

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
GENERADOS EN SANITARIOS ECOLÓGICOS MEDIANTE
EL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN UN
PROCESO DE COMPOSTAJE”**

Presentada por:

XIMENA PRADO GARCÍA BLÁSQUEZ

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima - Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
GENERADOS EN SANITARIOS ECOLÓGICOS MEDIANTE
EL USO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN UN
PROCESO DE COMPOSTAJE”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:
XIMENA PRADO GARCÍA BLÁSQUEZ**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Mg.Sc. Víctor R. Miyashiro Kiyán
PRESIDENTE**

**Dr. Víctor Meza Contreras
PATROCINADOR**

**Mg.Sc. Juan A. Guerrero Barrantes
MIEMBRO**

**Mg.Sc. Wilfredo C. Baldeón Quispe
MIEMBRO**

DEDICATORIA

A Dios y a mis queridos padres Jorge y Luzmila por el ejemplo, el amor y el apoyo constante a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria la Molina, por brindarme los más grandes conocimientos en mi formación de maestría y ser la impulsora de hacerme una mujer de ciencia al servicio de la investigación.

A la empresa X- Runner, por permitirme hacer uso de sus instalaciones, materiales, equipos y por permitirme realizar el presente trabajo con ayuda de su personal.

A mi patrocinador el Dr. Víctor Meza Contreras, por las ideas, el apoyo en la realización de mi tesis, sus incansables palabras de motivación para la conclusión del presente trabajo.

A los miembros de jurado, al Msc. Juan Guerrero Barrantes y al Msc. Wilfredo Baldeón Quispe por el apoyo e ideas para la conclusión del presente trabajo.

Al Ing. Erik N. Córdova Chuquival por la amistad, el pleno y constante apoyo, ideas y palabras de aliento durante la realización de mi trabajo de investigación.

Al Msc. Reynán Cóndor Alarcón, por su constante apoyo e ideas que me permitieron investigar de manera constante, por la confianza y amistad que transmite en sus enseñanzas.

A mis hermanos Diego y Jorge, por sus palabras de aliento durante todo el proceso de tesis.

A Roy Acosta y Celia por el apoyo y la amistad durante la realización de la presente tesis.

I. Índice General

I.	Índice General	1
1.1.	Índice de Tablas.....	4
1.2.	Índice de figuras	6
1.3.	Índice de Anexos.....	9
II.	RESUMEN.....	10
	ABSTRACT	12
III.	INTRODUCCIÓN.....	14
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA	17
4.1.	Excretas Humanas.....	17
4.2.	Sanitarios Ecológicos.....	19
4.3.	Microorganismos Eficientes (EM)	20
4.3.1.	Efectos de los Microorganismos Eficientes (EM)	22
4.3.2.	Aplicaciones de los EM	23
4.4.	Situación de la industria maderera en el Perú.....	25
4.5.	Manejo del aserrín en el Perú	25
4.6.	Transformación primaria y secundaria de la madera	31
4.7.	Aserrín.....	32
4.7.1.	Características químicas, físicas y biológicas del aserrín	32
4.8.	Compostaje	34
4.8.1.	Definición de compost	34
4.8.2.	Definición de compostaje.....	34
4.8.3.	Variables a considerar antes de instalar pilas de compost	35
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
5.1.	Población y muestra	47
5.1.1.	Población.....	47
5.1.2.	Toma de muestras	47
5.1.3.	Evaluación y análisis de las muestras.....	47
5.2.	Lugar de Ejecución	48
5.3.	Características climáticas de la zona de estudio.....	48
5.4.	Instrumentos de colecta de datos	49
5.4.1.	Materiales, equipos y reactivos.....	49
5.5.	Metodología experimental	50
5.5.1.	Preparación de la solución de microorganismos eficientes caseros (en adelante EM _C).....	50

