

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“CALIDAD DE SEIS FORMULACIONES DE COMPOST
ENRIQUECIDO CON GUANO DE ISLAS”**

Presentado por:

IRIS MIYASHIRO NOBORIKAWA

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

2014

*A mis padres y a mi tía,
por su amor incondicional.*

Agradecimientos

Deseo agradecer a todos aquellos que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo de investigación.

A Dios, por haberme guiado a lo largo del camino y haberme otorgado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, por el apoyo incondicional, por sus consejos y valores, por el apoyo que me brindaron para la culminación de mi carrera profesional. Ellos constituyen una motivación constante para ser una persona de bien y superarme cada día más.

A mi tía, por inculcarme el valor de la perseverancia ante las dificultades, por enseñarme que cuando se desea alcanzar algo en la vida, no existe tiempo ni obstáculo imposible de superar.

A la Ing. Ruby Vega, por su gran apoyo en la conducción y culminación de este trabajo y por la confianza que depositó en mí al patrocinar esta tesis.

Al Ing. Aguirre, por su fundamental apoyo en la elaboración de la parte experimental del presente proyecto, así como al personal técnico del Laboratorio de Fertilidad del Suelo y del Taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible.

A mis amigos, por el aliento y apoyo en la consecución de metas profesionales y personales.

ÍNDICE

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GENERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 ABONO.....	3
3.2 DEFINICIONES DE COMPOST.....	4
3.3 DEFINICIÓN DE COMPOSTAJE	5
3.4 ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	5
3.5 SUSTANCIAS HÚMICAS	7
3.6 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE	10
3.7 GUANO DE ISLAS	13
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1 MATERIALES Y EQUIPOS	17
4.1.1 TIEMPO Y LUGAR DE EJECUCIÓN	18
4.2 PROCEDIMIENTO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	18
4.2.1 PREPARACIÓN DE INSUMOS	18
4.2.2 PREPARACIÓN DE PILAS	18
4.2.3 COMPOSICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	19
4.2.4 HUMEDECIMIENTO	22
4.2.5 AIREACIÓN	22
4.2.6 EVALUACIONES	23
4.2.6.1 TOMA DE MUESTRAS.....	23
4.2.6.2 EVALUACIONES DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE	23

4.2.6.3	EVALUACIONES REALIZADAS AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN.....	24
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
5.1	PARÁMETROS EVALUADOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE	31
5.1.1	VARIACIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .	31
5.1.2	VARIACIÓN TEMPORAL DEL pH EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	32
5.1.3	VARIACIÓN TEMPORAL DE LA SALINIDAD EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	34
5.2	PARÁMETROS EVALUADOS DURANTE LA ETAPA DE MADURACIÓN.....	35
5.2.1	TEMPERATURA	35
5.2.2	POTENCIAL DE HIDRÓGENO	36
5.2.3	SALINIDAD.....	39
5.2.4	HUMEDAD	42
5.2.5	MATERIA ORGÁNICA	46
5.2.6	NITRÓGENO TOTAL	50
5.2.7	RELACIÓN CARBONO: NITRÓGENO	54
5.2.8	FÓSFORO TOTAL	58
5.2.9	POTASIO	61
5.2.10	PRUEBAS DE GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO	64
A.	TEST DEL ÍNDICE DE GERMINACIÓN DE ZUCCONI.....	64
B.	TEST DE MADUREZ	67
C.	ENSAYO BIOLÓGICO	69
5.3	VALOR FERTILIZANTE DEL COMPOST ENRIQUECIDO CON GUANO DE ISLAS PARA SER CONSIDERADO COMO ABONO ORGÁNICO	74
5.4	CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPOST OBTENIDOS	75
VI.	CONCLUSIONES.....	87
VII.	RECOMENDACIONES	88
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	89

IX. ANEXOS	95
-------------------------	-----------

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1: CARACTERÍSTICAS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS NITROGENADOS.....	3
CUADRO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS NPK.....	4
CUADRO 3: EXTRACCIÓN DE GUANO DE ISLAS POR AÑO.....	16
CUADRO 4: COMPOSICIÓN TOTAL Y PORCENTUAL DE LA PILA DE COMPOSTAJE.	19
CUADRO 5: PESOS DE COMPOST DESTINADOS A LOS TRATAMIENTOS 1 AL 7.....	20
CUADRO 6: COMPOSICIÓN TOTAL Y PORCENTUAL DEL COMPOST ENRIQUECIDO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN.	21
CUADRO 7: PESOS DE COMPOST DESTINADOS A LOS TRATAMIENTOS 8 AL 14	21
CUADRO 8: COMPOSICIÓN TOTAL Y PORCENTUAL DEL COMPOST ENRIQUECIDO CON GUANO DE ISLAS AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN	22
CUADRO 9: PARÁMETROS Y MOMENTOS DE EVALUACIÓN DEL COMPOST SOLO Y EL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS.	24
CUADRO 10: ARREGLO DE TRATAMIENTOS EN DIFERENTES PROPORCIONES DE COMPOST	30
CUADRO 11: COMPARACIÓN DEL pH INICIAL (COMPOST SOLO AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y EL pH FINAL (COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	39
CUADRO 12: COMPARACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA INICIAL (COMPOST SOLO AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA FINAL (COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	42
CUADRO 13: COMPARACIÓN DE LA HUMEDAD INICIAL (COMPOST SOLO AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y AL HUMEDAD FINAL (COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	45
CUADRO 14: COMPARACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA INICIAL (COMPOST SOLO AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y LA MATERIA ORGÁNICA FINAL (COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	49

CUADRO 15: COMPARACIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL INICIAL (COMPOST SOLO AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y EL NITRÓGENO TOTAL FINAL (COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).....	53
CUADRO 16: COMPARACIÓN DE LA RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO INICIAL (COMPOST SOLO AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y LA RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO FINAL (COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	57
CUADRO 17: COMPARACIÓN DEL FÓSFORO TOTAL INICIAL (COMPOST SOLO AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y DEL FÓSFORO TOTAL FINAL (COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).....	61
CUADRO 18: COMPARACIÓN DEL POTASIO INICIAL (COMPOST SOLO AL INICIO Y FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y DEL POTASIO FINAL (COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	64
CUADRO 19: VALORES PROMEDIO DEL ÍNDICE DE GERMINACIÓN, PROMEDIOS DE LONGITUD RADICULAR Y SEMILLAS GERMINADAS	66
CUADRO 20: VALORES PROMEDIOS DEL PORCENTAJE DE SEMILLAS GERMINADAS Y EVOLUCIÓN DE LA GERMINACIÓN EN EL TEST DE MADUREZ.....	68
CUADRO 21: VALORES PROMEDIOS DE LA BIOMASA SECA DEL FOLLAJE A NIVEL DE TRATAMIENTOS Y FORMULACIONES EN MACETA.	73
CUADRO 22: PORCENTAJE DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO Y SUMA DE N TOTAL, P ₂ O ₅ Y K ₂ O EN EL COMPOST ENRIQUECIDO CON GUANO DE ISLAS	75
CUADRO 23: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST DEL TRATAMIENTO 1 (INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y TRATAMIENTO 8 (FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	76
CUADRO 24: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST DEL TRATAMIENTO 2 (INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y TRATAMIENTO 9(FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	77
CUADRO 25: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST DEL TRATAMIENTO 3(INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y TRATAMIENTO 10(FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	78
CUADRO 26: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST DEL TRATAMIENTO 4(INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y TRATAMIENTO 11(FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	79
CUADRO 27: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST DEL TRATAMIENTO 5(INICIO DE LA ETAPA DE	

MADURACIÓN) Y TRATAMIENTO 12(FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	81
CUADRO 28: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST DEL TRATAMIENTO 6(INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y TRATAMIENTO 13(FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	82
CUADRO 29: CARACTERIZACIÓN DEL COMPOST DEL TRATAMIENTO 7(INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN) Y TRATAMIENTO 14(FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN).	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE SUSTANCIAS HÚMICAS A PARTIR DE LA LIGNINA SEGÚN WAKSMAN.....	9
GRÁFICO 2: RUTA DE FORMACIÓN DE SUSTANCIAS HÚMICAS BASADAS EN LA FORMACIÓN DE QUINONAS	10
GRÁFICO 3: DISTRIBUCIÓN VOLUMÉTRICA DE LA PILA DE COMPOSTAJE	19
GRÁFICO 4: VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	31
GRÁFICO 5: VARIACIÓN DEL pH EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	33
GRÁFICO 6: VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	34
GRÁFICO 7: VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA AL INICIO Y FIN DE LA ETAPA DE MADURACIÓN	35
GRÁFICO 8: VALORES PROMEDIOS DEL pH DEL COMPOST EVALUADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	36
GRÁFICO 9: VALORES PROMEDIOS DEL pH DEL COMPOST CON GUANO DE ISLAS INCORPORADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	38
GRÁFICO 10: VALORES PROMEDIOS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL COMPOST EVALUADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).	40
GRÁFICO 11: VALORES PROMEDIOS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	41
GRÁFICO 12: VALORES PROMEDIOS DE LA HUMEDAD DEL COMPOST EVALUADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	43
GRÁFICO 13: VALORES PROMEDIOS DE LA HUMEDAD DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA	

ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).	44
GRÁFICO 14: VALORES PROMEDIOS DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL COMPOST EVALUADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	46
GRÁFICO 15: VALORES PROMEDIOS DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).	48
GRÁFICO 16: VALORES PROMEDIOS DEL NITRÓGENO TOTAL DEL COMPOST EVALUADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	50
GRÁFICO 17: VALORES PROMEDIOS DEL NITRÓGENO TOTAL DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).	52
GRÁFICO 18: VALORES PROMEDIOS DE LA RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO DEL COMPOST EVALUADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).	55
GRÁFICO 19: VALORES PROMEDIOS DE LA RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	56
GRÁFICO 20: VALORES PROMEDIOS DEL FÓSFORO TOTAL DEL COMPOST EVALUADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	58
GRÁFICO 21: VALORES PROMEDIOS DEL FÓSFORO TOTAL DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).	60
GRÁFICO 22: VALORES PROMEDIOS DEL POTASIO DEL COMPOST EVALUADO AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).....	62
GRÁFICO 23: VALORES PROMEDIOS DEL POTASIO DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).	63

GRÁFICO 24: VALORES PROMEDIOS DEL ÍNDICE DE GERMINACIÓN DEL TEST DE ZUCCONI DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14).

..... 65

GRÁFICO 25: VALORES PROMEDIOS DEL TEST DE MADUREZ DEL COMPOST INCORPORADO CON GUANO DE ISLAS AL INICIO DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 1 AL 7) Y AL FINAL DE LA ETAPA DE MADURACIÓN (TRATAMIENTOS 8 AL 14). 69

GRÁFICO 26: VALORES PROMEDIOS DE LA BIOMASA SECA DEL FOLLAJE EN FORMULACIONES AL 1% (10 G. DE COMPOST Y 1 KG DE ARENA DE RÍO)..... 70

GRÁFICO 27: VALORES PROMEDIOS DE LA BIOMASA SECA DEL FOLLAJE EN FORMULACIONES AL 2% (20 G. DE COMPOST Y 1 KG DE ARENA DE RÍO)..... 72

ANEXOS

ANEXO 1: TEMPERATURAS EVALUADAS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE	95
ANEXO 2: pH DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE	98
ANEXO 3: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	100
ANEXO 4: RESULTADOS DE TEMPERATURA DURANTE LA ETAPA DE MADURACIÓN	102
ANEXO 5: RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS	103
ANEXO 6: PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS	125
ANEXO 7: CARACTERÍSTICAS DEL ESTIÉRCOL DE VACA	141
ANEXO 8: FLORA MICROBIANA DEL GUANO DE ISLAS.....	142
ANEXO 9: FOTOS.....	143

ABREVIATURAS

- ADN: ácido desoxirribonucleico
- ARN: ácido ribonucleico
- AT4: prueba de medición de la actividad respiratoria durante un periodo de 4 días.
- °C: grado Celsius
- C: Carbono total
- CaO: Óxido de calcio (cal viva).
- CE: Conductividad eléctrica
- cm: centímetro
- C/N: Relación carbono nitrógeno.
- CO₂: Dióxido de carbono.
- CONSAS: Taller de conservación de suelos y agricultura sostenible de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- CRR: Crecimiento de radícula relativo
- dS/m: deciSiemens por metro
- g: gramos
- GS21: prueba de generación de gas durante un periodo de 21 días.
- g/maceta: gramos por maceta
- IG: Índice de germinación
- K: potasio
- K₂O: Óxido de potasio
- kg: kilogramos
- m: metros
- m²: metros cuadrados
- m³: metros cúbicos
- N: nitrógeno
- NCH2880.Of2004: Norma Chilena Oficial: Compost-Clasificación y requisitos.
- MgO: Óxido de magnesio.
- MINAG: Ministerio de Agricultura
- MO: Materia orgánica
- NPK: nitrógeno, fósforo y potasio

- msnm: metros sobre el nivel del mar
- N total: nitrógeno total
- pH: Potencial de hidrógeno.
- p/v: peso sobre volumen
- P: fósforo
- P₂O₅: pentóxido de fósforo
- PGR: porcentaje de germinación relativo
- PS: peso seco
- t: toneladas
- t/m³: toneladas métricas
- TMECC: Test method for the examination of composting and compost
- uS/cm: microsiemens por centímetro

RESUMEN

El uso masivo de fertilizantes químicos en los cultivos conduce a largo plazo al surgimiento de problemas del medio ecológico, derivando en el deterioro de la calidad del suelo y propiciando el agotamiento de la materia orgánica y los nutrientes, ocasionando la pérdida de la fertilidad del suelo y su capacidad productiva. La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos en la agricultura, está obligando a la búsqueda de alternativas viables y sostenibles, por ello se planteó la elaboración de un abono orgánico a base de compost enriquecido con Guano de Islas, con la finalidad de aprovechar las características y nutrientes del compost tradicional y potenciarlos con el Guano de Islas, creando una sinergia favorable para el crecimiento de la planta y la producción orgánica. El compost enriquecido con Guano de Islas se elaboró en base a formulaciones y en diferentes relaciones de Guano de Islas y compost, incorporados en dos momentos del proceso de compostaje, al inicio y final de la etapa de maduración, con la finalidad de determinar el momento óptimo de incorporación del Guano de Islas en el compost y evaluando variables fisicoquímicas, bioensayos de fitotoxicidad y pruebas biológicas. Bajo las condiciones del experimento, las formulaciones trabajadas en el inicio de la etapa de maduración del proceso de compostaje presentan mejores resultados en términos de calidad del producto final, constituyendo un aspecto diferencial el nivel de fitotoxicidad del compost enriquecido con guano de islas.

Palabras clave: compost, compostaje, guano de islas, pilas de compostaje, estiércol de vaca, abono orgánico, formulación, residuos vegetales, materia orgánica, etapa de maduración.

I. INTRODUCCIÓN

La utilización de abonos orgánicos en la agricultura representa una alternativa que contribuye a aminorar los problemas de degradación ambiental causados por el uso de productos químicos en los distintos cultivos. Con el compostaje, se realiza un uso responsable de los residuos orgánicos producidos en las diferentes actividades productivas.

Los abonos orgánicos mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo debido a sus características químicas y la actividad biológica que propician. Los fertilizantes son utilizados para obtener mayores producciones y aumentar la calidad del cultivo, sin embargo el uso extensivo de los fertilizantes sintéticos es uno de los factores principales de la contaminación del suelo.

En la actualidad se brinda un mayor impulso a la producción orgánica y los programas de conservación agroecológicos, en los que se demanda el cumplimiento de las normativas orgánicas y el uso de abonos orgánicos. El mercado de abonos orgánicos en el Perú es incipiente y se encuentra en proceso de desarrollo. De acuerdo a cifras manejadas hasta el año 2012, la producción nacional de abonos orgánicos constituye el 2% de la oferta total de fertilizantes. El tamaño del mercado de fertilizantes para la industria agrícola en el Perú alcanzó un volumen de 936,700 toneladas, compuesto básicamente en un 98% de productos fertilizantes sintéticos importados (Maximixe, 2013).

Entre los abonos orgánicos utilizados para la fertilización de suelos, el Guano de Islas es un abono de alta calidad y escasa producción, alcanzando una producción anual de 20,000 toneladas (Agrorural, 2010). Con la finalidad de aprovechar este valioso recurso y buscar alternativas eficientes para la agricultura orgánica, se propone la elaboración de un compost constituido por una mezcla homogeneizada de compost tradicional enriquecido con Guano de Islas, con diferentes formulaciones de acuerdo a las características propias del suelo y requerimiento de los cultivos. El compost enriquecido con guano de islas cumple con las especificaciones técnicas para ser utilizada en la producción orgánica en el Perú.

II. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo principal

- Evaluar la calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con Guano de Islas en dos momentos del proceso de compostaje.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del compost enriquecido con Guano de Islas, mediante parámetros fisicoquímicos y bioensayos de fitotoxicidad.
- Evaluar el momento óptimo para la incorporación del Guano de Islas, en dos momentos del proceso de compostaje, al inicio y fin de la etapa de maduración.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Abono

El abono o fertilizante es un material cuya función principal es proporcionar elementos nutrientes a las plantas; sus nutrientes principales son exclusivamente los elementos nitrógeno, fósforo y potasio (Parlamento Europeo, 2003).

3.1.1. Abono orgánico

Es un producto cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal (Gobierno Español - Real Decreto, 2013).

Cuadro 1: Características de los abonos orgánicos nitrogenados.

Denominación del Tipo	Informaciones sobre la forma de obtención y los componentes esenciales	Contenido mínimo en nutrientes (porcentaje en masa) Información sobre la evaluación de los nutrientes Otros requisitos	Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado	Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse. Formas y solubilidad de los nutrientes. Otros criterios.
Abono orgánico nitrogenado de origen animal	Producto sólido obtenido por tratamiento, con o sin mezcla de material orgánica animal	– 6% N total – C/N no mayor de 10	– Humedad mínima y máxima	– N total y N orgánico. – C orgánico – C/N – P ₂ O ₅ y K ₂ O totales (si superan el 1%). – Ácidos húmicos (si superan el 1%).
Abono orgánico nitrogenado de origen vegetal	Producto sólido obtenido por tratamiento, con o sin mezcla de material orgánica vegetal	– 2% N total. – C/N no mayor de 15		
Abono orgánico nitrogenado de origen animal y vegetal	Producto sólido obtenido por tratamiento, con o sin mezcla de materias orgánicas animales y vegetales	– 3% N total – C/N no mayor de 12		

FUENTE: Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes (Gobierno Español).

Cuadro 2: Características de los abonos orgánicos NPK.

Denominación del Tipo	Informaciones sobre la forma de obtención y los componentes esenciales	Contenido mínimo en nutrientes (porcentaje en masa) Información sobre la evaluación de los nutrientes Otros requisitos	Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado	Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse. Formas y solubilidad de los nutrientes. Otros criterios
Abono orgánico NPK de origen animal	Producto sólido obtenido por tratamiento de excrementos animales, -con o sin cama-, sin ácidos minerales. Se incluyen los restos de pescado compostados	<ul style="list-style-type: none"> - N+ P₂O₅ + K₂O : 6% - C/N no mayor de 10 - Cada nutriente debe ser al menos un 1,5% - El N orgánico debe ser al menos un 50% de N total, con un mínimo del 1%. - El N nítrico no debe exceder del 1,5% 	- Humedad mínima y máxima	<ul style="list-style-type: none"> - N total y N orgánico - P₂O₅ total - K₂O total - C orgánico - C/N - Ácidos húmicos (si superan el 1%)
Abono orgánico NPK de origen animal y vegetal	Producto sólido obtenido por tratamiento de excrementos animales mezclados con materias orgánicas animales y vegetales	<ul style="list-style-type: none"> - N + P₂O₅ + K₂O : 4% - C/N no mayor de 15 - Cada nutriente debe ser al menos un 1% 		

FUENTE: Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes (Gobierno Español).

3.2. Definiciones de compost

El compost es un producto orgánico que resulta de la descomposición de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, bajo condiciones controladas, buena aireación, humedad y que necesita pasar por una fase de calor (Moreno y Moral, 2008).

El compost es el resultado de la combinación de desechos orgánicos ricos en nutrientes para el suelo y las plantas, éste producto puede aplicarse al suelo para mejorar sus características y las del cultivo, sin ocasionar daños al medio ambiente (Luque, 2000). El compost actúa aportando nutrientes directamente asimilables por la

planta y mejorando las condiciones del suelo, aportando humus y materia orgánica que será mineralizada (Ocampo, Robles y Wu, 2002).

3.3. Definición de compostaje

El compostaje es un proceso mediante el cual diversos sustratos orgánicos se descomponen y estabilizan debido a la acción de una población mixta de microorganismos, obteniéndose un producto final denominado compost, orgánicamente estable, libre de patógenos y semillas de malezas que puede ser aplicado de manera eficiente al suelo para mejorar sus propiedades (Haug, 1993).

3.4. Etapas del Proceso de Compostaje

Se puede diferenciar las siguientes etapas o fases durante el proceso de compostaje:
Etapa mesofílica, termofílica, estabilización y maduración.

a. Etapa Mesofílica

En esta etapa se degradan principalmente los materiales más lábiles como azúcares, proteínas, almidones y hemicelulosas, incrementando la temperatura hasta un punto en que la actividad de estos organismos cesa, las células vegetativas mueren y se rompen y sólo sobreviven las esporas resistentes al calor (Kutzner, 2000).

Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, conjuntamente con las oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). Mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan Euactinomicetos (aerobios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos. Se dan también procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de azufre, fósforo, etc. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de las pilas de compostaje. La etapa mesotérmica es particularmente sensible a la relación humedad-aireación. La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura hasta los 40°C aproximadamente. La falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor y favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en

estado latente en los residuos. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores (Sztern y Pravia, 1999).

b. Etapa termofílica

A partir de 40 °C los microorganismos termófilos se encargan de descomponer los materiales orgánicos con mayor velocidad generando un calor de hasta 60 a 70 °C (Labrador, 1996).

Al inicio de esta etapa la microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos. En esta etapa se descomponen las ceras, proteínas y hemicelulosas y se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO₂ se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La corteza y más en aquellos materiales ricos en proteínas, es una zona donde se produce la puesta de insectos. La concentración de CO₂ alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos intervinientes, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes (Sztern y Pravia, 1999).

c. Etapa de estabilización

Se presenta un descenso de temperatura, una reducción de los nutrientes y desaparición de los microorganismos termófilos, provocado por una disminución de las velocidades de degradación y transformación (Sztern y Pravia, 1999; Rivero, 1999).

Al situarse la temperatura alrededor de los 40 °C o temperaturas menores se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante en las pilas y el pH del medio desciende ligeramente (Carrasco, 2009).

d. Etapa de maduración

Existe una actividad microbiana menor de forma ralentizada, la población de hongos aumenta y disminuye la población de bacterias. Los hongos realizan una actividad de polimerización. Se presenta una estabilización de las propiedades químicas (intercambio catiónico, pH, materia orgánica, sólidos volátiles), predominando los fenómenos químicos que contribuyen a desarrollar un máximo grado de humificación (empobrecimiento en ácidos fúlvicos) (Moral, 2012).

El nivel de oxígeno consumido declina al punto en que el compost puede almacenarse sin volteos (Cooperband y Foley, 2002). Cuando la temperatura del centro de la pila es cercana a la temperatura ambiental y la concentración de oxígeno es cercana al 10 – 15% por varios días, el compost es considerado estable o finalizado (Cooperband, 2002).

Las sustancias húmicas son consideradas como un parámetro a tener en cuenta para describir la calidad del compost. La presencia de ciertos tipos de lignina y aditivos minerales (componentes carbonatados) puede mejorar la calidad del compost (Binner, 2007).

3.5. Sustancias húmicas

Las sustancias húmicas son probablemente los materiales de carácter orgánico más ampliamente distribuidos en la naturaleza, representando el 50% de la materia orgánica total del suelo (Tonelli, Seeber, Ciavatta y Gessa, 1997).

Son polímeros por condensación en las que las unidades fundamentales son compuestos aromáticos de carácter fenólico procedentes de la descomposición de la materia orgánica y compuestos nitrogenados, tanto cíclicos como alifáticos sintetizados por ciertos microorganismos presentes en la biomasa. Presentan un color entre amarillo y negro. Estas sustancias amorfas y con propiedades coloidales e hidrofílicas muy marcadas, están constituidas principalmente por C, H, O y N (Hatcher, Faulon, Clifford y Mathews, 1994).

3.5.1. Ácidos húmicos

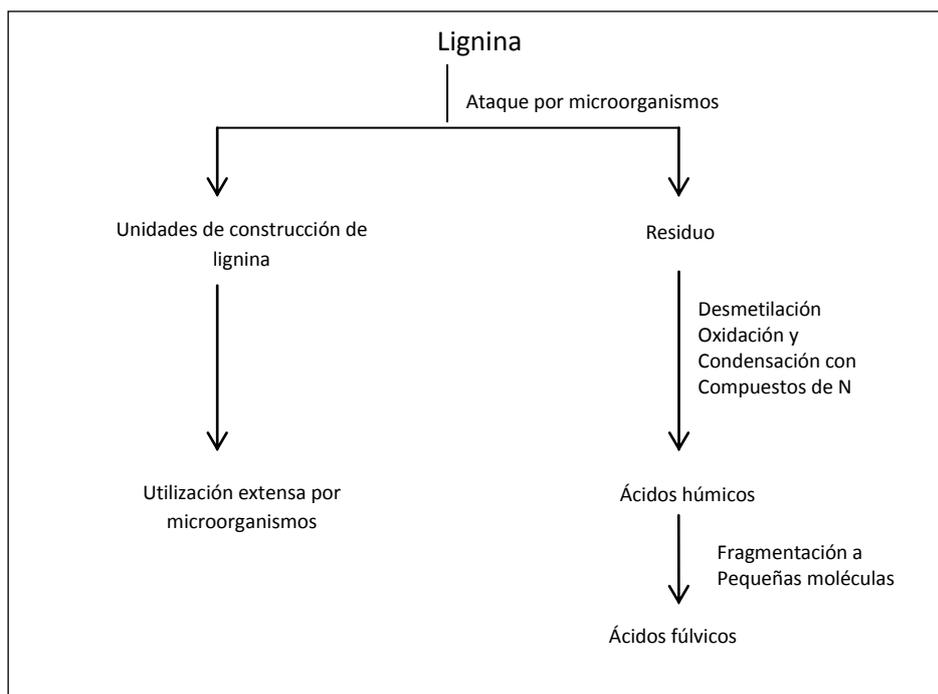
Extraíbles en medio alcalino y que precipitan al acidificar. La base de su estructura está formada por un gran grupo de estructuras aromáticas y cadenas alifáticas. Poseen diversos grupos funcionales tales como hidroxilos, carboxilos, metoxilos, fenólicos, etc. Son de color pardo oscuro y peso molecular muy alto (Stevenson, 1982).

3.5.2. Bioquímica de la formación de las sustancias húmicas

a. Teoría ligno-proteica (Hobson y Page, 1932; Waksman, 1936)

La teoría ligno-proteica se caracterizó por la tendencia a considerar la lignina como principal fuente de sustancias húmicas que durante la humificación, experimentaría un gran número de transformaciones complejas, especialmente fisicoquímicas como la condensación y la oxidación. La modificación de la lignina involucra la pérdida de grupos metoxilo (-OCH₃) y la generación de o-hidroxifenoles, así como la oxidación de cadenas alifáticas laterales que generan grupos -COOH. El material modificado está sujeto a cambios futuros desconocidos que dan origen a los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos (Carpena, 1970).

A favor de esta teoría, se exponían consideraciones tales como la naturaleza semejante de los ácidos húmicos y la lignina, basada en el hecho comprobado de que por oxidación alcalina, la lignina se transforma en compuestos de aspecto parecido a las sustancias húmicas, así como también a la relativa resistencia de ambos compuestos al ataque microbiano y al hecho de que son solubles en álcali y precipitan en medio ácido (Carpena, 1970).

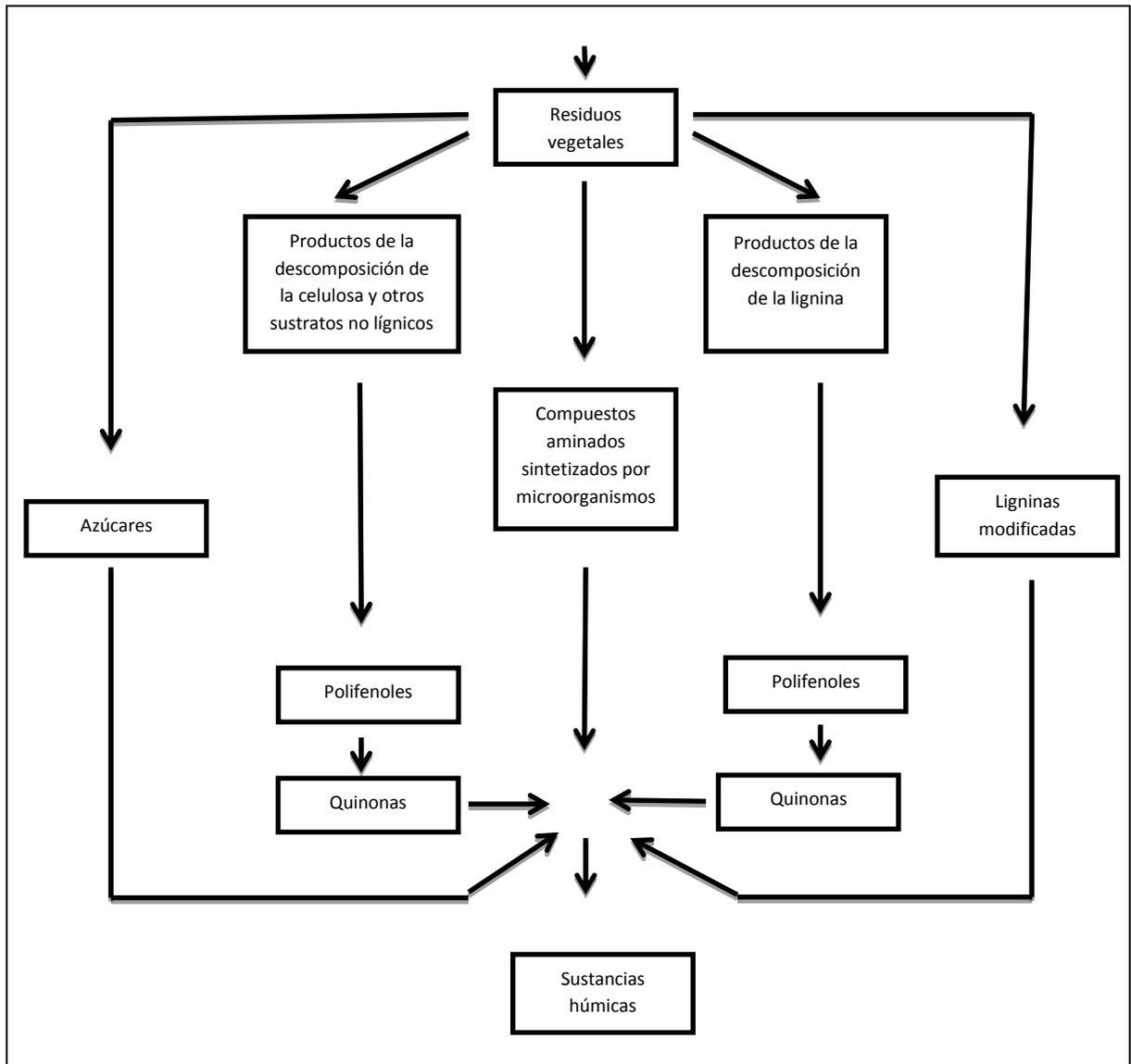


FUENTE: Stevenson, 1982.

Gráfico 1: Teoría de la formación de sustancias húmicas a partir de la lignina según Waksman.

b. Teoría polifenólica (Kononova, 1966; Flaig, Beutelspacher y Rietz, 1975).

Las quinonas sintetizadas por una parte por los microorganismos y provenientes de la lignina por otra, serían las principales materias primas de las sustancias húmicas, originándose así la teoría polifenólica de formación de estas sustancias. Según este modelo, el primer paso consiste en la ruptura de todos los biopolímeros de las plantas (incluida la lignina) a sus correspondientes unidades estructurales monoméricas (sustancias derivadas del fenilpropano). A continuación, las cadenas de lignina son oxidadas y demetiladas, transformándose los polifenoles en quinonas por medio de enzimas polifenoloxidasas. En último término, las quinonas reaccionan con compuestos nitrogenados como aminoácidos para formar polímeros coloreados de naturaleza húmica (Ghabbour y Davies, 2002).



FUENTE: Stevenson, 1982.

Gráfico 2: Ruta de formación de sustancias húmicas basadas en la formación de quinonas.

3.6. Factores que afectan el proceso de compostaje

El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación. Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son:

3.6.1. Factores Físicos

a. Tiempo

La duración del compostaje depende de muchos factores como: los materiales utilizados, temperatura, humedad, frecuencia de volteo, aireación y requerimientos de uso. Un contenido de humedad adecuado así como una correcta relación C/N sumada a una aireación frecuente asegura acortar lo máximo posible el periodo de compostaje (Ocampo, Robles y Wu, 2002).

