variables originales

Correlaciones con las variables originales		
Variables	CP 1	CP 2
Coliformes totales	-0,7	-0,61
Coliformes fecales	-0,54	-0,46
Aerobios mesófilos	-0,64	-0,58
Mohos y levaduras	-0,59	-0,59
Bacterias termófilas	0,46	-0,16
Celulolíticas 25°C	0,96	-0,23
Celulolíticas 37°C	0,66	0,06
Amonificantes 25°C	0,71	-0,36
Amonificantes 37°C	0,91	-0,39
Deg Urea 25°C	0,89	-0,37
Deg Urea 37°C	0,89	-0,37
Amilolíticas 25°C	0,08	0,81
Amilolíticas 37°C	0,71	0,08
<b>Correlación cofenética= 0,955</b>		

Fuente: elaboración propia

Se procedió a realizar un análisis para validar los supuestos requeridos para la utilización del análisis de Kruskal Wallis y sus análisis a posteriori.

Apéndice E. QQ Plot para el modelo de peso total de la Acelga como efecto de dosis de compost



Fuente: elaboración propia