5.5.2. Evaluación de la viabilidad de los microorganismos eficientes caseros (EM _C) en el aserrín.....	51
5.5.3. Evaluación del pre tratamiento anaeróbico de las excretas, aserrín y EM _C	52
5.5.4. Evaluación del proceso de compostaje del aserrín más excretas más solución de microorganismos eficientes caseros (EM _C).	56
5.5.5. Procedimientos de análisis de datos en laboratorio.....	60
5.5.6. Prueba del efecto del compost en semillas de lechuga.....	66
5.5.7. Análisis estadístico.....	70
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
6.1. Preparación de la solución de microorganismos eficientes caseros (EM _C).....	71
6.2. Evaluación de la viabilidad de los microorganismos eficientes (EM _C) en el aserrín. ..	73
6.2.1. Evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas presentes en el aserrín puro	73
6.2.2. Características físico químicas del aserrín al 20 por ciento (A) y 30 por ciento (B) de concentración de microorganismos eficientes caseros (EM _C) evaluados durante quince días.....	75
6.2.3. Características microbiológicas del aserrín al 20 por ciento (A) y 30 por ciento (B) de concentración de microorganismos eficientes (E.M.) evaluados durante quince días.....	78
6.3. Evaluación del Pre Tratamiento anaeróbico de las excretas y aserrín más la solución de EM _C	81
6.3.1. Evaluación fisicoquímico de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM _C + excretas humanas durante 20 días.	81
6.3.2. Evaluación microbiológica de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM _C + excretas humanas durante 20 días.	85
6.4. Evaluación del proceso de compostaje del aserrín, excretas humanas y EM _C	87
6.4.1. Análisis de los parámetros evaluados durante el proceso de compostaje.....	88
6.4.2. Análisis físico químico final de la materia orgánica en las tres pilas de compostaje.	97
6.4.3. Análisis microbiológico final de la materia orgánica en las tres pilas de compostaje	100
6.4.4. Densidad aparente.....	104
6.5. PRUEBA DEL EFECTO DEL COMPOST EN SEMILLAS DE LECHUGA.....	105
6.5.1. Determinación del Porcentaje de Germinación según diluciones del té de compost de las pilas evaluadas	106
6.5.2. Determinación del Índice de germinación (IG) en porcentaje de las diluciones y/o tratamientos realizados con el té de compost.....	106
VII. CONCLUSIONES.....	111
VIII. RECOMENDACIONES	113

IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
X.	ANEXOS	127

1.1. Índice de Tablas

	Página
Tabla 1: La composición de nutrientes estimada en la excreción por persona en diversos países.	18
Tabla 2: Concentraciones de metales pesados en la orina, en las heces, en la mezcla orina más heces y en los residuos de cocina separados en la fuente; comparados con el estiércol de aves de corral.	19
Tabla 3: Generación de aserrín en tres procesos de producción de madera de ocho especies de madera.	27
Tabla 4: Producción de madera rolliza y aserrada por especie, año 2012.	28
Tabla 5: Composición química del aserrín de <i>Pinus caribaea</i> (%masa seca).	32
Tabla 6: Parámetros físicos en Aserrín y otros sustratos utilizables en compostaje.	33
Tabla 7: Parámetros biológicos en Aserrín y otros sustratos utilizables en compostaje	34
Tabla 8: Parámetros de referencia para algunos materiales utilizados en compost.	39
Tabla 9: Valores de la Relación C/N de algunos materiales utilizado en compostaje.	40
Tabla 10: Determinación de parámetros físicos para valorar la calidad de los abonos orgánicos.	42
Tabla 11: Determinación de parámetros químicos para valorar la calidad de los abonos orgánicos.	43
Tabla 12: Determinación de parámetros biológicos para valorar la calidad de los abonos orgánicos.	44
Tabla 13: Concentraciones máximas de metales pesados en compost para agricultura ecológica, según normativa en Los Estados Unidos, Reino Unido, Comunidad Económica Europea, España y Chile.	45
Tabla 14: Valores óptimos para parámetros físicos y fisicoquímicos del compost, según las normas de calidad en USA, México y Chile.	45
Tabla 15: Valores límite de parámetros sanitarios para compost, según las normas de calidad en USA, México y Chile.	46
Tabla 16: Cronograma de evaluación de parámetros fisicoquímicos y	