El proceso de compostaje no se detiene en un punto en particular, los materiales siguen siendo degradados hasta que los últimos nutrientes sean consumidos por los organismos remanentes y hasta que prácticamente todo el carbono sea convertido en CO₂ (Ocampo *et al.*, 2002).

b. Temperatura

Es un parámetro muy usado para estimar si el proceso de compostaje está teniendo lugar de forma adecuada así como para saber la velocidad a la cual se realiza dicho proceso. Al iniciarse el proceso de compostaje, la temperatura se eleva a medida que va aumentando el número de microorganismos mesófilos estimulado por la elevación de temperatura; esta elevación de temperatura puede llegar hasta niveles inhibidores para estos microorganismos y surge, en su lugar, una población microbiana termófila, que sigue dando lugar a nuevas elevaciones de temperatura, hasta que a temperaturas muy altas la actividad metabólica, incluso termófila, empieza a disminuir (Carrasco, 2009).

El cambio de temperatura es controlado por la cantidad de oxígeno disponible. Un ambiente óptimo debe incluir ventilación eficiente para que los microorganismos aerobios puedan actuar con mayor eficiencia. Se ha demostrado que el calor depende de la actividad de los microorganismos (Pavoni, Heer y Hagerti, 1975).

c. Humedad

El contenido óptimo de humedad de los materiales para el compostaje es 50-60%. Cuando el contenido de humedad está por debajo del 30% en peso, las reacciones biológicas en una pila de compost se retardan considerablemente y la elevación de temperatura se limita; por debajo del 12% cesa prácticamente toda actividad biológica, siendo el proceso extremadamente lento. En contraste una humedad

superior al 60% causa la saturación de la materia orgánica, todos los espacios vacíos son ocupados por el agua, desencadenando olores desagradables, descenso de la temperatura, lavado de nutrientes y prevalecen condiciones anaeróbicas (Castro, 1995).

3.6.2. Factores físico-químicos

a. Potencial de Hidrógeno (pH)

El valor del pH óptimo para el compostaje está entre 6.5 y 8.0. Si el grado de descomposición no es adecuado, el pH puede caer a valores entre 4 a 5, retrasándose el proceso (Tchobanoglous, 1994).

El pH del material fermentado varía en el desarrollo del proceso así: durante los primeros días del compostaje el pH cae a 5 o menos. Durante esta etapa el material se encuentra a temperatura ambiente, comienza la reproducción de microorganismos mesofílicos y sube rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial están los ácidos orgánicos simples que causan la caída del pH. Después de aproximadamente tres días, la etapa llega a la temperatura termofílica y el pH debe subir de 8 a 8.5 unidades. El pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a un valor entre 7 a 8 en el compost maduro (Moretti, 1986).

b. Salinidad (CE)

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sanchez-Monedero *et al.*, 2001). La salinidad mayormente se debe al sodio, potasio, cloruro, nitrato, sulfato, amonía y ácidos orgánicos volátiles presente (Brinton, 2000).

La dosis de compost que puede añadirse a un suelo debe ser proporcional a la conductividad eléctrica del compost. Un exceso de salinidad en la solución del suelo dificulta la absorción de agua por las raíces de las plantas, de modo que en algunos casos, en esas condiciones, sólo prosperan las especies resistentes (Moreno y Moral, 2008).

3.6.3. Factores Químicos

a. Relación Carbono Nitrógeno

En el proceso de compostaje el carbono es la fuente de energía utilizada por los microorganismos para la activación de sus procesos metabólicos, mientras que el nitrógeno, es el material básico para la síntesis de material celular, por lo tanto la relación C/N es uno de los aspectos más importantes en el balance nutricional del compost. Es deseable que la relación C/N este en el rango de 25:1 a 30:1 en la mezcla inicial (Tchobanoglous, 1994).

Un exceso de carbono asociado a valores altos de la relación C/N, limitan la síntesis de material celular por parte de los microorganismos disminuyendo su crecimiento y retardando el proceso de estabilización de la materia orgánica. Si por el contrario, la pila está compuesta de elementos ricos en nitrógeno se puede presentar solubilidad y posterior pérdida de este compuesto en forma de amoníaco gaseoso, lo que no es conveniente ya que en el material final se pierde este valioso elemento. La relación Carbono: Nitrógeno es un criterio utilizado tradicionalmente para establecer el grado de madurez del compost y definir la calidad agronómica del mismo siendo necesario un valor preferentemente menor de 15 en el producto final (López, Silva y Valencia, 2003). Sin embargo en la Normativa Chilena (NCh 2880), señalan que la relación C/N debe ser menor o igual a 25 para un compost de clase A, el cual es un producto de alto nivel de calidad que no presenta ninguna restricción en su uso.

3.7. Guano de Islas

El Guano de Islas es uno de los abonos naturales de mejor calidad en el mundo por su alto contenido de nutrientes. Éste es una mezcla de excrementos de aves, plumas, restos de aves muertas, huevos, etc., el cual experimenta un proceso de fermentación sumamente lento, lo cual permite mantener sus componentes al estado de sales. Una de sus principales propiedades es que conserva un lugar de preferencia entre los abonos orgánicos comerciales debido a su producción y a sus cualidades fertilizantes excepcionales (Guerrero, 1993).

El Guano de Islas mejora las condiciones físico-químicas y microbiológicas del suelo. En suelos sueltos se forman agregados y en suelos compactos se logra la soltura. Incrementa la capacidad de intercambio catiónico, favorece la absorción y retención del agua. Aporta flora microbiana y materia orgánica mejorando la actividad microbiológica del suelo (AGRORURAL, 2004).

El Guano de Islas además de su empleo en agricultura como fertilizante tiene usos diversos en la industria cosmetológica, en la fabricación de ácido úrico, alantoina y otros derivados (Escalona, 1984).

3.7.1. Origen del Guano de Islas

El origen del Guano de Islas guarda estrecha relación con la llamada Corriente de Humbolt o Corriente Fría del Perú, la cual provoca en las aguas marinas una disminución de la temperatura entre 8 y 10 °C, aproximadamente. En consecuencia, esta zona marítima se torna rica en microorganismos y plantas microscópicas unicelulares, entre las cuales se desarrollan algas y microcrustáceos. Este plancton suspendido en las aguas oceánicas garantiza la presencia de cardúmenes de sardinas, anchovetas y otros peces, constituyendo el alimento de las aves marinas que pueblan la región (Kiehl, 1985).

3.7.2. Tipos de Guano de Islas

Según Villagarcía y Aguirre (1994), el guano de islas puede clasificarse de acuerdo a su composición en 3 tipos:

a. Guano de Islas rico

Es un guano de reciente formación, cuya composición de nitrógeno es de 9 a 15% (promedio 12%), y se presenta bajo las tres formas posibles en proporciones variables: orgánica entre 9 a 10% (especialmente ácido úrico), amoniacal entre 4 a 4.5% (cloruro y bicarbonato de amoníaco) y nítrica. El contenido de ácido fosfórico es de 8% (del cual 90% es rápidamente asimilable) dependiendo de las condiciones del medio (suelo y clima. En cuanto al contenido de potasa, éste es de 1 a 2%, siendo soluble en su totalidad. Adicionalmente el Guano de Islas rico, presenta las características mencionadas a continuación: (Villagarcía *et al.*, 1994).

CaO: 7-8%
MgO: 0.4-0.5%
Azufre: 1.5 – 1.6%
Cloro: 1.5%
Sodio: 0.8%
Humedad: 20%
pH: 6.2 a 7

b. Guano de Islas pobre

De formación antigua, llamado también fosfatado debido a su alto contenido de ácido fosfórico. Tiene un bajo contenido de nitrógeno como resultado de la pérdida que sufre por volatilización del nitrógeno amoniacal. El contenido de potasa es similar al de guano rico. Su contenido de elementos es el siguiente: (Villagarcia *et al.*, 1994).

Nitrógeno: 1 a 2% de N
Ácido Fosfórico: 16 a 20% de P₂O₅
Potasa: 1 a 2% de K₂O
CaO: 16 a 19%

c. Guano de Islas balanceado

Es el resultado de la combinación de Guano de Islas pobre con úrea o sulfato de amonio (en algunos casos con Guano de Islas rico), con la finalidad de obtener abonos compuestos equilibrados, que contienen una proporción suficiente de guano intacto y elementos minerales. Presenta las siguientes características: (Villagarcia *et al.*, 1994).

Nitrógeno: 10 a 12% de N
Ácido Fosfórico: 9 a 10% de P₂O₅
Potasa: 2% de K₂O

3.7.3. Extracción de Guano de Islas por año

Cuadro 3: Extracción de Guano de Islas por año.

Año	Extracción (t)
1997	13,901
1998	18,858
1999	20,081
2000	16,209
2001	12,905
2002	7,302
2003	3,450
2004	8,181
2005	2,523
2006	3,080
2007	19,859
2008	24,173
2009	20,213

FUENTE: Informe de actividades – Memoria Anual 1990 –2009. PROABONOS

De acuerdo a información proporcionada por AGRORURAL, en el año 2012 la extracción de Guano de Islas fue de aproximadamente 20,000 t/año.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales y equipos

- Material vegetal de los parques y jardines de la UNALM y rastrojos de campos de cultivo
- Estiércol de vacuno del establo lechero de la UNALM
- Guano de Islas Rico (10-10-2), comercializado por AGRORURAL.
- Agua de riego de Huachipa
- Bolsas plásticas
- Carretillas
- Lampas
- Baldes
- Papel periódico
- Guantes
- Tamiz metálico de 3/8 de pulgada
- Termómetro
- Potenciómetro
- Conductímetro
- Balanza de plataforma
- Manguera
- Gorra, mascarilla y botas
- Bolsas con etiquetas
- Sacos para compost
- Plumón indeleble
- Papel de filtro
- Placas petri
- Semillas de rabanito
- Semillas de lechuga
- Macetas de 1 kg
- Vasos precipitados
- Baguetas
- Bandejas de plástico

4.1.1. Tiempo y lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en dos etapas, en la primera de ellas se inició el proceso de compostaje de tres pilas al aire libre, en el periodo comprendido entre mayo a septiembre del 2013, en las instalaciones del Taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible (CONSAS) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el distrito de La Molina, departamento de Lima, Latitud 12° 05' 06", Longitud 76° 75' 00" y altitud de 243.7 msnm.

Las condiciones ecológicas de la UNALM se caracterizan por ser una zona árida con una temperatura promedio de 18°C y una precipitación promedio de 5 mm anuales, considerada como un Desierto Árido sub Tropical de acuerdo al sistema Modificado de Köppen (Sarmiento, 1999).

La segunda etapa se inició a mediados de octubre del 2013 y se extendió hasta enero del 2014. En ella se realizaron las pruebas de germinación y crecimiento en el laboratorio de Fertilidad del Suelo del Departamento Académico de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

4.2. Procedimiento del proceso de compostaje

4.2.1. Preparación de insumos

Los residuos vegetales provienen de la poda del césped de las áreas verdes y campos de cultivo de la UNALM. El material se mezcló con la finalidad de lograr una mezcla lo más homogénea posible. El estiércol de vaca utilizado para el proceso de compostaje provino de los establos de la UNALM y fue sometido a disgregación para evitar tener la materia en champas (bloques).

4.2.2. Preparación de pilas

Como primer paso, se limpió el área del terreno a utilizar, asegurándose de eliminar cualquier elemento que pudiera afectar el proceso de compostaje.

Se prepararon tres pilas de compostaje (tres bloques), bajo un sistema de pilas a cielo abierto, colocando los residuos en capas alternadas con estiércol. El volumen de cada pila es de 6.6 m³ (3 m de largo, 2.2 m de ancho y 1 m de alto).

La pila de compostaje se armó formando capas alternadas de residuos vegetales y estiércol. La relación en volumen de los residuos vegetales y el estiércol es de 2 a 1.

En el gráfico a continuación se detallan las dimensiones aproximadas de cada capa de estiércol y residuos vegetales.

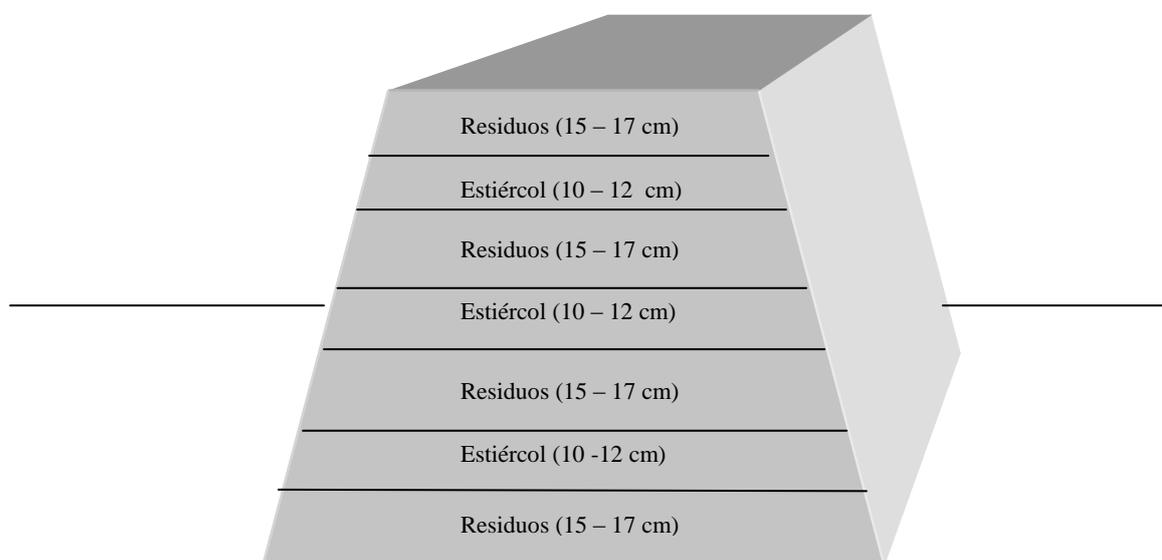


Gráfico 3: Distribución volumétrica de la pila de compostaje.

Cuadro 4: Composición total y porcentual de la pila de compostaje.

Materia Prima	Volumen (m³)	Densidad (t/m³)	Peso* (t)	Porcentaje (%)
Residuos vegetales	4.40	0.20	0.88	57
Estiércol	2.20	0.30	0.66	43
Mezcla	6.60	-	1.54	100

*Peso seco al aire.

4.2.3. Composición de los tratamientos

Aproximadamente, en el 4to mes (setiembre) del proceso de compostaje se dio inicio a la etapa de maduración, teniendo como indicador para las tres pilas de compostaje el descenso en la temperatura hasta condiciones similares a la temperatura ambiental, considerándose una temperatura promedio de 25 °C (Anexo 1).

Con el propósito de diferenciar los dos momentos de incorporación del Guano de Islas (inicio y final de la etapa de maduración), se retiró para cada una de las pilas aproximadamente la mitad de su volumen y se incorporó la dosis de Guano de Islas para cada uno de los tratamientos correspondientes al inicio de la etapa de maduración.

Previamente se preparó una superficie al aire libre de aproximadamente 4,40 m², impermeabilizada con plástico, preservando las condiciones de higiene adecuadas para evitar la intromisión de agentes contaminantes externos. El compost se dispuso sobre la superficie, incorporando el Guano de Islas según los pesos secos requeridos para cada tratamiento considerando la humedad que contenía el Guano de Islas y el compost en ese momento. Luego se procedió a la mezcla y homogenización de cada formulación.

Los tratamientos de compost incorporado con Guano de Islas se almacenaron en sacos de polipropileno de 40 kg de capacidad, con la finalidad de mantener las condiciones óptimas de temperatura y conservar el calor. El compost enriquecido con Guano de Islas fue tamizado en el 5to mes al finalizar la etapa de maduración, empleando una malla de 3/8 de pulgada para obtener una granulometría adecuada en el producto final.

El volumen de compost restante, prosiguió con las mismas condiciones mantenidas en las pilas de compostaje a lo largo del proceso.

La cantidad de compost obtenido, así como el compost destinado para cada uno de los tratamientos, se detalla a continuación:

Cuadro 5: Pesos de compost destinados a los tratamientos 1 al 7.

N° de pila	Peso fresco (kg)
Pila 1	142.10
Pila 2	191.90
Pila 3	145.65

Cuadro 6: Composición total y porcentual del compost enriquecido con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración.

Muestra	Composición de la muestra	Tratamiento - porcentaje	Peso fresco*	Peso seco	Compost y Guano de Islas peso fresco total (kg)	Compost y Guano de Islas peso seco total (kg)
		(%)	(kg)	(kg)		
T1	Compost	100	19.88	10	19.88	10
	Guano de Islas	0	0	0		
T2	Compost	99	19.68	9.9	19.81	10
	Guano de Islas	1	0.129	0.1		
T3	Compost	98	19.48	9.8	19.74	10
	Guano de Islas	2	0.259	0.2		
T4	Compost	96	19.08	9.6	19.60	10
	Guano de Islas	4	0.518	0.4		
T5	Compost	95	18.88	9.5	19.53	10
	Guano de Islas	5	0.648	0.5		
T6	Compost	92	18.29	9.2	19.33	10
	Guano de Islas	8	1.037	0.8		
T7	Compost	90	17.89	9	19.19	10
	Guano de Islas	10	1.296	1		

*Humedad: Compost= 49.7% Guano de Islas= 22.86%

Posteriormente en el mes siguiente, transcurridos 5 meses de iniciado el proceso de compostaje, se continuó con la incorporación de Guano de Islas al final de la etapa de maduración. Previamente, se tamizó el compost proveniente de las pilas de compostaje y los tratamientos restantes prosiguieron con la misma metodología usada para los tratamientos incorporados con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración, almacenándose los tratamientos 8 al 14 en sacos de polipropileno.

Cuadro 7: Pesos de compost destinados a los tratamientos 8 al 14.

N° de pila	Peso compost fresco (kg)	Peso residuos (kg)
Pila 1	180.2	174.5
Pila 2	176.6	159.4
Pila 3	178.7	152.6

Cuadro 8: Composición total y porcentual del compost enriquecido con Guano de Islas al final de la etapa de maduración.

Muestra	Composición de la muestra	Tratamiento - porcentaje (%)	Peso fresco* (kg)	Peso seco (kg)	Compost y Guano de Islas- Peso fresco total (kg)	Compost y Guano de Islas- Peso seco total (kg)
T8	Compost	100	18.63	10	18.63	10
	Guano de Islas	0	0	0		
T9	Compost	99	18.44	9.9	18.56	10
	Guano de Islas	1	0.123	0.1		
T10	Compost	98	18.25	9.8	18.50	10
	Guano de Islas	2	0.246	0.2		
T11	Compost	96	17.88	9.6	18.37	10
	Guano de Islas	4	0.493	0.4		
T12	Compost	95	17.7	9.5	18.32	10
	Guano de Islas	5	0.617	0.5		
T13	Compost	92	17.14	9.2	18.13	10
	Guano de Islas	8	0.987	0.8		
T14	Compost	90	16.77	9	18.00	10
	Guano de Islas	10	1.234	1		

*Humedad: Compost= 46.32 % Guano de Islas=18.98 %

4.2.4. Humedecimiento

Durante el proceso de compostaje los humedecimientos se realizaron quincenalmente durante los 4 primeros meses y posteriormente en el 5to mes, durante la etapa de maduración, se efectuó el riego mensualmente. Los humedecimientos se realizaron después de efectuados los volteos.

La fuente de agua provino de la zona de Huachipa, del río Rímac. La conductividad eléctrica del agua de la zona de Huachipa es de aproximadamente 0.24 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No se usó el agua de La Molina por su alto contenido de sales, puesto que se deseaba evitar elevar la conductividad eléctrica del producto final.

4.2.5. Aireación

La aireación de la pila de compostaje se realizó quincenalmente en los 4 primeros meses del proceso de compostaje. En el 5to mes, el volteo se efectuó mensualmente debido a la estabilización del proceso de oxidación de la materia orgánica.

Una adecuada aireación es vital para el proceso de descomposición y evita la compactación que podría producirse por un riego periódico (Moreno *et al.*, 2008).

4.2.6. Evaluaciones

4.2.6.1. Toma de muestras

Se muestrearon 10 puntos estadísticamente representativos de cada pila de compostaje, en dos niveles de profundidad a 30 y 60 cm., seguidamente se procedió a mezclar las muestras, para posteriormente cuartearlas hasta obtener una muestra compuesta representativa de aproximadamente 500 g. Los muestreos se realizaron en horario de mañana con una frecuencia quincenal.

Las muestras fueron guardadas en bolsas de plástico y almacenadas en un ambiente seco y fresco, hasta el momento de la medición de las variables en estudio.

4.2.6.2. Evaluaciones durante el proceso de compostaje

a. Temperatura

La temperatura se midió quincenalmente durante todo el proceso de compostaje, introduciendo directamente el termómetro a la masa de compostaje. Se midió la temperatura en nueve puntos diferentes, repartidos en tres niveles de profundidades, abarcando los puntos representativos de la pila de compostaje. Las mediciones se realizaron en horas de la mañana, con la finalidad de evitar distorsiones por la alta radiación solar u otros factores meteorológicos.

b. pH

La frecuencia de medición del pH se realizó quincenalmente y en todas las etapas del proceso de compostaje. La medición del pH de la muestra se realizó por el método potenciométrico. Se preparó un extracto acuoso de la muestra en agua destilada; a una relación 1:5 (p/v).

c. Salinidad (CE)

La salinidad se midió quincenalmente durante todo el proceso de compostaje. La salinidad de la muestra se evaluó a través de la medición de su conductividad eléctrica, se utilizó el conductímetro en el extracto acuoso de la muestra con

agua destilada; a una relación 1:5 (p/v) para las muestras tomadas durante el proceso de compostaje.

4.2.6.3. Evaluaciones realizadas al inicio y final de la etapa de maduración

Se realizaron evaluaciones del compost solo y el compost incorporado con Guano de Islas en los siguientes parámetros listados a continuación:

Cuadro 9: Evaluaciones del compost solo y el compost incorporado con Guano de Islas.

Tipo de compost	Tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 Inicio de etapa de maduración	Tratamientos 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 Final de etapa de maduración
Compost solo	<u>Tiempo de evaluación:</u> 4to mes <u>Parámetros:</u> pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad, nitrógeno total, materia orgánica, relación C/N, P ₂ O ₅ , K ₂ O.	<u>Tiempo de evaluación:</u> 5to mes <u>Parámetros:</u> pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad, nitrógeno total, materia orgánica, relación C/N, P ₂ O ₅ , K ₂ O.
Compost incorporado con Guano de Islas	<u>Incorporación de Guano de Islas:</u> 4to mes <u>Tiempo de evaluación:</u> 5to mes <u>Parámetros:</u> pH, conductividad eléctrica, humedad, nitrógeno total, materia orgánica, relación C/N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, test de Zucconi, test de madurez, prueba biológica en invernadero.	<u>Incorporación de Guano de Islas:</u> 5to mes <u>Tiempo de evaluación:</u> 5to mes <u>Parámetros:</u> pH, conductividad eléctrica, humedad, nitrógeno total, materia orgánica, relación C/N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, test de Zucconi, test de madurez, prueba biológica en invernadero.

Las mediciones de temperatura, pH y salinidad para el compost solo y el compost incorporado con Guano de Islas, se realizaron de acuerdo a los procedimientos anteriormente citados.

En base a la referencia del “Test Method for the Examination of Composting and Compost” (TMECC), se realizaron las siguientes evaluaciones para los 14 tratamientos de compost incorporado con Guano de Islas:

A continuación se describen las evaluaciones de los parámetros restantes:

a. Análisis físicos

- **Humedad**

El contenido de humedad se determinó utilizando el método de secado en la estufa. Se determinó por la diferencia del peso fresco y del peso seco de la muestra, después de haber permanecido en la estufa a 70 °C, durante 24 horas, hasta la obtención de un peso constante.

b. Análisis químicos

- **Materia orgánica (MO)**

La materia orgánica se determinó a través del método de calcinación, denominado también método de combustión a baja temperatura (Jackson, 1970) o combustión seca. La determinación de la cantidad de materia orgánica se realizó por la pérdida de peso que sufre la muestra a través de la oxidación seca.

- **Nitrógeno total (N)**

El nitrógeno total se determinó utilizando el método de Microkjeldahl. En este método, la muestra seca pasó por un proceso de digestión, se agregó H_2SO_4 y catalizador a la muestra y luego se calentó, de esta forma el nitrógeno orgánico se convierte en sulfato de amonio. Posteriormente pasó por el proceso de destilación, donde se agregó hidróxido de sodio, transformándose el NH_4-N en NH_3 , que luego se juntó con el receptor de ácido bórico. Finalmente se tituló con H_2SO_4 estandarizado, hasta que cambió de color verde a violeta. Los mili equivalentes del ácido usado en la titulación equivale a los mili equivalentes de nitrógeno en la muestra (Bazán, 1996).

- **Relación C/N**

Se evaluó el nitrógeno total en el compost obtenido antes de la incorporación del Guano de Islas.

El carbono total se determinó dividiendo el valor de la materia orgánica por el factor de Van Bemmelen que es 1.724, basado en la suposición convencional de que la materia orgánica del suelo contiene 58% de carbono (Jackson, 1970; León y Aguilar, 1987).

La relación C/N se calculó mediante una operación matemática básica. Se dividió el resultado obtenido en laboratorio de carbono total entre el nitrógeno total.

- **Fósforo (P_2O_5)**

Se determinó a través del método azul de molibdeno de Fiske y Subbarow (Homer y Parker, 1986).

Primeramente se extrajo el fósforo del compost por digestión con ácido nítrico perclórico (destrucción de la materia orgánica). Seguidamente se tomó una alícuota de la solución problema, se le agregó solución sulfomolibdica, solución reductora (amino-naftol-sulfónico) y agua destilada para formar un complejo soluble de color azul. Posteriormente se pasó por un colorímetro para evaluar su absorbancia (la densidad de color es proporcional a la cantidad de fosfato presente) y se determinó su concentración a través del uso de una curva estándar (Homer y Parker, 1986).

- **Potasio (K_2O)**

Se determinó a través del método de espectrometría de absorción atómica. Primeramente se extrajo el potasio del compost por digestión con ácido nítrico perclórico (destrucción de la materia orgánica). Seguidamente se tomó una alícuota de la solución, se diluyó con agua destilada y se colocó en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica.

La muestra fue conducida al quemador y atomizada por una llama; al recibir una radiación electromagnética proveniente de una fuente externa, los átomos de potasio absorben dicha radiación, midiendo la absorbancia de dicha radiación por los átomos y posteriormente se determinó su concentración con el uso de una curva estándar (Gary, 1990).

c. Análisis biológico

• Test del índice de Germinación de Zucchini

Se prepararon extractos en proporción de 1:5 (p/v) compost seco: agua destilada, para cada uno de los tratamientos. Se colocaron 10 ml de cada uno de los extractos acuosos en placas Petri, las cuales previamente contenían en su base interna una capa de papel filtro cortado circularmente. Se consideró un testigo con agua destilada y posteriormente en cada placa Petri se introdujeron 10 semillas de rabanito, las cuales se ubicaron sobre el papel filtro. Se taparon las placas Petri y fueron puestas en oscuridad durante 5 días. Finalizada la prueba, se evaluó la emergencia de radícula, verificando también la inexistencia de factores contaminantes que afectaran el proceso.

Se midió el porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento de radícula relativo (CRR), e índice de germinación (IG), según la siguiente metodología:

$$IG (\%) = \frac{(\% \text{ PGR} \times \% \text{ CRR})}{100}$$

En donde:

IG (%): Índice de germinación expresado en porcentaje

% PGR: Porcentaje de germinación relativo

% CRR: Crecimiento de radícula relativo

Nota: El % PGR y % CRR son obtenidos respecto a la muestra control. Se obtienen de la siguiente manera:

$$\% \text{ PGR} = (G_{Mn} / G_c) \times 100$$

En donde:

GMn: Número de semillas germinadas en la muestra “n” (n=1, 2, 3, 4,...)

Gc: Número de semillas germinadas en la muestra control

$$\% \text{ CRR} = (L_{Mn} / L_c) \times 100$$

LMn: Longitud promedio de las raíces en la muestra “n” (n=1, 2, 3, 4, ...)

Lc: Longitud promedio de las raíces en la muestra control.

Para evaluar la fitotoxicidad se establece el siguiente criterio de interpretación: valores de IG \geq 80% indicarían que no hay sustancias fitotóxicas o están en muy baja concentración; si el IG \leq 50% indicaría que hay una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas y si se obtiene un valor entre 50% y 80 % se interpretaría como la presencia moderada de estas sustancias (Zucconi, Pera, Forte y De Bertoli, 1981).

- **Test de germinación en compost puro**

La prueba se realizó tomando como referencia el protocolo del "Test de Madurez de Compost" recomendado por Floridas Online Composting Center (2002). La prueba se llevó a cabo con la semilla de rabanito (*Crimson Giant*). Como control se utilizó el compost del CONSAS (Taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible) de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se determinó el porcentaje de germinación mediante siembra directa de 10 semillas en bandejas de 30 g de capacidad conteniendo los compost con diferentes tratamientos. Si el porcentaje de germinación fue significativamente menor en el compost que en el control, significa que el compost todavía está inmaduro. La duración del experimento fue de 5 días.

- **Prueba biológica en invernadero**

Los bioensayos fueron realizados en macetas de 1.0 kg de capacidad en los cuales se prepararon los sustratos de 14 tratamientos en dos proporciones: formulación al 1% (proporción de 10 g. de compost y 1 kg de arena de río) y formulación al 2% (proporción de 20 g. de compost y 1kg de arena de río).

Este bioensayo se realizó con la finalidad de evaluar la respuesta de las plantas de lechuga romana (*Lactuca sativa*) a la calidad de los compost obtenidos. Para cada uno de los tratamientos y formulaciones se realizaron 2 repeticiones, contando al final con un total de 171 macetas en evaluación.

Se sembraron 5 semillas de lechuga romana por maceta, posteriormente a las 3 semanas de iniciada la germinación, se procedió a desahijar, dejando las 3 plántulas más homogéneas.

Se regó con agua de río proveniente de la zona de Huachipa, del río Rímac, (conductividad eléctrica de 0.24 $\mu\text{S}/\text{cm}$). No se hizo uso del agua de La Molina por su elevada conductividad eléctrica. La arena de río presentó una conductividad eléctrica de 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un pH de 7.7.

Los riegos se efectuaron interdiariamente o diariamente, de acuerdo a la necesidad. Se utilizó una prueba de peso cada vez que se efectuaban los riegos, con la finalidad de determinar los requerimientos de humedad de la planta.

A los 45 días se realizó la cosecha y se evaluó la biomasa seca del follaje (peso seco). El bioensayo se dio inició el 6 de diciembre del 2013 y culminó el 20 de enero del 2014. Para el mes de diciembre, la temperatura promedio mensual fue de 21.7 °C, mientras que la humedad relativa promedio mensual fue de 82.6%. En el mes de enero del 2014, la temperatura promedio mensual fue de 24.1 °C y la humedad relativa promedio mensual fue de 78%.

La prueba se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Fertilidad del Suelo de la UNALM. Las plantas de lechuga fueron dispuestas en jaulas, para evitar la acción de roedores u otros. Adicionalmente se consideró el uso de una malla raschel con la finalidad de proteger el cultivo de la intensa radiación solar.

Cuadro 10: Arreglo de tratamientos en diferentes proporciones de compost

Formulación en maceta (%)	Muestra	Inicio de la etapa de maduración	Muestra	Final de la etapa de maduración
		Porcentaje de guano de islas (%)		Porcentaje de guano de islas (%)
Sustratos con 1% de compost (10 g de compost y 1 kg de arena de río)	T1	0	T8	0
	T2	1	T9	1
	T3	2	T10	2
	T4	4	T11	4
	T5	5	T12	5
	T6	8	T13	8
	T7	10	T14	10
Sustratos con 2% de compost (20 g de compost y 1 kg de arena de río)	T1	0	T8	0
	T2	1	T9	1
	T3	2	T10	2
	T4	4	T11	4
	T5	5	T12	5
	T6	8	T13	8
	T7	10	T14	10

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros evaluados durante el proceso de compostaje

5.1.1. Variación temporal de la temperatura en el proceso de compostaje

La evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de humedad, pH o C/N (Moreno y Moral, 2008).

Se evaluó la temperatura cada 15 días con la finalidad de determinar el momento en el cual se daba inicio a la etapa de maduración. Para las tres pilas de compostaje esta etapa se alcanzó a los 124 días de iniciado el proceso, al registrarse temperaturas promedio de 25 °C.