microbiológicos en muestras de aserrín con microorganismos eficientes (E.M).	52
Tabla 17: Cronograma de evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en mezcla de aserrín + excretas + EM.	56
Tabla 18: Dosis de riego y frecuencia de los volteos de las pilas de compost.	59
Tabla 19: Cronograma de evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	59
Tabla 20: Métodos empleados en el análisis de la materia orgánica.	63
Tabla 21: Características físico químicas de los microorganismos eficientes (E.M.) activados.	71
Tabla 22: Características físico químicas en el aserrín.	73
Tabla 23: Análisis microbiológico del aserrín.	74
Tabla 24: Evaluación físico química del aserrín al 20 por ciento (A) y 30 por ciento (B) de concentración de microorganismos eficientes (E.M.) evaluados durante quince días.	76
Tabla 25: Análisis Microbiológico del aserrín con 20 por ciento (A) y 30 por ciento de concentración de microorganismos eficientes (E.M.).	79
Tabla 26: Análisis físico químico de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ E.M.+ excretas humanas durante 20 días.	82
Tabla 27: Análisis físico químico final de la materia orgánica.	97
Tabla 28: Análisis microbiológico final de agentes patógenos en muestras de compost final de las pilas de compostaje.	100
Tabla 29: Cálculo de la densidad aparente y volumen inicial y final para cada pila de compostaje	104
Tabla 30: Determinación del Porcentaje de germinación relativa y del Índice de	107

1.2. Índice de figuras

	Página
Figura 1: Flujo de producción de un aserradero permanente con línea de elaboración.	26
Figura 2: Ubicación de la planta de compostaje.	48
Figura 3: Preparación de las concentraciones: 20 y 30 por ciento.	54
Figura 4: Contenedores de papel y bolsas biodegradables listas para su distribución en viviendas.	54
Figura 5: Recepción de las muestras al cabo de siete días en las viviendas de cada zona.	55
Figura 6: Peso de cada contenedor y bolsa recepcionada.	55
Figura 7: Disposición de las muestras de contenedores y bolsas de plástico en las mangas de plástico.	55
Figura 8: Pila B (tratamiento 30 por ciento).	58
Figura 9: Pila A (tratamiento 20 por ciento).	58
Figura 10: Pila C (Control).	58
Figura 11: Volteo de Pilas.	58
Figura 12: Riego de las pilas A y B con EMc al 1,0 por ciento y control con agua.	58
Figura 13: Secuencia del muestreo de las pilas para análisis físico-químicos y microbiológicos.	58
Figura 14: Peso de las muestras para disponerlas en papel (previamente tarado) a falta de crisoles.	60
Figura 15: Luego de 24 horas; se calculó el peso seco de las muestras.	60
Figura 16: Pesado de 10 g. de la muestra.	61
Figura 17: Agitación de las muestras por una hora a 400 rpm.	61
Figura 18: Se realizó el filtrado de cada muestra.	61
Figura 19: Cálculo del pH con ayuda del potenciómetro.	61
Figura 20: Muestra 1 g. diluido en 100 ml de agua destilada, se dejó reposar 15 minutos para separar el sobrenadante.	62
Figura 21: Se tomó una alícuota de 10 ml del sobrenadante.	62
Figura 22: Se agregó tres gotas de fenolftaleína.	62
Figura 23: Se realizó la titulación con NaOH 0,1 N hasta viraje a color rosa.	63

Figura 24: Pesar el anillo inferior con la malla sintética.	65
Figura 25: Anillo I sobre el anillo II	65
Figura 26: Anillos llenos de sustrato y puestos en el recipiente de tecknopor.	65
Figura 27: Llenar el recipiente con agua, con cuidado de no hacer caer sobre la muestra.	65
Figura 28: Saturación de las muestras por 48 horas.	65
Figura 29: Después de la saturación los cilindros se colocan en el cubo de arena.	65
Figura 30: Separar el Anillo I del Anillo II, con ayuda de una espátula.	65
Figura 31: Determinar el peso del Anillo II lleno de sustrato húmedo.	66
Figura 32: Movimiento de la preparación por 15 minutos.	67
Figura 33: Liberando el líquido que queda dentro de la malla a otro recipiente.	67
Figura 34: Embotellado del té de compost.	68
Figura 35: Té de compost de las tres pilas (A, B y Control)	68
Figura 36: Diluciones preparadas.	69
Figura 37: Esquema de una plántula de lechuga normal después del período de exposición.	69
Figura 38: Análisis microbiológicos de los tratamientos A (20 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM _C + excretas humanas durante 20 días.	86
Figura 39: Análisis microbiológicos de los tratamientos B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM _C + excretas humanas durante 20 días.	86
Figura 40: Evolución del pH durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.	88
Figura 41: Evolución del porcentaje de acidez durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.	90
Figura 42: Evolución del porcentaje de humedad durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.	91
Figura 43: Evolución de la relación C/N durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.	93
Figura 44: Evolución de la temperatura durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.	94
Figura 45: Porcentaje de germinación según dilución de té de compost.	106

Figura 46: Índice de germinación según las diluciones y/o tratamientos del té de compost.	107
Figura 47: Organización de materiales.	109
Figura 48: Preparación de las diluciones.	109
Figura 49: Diluciones preparadas.	109
Figura 50: Semillas en placas con la respectiva dilución.	109
Figura 51: Placas en caja para germinación.	109
Figura 52: Semillas germinadas.	110
Figura 53: Medición de la radícula e hipocotilo.	110
Figura 54: Longitud hipocotilo.	110
Figura 55: Semillas germinadas en agua.	110
Figura 56: Semilla germinada en dilución 1:5.	110
Figura 57: Semilla germinada en dilución 1:6,67.	110
Figura 58: Semilla germinada en dilución 1:10.	110
Figura 59: Semilla germinada en dilución 1:50	110
Figura 60: Semilla Germinada en Te de Compost Puro.	110

1.3. Índice de Anexos

	Página
Anexo 1: Características físico químicas del aserrín más EM _C durante quince días.	128
Anexo 2: Análisis de varianza al día quince de los parámetros evaluados en el proceso de viabilidad.	129
Anexo 3: Análisis físico químico de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín + EM _C + excretas humanas durante 20 días.	130
Anexo 4: Análisis microbiológico de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín + EM _C + excretas humanas, durante 20 días	131
Anexo 5: Análisis de varianza al día veinte de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín + EM _C . + excretas humanas durante 20 días.	133
Anexo 6: Prueba de Tukey al día veinte de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín + EM _C . + excretas humanas durante 20 días.	134
Anexo 7: Análisis de varianza del último mes de las pilas A (20 por ciento) y B (30 por ciento) y control del proceso de compostaje.	136
Anexo 8: Prueba Tukey del último mes de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) y Control del proceso de compostaje.	137
Anexo 9: Características físico químicas de las pilas A, B y Control durante los meses de compostaje.	138
Anexo 10: Análisis de varianza al quinto día del bioensayo para las diluciones analizadas.	140
Anexo 11: Prueba Tukey del último mes de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) y Control del proceso de compostaje.	141
Anexo 12: Medidas de la radícula e hipocótilo del bioensayo.	142

II. RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó la acción de los microorganismos eficientes caseros (EM_c) en residuos orgánicos de excretas humanas provenientes de sanitarios ecológicos del distrito de Villa el Salvador - Lima mediante un proceso de compostaje; para tener claro que hoy en día las recomendaciones para el uso agrícola de la excreta se fundamentan en el conocimiento del contenido de nutrientes en esta, las cantidades excretadas, la composición y disponibilidad de fertilizante para las plantas y el tratamiento de la excreta, que influencia sus propiedades. La metodología empleada consideró dos etapas previas del proceso de compostaje propiamente dicho y una etapa de bioensayo para evaluar el producto final en la germinación de semillas con características de hipersensibilidad como son las de *Lactuca sativa sp.*

Se trabajó con dos tratamientos de 20 y 30 por ciento de EM_c inoculados en muestras de aserrín destinados a diferentes viviendas con las que la empresa trabaja la instalación de sanitarios ecológicos y el recojo de los residuos de excretas cada siete días después de entregado el aserrín con el inóculo en las dos concentraciones mencionadas, así como también se trabajó con un tratamiento control el cual no presentó inóculo de EM_c en el proceso.