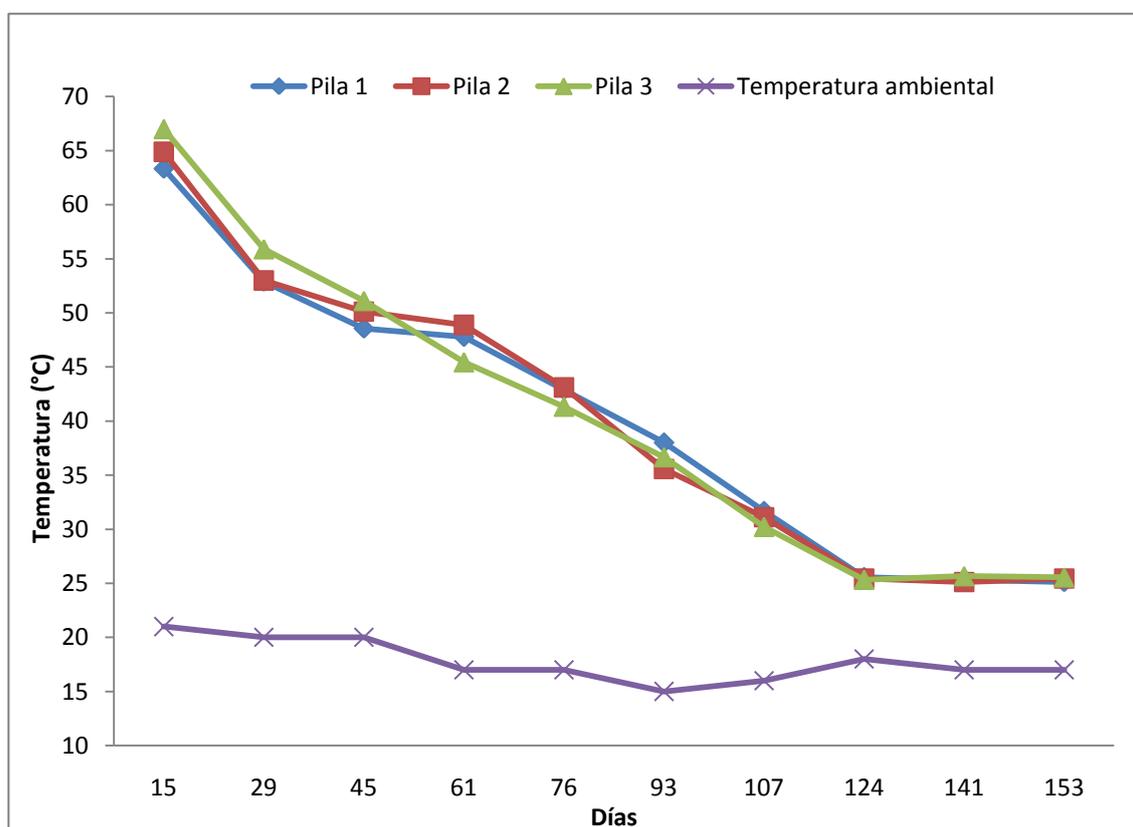


Gráfico 4: Variación de temperatura (°C) en el proceso de compostaje

En el gráfico 4 se presentan temperaturas alrededor de los 63 a 67 °C, a los 15 días de iniciado el proceso de compostaje. En esta etapa, ya se superó la etapa mesófila, la cual se

lleva a cabo entre las 12 y 24 primeras horas posteriores a la instalación de la pila de compostaje (Climent, 1996). A los 15 días, la pila de compostaje se encuentra en la etapa termófila, habiendo superado previamente los 40 °C, requisito que constituye un indicador de la permanencia en la etapa termófila en esta instancia del proceso. En la etapa termófila los microorganismos termófilos se encargan de descomponer los materiales orgánicos a una mayor velocidad (Leal, 1981).

Entre los 29 a 76 días, se observa una gradual disminución de la temperatura en cada una de las pilas de compostaje, manteniéndose la temperatura por encima de los 40 °C, asegurando la efectiva eliminación de patógenos y semillas de mala hierba (Alarcón, 2004). Durante este periodo las pilas de compostaje permanecen aún en la etapa termófila.

Posteriormente al día 76, se considera el inicio de la etapa de estabilización y el paulatino enfriamiento de la pila de compostaje hasta la obtención de una temperatura alrededor de 25 °C, similar a la temperatura ambiental. En la última fase las temperaturas tienen el mismo comportamiento a la del ambiente dando señal que el proceso de compostación está concluyendo.

Los datos observados en el gráfico 4, nos indican que la pila ha pasado por los procesos mesofílicos, termofílicos, estabilización y maduración. La evolución de la temperatura fue adecuada e indica que el proceso se desarrolló adecuadamente. Los volteos se ejecutaron posteriormente a la medición de la temperatura, razón por la cual el sistema en la pila de compostaje autorreguló la temperatura en el subsiguiente registro de temperatura, teniendo en consideración la frecuencia quincenal de medición de la temperatura.

5.1.2. Variación temporal del pH en el proceso de compostaje

En el gráfico 5, se puede observar que a lo largo del proceso de compostaje se presenta un rango de pH entre 7.5 y 8.5, manteniéndose un pH final constante y cercano a 8 para cada una de las pilas de compostaje. Este rango indica que durante el proceso se ha mantenido persistentemente las condiciones aeróbicas (Opazo, 1991). Según Suler y Finstein, (1977) si el pH se mantiene por encima de 7,5 durante el proceso, esto es síntoma de una buena descomposición, ya que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos.

El descenso inicial en el pH puede atribuirse a la formación de ácidos orgánicos durante el proceso de degradación de las fracciones de materia orgánica más lábiles, tales como azúcares simples y aminoácidos. El descenso de pH favorece el crecimiento de hongos,

cuyo crecimiento se da en el intervalo de pH 5,5 a 8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6 a 7,5) (Barrena, 2006).

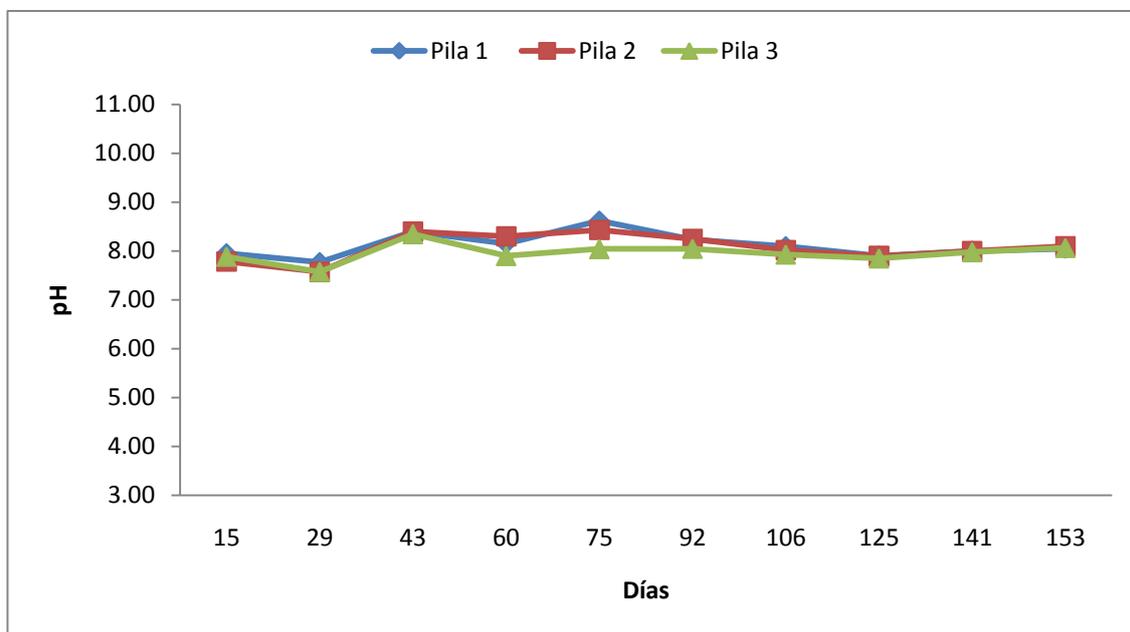


Gráfico 5: Variación del pH en el proceso de compostaje

Posteriormente, concluido el primer mes, se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas, así pues, este incremento favorece la formación del amoníaco y su pérdida por volatilización (Moreno *et al.*, 2008).

Seguidamente, a partir del día 75, se observa una disminución paulatina del pH, manteniéndose en condiciones alcalinas. La nitrificación se produce en relación a la disminución del pH, ya que la nitrificación es inhibida en pH predominantemente alcalinos (Fauci, Bezdicek, Caldwell y Finch, 1999).

Posteriormente, en la etapa de maduración, el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que poseen propiedades tampón. En esta fase estacionaria, se estabiliza la materia orgánica y se dan reacciones lentas de policondensación (Álvarez, 2012).

5.1.3. Variación temporal de la salinidad en el proceso de compostaje

En el gráfico 6, se puede observar que en el transcurso del primer mes, ocurre un descenso en la conductividad eléctrica el cual alcanza valores entre 2.6 a 3.8, dándose este fenómeno como consecuencia del crecimiento microbiano que consume parte de las sales presentes, posteriormente se produce un incremento gradual de sales debido a la mineralización paulatina de la materia orgánica, originándose un aumento de la concentración de nutrientes.

A los 60 días se observa una tendencia a la disminución en la concentración de sales para las pilas 2 y 3, esto se produce a consecuencia del riego, el cual va lavando y lixiviando las sales del compost (Cumba, 2004). En la pila 1, esta tendencia se observa en una etapa más temprana, a los 43 días en el que se aprecia un descenso en la concentración de sales.

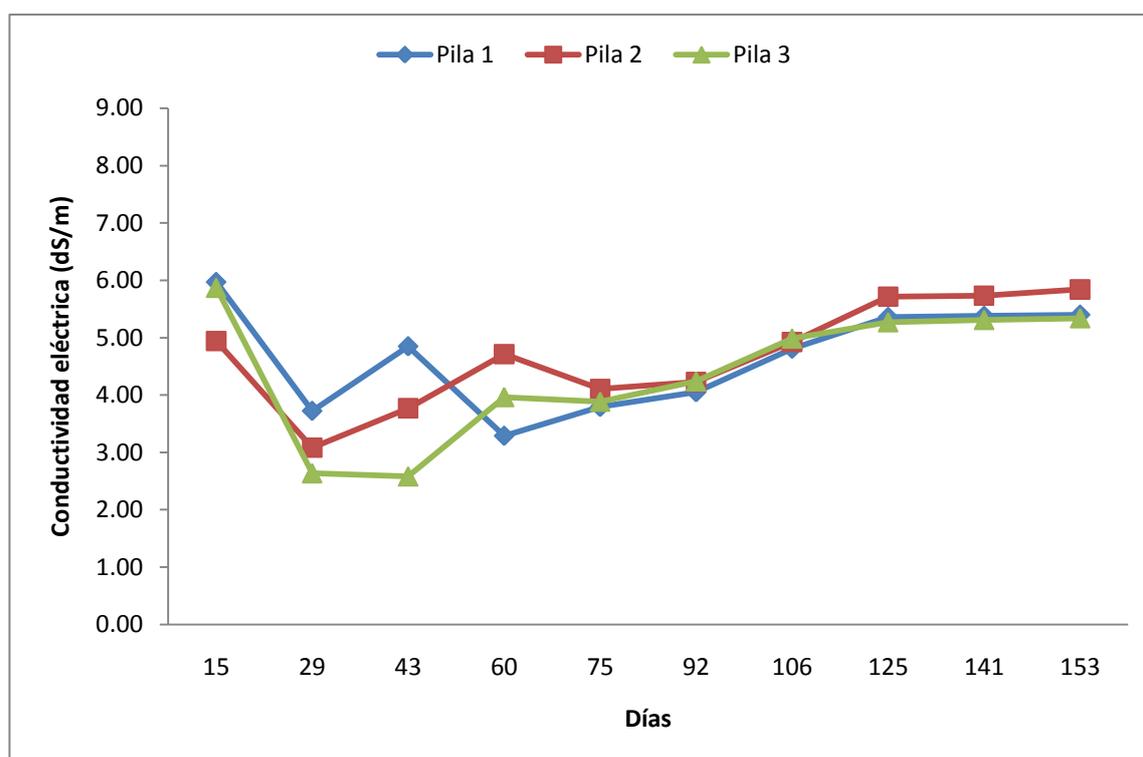


Gráfico 6: Variación de la conductividad eléctrica (dS/m) en el proceso de compostaje

Posteriormente, conforme se ingresa a la etapa de maduración y se disminuye la frecuencia del riego, se exhibe un proceso de mineralización más pronunciado que contribuye al incremento de la conductividad eléctrica.

5.2. Parámetros evaluados durante la etapa de maduración

5.2.1. Temperatura

En el gráfico 7, se aprecia que la temperatura para cada uno de los tratamientos con incorporación de Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración, se registró en dos momentos: al inicio de la etapa de maduración, en el momento en el cual la mezcla de Guano de Islas y compost había sido previamente homogeneizada y mezclada (141 días) y al final de la etapa de maduración, a los 153 días. Con la finalidad de conservar las condiciones óptimas de temperatura y conservar el calor, el compost incorporado con Guano de Islas fue almacenado en sacos de polipropileno de 40 kg de capacidad. La cantidad de compost y Guano de Islas almacenado en cada uno de los sacos fue de aproximadamente 18 kg en peso fresco y 10 kg en peso seco.

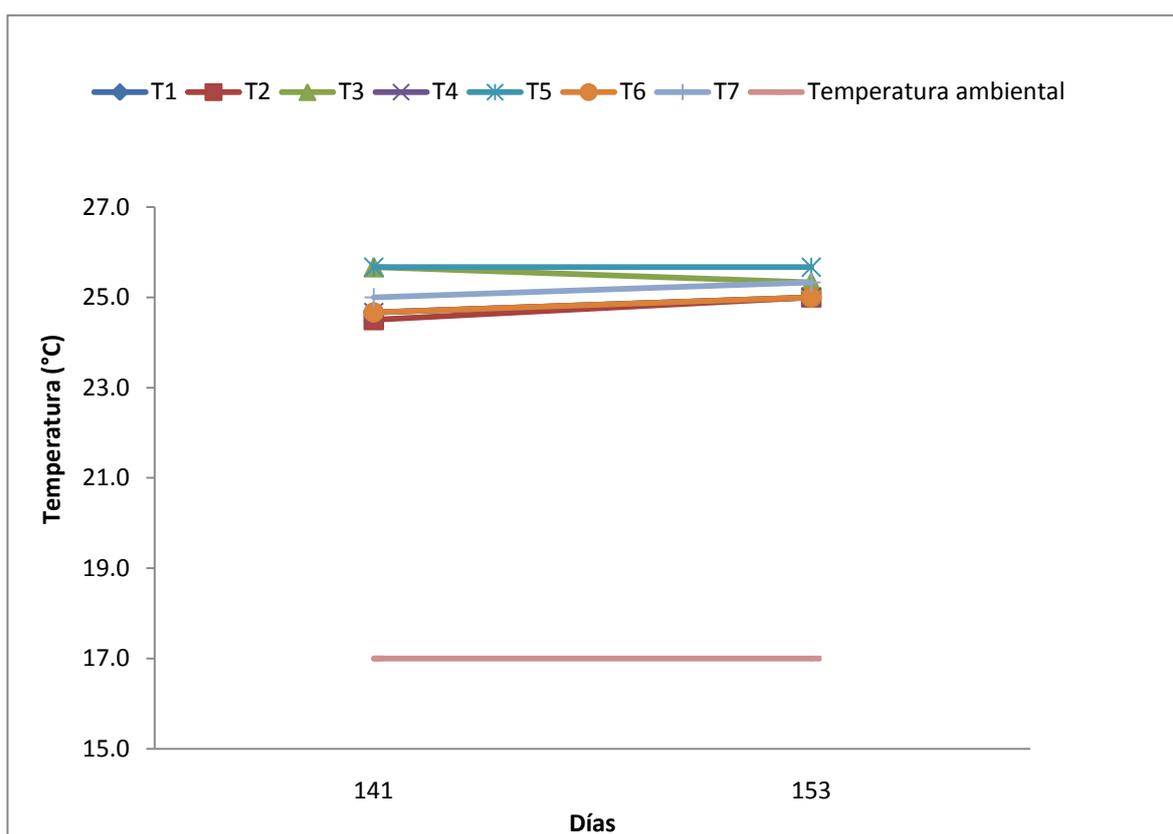


Gráfico 7: Variación de la temperatura (°C) al inicio y fin de la etapa de maduración

En el gráfico 7, se observa que se mantuvieron temperaturas alrededor de los 25 °C durante todo el proceso de maduración, sin que se registraran fluctuaciones pronunciadas de temperatura que pudieran afectar negativamente la naturaleza del proceso.

5.2.2. pH

a. pH del compost solo

En el gráfico 8, los valores más alcalinos se observan en los tratamientos evaluados al final de la etapa de maduración, en los tratamientos 8 al 14, los cuales presentan cifras con valores iguales o mayores a 8. Con respecto a los tratamientos evaluados al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7), estos exhiben valores considerados también como alcalinos, pero con una mayor tendencia a la neutralidad, observando cifras en el rango de 7.8 a 8.

Al inicio de la etapa de maduración, a los 4 meses de iniciado el proceso de compostaje, no existe diferencia estadísticamente significativa para los tratamientos 1 al 7, lo que constituye un indicador en la homogeneidad del proceso para todas las pilas y tratamientos.

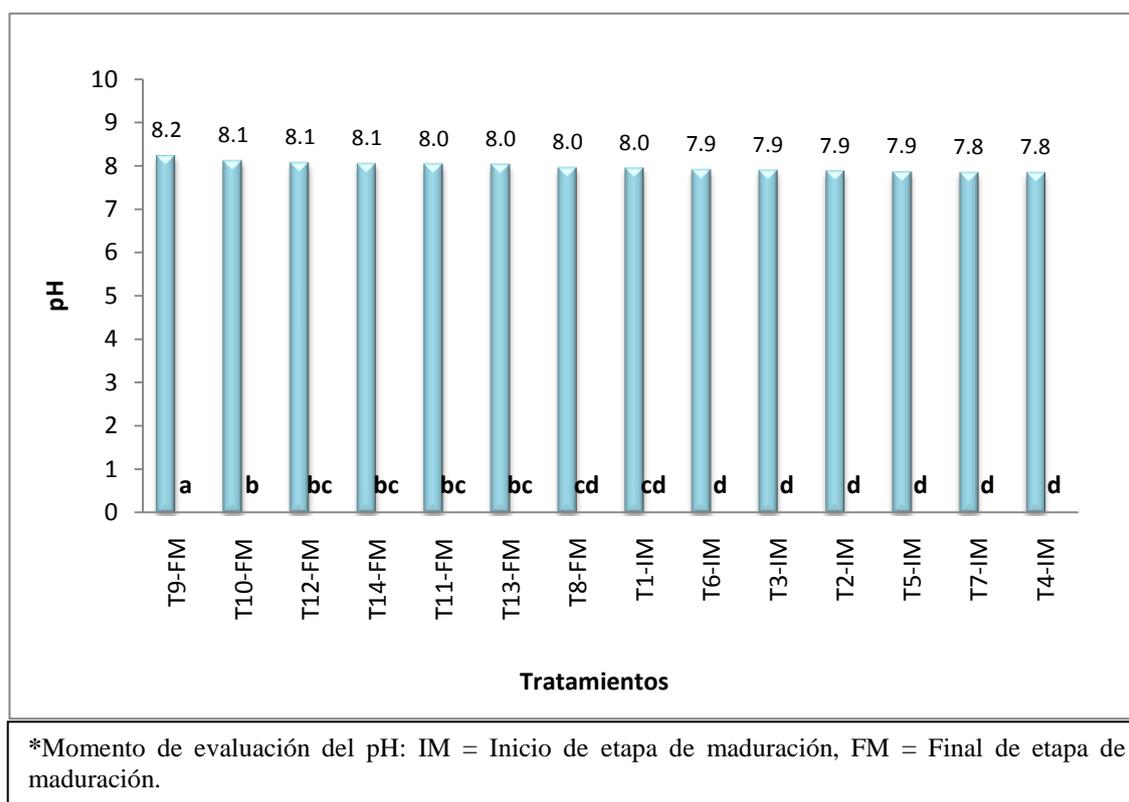


Gráfico 8: Valores promedio del pH del compost solo evaluado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

Al final de la etapa de maduración, concluidos 5 meses desde el inicio del proceso de compostaje, existe una leve tendencia al incremento en los valores del pH. Los

tratamientos 8 y 9 presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto a los tratamientos restantes trabajados al final de la etapa de maduración, esto se atribuye a factores tales como ligeras diferencias en la aireación o humedecimientos en partes de la biomasa compostada. Sin embargo los valores finales se encuentran dentro de un rango adecuado, según lo señalado en la normativa chilena (NCh2880.Of2004), según la cual el pH del compost debe estar comprendido entre 5,0 y 8.5.

La ligera alcalinización al final de la etapa de maduración, es resultado de la progresiva formación del amoníaco y las pérdidas de amoníaco por volatilización en el medio (Sánchez-Monedero, Roig, Paredes y Bernal, 2001), sin embargo a ello se contrapone la formación de compuestos húmicos durante la etapa de maduración, los cuales presentan propiedades tampón, tendiendo todo el sistema a la neutralidad (Bueno, Díaz y Cabrera, 2010).

b. pH del compost con guano de islas

De acuerdo al gráfico 9, el pH del compost con Guano de Islas posee valores alcalinos, sin embargo el pH de los tratamientos que presentan una mayor concentración de Guano de Islas es ligeramente menor en comparación con los tratamientos compuestos de compost al 100% o en concentraciones mínimas de 1%, independientemente del momento de incorporación del Guano de Islas.

Los tratamientos 14 y 7, que contienen una formulación de 10% de Guano de Islas y 90% de compost poseen valores menores de pH con 7.93 y 7.83, respectivamente. Otro de los tratamientos con incorporación de Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración y que presenta un pH relativamente bajo, es el tratamiento 6 con 8% de Guano de Islas, con un pH de 7.86.

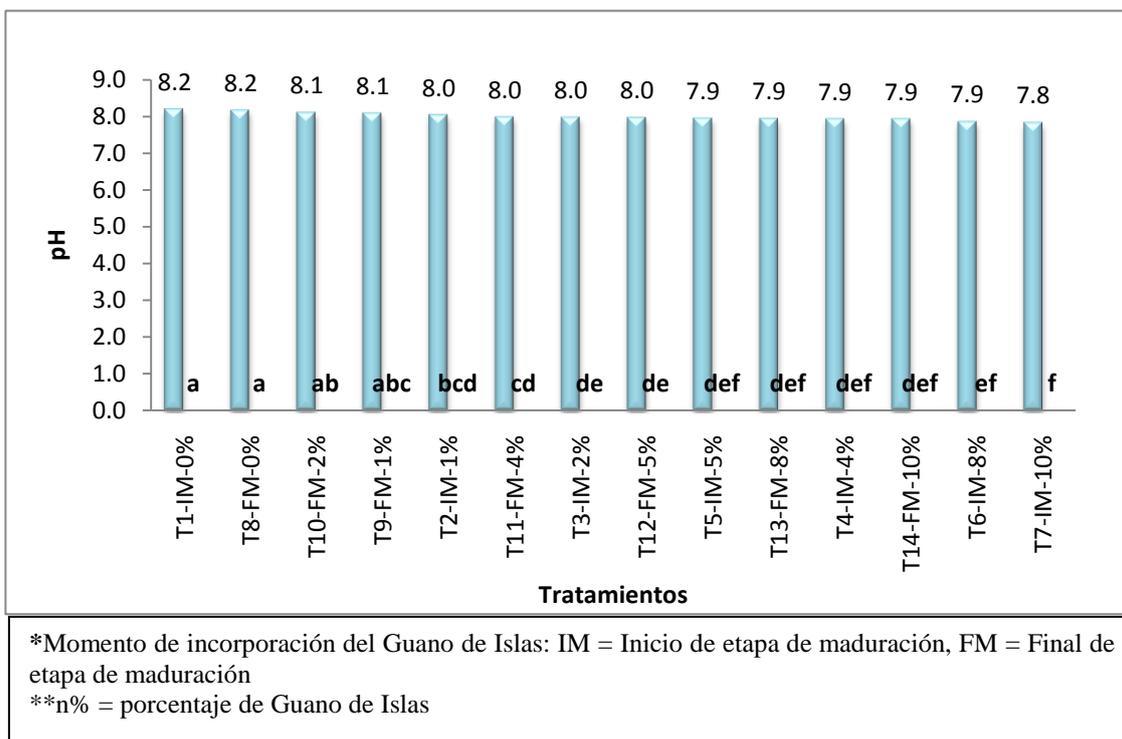


Gráfico 9: Valores promedios del pH del compost con Guano de Islas incorporado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

El compost con Guano de Islas incorporado tanto al inicio como al final de la etapa de maduración presenta valores alcalinos, los cuales se encuentran dentro del rango óptimo requerido para el compost como producto final (5.0 a 8.5).

Se observa una disminución en los valores del pH conforme se incrementa la concentración de Guano de Islas. Las variaciones en el pH pueden atribuirse a la mezcla y homogeneización de ambos productos.

No se observan diferencias estadísticamente significativas en el pH en los tratamientos con igual porcentaje de formulación de Guano de Islas incorporado al inicio o final de la etapa de maduración, con excepción de los tratamientos 3 y 10 (con 2% de Guano de Islas).

c. Variación del pH

Según el cuadro 11, al realizar el análisis de las variaciones en el pH del compost solo evaluado en el inicio de la etapa de maduración (al 4to mes del proceso de compostaje) se observan menores valores de pH y seguidamente con la incorporación del Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración y su posterior evaluación al 5to mes, se aprecia un

incremento en el valor del pH orientándose a valores más neutros y próximos a 7. En los tratamientos 6 y 7, no ocurre un incremento en los valores del pH, sino más bien una reducción en dichos valores.

Cuadro 11: Comparación del pH inicial (compost solo al inicio y final de la etapa de maduración) y el pH final (compost incorporado con Guano de Islas al inicio y al final de la etapa de maduración).

Etap	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	pH - Compost solo	pH - Compost con Guano de Islas	Reducción (%)	Incremento (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	7.95	8.2		3.1
	T2	1	7.88	8.04		1.99
	T3	2	7.9	7.97		0.97
	T4	4	7.84	7.93		1.15
	T5	5	7.86	7.95		1.1
	T6	8	7.91	7.86	0.67	
	T7	10	7.85	7.83	0.25	
Final de la etapa de maduración	T8	0	7.95	8.17		2.68
	T9	1	8.23	8.09	1.7	
	T10	2	8.12	8.1	0.16	
	T11	4	8.04	7.99	0.7	
	T12	5	8.07	7.97	1.28	
	T13	8	8.04	7.94	1.16	
	T14	10	8.05	7.93	1.49	

En el compost incorporado con Guano de Islas al final de la etapa de maduración, existe una disminución en los valores de pH, lo cual puede atribuirse al resultado de la adición del Guano de Islas, el cual presenta valores menores de pH (7.88) en comparación al del compost solo, analizado al final de la etapa de maduración.

5.2.3. Salinidad

a. Salinidad del compost solo

Según el gráfico 10, los valores promedios de conductividad eléctrica tanto al inicio como al final de la etapa de maduración no muestran diferencias estadísticamente significativas, manteniéndose la conductividad eléctrica en un rango comprendido entre los 5.1 a 5.8 dS/m.

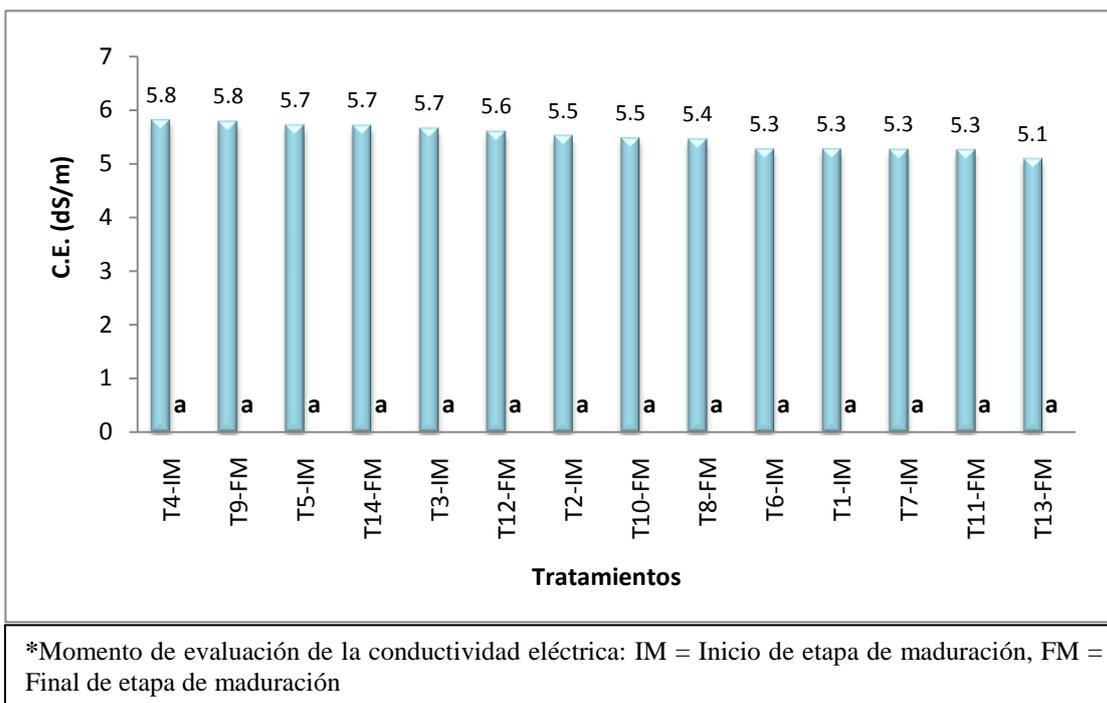


Gráfico 10: Valores promedios de la conductividad eléctrica (dS/m) del compost solo evaluado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

En la etapa de maduración ocurre un proceso de estabilización hasta la obtención de un compost maduro el cual presenta una alta concentración de sales, a diferencia de un compost fresco o en proceso, este fenómeno se presenta por la mayor descomposición y mineralización del material (Kimura, 2005).

b. Salinidad del compost con guano de islas

Las conductividades eléctricas en el compost con Guano de Islas se ven afectadas por el porcentaje de Guano de Islas presente en cada formulación. Los resultados nos indican que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos incorporados con Guano de Islas al inicio o final de la etapa de maduración siempre y cuando presenten el mismo porcentaje o contenido de Guano de Islas en su composición. Esto es un indicador de la homogeneidad en el contenido de sales independientemente del momento de incorporación del Guano de Islas.

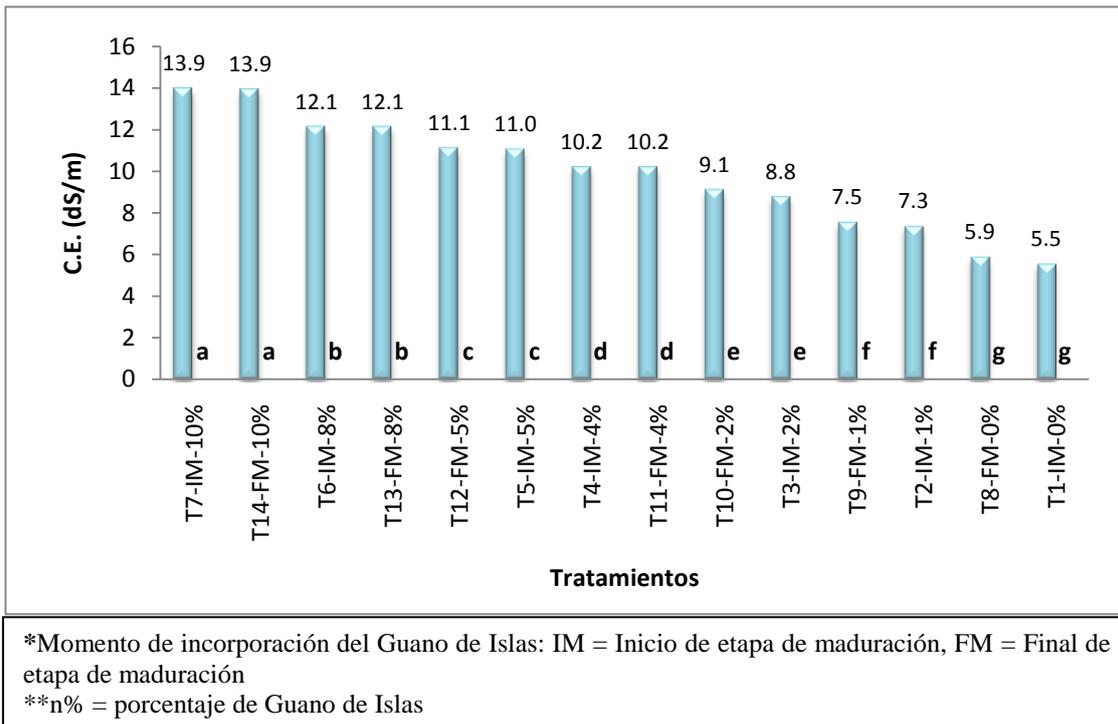


Gráfico 11: Valores promedio de la conductividad eléctrica (dS/m) del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

En el gráfico 11, el Guano de Islas presenta una conductividad eléctrica de 35.6 dS/m, su elevada conductividad eléctrica constituye una limitante al momento de considerar formulaciones con contenido de Guano de Islas en porcentajes más elevados, es por ello que paulatinamente conforme se incrementa el contenido de Guano de Islas, la conductividad eléctrica adquiere valores más altos, observándose la conductividad eléctrica más elevada para los tratamientos 7 y 14, con 13.9 dS/m.

c. Variación de la salinidad

Según el cuadro 12, en todos los tratamientos se verifica un incremento en los valores de conductividad eléctrica, este incremento es aún mayor para las formulaciones con un contenido elevado de Guano de Islas, como en el caso de los tratamientos 14 y 7. Es así que para el tratamiento 14, se aprecia el porcentaje de incremento más alto en la conductividad eléctrica, con un porcentaje de 143.86, variando la conductividad eléctrica desde un valor de 5.7 a 13.9 dS/m. No se registran diferencias significativas en los tratamientos 1 y 8, conformados por compost en un 100%.

Cuadro 12: Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) inicial (compost solo al inicio y final de la etapa de maduración) y la conductividad eléctrica (dS/m) final (compost incorporado con Guano de Islas al inicio y al final de la etapa de maduración).

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Conductividad eléctrica - Compost solo (dS/m)	Conductividad eléctrica - Compost con guano de islas (dS/m)	Incremento (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	5.26	5.53	5.00
	T2	1	5.51	7.33	33.03
	T3	2	5.65	8.76	55.04
	T4	4	5.8	10.19	75.69
	T5	5	5.71	11.02	93.05
	T6	8	5.26	12.12	130.27
	T7	10	5.26	13.94	165.19
Final de la etapa de maduración	T8	0	5.45	5.87	7.71
	T9	1	5.77	7.53	30.48
	T10	2	5.47	9.09	66.34
	T11	4	5.25	10.18	93.90
	T12	5	5.59	11.09	98.45
	T13	8	5.08	12.11	138.39
	T14	10	5.7	13.9	143.86

5.2.4. Humedad

a. Humedad del compost solo

En el gráfico 12, los porcentajes de humedad al inicio de la etapa de maduración presentan valores más elevados en comparación con los porcentajes obtenidos al final de la etapa de maduración, a excepción del tratamiento 3, el cual se ubica por debajo del tratamiento 8 (evaluado al final de la etapa de maduración). El mayor contenido de humedad se atribuye a la ejecución de humedecimientos quincenales, los cuales se dieron desde el armado de las pilas hasta el inicio de la etapa de maduración (4 meses), posteriormente a consecuencia de la estabilización en la actividad biológica del proceso de compostaje, se disminuyó dicha frecuencia a humedecimientos mensuales.

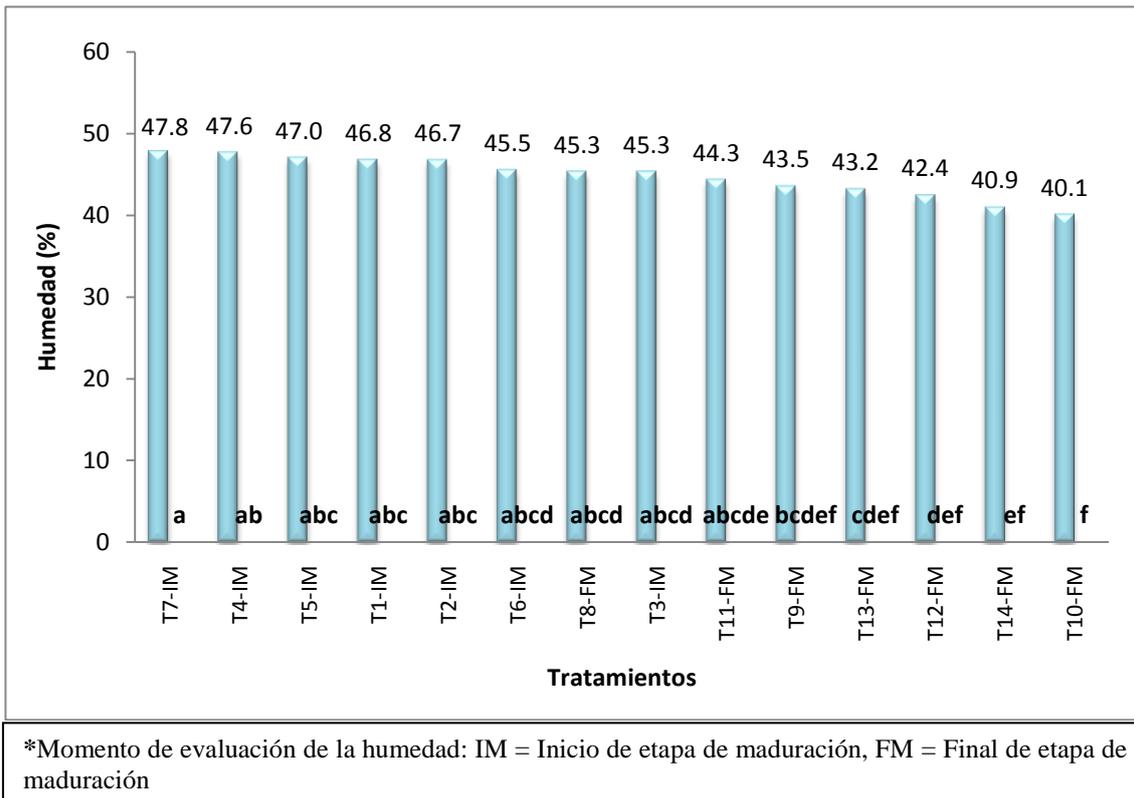


Gráfico 12: Valores promedios de la humedad (%) del compost solo evaluado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

Los porcentajes al inicio de la etapa de maduración nos indican que hasta esta etapa del proceso la humedad se ha mantenido a niveles adecuados. En el proceso de compostaje se debe tener un equilibrio en los huecos entre partículas que se llenan de aire y agua (Haug, 1993), siendo para ello necesario intercalar periodos de aireación y humedecimientos.

Los tratamientos evaluados al final de la etapa de maduración presentan diferencias significativas, sin embargo los porcentajes de humedad se mantienen en un rango de 40.1 a 45.3% de humedad, exhibiendo valores adecuados, teniendo en consideración que el compost por debajo de 35% de humedad es considerado un compost demasiado seco, el cual puede ser polvoriento e irritante en su manipulación, mientras que el compost muy húmedo (60% a más) puede ser pesado y con tendencia al apelmazamiento, resultando más difícil su aplicación (WRAP, 2002).

b. Compost con guano de islas

En el gráfico 13, los resultados de los porcentajes de humedad varían en un rango de 36.9 a 43.5%, los tratamientos no son significativamente diferentes a excepción del tratamiento 8 y el tratamiento 6, los cuales presentan el máximo y mínimo porcentaje de humedad respectivamente. Sin embargo, al realizar el análisis en términos del momento de la incorporación del Guano de Islas, no existen diferencias estadísticamente significativas dentro del grupo de los 7 tratamientos con Guano de Islas incorporados al inicio, así como tampoco existen diferencias significativas en el grupo de tratamientos (8 al 14) incorporados con Guano de Islas al final de la etapa de maduración.

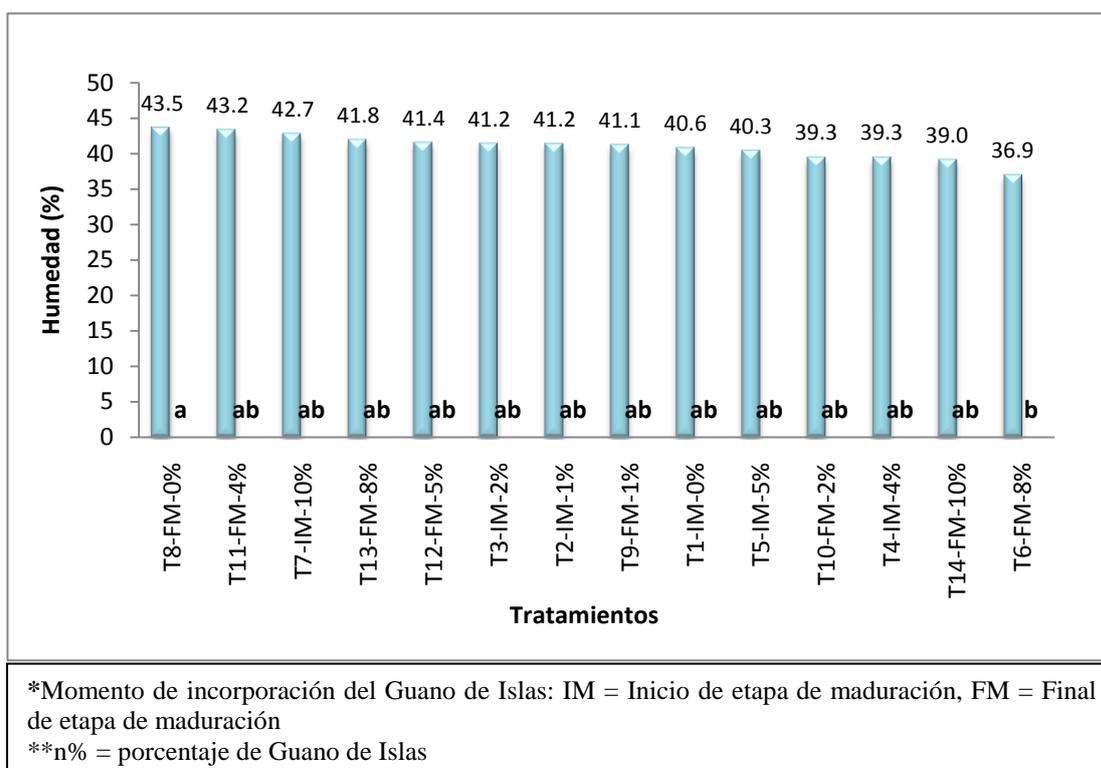


Gráfico 13: Valores promedio de la humedad (%) del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

De acuerdo a la Norma Chilena Oficial NCh2880.Of2004, el compost debe presentar entre 30% y 45% de la masa del producto en base húmeda, por lo que los valores del producto final enriquecido con guano de isla tanto al inicio como al final de la etapa de maduración cumplen con los porcentajes de humedad estipulados por dicha norma.

c. Variación de la humedad

En el cuadro 13, se observa que para todos los tratamientos existe una disminución en el contenido de humedad, la reducción de la humedad es mayor en el periodo comprendido desde el inicio de la etapa de maduración (en el compost solo) hasta el final de la etapa de maduración, en el compost incorporado con Guano de Islas. Para este periodo de tiempo la reducción del contenido de humedad se ubica en un rango de 8.96 a 19.01%.

Cuadro 13: Comparación de la humedad (%) inicial (compost solo al inicio y final de la etapa de maduración) y la humedad (%) final (compost incorporado con Guano de Islas al inicio y al final de la etapa de maduración).

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Humedad - Compost solo (%)	Humedad - Compost con Guano de Islas (%)	Reducción (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	46.78	40.63	13.14
	T2	1	46.71	41.22	11.76
	T3	2	45.3	41.24	8.96
	T4	4	47.65	39.31	17.5
	T5	5	47.03	40.26	14.41
	T6	8	45.51	36.86	19.01
	T7	10	47.81	42.65	10.79
Final de la etapa de maduración	T8	0	45.31	43.51	3.98
	T9	1	43.52	41.06	5.67
	T10	2	40.07	39.32	1.88
	T11	4	44.34	43.19	2.58
	T12	5	42.42	41.4	2.41
	T13	8	43.17	41.8	3.18
	T14	10	40.94	39.02	4.71

En el caso de los tratamientos 8 al 14, la reducción en el porcentaje de humedad es menor, debido principalmente al menor periodo de tiempo comprendido entre ambas evaluaciones, ejecutándose el análisis del compost solo al final de la etapa de maduración, a los 5 meses, y posteriormente 5 días después la evaluación del compost con Guano de Islas.

5.2.5. Materia orgánica

a. Materia orgánica en el compost solo

Según el gráfico 14, los valores de la materia orgánica del compost al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) se encuentran comprendidos en un rango de 46.9 a 49.9%. Mientras que la materia orgánica presente en el compost evaluado al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14) se ubica en un rango de 44 a 48.7%. En base a ello, se observa una tendencia a la disminución en el contenido de materia orgánica conforme transcurre la etapa de maduración hasta el momento de la cosecha.

Los tratamientos evaluados al final de la etapa de maduración no muestran diferencias significativas a excepción del tratamiento 11, el cual presenta el contenido de materia orgánica más elevado dentro del grupo.

Con respecto a los tratamientos analizados al inicio de la etapa de maduración, no se presentan diferencias estadísticamente significativas, con excepción del tratamiento 3, el cual posee el menor contenido de materia orgánica (46.9%).

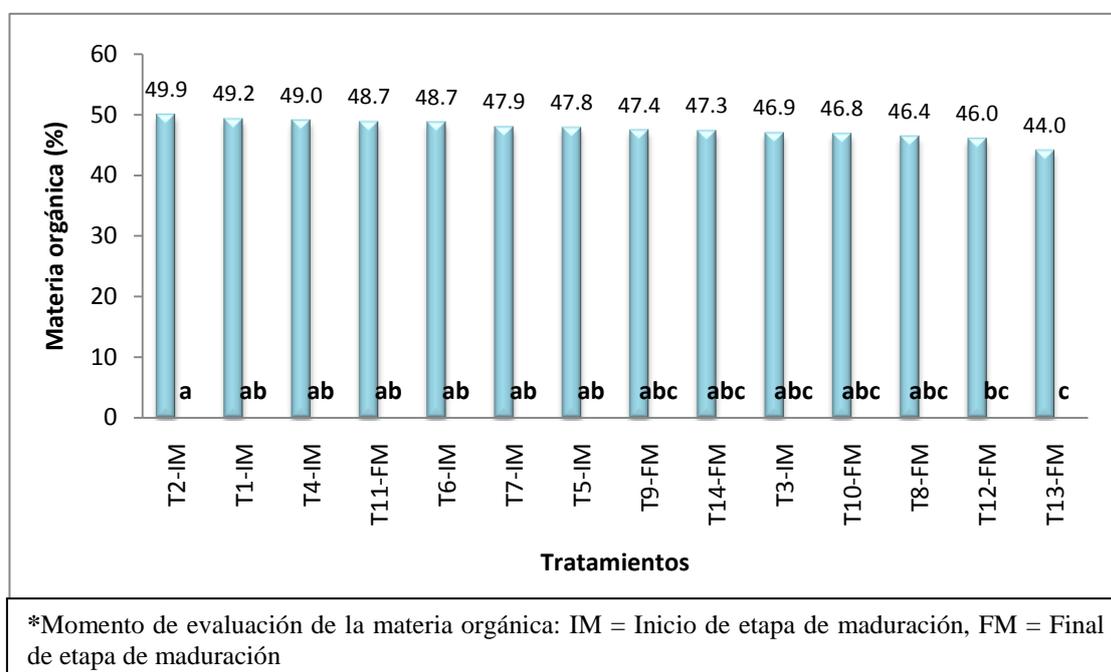


Gráfico 14: Valores promedio de la materia orgánica (%) del compost solo evaluado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender al inicio del proceso, debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de dióxido de carbono. Algunos compuestos procedentes de la materia orgánica son utilizados por los microorganismos para incrementar su biomasa y otros son transformados en dióxido de carbono y agua. Este descenso de materia orgánica ocurre en dos etapas fundamentalmente. En la primera se produce un rápido decrecimiento de los carbohidratos, transformándose las cadenas carbonadas largas en otras más cortas con la producción de compuestos simples; algunos de los cuales posteriormente se reagrupan para formar moléculas complejas dando lugar a los compuestos húmicos (Moreno *et al.*, 2008).

En la segunda etapa, una vez consumidos los compuestos lábiles, otros materiales más resistentes como las ligninas se van degradando lentamente y/o transformando en compuestos húmicos (Tomati, 2000). Durante la etapa de maduración el cambio que se registra en el contenido de materia orgánica se origina producto de la degradación de compuestos orgánicos complejos. Al inicio de la etapa de maduración el contenido de materia orgánica es mayor para todos los tratamientos, en comparación a los porcentajes obtenidos al final de la etapa de maduración, en la cual se observa una disminución en el contenido de materia orgánica en los tratamientos en evaluación. Esto es un indicador del proceso de mineralización, mediante el cual se da la formación de moléculas más complejas que involucran reacciones de policondensación, para llegar a largo plazo a la formación de compuestos húmicos. La humificación es un proceso básico durante el compostaje de la materia orgánica, y a medida que pasa el tiempo el porcentaje de sustancias húmicas se incrementa frente al total de materia orgánica (Goya, Dhull y Kappoor, 2005).

b. Materia orgánica en el compost con guano de islas

La presencia de materia orgánica para el compost con Guano de Islas se incrementa conforme aumenta el porcentaje en contenido de Guano de Islas. Para el tratamiento 7 y el tratamiento 14, que poseen en su composición un 10% de Guano de Islas, el contenido de materia orgánica es superior en lo que respecta a los tratamientos restantes, esto se explica por la mayor cantidad de Guano de Islas presente. El Guano de Islas contiene un promedio de 61.9% de materia orgánica.

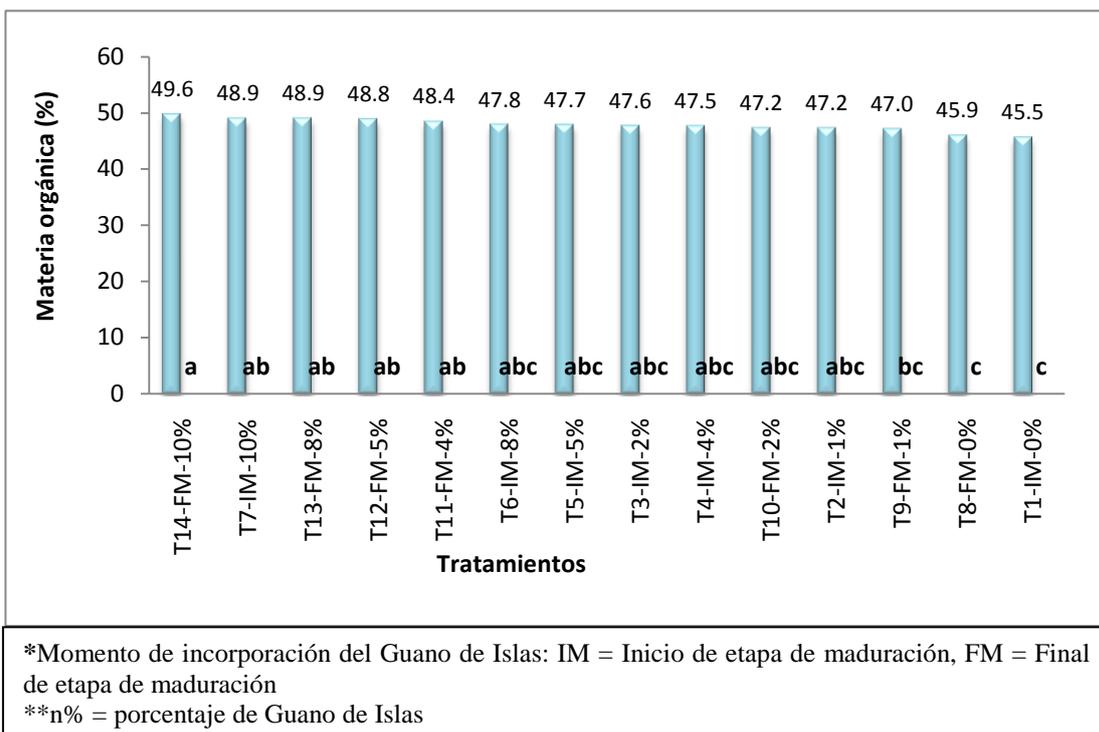


Gráfico 15: Valores promedios de la materia orgánica (%) del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

Al evaluar el compost con Guano de Islas incorporado al inicio o fin de la etapa de maduración, en referencia a la igualdad en el porcentaje de Guano de Islas contenido en cada tratamiento, podemos concluir que no existe diferencia significativa según el momento de incorporación, así los resultados de la materia orgánica para el tratamiento 7 y 14 (10% de Guano de Islas) no muestran diferencias significativas. Lo mismo ocurre para los tratamientos restantes con iguales formulaciones.

c. Variación de la materia orgánica

En el compost con Guano de Islas incorporado al inicio de la etapa de maduración se observa una reducción en el contenido de materia orgánica, en comparación al contenido de materia orgánica registrado al inicio de la etapa de maduración en el compost solo. Este comportamiento se observa en casi todos los tratamientos, a pesar de la incorporación de Guano de Islas que aporta un mayor contenido de materia orgánica, el cual también es susceptible a degradación o participa en otros procesos de estabilización biológica del compost en el transcurso de un mes de diferencia de tiempo en las evaluaciones. Los

tratamientos en los que se registra un incremento en el contenido de materia orgánica son los tratamientos 3 y 7.

Cuadro 14: Comparación de la materia orgánica (%) inicial (compost solo al inicio y final de la etapa de maduración) y la materia orgánica (%) final (compost incorporado con Guano de Islas al inicio y al final de la etapa de maduración).

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Materia Orgánica-Compost solo (%)	Materia Orgánica-Compost con Guano de Islas (%)	Reducción (%)	Incremento (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	49.20	45.53	7.45	
	T2	1	49.91	47.16	5.51	
	T3	2	46.90	47.56		1.40
	T4	4	48.98	47.53	2.96	
	T5	5	47.80	47.74	0.13	
	T6	8	48.68	47.78	1.84	
	T7	10	47.89	48.89		2.09
Final de la etapa de maduración	T8	0	46.37	45.88	1.05	
	T9	1	47.37	47.05	0.69	
	T10	2	46.79	47.21		0.90
	T11	4	48.75	48.35	0.81	
	T12	5	45.96	48.80		6.17
	T13	8	44.03	48.87		11.00
	T14	10	47.27	49.64		5.03

Según el cuadro 14, en los tratamientos trabajados al final de la etapa de maduración se observa un incremento en el contenido de materia orgánica para los tratamientos 10, 12, 13 y 14, como resultado de la contribución del Guano de Islas en el contenido de materia orgánica. En esta mezcla no existe un tiempo de interacción prolongado entre el Guano de Islas y el compost, por lo que no existe degradación de la materia orgánica o esta ocurre a niveles mínimos.

5.2.6. Nitrógeno total

a. Nitrógeno total del compost solo

Al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) se observan valores menores en el contenido de nitrógeno en comparación a los tratamientos 8 al 14, obtenidos al final de la etapa de maduración. El contenido de nitrógeno al inicio de la etapa de maduración se encuentra en un rango de 0.1 a 0.12 kg, mientras que los valores del nitrógeno total para el compost evaluado al final de la etapa de maduración se ubican en el rango de 0.17 a 0.21 kg. Los valores de nitrógeno total se obtienen teniendo como referencia 18 kg de peso fresco de compost solo y 10 kg en peso seco para cada uno de los tratamientos.

En el gráfico 16 se aprecia que los tratamientos 1 al 7 no muestran diferencias estadísticamente significativas; caso contrario al compost al final de la etapa de maduración en donde se resalta el mayor contenido de nitrógeno para el tratamiento 9, sin embargo los tratamientos restantes evaluados al final de la etapa de maduración no muestran diferencias significativas.

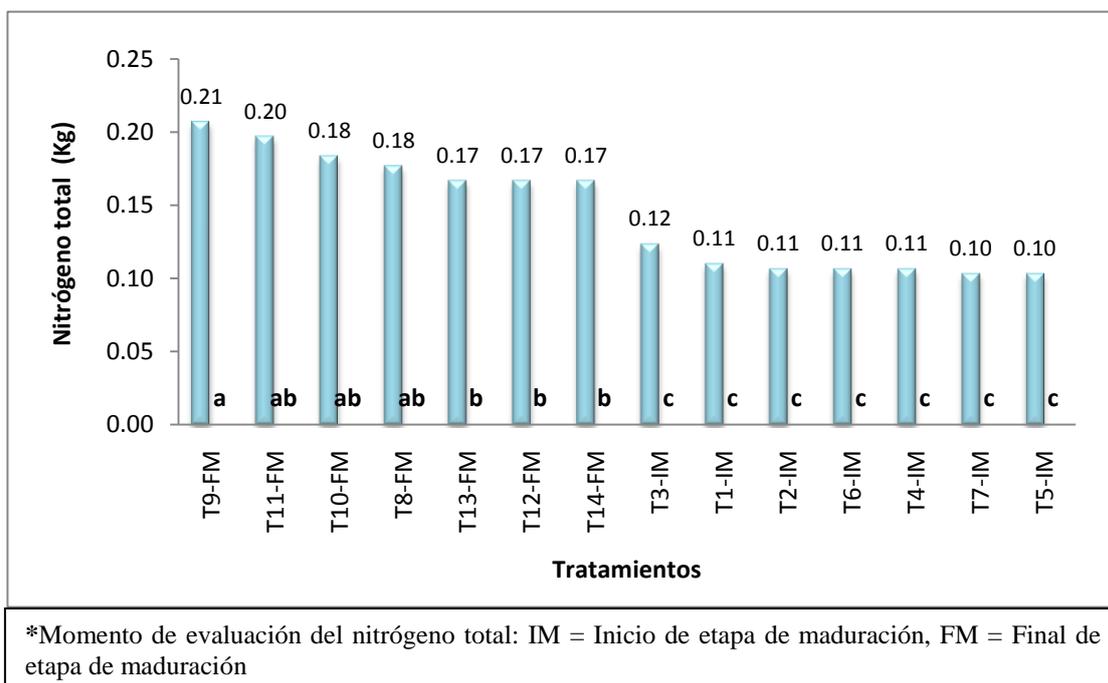


Gráfico 16: Valores promedios del nitrógeno total (kg) del compost solo evaluado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

El nitrógeno es usado como fuente de proteína durante el proceso de compostaje, siendo uno de los nutrientes más necesitados por los microorganismos. Al inicio del proceso, la

cantidad de nitrógeno inmovilizado disminuye por acción de las bacterias que utilizan el nitrógeno orgánico. Conforme transcurren las etapas del compostaje el nitrógeno orgánico es consumido por acción de los microorganismos dando como principal sustrato el amonio. Este proceso se denomina amonificación y lo realizan los microorganismos capaces de oxidar el amonio. (Barrena, 2006).

Posteriormente el amonio se transforma en nitratos, la nitrificación es llevada a cabo por microorganismos nitrificantes. Esto ocurre sobre todo cuando la temperatura empieza a bajar, la temperatura está por debajo de 40 °C y las condiciones de aireación son adecuadas (Moreno *et al.*, 2008). En la etapa de maduración, este proceso continúa de forma menos pronunciada y se aprecian ligeros incrementos en la concentración de nitrógeno total, indicador de la presencia de nitratos.

El porcentaje de nitrógeno aumenta a medida que la degradación procede, ya que no existen pérdidas importantes de este elemento que se mineraliza y pasa inmediatamente a moléculas orgánicas en las células de la población bacteriana, a medida que la relación C/N disminuye es favorecida la mineralización del nitrógeno (Frioni, 1999).

b. Nitrógeno total en compost con guano de islas

El contenido de nitrógeno total se incrementa conforme aumenta la concentración de Guano de Islas, registrándose el mayor porcentaje de nitrógeno total para el tratamiento 14, el cual presenta un 10% de Guano de Islas incorporado al final de la etapa de maduración. Así, el tratamiento 14 contiene 0.28 kg de nitrógeno total, mientras que el menor valor corresponde al tratamiento 1, el cual se encuentra formulado con compost en un 100%.

Los resultados del nitrógeno total presentados en el gráfico 17, nos indican que no existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos incorporados con Guano de Islas al inicio o final de la etapa de maduración, con excepción de los tratamientos 14 y 7, en el cual el tratamiento 14 presenta un valor de 0.28 kg, mostrando una diferencia significativa con respecto al tratamiento 7, que presenta igual porcentaje en la formulación de Guano de Islas y compost. En el caso de los tratamientos restantes con las formulaciones correspondientes tanto para el Guano de Islas incorporado al inicio o final de la etapa de maduración, no existe diferencia estadísticamente significativa.

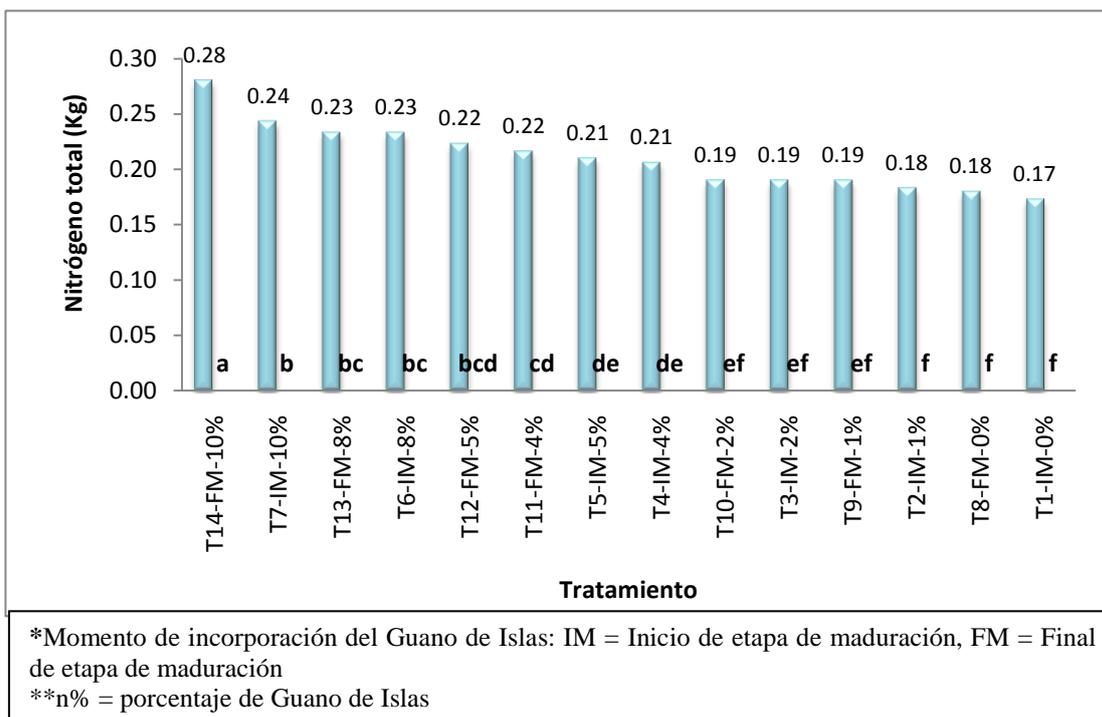


Gráfico 17: Valores promedios del nitrógeno total (kg) del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

Para el caso del tratamiento 14 y 7, en el que se observa diferencia significativa en la incorporación de Guano de Islas al inicio y final de la etapa de maduración, se puede explicar este fenómeno producto del proceso de descomposición iniciado a partir de la incorporación de Guano de Islas. El compost al inicio de la etapa de maduración presenta una baja relación C/N, con el cual se tiene suficiente cantidad de nitrógeno para satisfacer las necesidades de descomposición de los microorganismos presentes en esta etapa (Brady y Weil, 2008).

En el compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración se producen ligeras pérdidas de amoníaco por volatilización, fenómeno que es detectado debido a los valores alcalinos del pH, que se encuentran en un rango aproximado de 7.8 a 8. Si la relación C/N es muy baja el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N del proceso (Jhorar, Phogat y Malik, 1991).

c. Variación del nitrógeno total

El contenido de nitrógeno total se incrementa con la adición de Guano de Islas. El Guano de Islas presenta un 12.56% de nitrógeno total en su composición, es por ello que la adición de guano de isla constituye un aporte al contenido de nitrógeno total. Esto se verifica para casi la totalidad de tratamientos, con excepción del tratamiento 9, el cual presenta una ligera reducción en el contenido de nitrógeno total, sin embargo el porcentaje de incorporación de Guano de Islas es únicamente del 1%.

Cuadro 15: Comparación del nitrógeno total (kg) inicial (compost solo al inicio y final de la etapa de maduración) y el nitrógeno total (kg) final (compost incorporado con Guano de Islas al inicio y al final de la etapa de maduración).

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Nitrógeno total - Compost solo (kg)	Nitrógeno total - Compost con Guano de Islas (kg)	Reducción (%)	Incremento (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	0.11	0.17		51.64
	T2	1	0.11	0.18		67.49
	T3	2	0.12	0.19		51.93
	T4	4	0.11	0.21		95.09
	T5	5	0.10	0.21		101.53
	T6	8	0.11	0.23		120.93
	T7	10	0.10	0.24		140.59
Final de la etapa de maduración	T8	0	0.18	0.18	0	0
	T9	1	0.21	0.19	9.51	
	T10	2	0.18	0.19		5.65
	T11	4	0.20	0.21		7.44
	T12	5	0.17	0.22		30.48
	T13	8	0.16	0.23		43.41
	T14	10	0.17	0.28		68.94

El porcentaje de incremento de nitrógeno total es mayor para las formulaciones de compost con Guano de Islas al 8% y 10%, conforme disminuye la concentración del Guano de Islas, también disminuyen consecuentemente las concentraciones de nitrógeno total para el compost final.

5.2.7. Relación carbono: nitrógeno (C/N)

a. Relación C/N en el compost solo

Como se puede observar en el gráfico 18, los tratamientos 1 al 7, pertenecientes al compost evaluado al inicio de la etapa de maduración exhiben relaciones carbono nitrógeno más elevadas, a diferencia de los resultados obtenidos para los tratamientos al final de la etapa de maduración, en donde existe una disminución en la relación carbono nitrógeno. En los tratamientos al inicio de la etapa de maduración, existe diferencia estadísticamente significativa únicamente para el tratamiento 3, con una relación carbono nitrógeno de 21.7, situándose con el menor valor de los tratamientos en la relación C/N al inicio de la etapa de maduración. La relación carbono nitrógeno para los tratamientos 1 al 7 se ubican en el rango de 21.7 a 26.6. En el caso de los tratamientos 8 al 14, no existe diferencia estadísticamente significativa, resultando la relación carbono nitrógeno en el rango de 13.9 a 16.

Se aprecia que para todos los tratamientos la relación C/N tiende a disminuir con el tiempo. La relación carbono nitrógeno es mayor al inicio de la etapa de maduración, a medida que avanza el proceso de compostaje la relación C/N disminuye, lo cual es un indicador de la realización de un buen proceso de compostaje y mineralización de carbono y nitrógeno (Rynk, 1992).