Se realizó la medida de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en cada etapa de la investigación. Se logró evidenciar la viabilidad de los EM_c en el aserrín con poca pérdida poblacional durante el tiempo de evaluación de quince días y durante la etapa anaeróbica se observa descenso progresivo de la biota patógena de las muestras, así como diferencias significativas entre los parámetros evaluados. Durante el proceso de compostaje el pH, la C.E., la humedad, la relación C/N, se encuentran dentro de los valores normales dictados por diversas normas que rigen un adecuado proceso de compostaje. En el caso de la temperatura se logró alcanzar la fase termogénica en las tres pilas de compostaje lo que garantizó la eliminación de agentes patógenos y la obtención de un buen porcentaje de materia orgánica en las pilas, así como ausencia de metales pesados.

Microbiológicamente la pila con el tratamiento de 30 por ciento presentó ausencia de coliformes fecales, salmonella, *E.coli* y mayor concentración de *Lactobacillus* que son representantes del inoculo de EMC, es importante mencionar que las tres pilas evaluadas presentaron ausencia de parásitos.

La evaluación del bioensayo se realizó con la previa preparación del té de compost de las muestras solidas obtenidas en la pila y permitió evaluar la calidad agronómica de la pila de tratamiento de 30 por ciento debido a que esta fue la que presentó mejores condiciones durante todo el proceso logrando obtener en esta etapa 95 por ciento en porcentaje de germinación de semillas de lechuga y un índice de germinación de 92,3 por ciento, valor que se encuentra por encima del 80 por ciento concluyendo que el producto está libre de elementos fitotóxicos.

Finalmente cabe mencionar que una de las alternativas a presentarse actualmente en la agricultura sería la aplicación de Microorganismos Eficientes Caseros (EMC), que bien utilizados pueden reducir no sólo la contaminación del microambiente (control de malos olores, moscas), sino también mejorar el tratamiento de este tipo de residuos (excretas humanas) reduciendo su disposición al desagüe y contaminación del agua acelerando la estabilización del proceso y disminuir el impacto ambiental causado por éste tipo de residuos.

Palabras clave: Microorganismos eficientes caseros (EMC); compost de aserrín; té de compost; sanitarios ecológicos; residuos sólidos.

ABSTRACT

In this research, the action of effective microorganisms (EM) was evaluated in organic waste of human excreta from ecological toilets of Villa El Salvador - Lima, through a composting process; to be clear that today's recommendations for agricultural use of excreta are based on knowledge of the nutrient content in this, the excreted amounts, composition and availability of fertilizer for plants and treatment of excreta, which influences their properties. The methodology, considered two previous stages of the composting process itself and a step of bioassay to evaluate the final product on seed germination characteristics of hypersensitivity as those of *Lactuca sativa* sp.

We worked with two treatments of 20 and 30 percent of EM inoculated samples sawdust aimed at different homes with which the company works to install ecological toilets and the gathering of waste excreta every seven days after delivery of the sawdust the inoculum in the two concentrations mentioned, as well as treatment worked with a control which did not present EM inoculum in the process.

The extent of the physical, chemical and microbiological parameters at each stage of the research was conducted. It was possible to demonstrate the viability of the EM in the sawdust with low population loss during the evaluation period of fifteen days, and during anaerobic stage a progressive decrease of the pathogenic biota samples were observed as well as significant differences between the parameter evaluated.

During the composting process the pH, EC, humidity, the C/N, are within normal values dictated by various rules suitable composting process. In the case of temperature, it was reached thermogenic phase three compost piles which ensured the elimination of pathogens and obtaining a good percentage of organic matter in the absence of batteries and heavy metals.

Microbiologically treatment pile of 30 percent, presented absence of fecal coliform, *Salmonella*. *E.coli* and *Lactobacillus* higher concentration of inoculum that are

representatives of "EM" is worth mentioning that the three tested batteries showed no parasites.