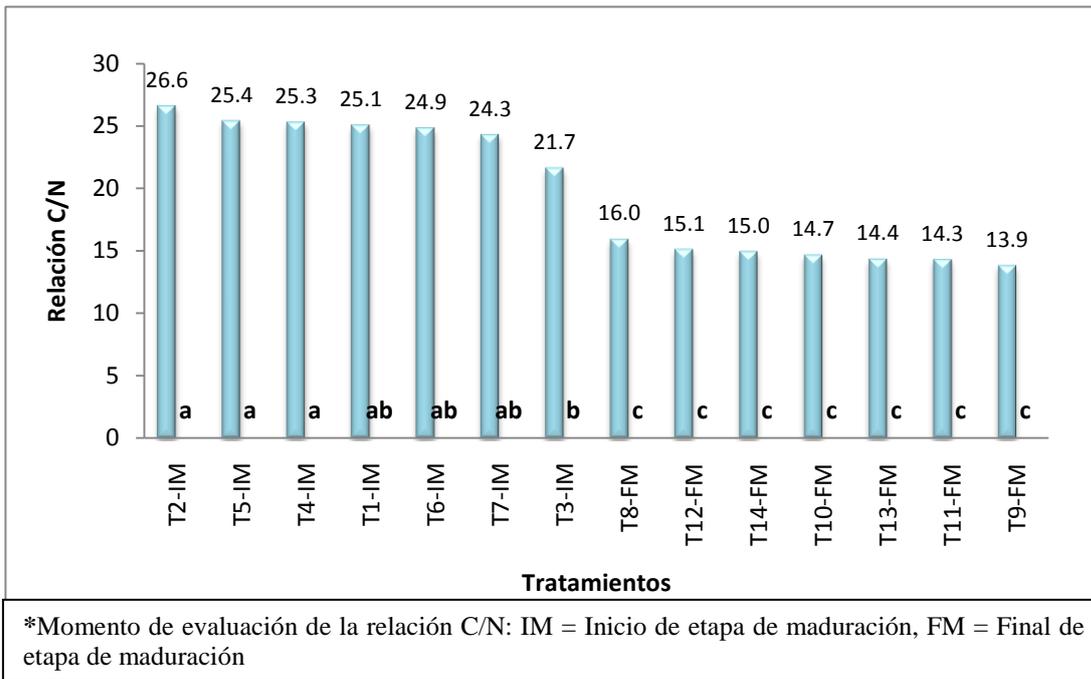


Gráfico 18: Valores promedio de la relación carbono nitrógeno del compost solo evaluado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

La relación C/N representa la pérdida de carbono orgánico, como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica, mientras que por otro lado, mide el aumento de la concentración de nitrógeno debido a la pérdida de peso. Como resultado se obtiene una disminución de este parámetro, cuyos valores al final del proceso son prácticamente constantes, como consecuencia de la estabilización de la materia orgánica (Moreno *et al.*, 2008).

La importancia de esta relación está en que, para que el proceso de compostaje se desarrolle de forma adecuada, se considera que el material de partida debe tener una relación C/N entre 25 a 30, ya que se considera que los microorganismos consumen unas 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno (Brady *et al.*, 2008).

La relación C/N ideal para un compost totalmente maduro es cercana a 10, similar a la del humus. En la práctica, se suele considerar que un compost es suficientemente estable o maduro cuando $C/N < 20$ aunque esta es una condición necesaria pero no suficiente (Bueno *et al.*, 2010).

b. Relación C/N en el compost con guano de isla

La relación carbono nitrógeno para el compost incorporado con Guano de Islas, disminuye conforme se incrementan las concentraciones de Guano de Islas, tanto para el compost incorporado con Guano de Islas al inicio como al final de la etapa de maduración. Así el mayor valor para la relación C/N según el gráfico 19, corresponde al tratamiento 1, conformado por compost al 100% con un valor de 15.3. El tratamiento 14 presenta el menor valor en la relación C/N, con un valor de 10.3. En la relación carbono nitrógeno se aprecia que no existe diferencia significativa entre tratamientos con las mismas formulaciones, indistintamente del momento de incorporación del Guano de Islas.

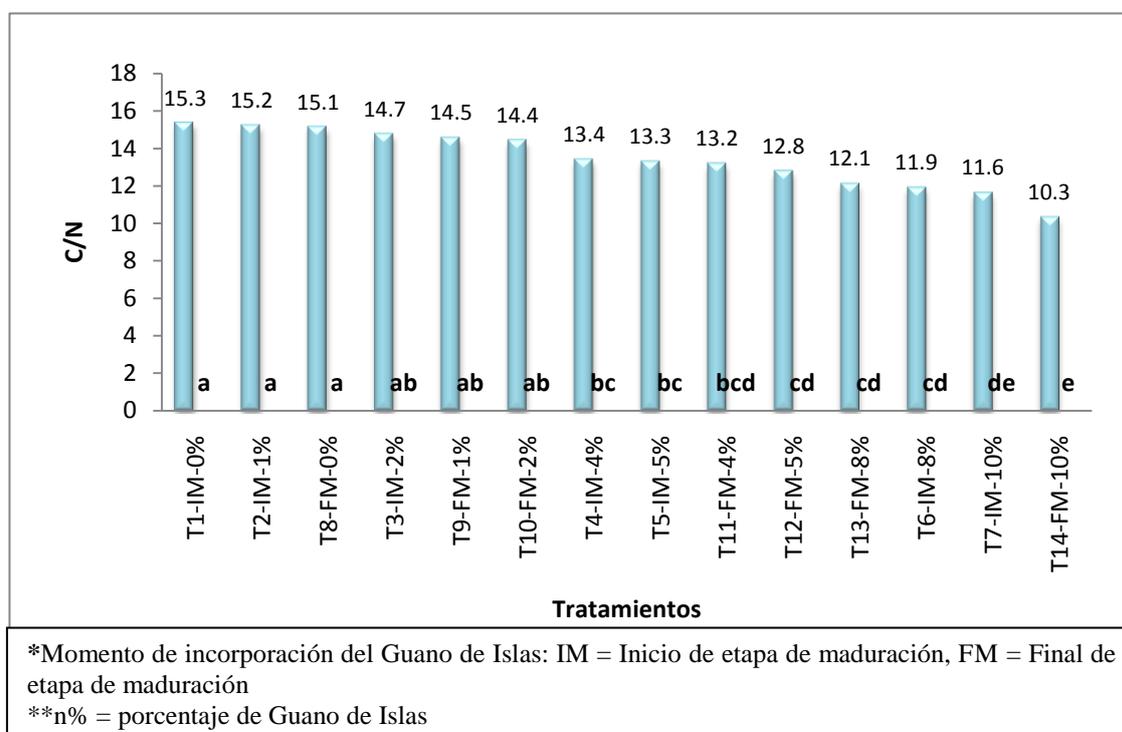


Gráfico 19: Valores promedio de la relación carbono nitrógeno del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

c. Variación de la relación C/N

En el cuadro 16, se observa que la relación C/N disminuye en el transcurso del proceso de compostaje, es así que para el compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración, la reducción se registra de forma más pronunciada, al realizarse la evaluación inicial al inicio de la etapa de maduración en el compost solo y posteriormente la evaluación final al 5to mes en el compost con Guano de Islas incorporado al inicio de la

etapa de maduración. Los tratamientos 6 y 7 presentan los mayores porcentajes de reducción, debido a su mayor contenido de Guano de Islas y el aporte de nitrógeno en la mezcla total.

Cuadro 16: Comparación de la relación carbono nitrógeno inicial (compost solo al inicio y final de la etapa de maduración) y la relación carbono nitrógeno final (compost incorporado con Guano de Islas al inicio y al final de la etapa de maduración).

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	C/N - Compost solo	C/N - Compost con Guano de Islas	Reducción (%)	Incremento (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	25.07	15.32	38.88	
	T2	1	26.62	15.18	42.98	
	T3	2	21.65	14.74	31.91	
	T4	4	25.32	13.37	47.19	
	T5	5	25.41	13.27	47.79	
	T6	8	24.86	11.88	52.20	
	T7	10	24.31	11.60	52.29	
Final de la etapa de maduración	T8	0	15.95	15.10	5.34	
	T9	1	13.86	14.53		4.85
	T10	2	14.68	14.40	1.96	
	T11	4	14.33	13.16	8.21	
	T12	5	15.15	12.76	15.77	
	T13	8	14.36	12.08	15.89	
	T14	10	14.96	10.31	31.10	

Para los tratamientos con Guano de Islas incorporados al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14), existe una reducción en casi todos los tratamientos, con excepción del tratamiento 9, en el cual se aprecia un incremento en la relación C/N, debido a la disminución en el contenido de nitrógeno total para este caso en específico. En los demás tratamientos se observa un aumento en la concentración de nitrógeno total que contribuye a disminuir el valor de la relación C/N.

5.2.8. Fósforo total

a. Fósforo total en el compost solo

En el caso del fósforo total podemos observar que independientemente del momento de la evaluación del fósforo total, sea al inicio o al final de la etapa de maduración, no existe diferencia estadísticamente significativa en los valores promedios de los tratamientos a excepción del tratamiento 1 (inicio de etapa de maduración), el cual presenta la cifra más alta con un contenido de fósforo total de 0.22 kg.

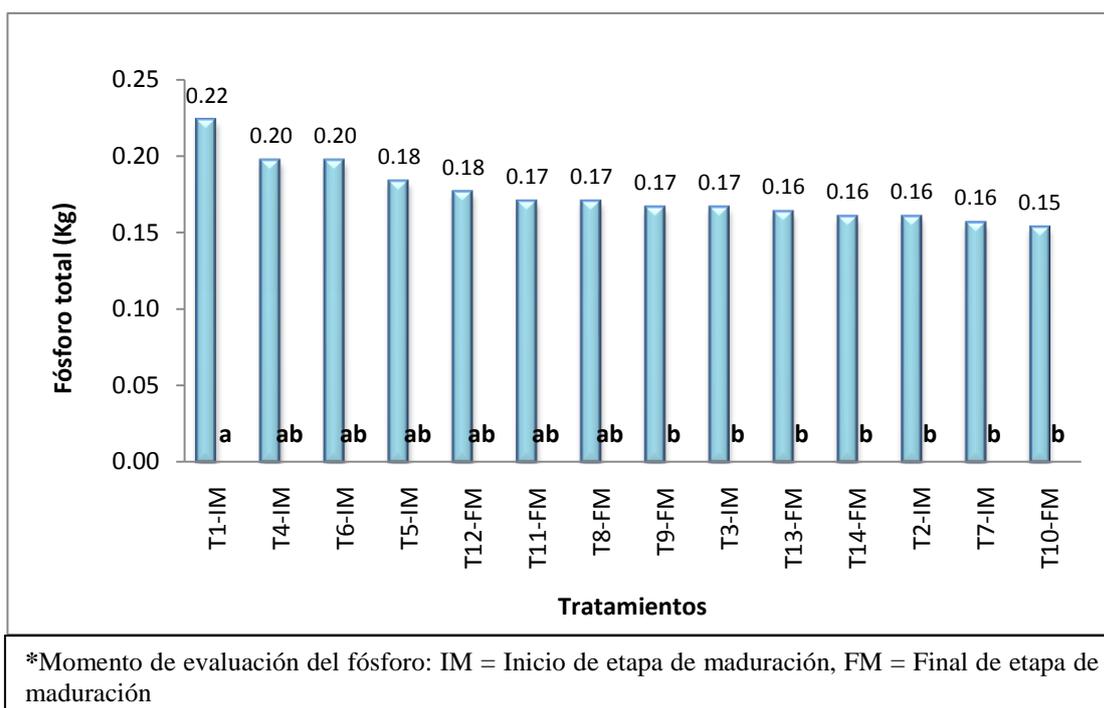


Gráfico 20: Valores promedios del fósforo total (kg) del compost evaluado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

El fósforo es el nutriente más importante, tras el C y el N, por lo que también debe estar presente en unas cantidades mínimas para que el proceso se lleve a cabo correctamente. Una buena relación entre los principales nutrientes provoca una adecuada capacidad para la proliferación microbiana, al tener todos los nutrientes principales en cantidades óptimas y en la forma más disponible para la síntesis microbiana. El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía (Moreno *et al.*, 2008).

El contenido de fósforo total varía en un rango de 0.15 a 0.22 kg, teniendo como referencia para cada uno de los tratamientos aproximadamente 18 kg en peso fresco y 10 kg en peso seco. En los tratamientos evaluados al inicio de la etapa de maduración, se observa una tendencia a presentar valores de fósforo total ligeramente más elevados, en comparación con los valores obtenidos para el compost solo al final de la etapa de maduración. Los mayores valores se presentan al inicio de la etapa de maduración y corresponden a los tratamientos 1, con 0.22 kg, seguido por los tratamiento 6 y 4, los cuales presentan 0.20 kg de fósforo total.

Entre los compuestos orgánicos fosfatados se encuentran los fosfatos de inositol. Los fosfatos de inositol no suelen presentarse en forma libre, sino combinados con proteínas o polisacáridos. Habitualmente los fosfatos de inositol son los compuestos fosforados orgánicos más conocidos, representando del 10 al 50% del total de compuestos orgánicos fosforados. Casi el 1 ó 2% del P orgánico puede formar parte de los nucleótidos constituyentes del ARN y ADN de los microorganismos vivos. También se han encontrado fosfolípidos, sin embargo su contenido suele ser inferior al 1% del P orgánico total. Gran parte del fósforo orgánico aparece estar asociado a la fracción ácido fúlvico de la materia orgánica (Russell y Wild, 1988).

La variación ligera en el contenido de fósforo en el compost al final de la etapa de maduración, podría explicarse en su utilización para la formación de ácidos nucleicos en los microorganismos vivos y en el fósforo disuelto producto de los humedecimientos y su lixiviación al suelo, aunque este último fenómeno ocurriría en cantidades casi insignificantes, dadas las condiciones de riego de las pilas de compostaje. A diferencia del nitrógeno, el fósforo no forma gases que pueden ser liberados en la atmósfera (Brady *et al.*, 2008).

b. Fósforo total en el compost con guano de islas

En el gráfico 21, para el fósforo total del compost enriquecido con guano de islas, se aprecia que con excepción del tratamiento 6, los tratamientos restantes no son significativamente diferentes, indicando una homogeneidad en el contenido de fósforo total, independientemente del nivel de formulación de Guano de Islas y el momento de incorporación del mismo.

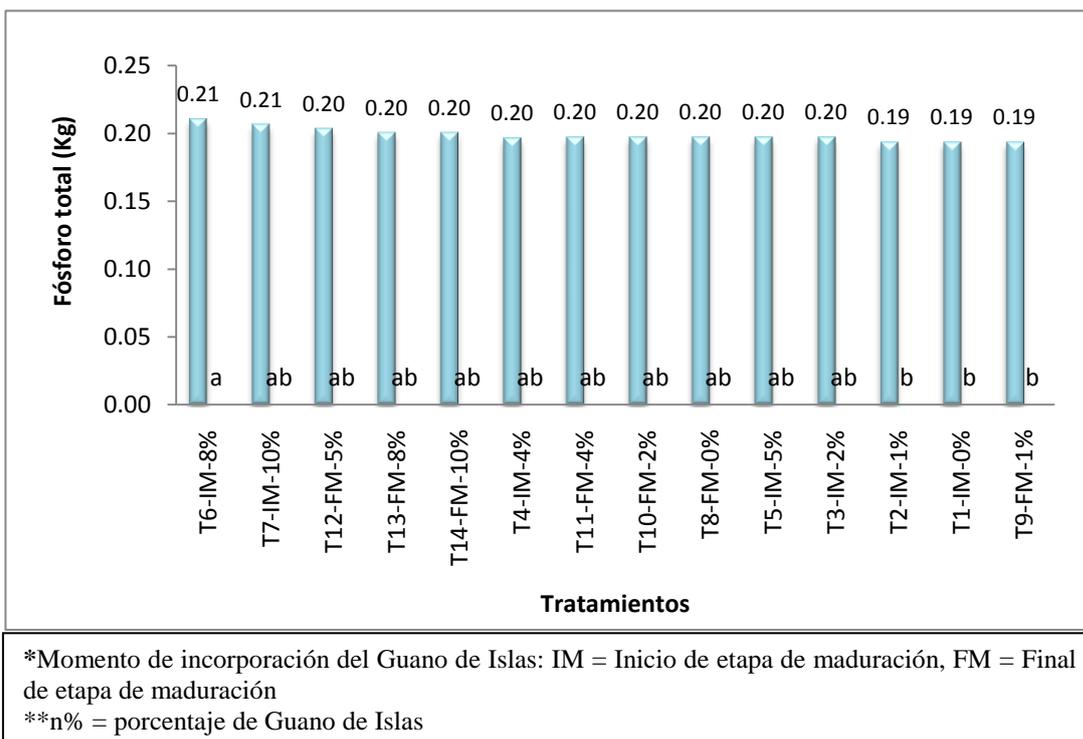


Gráfico 21: Valores promedio del fósforo total (kg) del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

El Guano de Islas presenta un 13.03% de fósforo total, es por ello que la contribución de este elemento es ligeramente mayor en los tratamientos con concentraciones de Guano de Islas más elevadas, como en el caso de los tratamientos 6 y 7. El tratamiento 6 (con Guano de Islas incorporado al inicio de la etapa de maduración) exhibe 0.21 kg de fósforo total, representando el contenido de fósforo más alto entre todos los tratamientos.

c. Variación del fósforo total

En el caso del fósforo total se aprecia un incremento en el contenido, con la incorporación del Guano de Islas, tanto al inicio como al final de la etapa de maduración en todos los tratamientos, con excepción del tratamiento 1 (100% compost), en el cual se registra una reducción en el contenido de fósforo total. El porcentaje más elevado de incremento en el fósforo total se registra para el tratamiento 7, el cual posee un 10% de Guano de Islas en su composición.

Cuadro 17: Comparación del fósforo total (kg) inicial (compost solo al inicio y final de la etapa de maduración) y del fósforo total (kg) final (compost incorporado con Guano de Islas al inicio y al final de la etapa de maduración).

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Fósforo total - Compost solo (kg)	Fósforo total - Compost con Guano de Islas (kg)	Reducción (%)	Incremento (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	0.22	0.20	12.13	
	T2	1	0.16	0.19		20.75
	T3	2	0.17	0.19		16.05
	T4	4	0.20	0.20		0.08
	T5	5	0.18	0.20		8.57
	T6	8	0.20	0.21		6.32
	T7	10	0.16	0.21		32.09
Final de la etapa de maduración	T8	0	0.17	0.20		14.71
	T9	1	0.16	0.20		18.62
	T10	2	0.15	0.20		28.21
	T11	4	0.17	0.20		13.67
	T12	5	0.18	0.20		13.33
	T13	8	0.16	0.20		20.28
	T14	10	0.16	0.20		26.48

5.2.9. Potasio

a. Potasio en el compost solo

En el gráfico 22, se observa que los tratamientos 1 al 7 evaluados al inicio de la etapa de maduración, no presentan diferencias estadísticamente significativas y se encuentran situados en un rango de 0.13 a 0.16 kg de potasio, en 18 kg de peso fresco de compost ó 10 kg en peso seco. Para el caso de los tratamientos 8 al 14, correspondientes a la etapa final de maduración, el tratamiento 8 presenta el contenido más alto de potasio (0.16 kg). Mientras que los tratamientos restantes exhiben valores comprendidos entre los 0.1 a 0.13 kg de potasio y no muestran diferencias significativas entre sí.

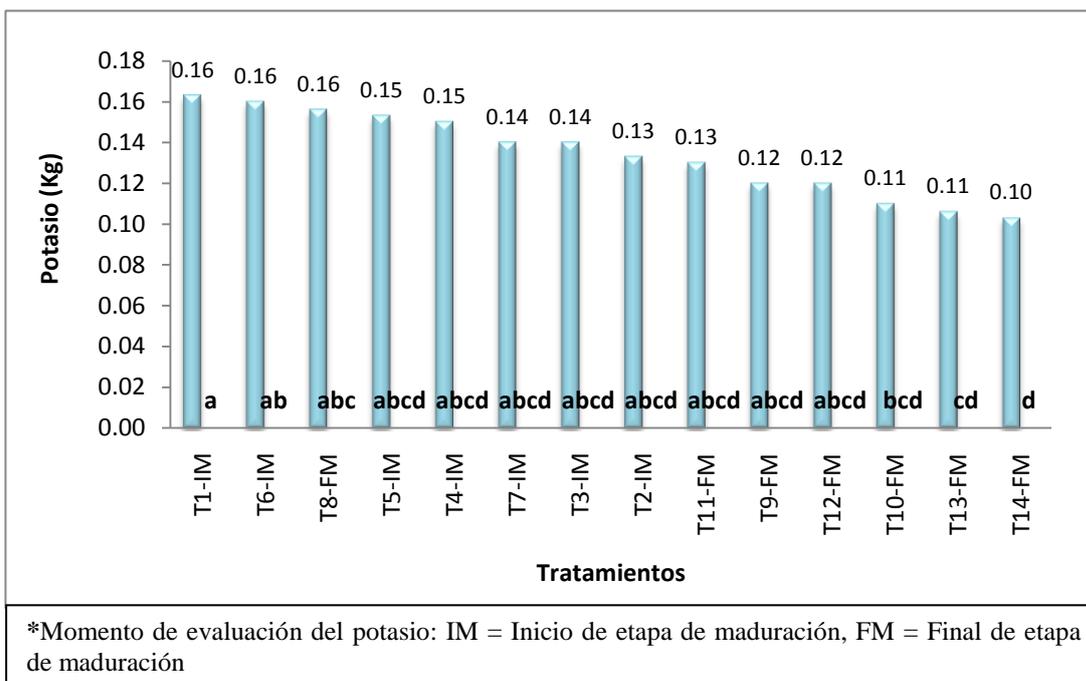


Gráfico 22: Valores promedio del potasio (kg) del compost solo evaluado al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

Existe un mayor contenido de potasio en los tratamientos medidos al inicio de la etapa de maduración, esto puede deberse a pérdidas por lixiviación producto de los riegos, sin embargo estas diferencias en pesos son mínimas.

Similarmente al fósforo, el potasio no forma ningún tipo de gases que pueden ser liberados en la atmósfera. Su comportamiento se encuentra influenciado por el intercambio de cationes y la meteorización, antes que por procesos microbiológicos (Brady *et al.*, 2008).

b. Potasio en el compost con guano de islas

El contenido de potasio en el compost con Guano de Islas para todos los tratamientos, independientemente del momento de la incorporación del Guano de Islas no presenta diferencias estadísticamente significativas, con excepción del tratamiento 6, con 0.15 kg de potasio, para aproximadamente 18 kg de peso fresco de compost ó 10 kg de peso seco. El potasio presente en los catorce tratamientos se encuentra en el rango de 0.12 a 0.15 kg El Guano de Islas presenta en su composición 2.65% de contenido de potasio, es por ello que en los diversos tratamientos, a pesar de exhibir diferentes concentraciones de Guano de Islas, no se observan diferencias significativas.

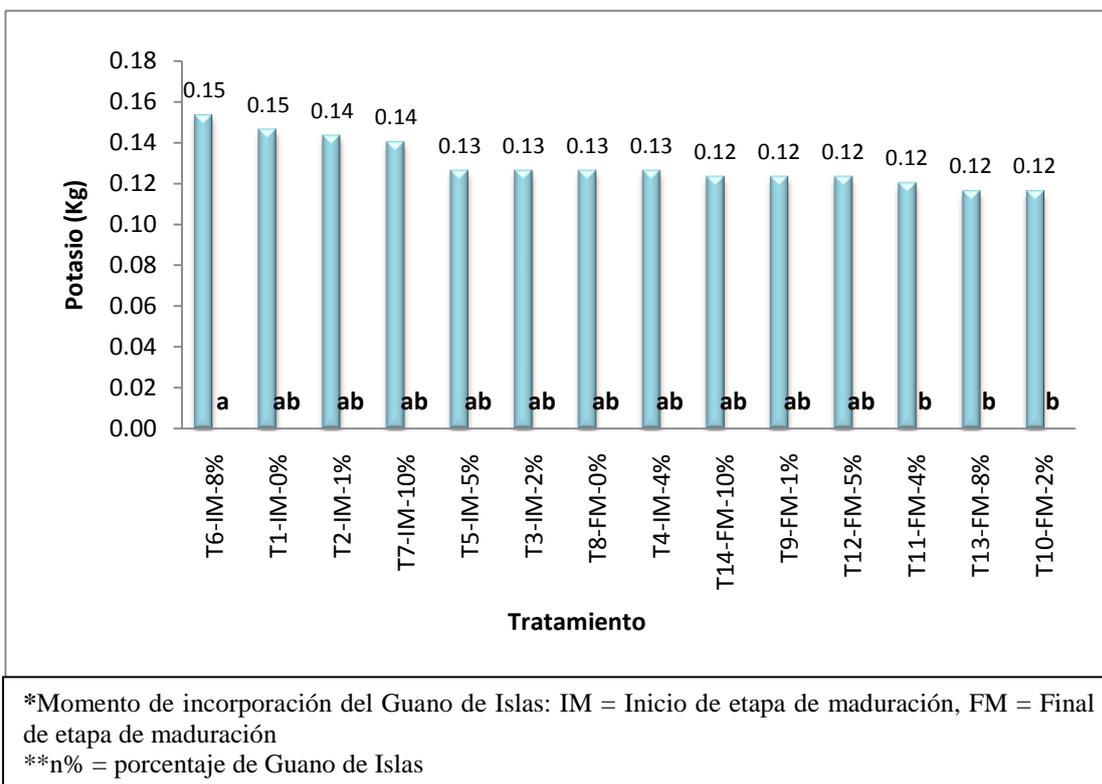


Gráfico 23: Valores promedios del potasio (kg) del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

c. Variación del potasio

El potasio en el compost con Guano de Islas incorporado al inicio de la etapa de maduración, registra menores valores en comparación al compost solo evaluado al inicio de la etapa de maduración. Los resultados nos indican que existe una ligera pérdida de potasio en el transcurso del mes adicional en el que se desarrolla la etapa de maduración hasta el momento de la cosecha, se aprecian pérdidas a pesar del aporte de potasio que implica la incorporación de Guano de Islas que pueden atribuirse a una ligera lixiviación. Sin embargo, para el tratamiento 2, se aprecia un ligero incremento en el contenido de potasio, sin que represente una diferencia significativa.

En el cuadro 18 se aprecia que en los tratamientos trabajados al final de la etapa de maduración existe un incremento en el contenido de potasio, para los tratamientos 9, 10, 12, 13 y 14. Este incremento presenta porcentajes un poco más elevados para las formulaciones con mayor porcentaje de Guano de Islas. El contenido de potasio es mayor debido al aporte de este elemento por parte del Guano de Islas.

Cuadro 18: Comparación del potasio (kg) inicial (compost solo al inicio y final de la etapa de maduración) y del potasio (kg) final (compost incorporado con Guano de Islas al inicio y al final de la etapa de maduración).

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Potasio - Compost solo (kg)	Potasio - Compost con Guano de Islas (kg)	Reducción (%)	Incremento (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	0.16	0.15	9.96	
	T2	1	0.13	0.14		7.53
	T3	2	0.14	0.13	6.66	
	T4	4	0.15	0.12	16.85	
	T5	5	0.15	0.13	17.18	
	T6	8	0.16	0.15	3.75	
	T7	10	0.14	0.14	0.32	
Final de la etapa de maduración	T8	0	0.16	0.12	21.1	
	T9	1	0.12	0.12		1.56
	T10	2	0.11	0.12		7.49
	T11	4	0.13	0.12	5.02	
	T12	5	0.12	0.12		3.87
	T13	8	0.11	0.12		9.33
	T14	10	0.1	0.12		20.56

5.2.10. Pruebas de germinación y crecimiento

a. Test del índice de germinación de Zucconi

Se hizo uso del test del índice de germinación de Zucconi con la finalidad de evaluar la fitotoxicidad, ya que se puede provocar efectos negativos en las plantas, debido a la presencia de metabolitos intermediarios fitotóxicos. Los efectos fitotóxicos de un material orgánico inmaduro se deben a diversos factores, entre los cuales destacan los contenidos de amonio, de ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados y de sales (Varnero, Rojas y Orellana, 2007).

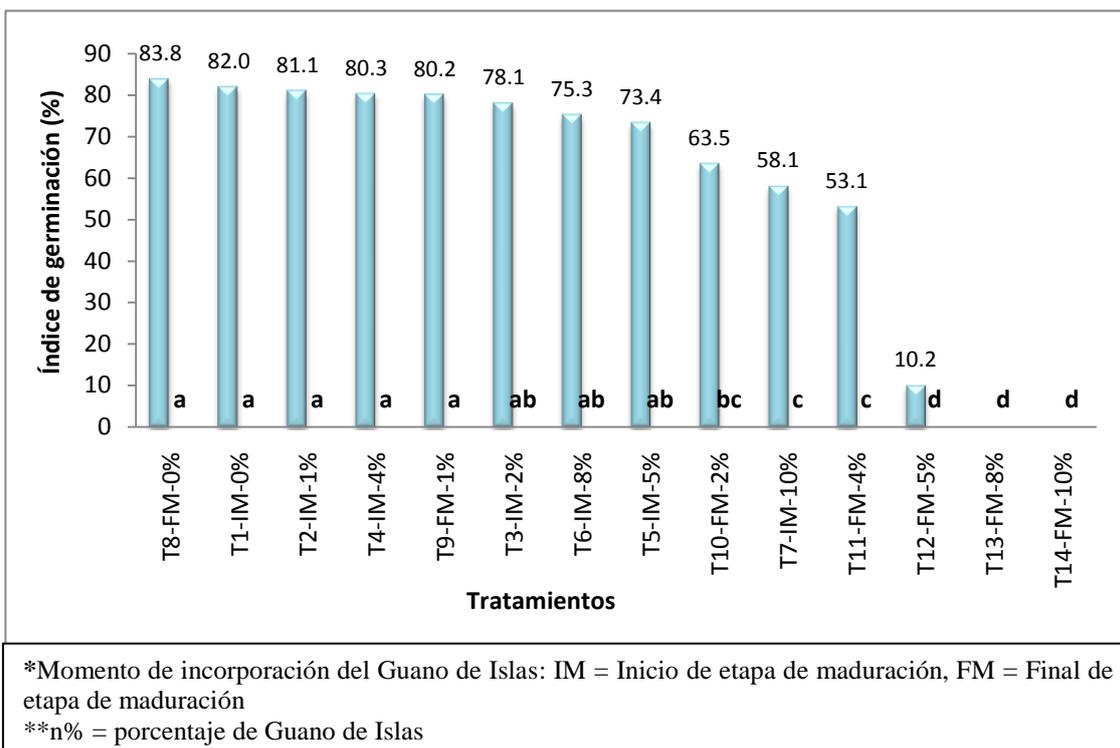


Gráfico 24: Valores promedios del índice de germinación (%) del test de Zucchini del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

Como se aprecia en el gráfico 24, los mayores porcentajes de índices de germinación se obtuvieron en los tratamientos 1 y 8, los cuales presentan en su composición un contenido de 100% de compost, conforme se aumenta la concentración de guano de isla para cada una de las formulaciones incorporadas con Guano de Islas tanto al inicio como al final de la etapa de maduración, el índice de germinación disminuye, este comportamiento se atribuye a la alta salinidad presente en el compost formulado con Guano de Islas.

Según el análisis estadístico se observa que no existe diferencia significativa para los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5 y 6, del grupo de tratamientos con incorporación de Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración. Los tratamientos 8 y 9, con incorporación de Guano de Islas al final de la etapa de maduración tampoco presentan diferencias significativas entre sí.

Cuadro 19: Valores promedio del índice de germinación (%), promedios de longitud radicular (cm) y semillas germinadas (%).

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Promedio longitud radicular (cm)	Promedio de semillas germinadas (%)	Índice de germinación (%)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	1.33	85.19	81.99
	T2	1	1.31	85.19	81.11
	T3	2	1.32	81.48	78.07
	T4	4	1.3	85.19	80.3
	T5	5	1.24	81.48	73.38
	T6	8	1.22	85.19	75.31
	T7	10	1.13	70.37	58.08
Final de la etapa de maduración	T8	0	1.36	85.19	83.84
	T9	1	1.3	85.19	80.17
	T10	2	1.18	74.08	63.5
	T11	4	1.03	70.37	53.14
	T12	5	0.36	40.4	10.19
	T13	8	-	-	-
	T14	10	-	-	-

Según el cuadro 19, en los tratamientos con Guano de Islas incorporado al inicio de la etapa de maduración, se aprecia que existió germinación para la totalidad de tratamientos (1 al 7), a diferencia de los tratamientos con Guano de Islas incorporado al final de la etapa de maduración, en donde no hubo germinación para los tratamientos 13 y 14, con los porcentajes de Guano de Islas más elevados (8% y 10% respectivamente). A partir de ello, se afirma que existe mayor presencia de contaminantes fitotóxicos para los tratamientos formulados al final de la etapa de maduración, debido a que no existe ningún periodo de degradación que permita la interacción más prolongada entre los compuestos presentes en el compost y el Guano de Islas, situación contraria a la que se presenta en el compost formulado al inicio de la etapa de maduración, en el que existe disolución de una parte de los metabolitos fitotóxicos durante toda la etapa de maduración, en el periodo de un mes.

Los tratamientos 1, 2, 4, 8 y 9 muestran valores de índices de germinación mayores al 80%, lo cual indicaría la ausencia de sustancias fitotóxicas o que estas se encuentran en muy baja concentración. Estos tratamientos coinciden con las formulaciones con porcentajes más bajos de Guano de Islas. El resto de formulaciones presentan un valor de índice de germinación comprendido entre el 50 y 80%, lo cual se interpreta como la

presencia moderada de fitotoxinas. El tratamiento 12 exhibió un índice de germinación inferior al requerido (10.19%), siendo ello un indicador de la fuerte presencia de sustancias fitotóxicas. Mientras que la fitotoxicidad en los tratamientos 13 y 14 es bastante elevada, sustentándonos en el hecho de la inexistencia de un proceso de germinación.

b. Test de Madurez (germinación en compost puro)

De acuerdo al protocolo del “Test de madurez de compost”, recomendado por el Centro de Compostaje En-Línea de la Universidad de Florida, se aceptan como maduros aquellos tratamientos cuyos porcentajes de germinación sean mayores a 80%.

Con respecto a la madurez del compost, la inestabilidad o inmadurez del compost puede producir efectos fitotóxicos. Sin embargo, la fitotoxicidad del compost puede ocurrir con composts estables o maduros debido a sustancias que no son removidas durante el proceso de compostaje (metales pesados, herbicidas persistentes, etc.)(The Waste and Resources Action Programme, 2005).

La madurez de un compost posee diversas definiciones, sin embargo puede definirse como el grado en el cual la biomasa en proceso de humificación se encuentra libre de sustancias fitotóxicas que pueden causar retrasos en la germinación o inhibir el crecimiento de la planta (The Waste and Resources Action Programme, 2005).

Cuadro 20: Valores promedios del porcentaje de semillas germinadas y evolución de la germinación en el Test de Madurez

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Días					Semillas germinadas (%)
			1	2	3	4	5	
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	0	0	0	5	8	80
	T2	1	0	0	0	3	6	60
	T3	2	0	0	0	3	6	60
	T4	4	0	0	0	2	4	40
	T5	5	0	0	0	0	0	0
	T6	8	0	0	0	0	0	0
	T7	10	0	0	0	0	0	0
Final de la etapa de maduración	T8	0	0	0	0	4	8	80
	T9	1	0	0	0	4	7	70
	T10	2	0	0	0	3	5	50
	T11	4	0	0	0	2	4	40
	T12	5	0	0	0	0	0	0
	T13	8	0	0	0	0	0	0
	T14	10	0	0	0	0	0	0

Según el cuadro 20, se observan porcentajes de germinación más elevados para los tratamientos 1 y 8, que corresponden a las formulaciones con compost al 100%. Conforme se incrementan las concentraciones al 1%, 2% y 4% de Guano de Islas, el porcentaje de germinación disminuye gradualmente. En las formulaciones de compost y Guano de Islas superiores al 4%, no se registró germinación alguna. Los resultados confirman que para los tratamientos con porcentajes de Guano de Islas más elevados, con elevada conductividad eléctrica, en el rango de 11 a 13.9 dS/m, el alto nivel de estrés salino impidió una adecuada germinación del rabanito. Las sales disminuyen el potencial osmótico, haciendo más difícil a las raíces tomar agua del sustrato. Las plantas son más susceptibles al daño provocado por la presencia de sales en etapas tempranas del crecimiento. La salinidad puede demorar o incluso impedir la germinación de semillas (Brady *et al.*, 2008). El rabanito es un cultivo moderadamente sensible a la salinidad, la salinidad máxima en la cual no se presenta disminución del rendimiento es de 1.2 dS/m (Ugás, Siura, Delgado de la Flor, Casas, Toledo, 2000).

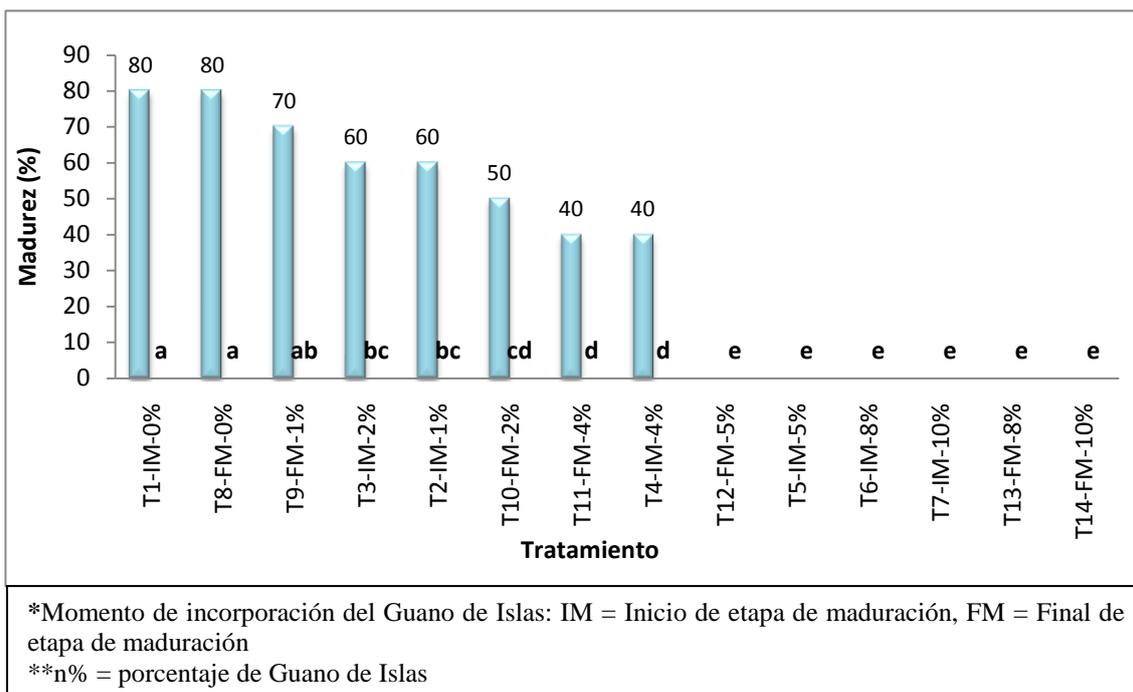


Gráfico 25: Valores promedios del Test de madurez (%) del compost incorporado con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración (tratamientos 1 al 7) y al final de la etapa de maduración (tratamientos 8 al 14).

En el gráfico 25, de acuerdo al análisis estadístico se observa la inexistencia de diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 8. Los tratamientos 2, 3 y 9 presentan un porcentaje de madurez entre un 60 a 70%, por lo que no presentan diferencias significativas entre sí. Mientras que los tratamientos 4, 10 y 11 exhiben un porcentaje de madurez entre el 40 al 50%. En los tratamientos restantes hubo ausencia de germinación.

c. Ensayo biológico

• Biomasa seca del follaje en formulaciones en maceta al 1%

De acuerdo al gráfico 26, en el análisis de la biomasa seca del follaje se observa que los tratamientos 14 y 7, los cuales contienen las formulaciones más elevadas de Guano de Islas (10%), presentan los valores promedios en peso seco más elevados, con 3.9 g/maceta, sin existir diferencias significativas entre ambos tratamientos. Los tratamientos 6, 11, 13 y 12 obtienen los siguientes valores en peso seco más elevados, sin la existencia de diferencias significativas en el grupo mención. Los tratamientos restantes con cifras de biomasa seca en un rango de 1.8 a 2.6, corresponden a tratamientos con menor porcentaje de Guano de Islas (5%, 4%, 2%, 1% y 0%) y no exhiben diferencias significativas entre sí. El tratamiento testigo posee el menor valor en peso seco, observándose diferencias

significativas con respecto a otros tratamientos por su reducido peso (0.2 g/maceta). Los testigos se encuentran compuestos en un 100% por arena de río, sin considerar ningún tipo de abonamiento. Para los testigos el crecimiento y maduración de la planta fue mínimo, viéndose reflejado en las cifras del peso seco.

En los que respecta a diferencias en los rendimientos, al considerar la incorporación del Guano de Islas al inicio o final de la etapa de maduración para tratamientos con iguales formulaciones y contenido de Guano de Islas, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre ambos momentos.

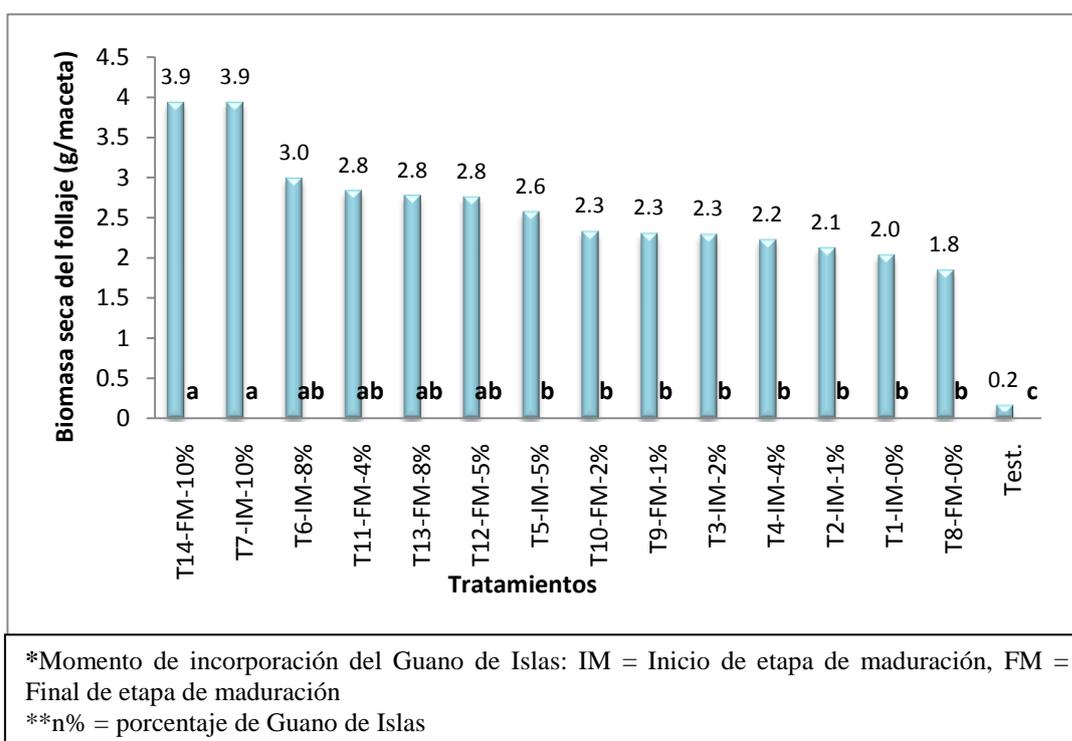


Gráfico 26: Valores promedios de la biomasa seca del follaje (g/maceta) en formulaciones al 1% (10 g de compost y 1 kg de arena de río).

La biomasa seca del follaje es uno de los parámetros más representativos del rendimiento del cultivo, ya que en lo que respecta a otros parámetros biométricos, tales como altura de planta, área foliar, no se exhibieron diferencias palpables a groso modo, por las características propias del cultivo o la etiolación producto del uso de la malla como protección ante la intensa radiación solar de la estación de verano.

Es evidente que los tratamientos 7 y 14 generaron la mayor producción de biomasa, dado que las formulaciones usadas en su abonamiento corresponden a las de mayor contenido de

Guano de Islas; por lo cual se incrementó el suministro de los tres macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio). Si bien es cierto la conductividad eléctrica de las formulaciones usadas en estos tratamientos son relativamente altas, aproximadamente entre 13 y 14 dS/m., se debe tener en consideración el efecto de dilución al incorporar un abono al suelo bajo las condiciones reales de campo que amortigua los efectos negativos de la presencia de sales. Los resultados muestran que estas formulaciones no fueron limitante para la producción de biomasa ni generaron efectos adversos, lo que nos permite tener una alternativa de uso para estas propuestas, que no servirán para todo espectro de cultivos que incluye los sensibles a sales, pero podría orientarse su comercialización a cultivos tolerantes o a zonas de suelos no salinos como en sierra y selva.

Los factores que afectan la tasa de disponibilidad del nitrógeno de la materia orgánica incluyen la humedad, temperatura y la actividad microbiana. Como regla general, en un compost estable, con una relación C/N entre 15 a 20, 12 a 15% del total de nitrógeno, con un potencial de 16 a 20% del nitrógeno total, se encontrará disponible en los primeros 6 meses (Iglesias-Jimenez y Alvarez, 1993). La liberación del nitrógeno en el compost no es tan rápida como en el caso de los fertilizantes químicos, esto se debe a que el nitrógeno es liberado lentamente en el suelo por procesos naturales microbianos (Szmidt y Dickson, 2001)

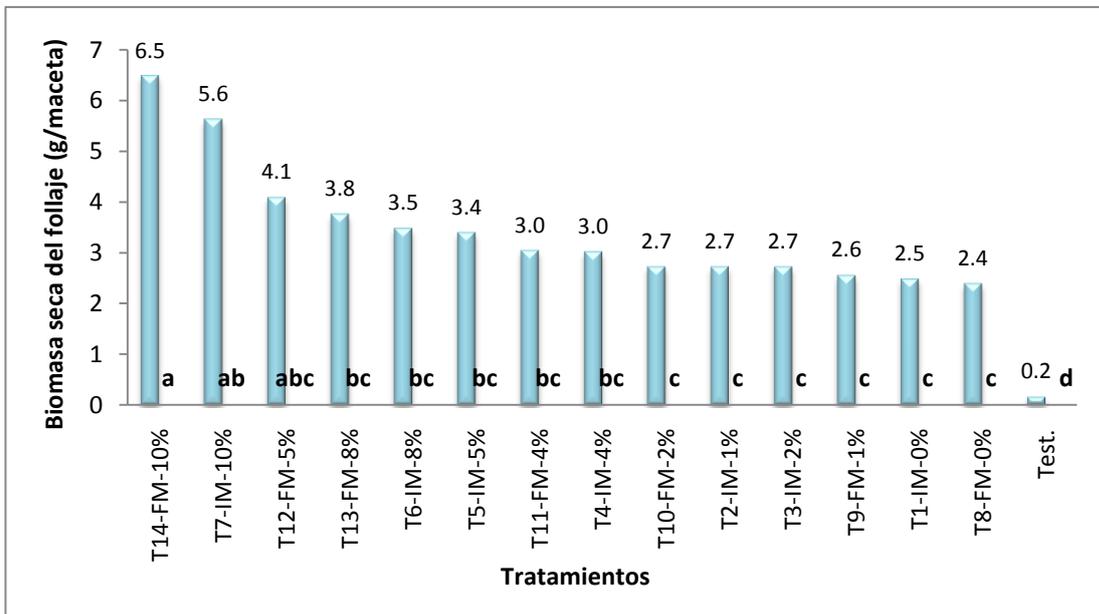
El nitrógeno es un nutriente esencial, el cual participa en la síntesis de proteínas, siendo vital para toda la actividad metabólica de la planta. Un buen suministro de nitrógeno estimula el crecimiento del cultivo, con una mayor tasa de crecimiento y expansión foliar (Brady *et al.*, 2008).

Una adecuada nutrición en fósforo mejora fundamentalmente los procesos de fotosíntesis, fijación de nitrógeno, florecimiento, fructificación y maduración. El fósforo es necesitado especialmente en los tejidos meristemáticos. El crecimiento de raíz, particularmente el desarrollo de raíces laterales es estimulado por el fósforo (Brady *et al.*, 2008).

Por otro lado, las formulaciones con contenidos más bajos de Guano de Islas al no presentar diferencias significativas en la biomasa producida, nos permiten establecerlas como propuestas de comercialización.

- **Biomasa seca del follaje en formulaciones en maceta al 2%**

En el gráfico 27, para el caso de la biomasa seca del follaje en las formulaciones de 2%, se observa la misma tendencia que en la biomasa seca evaluada para las formulaciones al 1%. Los valores más elevados en peso seco se concentran en los tratamientos 14 y 7. El tratamiento 14, cuenta con el máximo valor en peso seco (6.5 g/maceta). Las formulaciones de compost y Guano de Islas al 4%, 5% y 8%, correspondientes a los tratamientos 4, 11, 5, 12, 6 y 13, se encuentran en un rango de 3 a 4.1 g/maceta, conformando un grupo que no exhibe diferencias significativas. Los tratamientos restantes que corresponden a las formulaciones con menor porcentaje de Guano de Islas (0%, 1% y 2%), presentan los menores valores de biomasa seca, encontrándose en un rango de 2.4 a 2.7 g/maceta, sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre sí. El valor mínimo para la formulación al 2%, corresponde al tratamiento 8, con un peso de 2.40 g/maceta. No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con la misma formulación, pero con diferente momento de incorporación del Guano de Islas.



*Momento de incorporación del Guano de Islas: IM = Inicio de etapa de maduración, FM = Final de etapa de maduración
 **n% = porcentaje de Guano de Islas

Gráfico 27: Valores promedios de la biomasa seca del follaje (g/maceta) en formulaciones al 2% (20 g de compost y 1 kg de arena de río).

Cuadro 21: Valores promedios de la biomasa seca del follaje (g/maceta) a nivel de tratamientos y formulaciones en maceta.

Etapa	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	Promedios de biomasa seca del follaje 1% (g/maceta)	Promedios de biomasa seca del follaje 2% (g/maceta)	Promedios de biomasa seca del follaje por tratamiento (g/maceta)
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	2.04	2.48	2.26
	T2	1	2.13	2.73	2.43
	T3	2	2.29	2.72	2.51
	T4	4	2.23	3.02	2.63
	T5	5	2.57	3.4	2.99
	T6	8	2.99	3.48	3.24
	T7	10	3.94	5.63	4.78
Final de la etapa de maduración	T8	0	1.85	2.4	2.12
	T9	1	2.31	2.56	2.43
	T10	2	2.33	2.73	2.53
	T11	4	2.84	3.05	2.94
	T12	5	2.76	4.09	3.43
	T13	8	2.78	3.76	3.27
	T14	10	3.94	6.49	5.21
Promedio de biomasa seca del follaje* (g/maceta)			2.64	3.47	3.05

* Promedio de biomasa seca del follaje correspondiente a los 14 tratamientos

Según el cuadro 21, se observa que bajo las condiciones del experimento se presenta una mejor respuesta en el tratamiento 14 y 7 con los mayores porcentajes de Guano de Islas (10%). El tratamiento 14 (5.21 g/maceta) y el tratamiento 7 (4.78 g/maceta) presentan las cifras más elevadas, exhibiendo valores ligeramente superiores para el tratamiento incorporado con Guano de Islas al final de la etapa de maduración.

Al evaluar el promedio de biomasa seca del follaje por formulación en maceta y para la totalidad de tratamientos, la formulación al 2% presenta un promedio más elevado de peso seco con 3.47 g/maceta, diferenciándose del promedio de peso seco al 1% (2.64 g/maceta). La mayor participación en porcentaje de la formulación al 2%, le confiere un mejor aporte de N, P y K, verificándose este resultado en el desarrollo del follaje de la planta, con cifras más elevadas en peso seco a comparación de las formulaciones al 1% en macetas.

5.3 Valor fertilizante del compost enriquecido con guano de islas para ser considerado como abono orgánico.

De acuerdo al Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes, se considera como abono orgánico NPK de origen animal y vegetal a aquellos productos que presenten las siguientes características:

- La suma del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio debe ser igual o mayor de 4%.
- La relación C/N debe ser no mayor de 15.
- Cada nutriente (N total, P₂O₅ y K₂O) debe ser al menos de un 1%.

Según el cuadro 22, podemos apreciar que para todos los tratamientos la suma de nutrientes N total, P₂O₅ y K₂O es mayor a 4%, obteniéndose como valor mínimo 4.96% para el tratamiento 8 y el valor máximo de 5.97% para el tratamiento 6. En todos los tratamientos cada uno de los nutrientes (N total, P₂O₅ y K₂O) presenta un valor mayor al 1%.

En las formulaciones trabajadas y bajo las condiciones del experimento, la relación C/N constituye una limitante para considerar a todos los tratamientos como abonos orgánicos, ya que los tratamientos con porcentajes de participación de guano de islas menores presentan relaciones C/N mayores a 15, como consecuencia a ello los tratamientos 1, 2 y 8 no son catalogados como abonos orgánicos.

De acuerdo al análisis realizado en el cuadro 22, son considerados como abonos orgánicos según el Real Decreto 506/2013 los tratamientos 3 al 7, pertenecientes al inicio de la etapa de maduración, mientras que para el caso de los tratamientos incorporados con guano de islas al final de la etapa de maduración, los tratamientos 9 al 14 cumplen con los requisitos necesarios para ser denominados como abonos orgánicos.

Cuadro 22: Porcentaje de Nitrógeno, fósforo y potasio y suma de N total, P₂O₅ y K₂O en el compost enriquecido con guano de islas.

Etapas	Muestra	Porcentaje de guano de islas (%)	N total (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)	Suma N total, P₂O₅ y K₂O (%)	Relación C/N
Inicio de la etapa de maduración	T1	0	1.73	1.96	1.48	5.16	15.32
	T2	1	1.81	1.94	1.43	5.18	15.18
	T3	2	1.88	1.93	1.29	5.1	14.74
	T4	4	2.06	1.96	1.24	5.26	13.37
	T5	5	2.09	1.97	1.27	5.33	13.27
	T6	8	2.33	2.09	1.55	5.97	11.88
	T7	10	2.45	2.06	1.37	5.87	11.6
Final de la etapa de maduración	T8	0	1.76	1.95	1.25	4.96	15.1
	T9	1	1.88	1.95	1.23	5.07	14.53
	T10	2	1.91	1.96	1.18	5.06	14.4
	T11	4	2.15	1.95	1.21	5.31	13.16
	T12	5	2.22	2.01	1.24	5.47	12.76
	T13	8	2.35	1.97	1.15	5.48	12.08
	T14	10	2.8	2.03	1.23	6.06	10.31

5.4 Caracterización de los compost obtenidos.

a. Caracterización del compost del tratamiento 1 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 8 (final de la etapa de maduración).

Los tratamientos 1 y 8 presentan en su composición 100% de contenido de compost, siendo evaluados al final de la etapa de maduración en el periodo de 5 meses, sin que exista una adición de Guano de Isla en ninguna de las etapas, por lo que en términos generales se obtiene un compost con características homogéneas, sin la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los resultados de los parámetros en evaluación.

La diferencia en el momento de la ejecución y preparación de los tratamientos radica en el volumen utilizado para ambos tratamientos durante la etapa de maduración. En el tratamiento 1, se almacenó el compost durante el periodo de un mes, en un saco de polipropileno, considerando un volumen de 19.88 kg en peso fresco ó de 10 kg en peso

seco. De otro lado, el tratamiento 8 prosiguió durante el mes restante con el proceso de compostaje en pilas de aproximadamente 142 a 190 kg.

En el desarrollo de la etapa de maduración para ambos tratamientos no se registraron fluctuaciones de temperatura que pudieran afectar el normal desarrollo del proceso, manteniéndose la temperatura alrededor de los 25°C para ambos tratamientos.

Cuadro 23: Caracterización del compost del tratamiento 1 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 8 (final de la etapa de maduración).

Parámetro	0% guano de islas y 100% compost	
	T1 - Inicio de la etapa de maduración	T 8 - Final de la etapa de maduración
pH	8.20	8.17
CE (dS/m)	5.53	5.87
Humedad (%)	40.63	43.51
MO (%)	45.53	45.88
Nitrógeno Total (kg)	0.17	0.18
C/N	15.32	15.10
Fósforo total (kg)	0.20	0.20
Potasio (kg)	0.15	0.12
Zuconí IG (%)	81.99	83.84
Madurez (%)	80	80
Biomasa seca del follaje 1% (g/maceta)	2.04	1.85
Biomasa seca del follaje 2% (g/maceta)	2.48	2.4

b. Caracterización del compost del tratamiento 2 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 9 (final de la etapa de maduración).

Según el cuadro 24, en el caso de los tratamientos 2 y 9, los cuales presentan en su composición guano de islas en un porcentaje 1% y compost en un 99%, no se observan diferencias significativas independientemente del momento de incorporación del guano de isla, al inicio o final de la etapa de maduración. Al enriquecer el compost con guano de isla, se aprecia una variación en los valores de conductividad eléctrica, originándose un

aumento en la concentración de sales, obteniéndose valores en el rango de 7.33 a 7.53 dS/m.

Los resultados del test de Zucconi presentan valores superiores a 80%, indicando la ausencia de sustancias fitotóxicas o que estas se encuentran en muy baja concentración. Sin embargo en el test de madurez, el porcentaje de germinación disminuye hasta un valor de 60%, atribuyéndose este resultado a la mayor presencia de sales generada por la incorporación del guano de islas.

Cuadro 24: Caracterización del compost del tratamiento 2 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 9 (final de la etapa de maduración).

Parámetro	1% guano de islas y 99% compost	
	T2- Inicio de la etapa de maduración	T9 - Final de la etapa de maduración
pH	8.04	8.09
CE (dS/m)	7.33	7.53
Humedad (%)	41.22	41.06
MO (%)	47.16	47.04
Nitrógeno total (kg)	0.18	0.19
C/N	15.18	14.53
Fósforo total (kg)	0.19	0.20
Potasio (kg)	0.14	0.12
Zucconi IG (%)	81.11	80.17
Madurez (%)	60	70
Biomasa seca del follaje 1% (g/maceta)	2.13	2.31
Biomasa seca del follaje 2% (g/maceta)	2.73	2.56

c. Caracterización del compost del tratamiento 3 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 10 (final de la etapa de maduración).

De acuerdo al cuadro 25, en los tratamientos del compost formulado con guano de islas en un porcentaje de 2% y compost en un 98%, se aprecia que existe homogeneidad en los resultados de las variables evaluadas con excepción del pH, en el que existe diferencia

significativa entre el tratamiento con guano de isla incorporado al inicio de la etapa de maduración (tratamiento 3) y final de la etapa de maduración (tratamiento 10), como se observa en el gráfico 9, sin embargo los valores de pH para ambos tratamientos se encuentran dentro de un rango óptimo de pH (5 a 8.5), para considerar al compost como un producto final.

La conductividad eléctrica del compost se incrementa a consecuencia de la mayor presencia de guano de islas en ambos tratamientos. Este resultado también se ve reflejado en el test de Zucconi y la prueba de madurez, en los cuales el porcentaje de germinación exhibe valores menores, indicando la presencia de metabolitos fitotóxicos en forma moderada y un elevado nivel salinidad.

Cuadro 25: Caracterización del compost del tratamiento 3 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 10 (final de la etapa de maduración).

Parámetro	2% guano de islas y 98% compost	
	T3- Inicio de la etapa de maduración	T10 - Final de la etapa de maduración
pH	7.97	8.10
CE (dS/m)	8.76	9.09
Humedad (%)	41.24	39.32
MO (%)	47.56	47.21
Nitrógeno Total (kg)	0.19	0.19
C/N	14.74	14.40
Fósforo total (kg)	0.19	0.20
Potasio (kg)	0.13	0.12
Zucconi IG (%)	78.07	63.5
Madurez (%)	60	50
Biomasa seca del follaje 1% (g/maceta)	2.29	2.33
Biomasa seca del follaje 2% (g/maceta)	2.72	2.73

d. Caracterización del compost del tratamiento 4 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 11 (final de la etapa de maduración).

Según el cuadro 26, en los tratamientos 4 y 11 no se observan diferencias significativas en los resultados de los parámetros evaluados, con excepción de los resultados concernientes al índice de germinación de Zucconi, en el cual se puede apreciar un índice de germinación elevado (80.3%) para el tratamiento trabajado al inicio de la etapa de maduración, mientras que en el tratamiento 11, la germinación decae hasta un porcentaje de 53.14.

A pesar del incremento en los niveles de salinidad, se muestran mejores resultados en la producción de biomasa seca de follaje, especialmente para las formulaciones en maceta al 2%, en los cuales se obtienen valores de 3.02 a 3.05 g/maceta, sin que existan diferencias significativas entre los tratamientos trabajados al inicio o final de la etapa de maduración. Este resultado se atribuye a la mayor presencia del nitrógeno total, producto de la incorporación del guano de isla.

Cuadro 26: Caracterización del compost del tratamiento 4 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 11 (final de la etapa de maduración).

Parámetro	4% guano de islas y 96% compost	
	T4 - Inicio de la etapa de maduración	T11 - Final de la etapa de maduración
pH	7.93	7.99
CE (dS/m)	10.19	10.18
Humedad (%)	39.31	43.19
MO (%)	47.53	48.35
Nitrógeno Total (kg)	0.21	0.21
C/N	13.37	13.16
Fósforo total (kg)	0.20	0.20
Potasio (kg)	0.12	0.12
Zucconi IG (%)	80.3	53.14
Madurez (%)	40	40
Biomasa seca del follaje 1% (g/maceta)	2.23	2.84
Biomasa seca del follaje 2% (g/maceta)	3.02	3.05

e. Caracterización del compost del tratamiento 5 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 12 (final de la etapa de maduración).

En el caso de las formulaciones con 5% de guano de islas y 95% de compost, se observa el incremento en la conductividad eléctrica hasta valores de 11.02 y 11.09 dS/m, según el cuadro 27. La relación C/N disminuye como consecuencia del aporte de nitrógeno presente en el guano de islas. Con respecto al índice de germinación de la prueba de Zucconi, se muestran diferencias significativas entre el tratamiento enriquecido con guano de islas al inicio y final de la etapa de maduración. El índice de germinación es mucho menor para el compost formulado al final de la etapa de maduración (10.19%), a diferencia del compost trabajado al inicio de la etapa de maduración, el cual presenta un índice de germinación de 73.38%.

En la prueba de madurez no se evidenció germinación alguna para ambos tratamientos, lo cual es atribuible al alto nivel de salinidad, el cual contribuye a la disminución del potencial osmótico y la inhibición en la germinación de la planta.

El contenido de materia orgánica no exhibe diferencias significativas entre tratamientos incorporados al inicio o final de la etapa de maduración, sin embargo este parámetro adquiere mayores valores conforme se incrementa el contenido de guano de islas.

Cuadro 27: Caracterización del compost del tratamiento 5 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 12 (final de la etapa de maduración).

Parámetro	5% guano de islas y 95% compost	
	T5- Inicio de la etapa de maduración	T12 - Final de la etapa de maduración
pH	7.95	7.97
CE (dS/m)	11.02	11.09
Humedad (%)	40.26	41.40
MO (%)	47.74	48.80
Nitrógeno Total (kg)	0.21	0.22
C/N	13.27	12.76
Fósforo total (kg)	0.20	0.20
Potasio (kg)	0.13	0.12
Zuconi IG (%)	73.38	10.19
Madurez (%)	0	0
Biomasa seca del follaje 1% (g/maceta)	2.57	2.76
Biomasa seca del follaje 2% (g/maceta)	3.4	4.09

f. Caracterización del compost del tratamiento 6 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 13 (final de la etapa de maduración).

En el cuadro 28, para el caso de las formulaciones con guano de islas al 8%, se observan mayores valores de nitrógeno total y por ende una disminución de la relación C/N, sin que existan diferencias significativas entre tratamientos al inicio y final de la etapa de maduración para ambos parámetros.

Al realizar el análisis del índice de germinación de Zuconi se puede apreciar la inexistencia de germinación para el tratamiento 13, correspondiente al final de la etapa de maduración, a diferencia del tratamiento 6, en el cual el porcentaje del índice de germinación es de 75.3. En los tratamientos formulados al inicio de la etapa de maduración existe un periodo de degradación entre el compost y el guano de islas, de modo que se presenta una disolución de los metabolitos fitotóxicos que abundan en el medio, mientras que en los tratamientos incorporados al final de la etapa de maduración, no existe una etapa

de interacción más prolongada entre ambos compuestos que conlleve a la disminución en los niveles de fitotoxicidad.

En el test de madurez no se registra germinación alguna para ninguno de los tratamientos, como consecuencia al alto nivel de estrés salino (12 dS/m).

Cuadro 28: Caracterización del compost del tratamiento 6 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 13 (final de la etapa de maduración).

Parámetro	8% guano de islas y 92% compost	
	T6- Inicio de la etapa de maduración	T13 - Final de la etapa de maduración
pH	7.86	7.94
CE (dS/m)	12.12	12.11
Humedad (%)	36.86	41.80
MO (%)	47.78	48.87
Nitrógeno Total (kg)	0.23	0.23
C/N	11.88	12.08
Fósforo total (kg)	0.21	0.20
Potasio (kg)	0.15	0.12
Zucconi IG (%)	75.31	0
Madurez (%)	0	0
Biomasa seca del follaje 1% (g/maceta)	2.99	2.78
Biomasa seca del follaje 2% (g/maceta)	3.48	3.76

g. Caracterización del compost del tratamiento 7 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 14 (final de la etapa de maduración).

De acuerdo al cuadro 29, los tratamientos 7 y 14 generan la mayor producción de biomasa seca, tanto en las formulaciones en maceta al 1% como al 2%, en comparación con los tratamientos restantes con porcentajes de guano de islas menor. Este resultado se sustenta en el mayor suministro de nitrógeno a la planta, presentando el nitrógeno total valores de 0.24 kg (tratamiento 7) y 0.28 kg (tratamiento 14), y representando los valores mayores de nitrógeno total obtenidos del total de tratamientos. Existe diferencia significativa entre ambos valores, como se aprecia en el gráfico 17, lo cual podría originarse debido a

pérdidas por volatilización del amoníaco durante la etapa de maduración, para el tratamiento 7.

Se recomienda el uso del tratamiento 7, por su menor índice de fitotoxicidad (con un porcentaje de germinación de 58.08%), a diferencia del tratamiento 14, en el cual no se registra germinación alguna. A pesar de que el tratamiento 7 presenta menores valores de nitrógeno total en comparación al tratamiento formulado al final de la etapa de maduración, se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa en la producción de biomasa seca de follaje, bajo las condiciones desarrolladas en el presente experimento.

Cuadro 29: Caracterización del compost del tratamiento 7 (inicio de la etapa de maduración) y tratamiento 14 (final de la etapa de maduración).

Parámetro	10% guano de islas y 90% compost	
	T7- Inicio de la etapa de maduración	T14 - Final de la etapa de maduración
pH	7.83	7.93
CE (dS/m)	13.94	13.90
Humedad (%)	42.65	39.02
MO (%)	48.89	49.64
Nitrógeno Total (kg)	0.24	0.28
C/N	11.60	10.31
Fósforo total (kg)	0.21	0.20
Potasio (kg)	0.14	0.12
Zuconi IG (%)	58.08	0
Madurez (%)	0	0
Biomasa seca del follaje 1% (g/maceta)	3.94	3.94
Biomasa seca del follaje 2% (g/maceta)	5.63	6.49

En resumen, con respecto a los parámetros evaluados para el compost enriquecido con guano de islas, se puede afirmar:

- En la evaluación de la calidad del compost incorporado con Guano de Islas, al incrementarse el porcentaje en la concentración de Guano de Islas, bajo las condiciones del experimento, se observa un ligero descenso en el valor del pH, independientemente del momento de incorporación del Guano de Islas, se efectuó este al inicio o final de la etapa de maduración.
- Los valores de humedad del compost enriquecido con Guano de Islas al inicio y final de la etapa de maduración, presentan valores de humedad adecuados para el compost como producto final.
- La conductividad eléctrica del compost enriquecido con Guano de Islas adquiere valores más elevados al incrementarse las concentraciones de Guano de Islas, como resultado del alto contenido de sales presente en el Guano de Islas. La elevada conductividad eléctrica del Guano de Islas constituye una limitante al momento de considerar formulaciones con contenido de Guano de Islas en porcentajes más elevados.
- La presencia de materia orgánica en el compost es mayor, conforme se incrementan los porcentajes de Guano de Islas en las formulaciones finales, aportando el Guano de Islas materia orgánica al producto final. Sin embargo se registran reducciones no significativas en el contenido de materia orgánica para el Guano de Islas incorporado al inicio de la etapa de maduración, a diferencia del Guano de Islas adicionado al final de la etapa de maduración en el cual se produjo un aumento en el contenido de materia orgánica.
- Los niveles de nitrógeno total se incrementan con la adición del Guano de Islas. En la evaluación del nitrógeno total no se registran diferencias significativas en los tratamientos, indistintamente del momento de incorporación de Guano de Islas, con excepción de los tratamientos 14 y 7, los cuales presentan las formulaciones con Guano de Islas de concentración más elevada (10%), resultando el contenido de nitrógeno total mayor para el compost incorporado con Guano de Islas al final de la etapa de maduración (tratamiento 14).
- La relación C/N para el compost incorporado con Guano de Islas como producto final posee valores adecuados ya que presenta valores menores a 20. Los tratamientos que presentan menores relaciones carbono nitrógeno son aquellos que contienen mayor

porcentaje de Guano de Islas, por el aporte de nitrógeno total que contribuye a disminuir la relación carbono nitrógeno.

- Al evaluar los resultados del pH, conductividad eléctrica, humedad, materia orgánica, relación C/N, fósforo total y potasio no se observaron diferencias estadísticamente significativas en los dos momentos de incorporación de Guano de Islas, al inicio y final de la etapa de maduración.
- Según el Real Decreto 506/2013, son considerados como abonos orgánicos los tratamientos 3 al 7 (formulaciones con 2%, 4%, 5%, 8% y 10% de guano de islas), pertenecientes al inicio de la etapa de maduración, mientras que para el caso de los tratamientos incorporados con guano de islas al final de la etapa de maduración, los tratamientos 9 al 14 (formulaciones con 1%, 2%, 4%, 5%, 8% y 10% de guano de islas) cumplen con los requisitos necesarios para adquirir la denominación de abonos orgánicos.
- La fitotoxicidad se evaluó mediante el test de Zucconi, los tratamientos con concentraciones más elevadas de Guano de Islas exhiben mayores niveles de fitotoxicidad, esto se atribuye a la alta salinidad presente en los tratamientos con formulaciones de Guano de Islas en porcentajes más elevados (8 a 10%).
- Los tratamientos incorporados con Guano de Islas al final de la etapa de maduración presentan una mayor fitotoxicidad en comparación con los tratamientos formulados al inicio de la etapa de maduración. Esto se evidencia al no registrarse germinación alguna en los tratamientos 13 y 14, con porcentajes de Guano de Islas del 8 y 10%. En los tratamientos con incorporación de Guano de Islas al final de la etapa de maduración no existe un periodo de degradación más prolongado entre el compost y el Guano de Islas, que permita la interacción más prolongada entre los compuestos presentes, situación contraria a la que ocurre en el compost formulado al inicio de la etapa de maduración, en el que existe disolución de una parte de los metabolitos fitotóxicos durante toda la etapa de maduración, en el periodo de un mes.
- La madurez del compost enriquecido con Guano de Islas se evaluó a través del Test de Madurez, obteniendo como resultado porcentajes de germinación más elevados para las formulaciones con menor concentración de Guano de Islas. Se registró germinación para las formulaciones con contenido de Guano de Islas en 0%, 1%, 2% y 4%, en ambos momentos de incorporación de Guano de Islas. En los tratamientos restantes con

formulaciones de Guano de Islas más elevadas no existió germinación alguna, debido al alto nivel de estrés salino. No se observan diferencias estadísticamente significativas entre ambos momentos de incorporación de Guano de Islas.

- En los ensayos biológicos se registró crecimiento para todos los tratamientos en macetas con formulaciones de compost y arena. Los pesos secos más elevados se registraron en los tratamientos 7 y 14 (10% de Guano de Islas), como consecuencia a la mayor presencia de Guano de Islas en dichos tratamientos y por ende el incremento en el contenido de nitrógeno y fósforo en el abonamiento. Si bien la conductividad eléctrica de los tratamientos 7 y 14, son relativamente altas (13.9 dS/m), al disolver el compost en otros tipos de sustratos en condiciones reales de campo, se amortiguan los efectos negativos de la concentración de sales.
- Bajo las condiciones del experimento, según las evaluaciones realizadas para las 7 formulaciones trabajadas en dos momentos de incorporación del Guano de Islas, el compost enriquecido con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración, presenta mejores resultados en términos de calidad del producto final. Los niveles de fitotoxicidad para el compost con Guano de Islas trabajado al inicio de la etapa de maduración resultan significativamente menores, en comparación al compost con Guano de Islas incorporado al final de la etapa de maduración. Los resultados de los otros parámetros físico-químicos y biológicos evaluados para ambos momentos no muestran diferencias estadísticamente significativas.

VI. CONCLUSIONES

1. Las seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas al final de la etapa de maduración cumplen con los criterios técnicos de calidad requeridos para ser considerados como abonos orgánicos. Con respecto a los tratamientos incorporados con guano de islas al inicio de la etapa de maduración, las cinco formulaciones con porcentajes de guano de islas superiores cumplen con los requisitos técnicos para su denominación como abonos orgánicos.
2. Las seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas al inicio y final de la etapa de maduración cumplen con los criterios de calidad en evaluación, contribuyendo al suministro de nutrientes para el óptimo desarrollo de la planta. Si bien las formulaciones con un mayor porcentaje de guano de islas presentan conductividades eléctricas elevadas, el aporte de los macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) generan una mayor producción de biomasa.
3. Bajo las condiciones del experimento se considera que el momento óptimo para la incorporación del guano de islas se realiza al inicio de la etapa de maduración, sustentándose en los menores niveles de fitotoxicidad obtenidos para los tratamientos formulados al inicio de la etapa de maduración. En la evaluación de los parámetros restantes no se presentaron diferencias significativas, con excepción del nitrógeno total para las formulaciones con guano de islas al 10%, sin embargo los resultados en términos de efecto en la producción de materia seca foliar no muestran diferencias significativas independientemente de su incorporación al inicio o final de la etapa de maduración.

VII. RECOMENDACIONES

1. Evaluar por periodos más prolongados la interacción del compost con Guano de Islas, en porcentajes mayores de concentración de Guano de Islas, en su incorporación al inicio de la etapa de maduración, con la finalidad de determinar si existen variaciones significativas en el pH o pérdidas en el contenido de materia orgánica y nitrógeno total.
2. Hacer uso de un mayor volumen de compost enriquecido con Guano de Islas al inicio de la etapa de maduración y en el transcurso de toda esta etapa. Realizar un monitoreo de la temperatura y el contenido de materia orgánica y nitrógeno total, los cuales podrían sufrir variaciones al incrementar el contenido de biomasa a compostar.
3. Adicionar enzimas o microorganismos selectos al compost enriquecido con Guano de Islas, con la finalidad de acelerar el proceso de compostaje o proveer un mejor balance nutricional o ambiental para los microorganismos que intervienen en el proceso.
4. Realizar ensayos biológicos con formulaciones de compost enriquecido con Guano de Islas en concentraciones de Guano de Islas más elevadas para evaluar la respuesta en el rendimiento del cultivo, así como hacer uso de otros tipos de sustratos que se asemejen a las condiciones de cultivo en campo.
5. Realizar un análisis de las sustancias húmicas presentes en el compost enriquecido con Guano de Islas, para evaluar el nivel de humificación de la materia orgánica y obtener una prueba complementaria del grado de estabilización y madurez del compost.
6. Evaluar la incorporación del Guano de Islas en otras etapas del proceso de compostaje (etapa mesofílica y termofílica) y monitorear la duración y variabilidad en la descomposición de la biomasa a compostar.
7. Evaluar la etapa de maduración del compost enriquecido con Guano de Islas en condiciones de laboratorio, con la finalidad de tener un monitoreo y control más detallado de los parámetros influyentes en el proceso.
8. Analizar la estabilidad biológica del compost enriquecido con Guano de Islas para su uso final con la prueba AT4, la cual mide el consumo de oxígeno en la descomposición de la biomasa en condiciones aeróbicas en un periodo de 4 días y la prueba GS21, en la que se evalúa la generación de gas en condiciones anaeróbicas durante 21 días.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRO RURAL, 2004. Guano de Islas. Ministerio de Agricultura. Dirección de Operaciones. Subdirección de Insumos y Abonos. 1-4.
- AGRO RURAL, 2010. Informe de seguimiento trimestral del Plan Operativo Institucional 2010. 38 pp.
- Alarcón, F. 2004. Evaluación del Uso de Diferentes Técnicas Biotecnológicas para la Producción de Compost. Tesis para Optar el Título de Magíster. Post - Grado Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú. 123 pp.
- Álvarez, J. 2008. Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 48 pp.
- Barrena, R. 2006. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Tesis Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Ingeniería Química. 315 pp.
- Bazan R. 1996. Manual para el análisis químico de suelos, aguas, plantas. UNALM. Fundación Perú. Lima. 55 pp.
- Binner, E. 2007. Humic Acids – A quality criterion for composts. BOKU-University of Natural Resources and Applied Life Sciences. Viena, Austria. 12 pp.
- Brady, N., Weil, R., 2008. The Nature and Properties of Soils. 14th edition. Pearson Prentice Hall. USA. 990 pp.
- Brinton, W. 2000. Compost quality standards & guidelines. Preparado para New York State Association of Recyclers. Woods End Research Laboratory. 62 pp.
- Bueno, P., Díaz, M. y Cabrera, F., 2010. Factores que afectan el proceso de compostaje. Universidad de Huelva. Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica. España. 14 pp.
- Cancino, J. 1960. Importancia de la fracción orgánica del guano de islas. Revista de la Sociedad Química de México. IV (3) 69-75.
- Carpena, O. 1970. Estado actual de la química de las sustancias húmicas. Universidad de Murcia. 56 pp.
- Carrasco, N. 2009. Evaluación de tres diferentes tipos de sustratos (bagacillo, aserrín e ichu picado) en la producción de EM-Compost. Tesis para optar el título de ingeniero ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 106 pp.

- Castrillón, O., Bedoya, O. y Montoya, D., 2006. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. 12 pp.
- Castro, L. 1995. Biotecnología Agrocolombiana. Fundación Colombiana de Ciencias. 107 pp.
- Climent, M., Abad, M. y Aragón, P., 1996. El compost de Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.). Sus características y Aprovechamiento en Agricultura. Ediciones y Promociones Lav. S. L. España. 187 pp.
- Cooperband, L. 2002. The Art and Science of Composting. A resource for farmers and compost producers. University of Wisconsin-Madison. USA. 67 pp.
- Cooperband, L. y Foley, B.J. 2002. Paper mill residuals and compost effects on soil physical properties in an irrigated vegetable rotation. J. Env. Qual. 31 (6): 2086-2095.
- Cumba, A. 2004. Enmiendas de suelos. Minerales del Recreo S.A. Córdoba-Argentina. 19 pp.
- Escalona, J. 1984. Empleo de Guano de Islas Rico como alternativa en la Fertilización con úrea en Estanques de Crianza de Langostinos. Tesis para optar el título de ingeniero pesquero. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 104 pp.
- Fauci, M., Bezdicek, D., Caldwell, D. y Finch, R. 1999. End Product Quality and Agronomic Performance of Compost. Compost Science & Utilization. 7 (2): 17-29.
- Flaig, W., Beutelspacher, W. y Rietz., E., 1975. Chemical Composition and Physical Properties of Humic Substances. Soil Components: Vol. 1. Organic Components J.E. Gieseking, Ed., Springer-Verlag, Nueva York.
- Frioni, L. 1999. Procesos Microbianos. Editorial de la Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. 268 pp.
- Gary, C. 1990. Química Analítica. Editorial Limusa. México. 304 pp.
- Ghabbour, E. y Davies, G. 2002. Humic substances, structures, models and functions. Royal Society of Chemistry. 271-279.
- Gobierno Español, 2013. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. 78 pp.

- Goya, S., Dhull, S. y Kappoor, K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresour. Technol.*, 96(14):1584-1591
- Guerrero, J. 1993. Abonos orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico del suelo. Lima, Edición RAAA (Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos). 89 pp.
- Hatcher, P., Faulon, J., Clifford, D., Mathews, J. 1994. A Three-dimensional Structural Model for Humic Acids from Oxidized Soil. *Humic Substances en the Global Environment and Implications on Human Health*. Ed: N. Senesi and T.M. Miano. Elsevier Science B.V. 130, 271-277.
- Haug, R. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida. 717 pp.
- Hobson, R. y Page H. 1932. Studies on the carbon and nitrogen cycles of the soil. *Journal of Agricultural Science*. 22, 297-299.
- Homer, C. y Parker P. 1986. *Métodos de análisis para suelos, plantas y agua*. Editorial Trillas. México. 115 pp.
- Iglesias-Jimenez, E. y Alvarez C. E., 1993. Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biol. Fert. Soils* 16: 313-318.
- Imas, P. 2005. El Potasio nutriente esencial para aumentar el rendimiento y calidad de las cosechas. Israel. 27 pp.
- Instituto Nacional de Normalización, 2004. Norma Chilena Oficial: Compost-Clasificación y requisitos. NCH2880.Of2004. 27 pp.
- Jackson, M. 1970. *Análisis químico de suelos*. Ediciones Omega. España. 662 pp.
- Jhorar, B., Phogat, V. y Malik, E. 1991. Kinetics of composting rice Straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Rest. Rehabil.* 5, 297-306.
- Kiehl, E. 1985. *Fertilizantes orgánicos*. Editora agronómica Ceres Ltda. Sao Paulo, Brasil. 439 pp.
- Kimura, R. 2005. Evaluación de los efectos del producto "ENZYMPLUS" (activador biológico) en la elaboración de compost utilizando dos tipos de estiércol (vacuno y ovino). Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae. Escuela de Post-Grado, especialidad de ciencias ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú. 106 pp.

- Kononova, M. 1966. Soil Organic Matter. Pergamon, Elmsford, Nueva York.
- Kutzner, H. 2000. Microbiology of composting. En Kldn J. y Winter J. Biotechnology. Volume 11c. Environmental Process 111. 238 pp.
- Labrador, M. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Segunda edición corregida y ampliada. España. 293 pp.
- Leal, H. Principios de composteo. Fermentación al aire libre de materia orgánica. En Monroz H. Oscar y Viniega G. Gustavo (eds.). Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. A.G.T. Editor. México. 117 pp.
- León, R. y Aguilar, A. 1987. Materia Orgánica. Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. México. 49 pp.
- López, P., Silva, J., Valencia, P. 2003. Recuperación de nutrientes en fase sólido a través del compostaje. Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Colombia. 25 pp.
- Luque, O. 2000. El compost: Abono orgánico. Edición Biblioteca Nacional, Coordinación de ediciones Divulgativas. Editorial Colson C.A. Venezuela. 121 pp.
- Maximixe, 2013. Informe de estructura y tendencias del mercado de fertilizantes 2013. Maximixe Consult S.A. 117 pp.
- Moral, R. 2012. Separatas del Curso de Introducción a la Agroecología Práctica: Suelo, Materia Orgánica y Compostaje. Universidad Miguel Hernández (Elche, España), Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente.
- Moreno, J. y Moral, R. 2008. Compostaje. Editorial Mundi-Prensa Libros. Madrid. España. 570 pp.
- Moretti, C. 1986. La Biotecnología en el tratamiento ecológico de los residuos urbanos. Ministerio de Economía y Obras Públicas. Subsecretaría de Estado de Obras y Servicios Públicos. Neuquén Argentina. 237 pp.
- Ocampo, P., Robles, D. y Wu, A. 2002. El compostaje como método de biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos. Tesis del Ciclo Optativo. Universidad Nacional Agraria La Molina. 128 pp.
- Opazo, M. 1991. Manual para el tratamiento integral de basura – Reciclaje y producción de composta. Colombia. 58 pp.
- Parlamento Europeo, 2003. Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 relativo a los abonos.

- Pavoni, J., Heer, J. y Hagerti, J., 1975. Handbook of Soil Waste Disposal. Van Nostrand Reinhold Company. USA. 549 pp.
- Rynk, R., Van de Kamp, M., Wilson, G., Singlet, M., Murphy, T., Hoitink, H., Brinton, W. 1992. On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. N.Y. USA. 204 pp.
- Rivero, C. 1999. Materia Orgánica del suelo. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Venezuela. 211 pp.
- Russell, E., Wild, A., 1988. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Longman Group UK Limited, London. ISBN: 84-7114-400-X. 11va edición. 1045 pp.
- Sanchez-Monedero, M., Roig A., Paredes, C. y Bernal, M. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Biores. Technol. 78(3):301-8.
- Sarmiento, S. 1999. Efecto de tres tipos de estiércol en algunas propiedades químicas del humus producido por la lombriz (*Eisenia foetida*) y su efecto en la producción de semilla pre-básica de papa var. "Perricholi". Tesis para optar por el título de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Perú. 106 pp.
- Stevenson, F. 1982. Humus Chemistry, Genesis, composition, Reaction. John Wiley and Sons, New York. 443 pp.
- Suler, D., Finstein, S. 1977. Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. Appl. Environ. Microbiol., 33 (2): 345-350.
- Szmidt, R. y Dickson A., 2001. Use of compost in agriculture. Scottish Agricultural College. 72 pp.
- Sztern, D. y Pravia, M. 1999. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de Salud. Uruguay.
- Tchobanoglous, G. 1994. Gestión Integral de los Residuos Sólidos, Vol II. McGraw Hill. Madrid 1993. 304 pp.
- Tomati, U., Madejon, E. y Galli, E. 2000. Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. Compost Sci. Util.8(2): 108-115.

- Tonelli, D., Seeber R., Ciavatta C. y Gessa C. 1997. Extraction of humic acids from a natural matrix by alkaline pyrophosphate. Evaluation of the molecular weight of fractions obtained by ultrafiltration. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* (359)7-8: 555-560
- Ugás, R., Siura S., Delgado de la Flor, F., Casas, A., Toledo, J. 2000. *Hortalizas. Datos Básicos. Programa de Hortalizas. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 156 pp.*
- Varnero, M., Rojas C. y Orellana, R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Suelo Nutr. Veg.* (7)1: 28-37.
- Villagarcía, S. y Aguirre, G. 1994. *Manual de Fertilizantes. Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Fertilizantes. UNALM. Lima, Perú. 89 pp.*
- Waksman, S. 1936. *Humus: origin, chemical composition and importance in nature. The Williams & Wilkins Company. 508 pp.*
- WRAP-The Waste & Resources Action Programme, 2005. *Assesment of options and requirements for stability and maturity testing of composts. 104 pp.*
- WRAP-The Waste & Resources Action Programme, 2002. *Using compost in agriculture and Field Horticulture. Gobierno de Gran Bretaña. 16 pp.*
- Zapata, R. 2002. *Procesos fundamentales en la pedogénesis. Universidad Nacional de Colombia. 292 pp.*
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. y De Bertoli, M., 1981. Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle* (22): 54-57.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Temperaturas evaluadas durante el proceso de compostaje

Temperatura Pila 1 (°C)

N°	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	02/09/2013	17/09/2013	02/10/2013
1	64	51	48	40	43	35	30	24	25	24
2	65	55	50	58	40	39	28	24	23	26
3	60	56	48	50	38	40	33	25	27	28
4	59	58	50	41	49	37	36	23	28	21
5	61	49	48	42	52	38	29	28	24	27
6	63	54	48	55	50	30	33	22	26	26
7	68	50	49	50	40	41	35	30	27	23
8	67	51	47	49	38	43	29	25	25	27
9	63	52	49	45	36	39	32	29	23	24
Prom.	63.33	52.89	48.56	47.78	42.89	38.00	31.67	25.56	25.33	25.11

Temperatura Pila 2 (°C)

N°	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	02/09/2013	17/09/2013	02/10/2013
1	65	56	49	53	45	37	35	20	27	21
2	59	52	50	50	50	38	37	27	21	26
3	69	50	49	47	47	39	28	23	24	28
4	59	59	54	39	48	35	33	30	26	25
5	69	50	48	40	39	37	27	27	27	27
6	65	51	53	55	38	32	25	22	23	25
7	62	50	51	58	43	30	33	26	28	24
8	69	57	48	50	40	37	35	25	24	26
9	67	52	49	48	38	35	27	29	26	27
Prom.	64.89	53.00	50.11	48.89	43.11	35.56	31.11	25.44	25.11	25.44

Temperatura Pila 3 (°C)

N°	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	02/09/2013	17/09/2013	02/10/2013
1	67	57	56	52	42	40	28	28	24	23
2	60	55	49	50	40	35	30	23	28	25
3	69	57	55	49	38	38	32	25	26	28
4	69	54	47	40	50	30	29	20	24	27
5	69	59	48	38	39	32	25	27	23	26
6	70	54	50	52	40	42	33	28	28	27
7	65	56	51	48	37	38	31	29	27	24
8	66	58	49	41	45	35	34	21	25	27
9	68	53	55	39	41	40	30	27	26	23
Prom	67.00	55.89	51.11	45.44	41.33	36.67	30.22	25.33	25.67	25.56

Temperatura ambiental

Fecha	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	02/09/2013	20/09/2013	02/10/2013
Tamb (°C)	21	20	20	17	17	15	16	18	17	17

Temperatura promedio mensual

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Temp. Prom. Mensual (°C)	18.5	16.3	15.1	15.7	16.5	17.1

Humedad relativa promedio mensual

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Humedad relativa prom. Mensual (%)	78.8	83	85	85	84.3	83.5

Anexo 2: pH durante el proceso de compostaje

pH Pila 1

Fecha	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	04/09/2013	20/09/2013	02/10/2013
1	7.8	8.29	7.93	8.13	8.56	8.14	8.1	8.05	8.03	7.15
2	8.12	7.54	8.54	7.6	8.61	8.22	8.19	7.74	7.94	8.61
3	7.91	7.52	8.5	8.23	8.63	8.27	8.21	7.88	7.64	7.99
4	7.71	7.79	8.7	8.32	8.7	8.26	8.08	7.79	7.15	7.36
5	7.87	8.5	8	8.18	8.63	8.34	8.17	8.15	8.49	8.07
6	8.17	7.35	8.53	8.31	8.61	8.22	7.9	7.65	8.76	8.49
7	8.09	7.41	8.62	8.3	8.62	8.2	8.04	8.05	8.01	8.67
Prom.	7.95	7.77	8.40	8.15	8.62	8.24	8.10	7.90	8.00	8.05

pH Pila 2

Fecha	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	04/09/2013	20/09/2013	02/10/2013
1	7.51	7.31	8.49	8.44	8.53	8.17	7.94	8.9	7.98	8.49
2	7.69	7.47	8.31	8.28	8.47	8.3	7.92	8.14	8.55	7.94
3	7.87	7.53	8.8	8.1	8.37	8.27	8.03	7.35	8.06	7.69
4	7.7	7.45	8.05	8.36	8.43	8.34	8.21	7.64	7.94	8.45
5	7.83	7.86	7.89	8.24	8.45	8.41	8.16	7.48	7.85	8.27
6	7.84	7.79	8.65	8.4	8.37	8.1	7.91	7.89	7.15	7.63
7	8.07	7.61	8.61	8.31	8.42	8.16	7.98	7.9	8.47	8.22
Prom.	7.79	7.57	8.40	8.30	8.43	8.25	8.02	7.90	8.00	8.10

pH Pila 3

Fecha	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	04/09/2013	20/09/2013	02/10/2013
1	8.18	7.66	8.53	7.78	8.15	8.06	7.87	7.45	7.14	8.46
2	8.06	7.62	8.26	8.03	8.07	8.09	7.89	7.69	7.95	7.94
3	7.67	7.61	8.17	7.96	8.04	8.01	8.01	8.77	8.13	7.64
4	7.4	7.67	8.65	7.96	8.03	8.05	8.06	7.15	8.46	7.38
5	7.94	7.58	8.21	7.84	8.01	8.06	7.83	8.41	7.94	8.45
6	7.98	7.44	8.3	7.72	8.01	8.03	7.92	6.98	8.16	8.24
7	7.98	7.45	8.33	8.02	8	8.05	7.94	8.51	8.08	8.36
Prom.	7.89	7.58	8.35	7.90	8.04	8.05	7.93	7.85	7.98	8.07

Anexo 3: Conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje

CE Pila 1 (dS/m)

Fecha	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	04/09/2013	20/09/2013	02/10/2013
1	6.01	2.6	3.93	4.43	3.66	4.1	5.03	5.58	5.37	5.9
2	6.18	3.96	5.32	3.36	3.98	4.16	4.92	5.72	5.53	6.03
3	4.68	4.19	4.44	3.19	3.7	3.96	4.89	5.38	6.27	5.32
4	8	4.02	3.24	2.96	3.78	4.2	4.56	5.42	5.39	5.27
5	5.01	3.87	5.8	3.1	3.95	3.8	4.82	6.23	5.72	6.15
6	6.07	4.69	5.07	2.84	3.87	3.92	4.71	5.28	5.27	5.62
7	5.84	2.74	6.15	3.15	3.61	4.21	4.72	6.21	5.11	5.36
Prom.	5.97	3.72	4.85	3.29	3.79	4.05	4.81	5.36	5.38	5.40

CE Pila 2 (dS/m)

Fecha	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	04/09/2013	20/09/2013	02/10/2013
1	5.21	3.19	3.17	3.83	4.01	4.25	5.19	5.92	5.27	6.02
2	4.48	3.01	3.73	4.32	4.5	4.36	4.98	5.48	6.18	5.73
3	3.32	2.81	3.15	4.38	3.97	4.58	4.57	5.78	5.89	5.88
4	5.3	3.74	4.79	6.55	3.87	3.98	4.72	6.26	5.83	5.34
5	5	3.65	4.07	4.85	4.3	4.15	5.02	5.92	6.19	6.42
6	6.43	2.84	3.31	4.66	3.9	4.27	5.17	5.26	5.25	5.38
7	4.85	2.33	4.17	4.4	4.2	4.02	4.82	5.38	5.52	6.12
Prom.	4.94	3.08	3.77	4.71	4.11	4.23	4.92	5.71	5.73	5.84

CE Pila 3 (dS/m)

Fecha	15/05/2013	29/05/2013	14/06/2013	01/07/2013	16/07/2013	02/08/2013	16/08/2013	04/09/2013	20/09/2013	02/10/2013
1	6.58	2.83	3.33	3.02	3.5	4.17	5.02	5.09	5.49	5.93
2	5.66	2.55	3.11	4.52	3.78	4.12	5.21	5.37	5.57	5.82
3	4.41	2.7	2.43	3.62	3.94	4.24	4.82	5.79	5.92	5.27
4	5.97	3.57	2.61	3.72	4.12	4.58	5.14	6.02	5.38	5.86
5	6.32	3.01	2.07	4.3	3.97	4.01	4.92	6.18	6.28	6.38
6	6.09	1.82	2.33	4.66	3.68	4.37	5.02	6.09	5.16	5.37
7	6.06	1.97	2.19	3.91	4.2	4.18	4.77	5.52	6.12	5.52
Prom.	5.87	2.64	2.58	3.96	3.88	4.24	4.99	5.27	5.31	5.34

Anexo 4: Resultados de temperatura durante la etapa de maduración

Muestra	Bloque	20/09/2013 Temperatura Inicio etapa de maduración (°C)	02/10/2013 Temperatura Final etapa de maduración (°C)
T1	1	25	25
T2	1	25	24
T3	1	26	25
T4	1	24	25
T5	1	25	26
T6	1	25	25
T7	1	25	25
T1	2	25	25
T2	2	24	26
T3	2	25	27
T4	2	25	25
T5	2	26	25
T6	2	25	25
T7	2	25	25
T1	3	24	25
T2	3	25	25
T3	3	26	24
T4	3	25	25
T5	3	26	26
T6	3	24	25
T7	3	25	26

Temperatura ambiental

Etapa	20/09/2013 Inicio etapa de maduración	02/10/2013 Final etapa de maduración
Tamb. (°C)	17	17

Anexo 5: Resultados de los parámetros evaluados

a. Resultados del pH para el compost solo

Muestra	Bloque	pH
T1	1	7.95
T2	1	7.90
T3	1	7.97
T4	1	7.86
T5	1	7.82
T6	1	7.95
T7	1	7.88
T8	1	7.74
T9	1	8.23
T10	1	8.11
T11	1	8.09
T12	1	8.10
T13	1	8.02
T14	1	8.05
T1	2	7.97
T2	2	7.93
T3	2	7.88
T4	2	7.89
T5	2	7.92
T6	2	7.93
T7	2	7.80
T8	2	8.03
T9	2	8.26
T10	2	8.15
T11	2	8.02
T12	2	8.10
T13	2	8.04
T14	2	8.07
T1	3	7.93
T2	3	7.82
T3	3	7.84
T4	3	7.78
T5	3	7.84
T6	3	7.85
T7	3	7.86
T8	3	8.09
T9	3	8.21
T10	3	8.09
T11	3	8.02
T12	3	8.01

T13	3	8.05
T14	3	8.03

b. Resultados del pH del compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	pH
T1	1	8.13
T2	1	8.02
T3	1	7.91
T4	1	7.93
T5	1	7.85
T6	1	7.80
T7	1	7.75
T8	1	8.16
T9	1	7.96
T10	1	7.91
T11	1	8.03
T12	1	7.99
T13	1	7.95
T14	1	7.94
T1	2	8.21
T2	2	7.99
T3	2	8.00
T4	2	7.95
T5	2	8.01
T6	2	7.84
T7	2	7.85
T8	2	8.20
T9	2	8.17
T10	2	8.19
T11	2	7.95
T12	2	8.00
T13	2	7.97
T14	2	7.93
T1	3	8.25
T2	3	8.11
T3	3	8.01
T4	3	7.92
T5	3	7.98
T6	3	7.93
T7	3	7.88
T8	3	8.14
T9	3	8.15
T10	3	8.21

T11	3	7.98
T12	3	7.91
T13	3	7.91
T14	3	7.92

c. Resultados de la conductividad eléctrica del compost solo

Muestra	Bloque	CE (dS/m)
T1	1	5.48
T2	1	5.62
T3	1	5.38
T4	1	5.12
T5	1	6.03
T6	1	5.28
T7	1	6.11
T8	1	5.36
T9	1	6.09
T10	1	5.17
T11	1	5.22
T12	1	5.23
T13	1	4.94
T14	1	5.08
T1	2	5.92
T2	2	5.48
T3	2	5.78
T4	2	6.26
T5	2	5.92
T6	2	5.26
T7	2	5.38
T8	2	5.71
T9	2	5.39
T10	2	5.84
T11	2	5.59
T12	2	6.15
T13	2	5.48
T14	2	6.20
T1	3	4.39
T2	3	5.43
T3	3	5.79
T4	3	6.02
T5	3	5.18
T6	3	5.25
T7	3	4.28

T8	3	5.27
T9	3	5.84
T10	3	5.39
T11	3	4.94
T12	3	5.39
T13	3	4.82
T14	3	5.82

d. Resultados de la conductividad eléctrica del compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	CE (dS/m)
T1	1	5.40
T2	1	6.94
T3	1	8.37
T4	1	10.10
T5	1	10.93
T6	1	12.17
T7	1	13.82
T8	1	5.92
T9	1	7.36
T10	1	8.29
T11	1	9.95
T12	1	10.82
T13	1	11.98
T14	1	13.75
T1	2	5.84
T2	2	7.11
T3	2	8.78
T4	2	10.21
T5	2	11.17
T6	2	12.23
T7	2	14.18
T8	2	5.83
T9	2	7.25
T10	2	9.13
T11	2	10.17
T12	2	11.28
T13	2	12.19
T14	2	13.82
T1	3	5.34
T2	3	7.94
T3	3	9.13
T4	3	10.26

T5	3	10.97
T6	3	11.95
T7	3	13.82
T8	3	5.85
T9	3	7.99
T10	3	9.86
T11	3	10.43
T12	3	11.18
T13	3	12.16
T14	3	14.13

e. Resultados de la humedad del compost solo

Muestra	Bloque	Hd. (%)
T1	1	47.00
T2	1	46.20
T3	1	45.48
T4	1	47.51
T5	1	46.43
T6	1	47.41
T7	1	45.91
T8	1	44.93
T9	1	45.42
T10	1	40.16
T11	1	47.98
T12	1	45.78
T13	1	44.15
T14	1	42.93
T1	2	47.75
T2	2	44.63
T3	2	46.10
T4	2	45.75
T5	2	46.85
T6	2	43.09
T7	2	48.05
T8	2	47.27
T9	2	43.01
T10	2	42.07
T11	2	44.96
T12	2	42.91
T13	2	45.43
T14	2	40.63
T1	3	45.58

T2	3	49.30
T3	3	44.32
T4	3	49.68
T5	3	47.83
T6	3	46.03
T7	3	49.48
T8	3	43.74
T9	3	42.14
T10	3	38.00
T11	3	40.07
T12	3	38.57
T13	3	39.93
T14	3	39.28

f. Resultados de humedad del compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	Hd. (%)
T1	1	36.60
T2	1	38.83
T3	1	41.31
T4	1	32.96
T5	1	41.31
T6	1	35.57
T7	1	43.08
T8	1	44.48
T9	1	40.30
T10	1	39.10
T11	1	43.73
T12	1	42.55
T13	1	40.29
T14	1	38.57
T1	2	39.99
T2	2	46.20
T3	2	34.50
T4	2	45.28
T5	2	41.39
T6	2	35.29
T7	2	44.35
T8	2	42.22
T9	2	40.35
T10	2	39.70
T11	2	41.36
T12	2	40.79

T13	2	42.34
T14	2	40.31
T1	3	45.30
T2	3	38.61
T3	3	47.91
T4	3	39.68
T5	3	38.07
T6	3	39.71
T7	3	40.53
T8	3	43.83
T9	3	42.52
T10	3	39.16
T11	3	44.49
T12	3	40.85
T13	3	42.77
T14	3	38.16

g. Resultados de la materia orgánica del compost solo

Muestra	Bloque	MO (%)
T1	1	49.43
T2	1	48.23
T3	1	47.71
T4	1	48.16
T5	1	50.47
T6	1	50.14
T7	1	46.35
T8	1	48.28
T9	1	47.92
T10	1	44.24
T11	1	48.94
T12	1	46.09
T13	1	46.71
T14	1	45.40
T1	2	48.62
T2	2	50.77
T3	2	47.77
T4	2	49.86
T5	2	46.00
T6	2	46.45
T7	2	47.58
T8	2	43.23
T9	2	47.81

T10	2	47.04
T11	2	46.82
T12	2	47.03
T13	2	42.54
T14	2	47.93
T1	3	49.54
T2	3	50.74
T3	3	45.21
T4	3	48.91
T5	3	46.93
T6	3	49.44
T7	3	49.75
T8	3	47.61
T9	3	46.38
T10	3	49.10
T11	3	50.48
T12	3	44.77
T13	3	42.84
T14	3	48.47

h. Resultados de la materia orgánica del compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	MO (%)
T1	1	44.64
T2	1	47.77
T3	1	48.19
T4	1	47.02
T5	1	46.80
T6	1	47.62
T7	1	49.60
T8	1	47.95
T9	1	47.66
T10	1	46.47
T11	1	48.54
T12	1	47.56
T13	1	47.80
T14	1	48.78
T1	2	45.84
T2	2	46.33
T3	2	47.13
T4	2	45.41
T5	2	47.29
T6	2	48.05

T7	2	47.57
T8	2	45.33
T9	2	47.16
T10	2	46.76
T11	2	45.71
T12	2	49.64
T13	2	49.41
T14	2	50.39
T1	3	46.12
T2	3	47.40
T3	3	47.35
T4	3	50.15
T5	3	49.12
T6	3	47.69
T7	3	49.52
T8	3	44.37
T9	3	46.31
T10	3	48.41
T11	3	50.80
T12	3	49.20
T13	3	49.41
T14	3	49.76

i. Resultados de nitrógeno total del compost solo

Muestra	Bloque	N total (kg)
T1	1	0.11
T2	1	0.11
T3	1	0.13
T4	1	0.11
T5	1	0.11
T6	1	0.10
T7	1	0.10
T8	1	0.13
T9	1	0.22
T10	1	0.18
T11	1	0.20
T12	1	0.20
T13	1	0.18
T14	1	0.15
T1	2	0.11
T2	2	0.11
T3	2	0.13

T4	2	0.11
T5	2	0.10
T6	2	0.12
T7	2	0.11
T8	2	0.18
T9	2	0.22
T10	2	0.18
T11	2	0.22
T12	2	0.16
T13	2	0.17
T14	2	0.18
T1	3	0.11
T2	3	0.10
T3	3	0.11
T4	3	0.10
T5	3	0.10
T6	3	0.10
T7	3	0.10
T8	3	0.22
T9	3	0.18
T10	3	0.19
T11	3	0.17
T12	3	0.14
T13	3	0.15
T14	3	0.17

j. Resultados del nitrógeno total del compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	N total (kg)
T1	1	0.18
T2	1	0.17
T3	1	0.19
T4	1	0.20
T5	1	0.20
T6	1	0.23
T7	1	0.24
T8	1	0.19
T9	1	0.19
T10	1	0.20
T11	1	0.22
T12	1	0.22
T13	1	0.23
T14	1	0.27
T1	2	0.17

T2	2	0.18
T3	2	0.18
T4	2	0.20
T5	2	0.22
T6	2	0.24
T7	2	0.24
T8	2	0.18
T9	2	0.20
T10	2	0.20
T11	2	0.23
T12	2	0.24
T13	2	0.25
T14	2	0.29
T1	3	0.17
T2	3	0.20
T3	3	0.20
T4	3	0.22
T5	3	0.21
T6	3	0.23
T7	3	0.25
T8	3	0.17
T9	3	0.18
T10	3	0.17
T11	3	0.20
T12	3	0.21
T13	3	0.22
T14	3	0.28

k. Resultados de la relación C/N del compost solo

Muestra	Bloque	C/N
T1	1	24.98
T2	1	24.37
T3	1	21.49
T4	1	23.39
T5	1	24.89
T6	1	25.97
T7	1	24.72
T8	1	21.28
T9	1	13.74
T10	1	14.10
T11	1	13.98
T12	1	12.56
T13	1	14.23

T14	1	15.94
T1	2	24.56
T2	2	26.29
T3	2	20.62
T4	2	25.19
T5	2	25.76
T6	2	20.92
T7	2	22.44
T8	2	13.78
T9	2	13.27
T10	2	14.99
T11	2	12.93
T12	2	15.71
T13	2	13.56
T14	2	14.18
T1	3	25.66
T2	3	29.20
T3	3	22.84
T4	3	27.38
T5	3	25.59
T6	3	27.68
T7	3	25.77
T8	3	12.81
T9	3	14.56
T10	3	14.96
T11	3	16.09
T12	3	17.17
T13	3	15.30
T14	3	14.77

I. Resultados de la relación C/N del compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	C/N
T1	1	14.45
T2	1	16.49
T3	1	14.90
T4	1	13.72
T5	1	13.85
T6	1	11.89
T7	1	11.81
T8	1	14.82
T9	1	14.40
T10	1	13.38
T11	1	12.89
T12	1	12.63

T13	1	12.08
T14	1	10.57
T1	2	16.10
T2	2	15.23
T3	2	15.50
T4	2	13.25
T5	2	12.56
T6	2	11.71
T7	2	11.46
T8	2	14.91
T9	2	13.96
T10	2	13.63
T11	2	11.55
T12	2	12.24
T13	2	11.37
T14	2	9.98
T1	3	15.41
T2	3	13.83
T3	3	13.81
T4	3	13.15
T5	3	13.39
T6	3	12.05
T7	3	11.53
T8	3	15.58
T9	3	15.23
T10	3	16.18
T11	3	15.03
T12	3	13.41
T13	3	12.79
T14	3	10.38

m. Resultados del fósforo total del compost solo

Muestra	Bloque	P (kg)
T1	1	0.24
T2	1	0.20
T3	1	0.20
T4	1	0.21
T5	1	0.14
T6	1	0.21
T7	1	0.18
T8	1	0.15
T9	1	0.17

T10	1	0.14
T11	1	0.16
T12	1	0.18
T13	1	0.18
T14	1	0.17
T1	2	0.21
T2	2	0.12
T3	2	0.20
T4	2	0.20
T5	2	0.19
T6	2	0.21
T7	2	0.10
T8	2	0.19
T9	2	0.17
T10	2	0.14
T11	2	0.17
T12	2	0.18
T13	2	0.15
T14	2	0.15
T1	3	0.22
T2	3	0.16
T3	3	0.10
T4	3	0.18
T5	3	0.22
T6	3	0.17
T7	3	0.19
T8	3	0.17
T9	3	0.16
T10	3	0.18
T11	3	0.18
T12	3	0.17
T13	3	0.16
T14	3	0.16

n. Resultados del fósforo total del compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	P (kg)
T1	1	0.20
T2	1	0.20
T3	1	0.19
T4	1	0.20
T5	1	0.20
T6	1	0.21

T7	1	0.21
T8	1	0.20
T9	1	0.20
T10	1	0.19
T11	1	0.19
T12	1	0.20
T13	1	0.20
T14	1	0.20
T1	2	0.19
T2	2	0.19
T3	2	0.20
T4	2	0.19
T5	2	0.20
T6	2	0.21
T7	2	0.20
T8	2	0.20
T9	2	0.19
T10	2	0.20
T11	2	0.20
T12	2	0.20
T13	2	0.18
T14	2	0.19
T1	3	0.19
T2	3	0.19
T3	3	0.20
T4	3	0.20
T5	3	0.19
T6	3	0.21
T7	3	0.21
T8	3	0.19
T9	3	0.19
T10	3	0.20
T11	3	0.20
T12	3	0.21
T13	3	0.22
T14	3	0.21

o. Resultados del potasio en el compost solo

Muestra	Bloque	K (kg)
T1	1	0.16
T2	1	0.16
T3	1	0.18
T4	1	0.16
T5	1	0.12
T6	1	0.17
T7	1	0.17
T8	1	0.17
T9	1	0.14
T10	1	0.09
T11	1	0.13
T12	1	0.15
T13	1	0.11
T14	1	0.11
T1	2	0.18
T2	2	0.11
T3	2	0.16
T4	2	0.15
T5	2	0.16
T6	2	0.17
T7	2	0.08
T8	2	0.16
T9	2	0.14
T10	2	0.12
T11	2	0.14
T12	2	0.11
T13	2	0.11
T14	2	0.11
T1	3	0.15
T2	3	0.13
T3	3	0.08
T4	3	0.14
T5	3	0.18
T6	3	0.14
T7	3	0.17
T8	3	0.14
T9	3	0.08
T10	3	0.12
T11	3	0.12
T12	3	0.10
T13	3	0.10

T14	3	0.09
------------	---	------

p. Resultados del potasio en el compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	K (kg)
T1	1	0.16
T2	1	0.16
T3	1	0.13
T4	1	0.13
T5	1	0.14
T6	1	0.16
T7	1	0.15
T8	1	0.14
T9	1	0.10
T10	1	0.10
T11	1	0.12
T12	1	0.13
T13	1	0.11
T14	1	0.11
T1	2	0.14
T2	2	0.14
T3	2	0.13
T4	2	0.13
T5	2	0.10
T6	2	0.16
T7	2	0.14
T8	2	0.14
T9	2	0.14
T10	2	0.11
T11	2	0.12
T12	2	0.11
T13	2	0.10
T14	2	0.11
T1	3	0.14
T2	3	0.13
T3	3	0.12
T4	3	0.12
T5	3	0.14
T6	3	0.14
T7	3	0.13
T8	3	0.10
T9	3	0.13
T10	3	0.14

T11	3	0.12
T12	3	0.13
T13	3	0.14
T14	3	0.15

q. Resultados del test de Zucconi para el compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	IG (%)
T1	1	72.71
T2	1	86.31
T3	1	72.14
T4	1	85.03
T5	1	60.39
T6	1	68.76
T7	1	57.01
T8	1	90.18
T9	1	70.45
T10	1	55.56
T11	1	38.25
T12	1	16.10
T13	1	0.00
T14	1	0.00
T1	2	86.31
T2	2	88.25
T3	2	88.25
T4	2	72.14
T5	2	81.80
T6	2	81.16
T7	2	69.89
T8	2	74.40
T9	2	82.45
T10	2	77.94
T11	2	59.18
T12	2	11.25
T13	2	0.00
T14	2	0.00
T1	3	86.96
T2	3	68.76
T3	3	73.83
T4	3	83.74
T5	3	77.94
T6	3	76.01
T7	3	47.35

T8	3	86.96
T9	3	87.60
T10	3	57.01
T11	3	62.00
T12	3	3.22
T13	3	0.00
T14	3	0.00

r. Resultados del test de madurez para el compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	Madurez (%)
T1	1	80
T2	1	60
T3	1	60
T4	1	40
T5	1	0
T6	1	0
T7	1	0
T8	1	80
T9	1	60
T10	1	60
T11	1	40
T12	1	0
T13	1	0
T14	1	0
T1	2	70
T2	2	70
T3	2	50
T4	2	30
T5	2	0
T6	2	0
T7	2	0
T8	2	70
T9	2	80
T10	2	50
T11	2	30
T12	2	0
T13	2	0
T14	2	0
T1	3	90
T2	3	50
T3	3	70
T4	3	50

T5	3	0
T6	3	0
T7	3	0
T8	3	90
T9	3	70
T10	3	40
T11	3	50
T12	3	0
T13	3	0
T14	3	0

s. **Resultados de la biomasa seca del follaje en la formulación al 1%**

Muestra	Bloque	PS 1% (g/maceta)
T1	1	1.97
T2	1	1.95
T3	1	2.25
T4	1	1.93
T5	1	2.35
T6	1	2.89
T7	1	2.80
T8	1	1.61
T9	1	2.09
T10	1	1.63
T11	1	2.14
T12	1	2.39
T13	1	2.22
T14	1	2.75
T1	2	2.17
T2	2	2.03
T3	2	2.36
T4	2	2.38
T5	2	2.75
T6	2	3.06
T7	2	6.15
T8	2	1.98
T9	2	2.46
T10	2	2.63
T11	2	3.76
T12	2	3.29
T13	2	3.39
T14	2	6.29
T1	3	1.97

T2	3	2.40
T3	3	2.27
T4	3	2.37
T5	3	2.63
T6	3	3.03
T7	3	2.86
T8	3	1.95
T9	3	2.37
T10	3	2.73
T11	3	2.61
T12	3	2.60
T13	3	2.72
T14	3	2.77

t. Resultados de la biomasa seca del follaje al 2% en el compost incorporado con Guano de Islas

Muestra	Bloque	PS 2% (g/maceta)
T1	1	2.36
T2	1	2.28
T3	1	2.51
T4	1	2.54
T5	1	2.97
T6	1	2.74
T7	1	3.77
T8	1	2.39
T9	1	2.52
T10	1	2.73
T11	1	3.01
T12	1	2.92
T13	1	3.06
T14	1	3.61
T1	2	2.32
T2	2	2.78
T3	2	2.78
T4	2	3.52
T5	2	4.00
T6	2	3.77
T7	2	8.71
T8	2	2.12
T9	2	2.47
T10	2	2.62
T11	2	3.14

T12	2	6.19
T13	2	5.24
T14	2	12.04
T1	3	2.78
T2	3	3.12
T3	3	2.89
T4	3	3.01
T5	3	3.23
T6	3	3.93
T7	3	4.40
T8	3	2.68
T9	3	2.69
T10	3	2.84
T11	3	2.99
T12	3	3.16
T13	3	2.99
T14	3	3.81

Anexo 6: Pruebas estadísticas de los parámetros evaluados

a. Prueba estadística del pH del compost solo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: pha

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	0.54170952	0.03611397	8.64	<.0001
Error	26	0.10873810	0.00418223		
Total corregido	41	0.65044762			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	pha Media
0.832826	0.810597	0.064670	7.978095

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	0.53004762	0.04077289	9.75	<.0001
BLO	2	0.01166190	0.00583095	1.39	0.2660

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	0.53004762	0.04077289	9.75	<.0001
BLO	2	0.01166190	0.00583095	1.39	0.2660

b. Prueba estadística del pH del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: phd

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	0.50904524	0.03393635	8.28	<.0001
Error	26	0.10656667	0.00409872		
Total corregido	41	0.61561190			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	phd Media
0.826893	0.800527	0.064021	7.997381

Cuadrado de

Fuente	DF	Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	0.46601190	0.03584707	8.75	<.0001
BLO	2	0.04303333	0.02151667	5.25	0.0122

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	0.46601190	0.03584707	8.75	<.0001
BLO	2	0.04303333	0.02151667	5.25	0.0122

c. Prueba estadística de la conductividad eléctrica del compost solo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: cea

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	3.64595714	0.24306381	1.31	0.2647
Error	26	4.82450000	0.18555769		
Total corregido	41	8.47045714			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	cea Media
0.430432	7.856562	0.430764	5.482857

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	2.06845714	0.15911209	0.86	0.6023
BLO	2	1.57750000	0.78875000	4.25	0.0253

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	2.06845714	0.15911209	0.86	0.6023 n.s.
BLO	2	1.57750000	0.78875000	4.25	0.0253

d. Prueba estadística de la conductividad eléctrica del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: ced

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	----------------------	-------------------------	---------	--------

Modelo	15	284.5570905	18.9704727	236.39	<.0001
Error	26	2.0865571	0.0802522		
Total corregido	41	286.6436476			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ced Media
0.992721	2.860121	0.283288	9.904762

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	283.5583143	21.8121780	271.80	<.0001
BLO	2	0.9987762	0.4993881	6.22	0.0062

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	283.5583143	21.8121780	271.80	<.0001
BLO	2	0.9987762	0.4993881	6.22	0.0062

e. Prueba estadística de la humedad del compost solo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: hda

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	254.0177571	16.9345171	3.59	0.0021
Error	26	122.5966714	4.7152566		
Total corregido	41	376.6144286			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	had Media
0.674477	4.851814	2.171464	44.75571

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	234.1672286	18.0128637	3.82	0.0018 *
BLO	2	19.8505286	9.9252643	2.10	0.1421

f. Prueba estadística de la humedad del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: hdd

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	144.8093952	9.6539597	0.93	0.5424
Error	26	268.9043667	10.3424756		
Total corregido	41	413.7137619			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	hdd Media
0.350023	7.878882	3.215972	40.81762

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	125.3267619	9.6405201	0.93	0.5359
BLO	2	19.4826333	9.7413167	0.94	0.4028

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	125.3267619	9.6405201	0.93	0.5359
BLO	2	19.4826333	9.7413167	0.94	0.4028

g. Prueba estadística de la materia orgánica del compost solo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: moa

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	96.4575833	6.4305056	1.98	0.0616
Error	26	84.5466286	3.2517934		
Total corregido	41	181.0042119			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	moa Media
0.532902	3.791252	1.803273	47.56405

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	91.84727857	7.06517527	2.17	0.0447
BLO	2	4.61030476	2.30515238	0.71	0.5015

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-------------------------	----------	---------	--------

TRA	13	91.84727857	7.06517527	2.17	0.0447
BLO	2	4.61030476	2.30515238	0.71	0.5015

h. Prueba estadística de la materia orgánica del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: mod

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	58.5375786	3.9025052	2.42	0.0232
Error	26	41.9110714	1.6119643		
Total corregido	41	100.4486500			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	mod Media
0.582761	2.660865	1.269632	47.71500

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	51.66385000	3.97414231	2.47	0.0243
BLO	2	6.87372857	3.43686429	2.13	0.1389

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	51.66385000	3.97414231	2.47	0.0243
BLO	2	6.87372857	3.43686429	2.13	0.1389

i. Prueba estadística del nitrógeno total del compost solo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: na

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	0.06069286	0.00404619	11.50	<.0001
Error	26	0.00914762	0.00035183		
Total corregido	41	0.06984048			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	na Media
------------	----------	----------	----------

0.869021 12.97860 0.018757 0.144524

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo I SS	la media		
TRA	13	0.05977381	0.00459799	13.07	<.0001
BLO	2	0.00091905	0.00045952	1.31	0.2881

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
TRA	13	0.05977381	0.00459799	13.07	<.0001
BLO	2	0.00091905	0.00045952	1.31	0.2881

j. Prueba estadística del nitrógeno total del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: nd

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	0.03491905	0.00232794	17.58	<.0001
Error	26	0.00344286	0.00013242		
Total corregido	41	0.03836190			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	nd Media
0.910253	5.454920	0.011507	0.210952

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo I SS	la media		
TRA	13	0.03442857	0.00264835	20.00	<.0001
BLO	2	0.00049048	0.00024524	1.85	0.1770

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
TRA	13	0.03442857	0.00264835	20.00	<.0001
BLO	2	0.00049048	0.00024524	1.85	0.1770

k. Prueba estadística de la relación carbono: nitrógeno del compost solo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: cna

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-------------------	----------------------	---------	--------

Modelo	15	1122.340333	74.822689	20.66	<.0001
--------	----	-------------	-----------	-------	--------

Error	26	94.174124	3.622082		
-------	----	-----------	----------	--	--

Total corregido	41	1216.514457			
-----------------	----	-------------	--	--	--

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	cna Media
------------	----------	----------	-----------

0.922587	9.634944	1.903177	19.75286
----------	----------	----------	----------

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	1098.884390	84.529568	23.34	<.0001
BLO	2	23.455943	11.727971	3.24	0.0555

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	1098.884390	84.529568	23.34	<.0001
BLO	2	23.455943	11.727971	3.24	0.0555

I. Prueba estadística de la relación carbono: nitrógeno del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: cnd

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	95.9026238	6.3935083	8.70	<.0001
Error	26	19.1130333	0.7351167		
Total corregido	41	115.0156571			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	cnd Media
------------	----------	----------	-----------

0.833822	6.395020	0.857389	13.40714
----------	----------	----------	----------

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	93.42692381	7.18668645	9.78	<.0001
BLO	2	2.47570000	1.23785000	1.68	0.2053

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	93.42692381	7.18668645	9.78	<.0001

BLO 2 2.47570000 1.23785000 1.68 0.2053

m. Prueba estadística del fósforo total del compost solo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: pa

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	0.01563571	0.00104238	1.23	0.3107
Error	26	0.02200476	0.00084634		
Total corregido	41	0.03764048			

R-cuadrado 0.415396
 Coef Var 16.66929
 Raíz MSE 0.029092
 pa Media 0.174524

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	0.01477381	0.00113645	1.34	0.2520
BLO	2	0.00086190	0.00043095	0.51	0.6068

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	0.01477381	0.00113645	1.34	0.2520
BLO	2	0.00086190	0.00043095	0.51	0.6068

n. Prueba estadística del fósforo total del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: pd

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	0.00116667	0.00007778	1.31	0.2665
Error	26	0.00154762	0.00005952		
Total corregido	41	0.00271429			

R-cuadrado 0.429825
 Coef Var 3.885336
 Raíz MSE 0.007715
 pd Media 0.198571

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo I SS	la media		
TRA	13	0.00098095	0.00007546	1.27	0.2922
BLO	2	0.00018571	0.00009286	1.56	0.2292

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
TRA	13	0.00098095	0.00007546	1.27	0.2922
BLO	2	0.00018571	0.00009286	1.56	0.2292

o. Prueba estadística del potasio del compost solo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: ka

Fuente	DF	Suma de	Cuadrado de	F-Valor	Pr > F
		cuadrados	la media		
Modelo	15	0.01906667	0.00127111	1.84	0.0840
Error	26	0.01798095	0.00069158		
Total corregido	41	0.03704762			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ka Media
0.514653	19.51428	0.026298	0.134762

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo I SS	la media		
TRA	13	0.01624762	0.00124982	1.81	0.0965
BLO	2	0.00281905	0.00140952	2.04	0.1506

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
TRA	13	0.01624762	0.00124982	1.81	0.0965
BLO	2	0.00281905	0.00140952	2.04	0.1506

p. Prueba estadística del potasio del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: kd

Fuente	DF	Suma de	Cuadrado de	F-Valor	Pr > F
		cuadrados	la media		
Modelo	15	0.00539524	0.00035968	1.30	0.2704

Error 26 0.00719524 0.00027674

Total corregido 41 0.01259048

R-cuadrado Coef Var Raíz MSE kd Media

0.428517 12.84359 0.016636 0.129524

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo I SS	la media		
TRA	13	0.00519048	0.00039927	1.44	0.2061
BLO	2	0.00020476	0.00010238	0.37	0.6943

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
TRA	13	0.00519048	0.00039927	1.44	0.2061
BLO	2	0.00020476	0.00010238	0.37	0.6943

q. Prueba estadística del test de Zucconi del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: zu

Fuente	DF	Suma de	Cuadrado de	F-Valor	Pr > F
		cuadrados	la media		
Modelo	15	38673.08509	2578.20567	35.73	<.0001
Error	26	1875.86580	72.14868		
Total corregido	41	40548.95090			

R-cuadrado Coef Var Raíz MSE zu Media

0.953738 14.51801 8.494038 58.50690

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo I SS	la media		
TRA	13	38308.63303	2946.81793	40.84	<.0001
BLO	2	364.45206	182.22603	2.53	0.0994

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
TRA	13	38308.63303	2946.81793	40.84	<.0001
BLO	2	364.45206	182.22603	2.53	0.0994

r. Prueba estadística del test de madurez del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: mad

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	42557.14286	2837.14286	50.13	<.0001
Error	26	1471.42857	56.59341		
Total corregido	41	44028.57143			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	mad Media
0.966580	21.94167	7.522859	34.28571

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	42428.57143	3263.73626	57.67	<.0001
BLO	2	128.57143	64.28571	1.14	0.3366

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	42428.57143	3263.73626	57.67	<.0001
BLO	2	128.57143	64.28571	1.14	0.3366

s. Prueba estadística de la biomasa seca del follaje de la formulación al 1% del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: ps1

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	22.99864524	1.53324302	3.21	0.0044
Error	26	12.41653810	0.47755916		
Total corregido	41	35.41518333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ps1 Media
0.649401	26.15987	0.691057	2.641667

Cuadrado de

Fuente	DF	Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	15.95518333	1.22732179	2.57	0.0196
BLO	2	7.04346190	3.52173095	7.37	0.0029

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	15.95518333	1.22732179	2.57	0.0196
BLO	2	7.04346190	3.52173095	7.37	0.0029

t. Prueba estadística de la biomasa seca del follaje de la formulación al 1% del compost incorporado con Guano de Islas (con testigo).

Procedimiento GLM

Variable dependiente: PS1

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	16	39.63668889	2.47729306	5.33	<.0001
Error	28	13.00574222	0.46449079		
Total corregido	44	52.64243111			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PS1 Media
0.752942	27.52073	0.681536	2.476444

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	14	33.15316444	2.36808317	5.10	0.0001
BLO	2	6.48352444	3.24176222	6.98	0.0035

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	14	33.15316444	2.36808317	5.10	0.0001
BLO	2	6.48352444	3.24176222	6.98	0.0035

u. Prueba estadística de la biomasa seca del follaje de la formulación al 2% del compost incorporado con Guano de Islas

Procedimiento GLM

Variable dependiente: ps2

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	77.0947881	5.1396525	2.48	0.0203
Error	26	53.8492238	2.0711240		
Total corregido	41	130.9440119			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ps2 Media
0.588761	41.50510	1.439140	3.467381

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	57.61601190	4.43200092	2.14	0.0479
BLO	2	19.47877619	9.73938810	4.70	0.0181

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	57.61601190	4.43200092	2.14	0.0479
BLO	2	19.47877619	9.73938810	4.70	0.0181

v. Prueba estadística de la biomasa seca del follaje de la formulación al 2% del compost incorporado con Guano de Islas (con testigo).

Procedimiento GLM

Variable dependiente: PS2

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	16	106.1807289	6.6362956	3.36	0.0025
Error	28	55.3593956	1.9771213		
Total corregido	44	161.5401244			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PS2 Media
0.657303	43.30315	1.406101	3.247111

Cuadrado de

Fuente	DF	Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	14	88.18285778	6.29877556	3.19	0.0044
BLO	2	17.99787111	8.99893556	4.55	0.0194

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	14	88.18285778	6.29877556	3.19	0.0044
BLO	2	17.99787111	8.99893556	4.55	0.0194

w. Prueba estadística del peso fresco del follaje de la formulación al 1% del compost incorporado con Guano de Islas.

Procedimiento GLM

Variable dependiente: pfl

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	590.8382048	39.3892137	11.43	<.0001
Error	26	89.6235857	3.4470610		
Total corregido	41	680.4617905			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	pfl Media
0.868290	8.054944	1.856626	23.04952

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	346.8330571	26.6794659	7.74	<.0001
BLO	2	244.0051476	122.0025738	35.39	<.0001

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	13	346.8330571	26.6794659	7.74	<.0001
BLO	2	244.0051476	122.0025738	35.39	<.0001

x. Prueba estadística del peso fresco del follaje de la formulación al 1% del compost incorporado con Guano de Islas (con testigo).

Procedimiento GLM

Variable dependiente: PF1

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	16	1886.934716	117.933420	30.82	<.0001

Error 28 107.155396 3.826978

Total corregido 44 1994.090111

R-cuadrado Coef Var Raíz MSE PF1 Media

0.946264 9.054460 1.956266 21.60556

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo I SS	la media		
TRA	14	1660.410978	118.600784	30.99	<.0001
BLO	2	226.523738	113.261869	29.60	<.0001

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
TRA	14	1660.410978	118.600784	30.99	<.0001
BLO	2	226.523738	113.261869	29.60	<.0001

y. Prueba estadística del peso fresco del follaje de la formulación al 2% del compost incorporado con Guano de Islas.

Procedimiento GLM

Variable dependiente: pf2

Fuente	DF	Suma de	Cuadrado de	F-Valor	Pr > F
		cuadrados	la media		
Modelo	15	683.1662452	45.5444163	18.06	<.0001
Error	26	65.5818619	2.5223793		
Total corregido	41	748.7481071			

R-cuadrado Coef Var Raíz MSE pf2 Media

0.912411 5.635484 1.588200 28.18214

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo I SS	la media		
TRA	13	477.6809738	36.7446903	14.57	<.0001
BLO	2	205.4852714	102.7426357	40.73	<.0001

Fuente	DF	Cuadrado de		F-Valor	Pr > F
		Tipo III SS	la media		
TRA	13	477.6809738	36.7446903	14.57	<.0001
BLO	2	205.4852714	102.7426357	40.73	<.0001

z. Prueba estadística del peso fresco del follaje de la formulación al 2% del compost incorporado con Guano de Islas (con testigo).

Procedimiento GLM

Variable dependiente: PF2

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	16	2678.110200	167.381887	58.16	<.0001
Error	28	80.581280	2.877903		
Total corregido	44	2758.691480			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PF2 Media
0.970790	6.426876	1.696438	26.39600

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	14	2487.573947	177.683853	61.74	<.0001
BLO	2	190.536253	95.268127	33.10	<.0001

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
TRA	14	2487.573947	177.683853	61.74	<.0001
BLO	2	190.536253	95.268127	33.10	<.0001

Anexo 7: Características del estiércol de vaca

Características físico-químicas del estiércol de vaca

Muestra	pH	CE (dS/m)	MO (%)	N total (%)	P₂O₅ (%)	K₂O (%)
Estiércol de vaca	8.27	10.92	72.80	1.90	1.59	3.03

Características microbiológicas del estiércol de vaca

Muestra	Humedad (%)	Bacterias (UFC/g de suelo seco)	Actinomicetos (UFC/g de suelo seco)	Hongos (UFC/g de suelo seco)
Estiércol de vaca	23.35	0.14 x 10 ⁶	0.03 x 10 ⁵	4.60 x 10 ⁴

Anexo 8: Flora microbiana del guano de islas

Composición microbiológica del guano de islas

- *Azotobacter spp.*
- *Clostridium pasterianum*
- *Micrococcus urea*
- Bacterias nitrificantes
- Bacterias desnitrificadoras
- *Aspergillus sp.*
- *Penicillium sp.*
- *Cladosporium sp.*
- *Risopus nigricans*
- Bacilo fluorescentes
- *Coccinodiscus centralis*
- Quepópodos

Fuente: Cancino, 1960.

Anexo 9: Fotos

Foto 1: Pila de compostaje al inicio del proceso de compostaje



Foto 2: Pilas de compostaje a los 15 días



Foto 3: Medición de temperatura



Foto 4: Tamizado



Foto 5: Tratamientos en etapa de maduración



Foto 6: Test de Zucconi (Testigo)

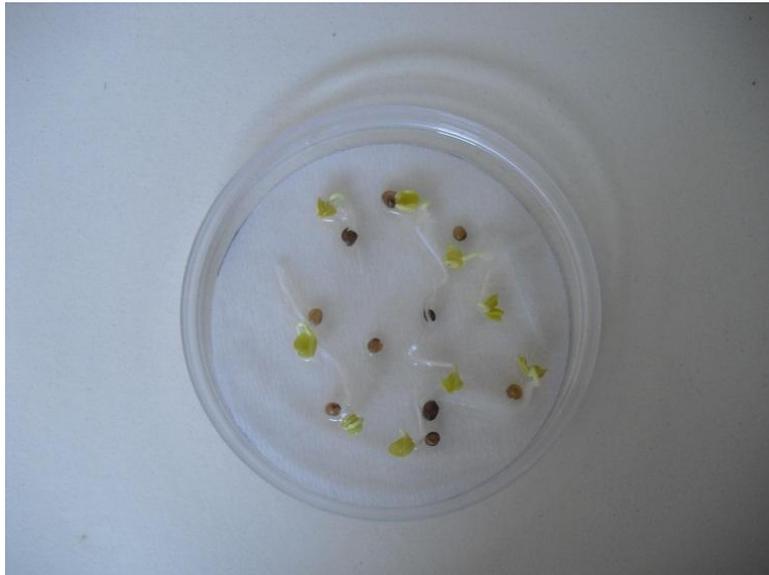


Foto 7: Test de Zucconi (Tratamientos)



Foto 8: Test de Madurez



Foto 9: Prueba de crecimiento – Tratamientos 1 al 7 (Formulación al 1%)



Foto 10: Prueba de crecimiento – Tratamientos 8 al 14 (Formulación al 1%)



Foto 11: Prueba de crecimiento – Tratamientos 1 al 7 (Formulación al 2%)



Foto 12: Prueba de crecimiento – Tratamientos 8 al 14 (Formulación al 2%)