The evaluation of the bioassay was performed with the prior preparation of compost tea of solid samples from the stack and allowed to evaluate the agronomic quality of the treatment stack of 30 percent, because this was the one with better conditions for making the whole process get at this stage 95 percent germination rate of lettuce seeds, and germination rate of 92,3 percent, a value that is above 80 percent concluding that the product is free from elements phytotoxic.

Finally, it is noteworthy that one of the alternatives currently present in agriculture would be the implementation of Efficient Microorganisms (EM), which can be well used not only reduce pollution microenvironment (control of odors, flies), but also improve treatment this type of waste (human excreta) by reducing its willingness to drain water pollution and accelerating the stabilization of the process and reduce the environmental impact caused by this type of waste.

Keywords: Efficient Microorganisms (EM); sawdust compost; compost tea; ecological toilets; solid waste.

III. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desechos generados por el hombre son las excretas humanas a partir de las cuales se generan impactos negativos que se pueden controlar con la utilización de baños secos, este sistema consta de una taza separativa (heces – orina) y una cámara de almacenamiento que permiten recolectar las heces, las cuales deben ser deshidratadas después de cada deposición, utilizando un material secante como por ejemplo el aserrín. El sistema no utiliza agua, reduciendo la producción de aguas negras y su conducción hacia plantas de tratamiento de aguas residuales (Moscoso, 2011).

Experiencias realizadas por Jönsson et al. (2004); explica que las heces deshidratadas pueden ser sometidas a un tratamiento específico, como por ejemplo: el compostaje; potencializando así su reutilización y constituyendo una alternativa de minimización de desechos riesgosos para la salud humana y mejora de la sostenibilidad ambiental.

En la actualidad, en el Perú la Empresa de Saneamiento “X-Runner”, ha montado un servicio de alquiler de sanitarios ecológicos en los asentamientos humanos California en Villa el Salvador y La Rinconada en San Juan de Miraflores; brindando el servicio de recolección de excretas deshidratadas, para luego tratar estos desechos mediante un proceso de compostaje.

Contribuyendo al trabajo de la empresa X- Runner, la presente tesis propone el tratamiento de dichos residuos mediante el uso de los microorganismos eficientes (E.M.; por sus siglas en inglés) en un proceso de compostaje. El principio fundamental de esta tecnología fue la introducción de un grupo de microorganismos benéficos para mejorar las condiciones del suelo, suprimir putrefacción (incluyendo enfermedades) microbios y mejorar la eficacia del uso de la materia orgánica por las plantas. Los E.M. pueden aumentar significativamente los efectos benéficos en suelos buenos y prácticas agrícolas como rotación de cultivos, uso de enmiendas orgánicas, labranza conservacionista, reciclado de residuos de cultivos y biocontrol de pestes; pueden también incrementar el proceso de descomposición de materiales orgánicos y durante la fermentación produce ácidos orgánicos que normalmente no están disponibles como: ácido láctico, ácido acético, aminoácido y ácido málico,

sustancias bioactivas y vitaminas. También se conoce que el efecto antioxidante del EM mejora el sistema inmunológico de plantas y animales (EM Research Organization, 2007).

La producción de compost a partir de excretas humanas hasta el momento es limitada. En el mundo hay experiencias aisladas de recolección de excretas humanas; siendo el continente Africano quien tiene mayor aprovechamiento de este recurso (Alvarado, 2004).

El compost es obtenido de manera artificial por descomposición bioquímica al favorecer la fermentación aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos como restos de alimentos, restos de plantas, animales, excremento y purines, por medio de la reproducción masiva de bacterias aerobias termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar (posteriormente la fermentación la continúan otras especies de bacterias, hongos, actinomicetos y así como también los microorganismos eficientes quienes cuando entran en contacto con materia orgánica, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y anitoxidantes; los efectos antioxidantes promueven la descomposición de materia orgánica y aumenta el contenido de humus (Alvarado, 2004).

Dentro de la investigación se permite también el tratamiento de los residuos de la madera como es el aserrín el cual al acumularse, se descomponen provocando la devolución de dióxido de carbono contenido en la materia orgánica hacia la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global. El promedio de madera que se procesa al día en un aserradero es 5,29 m³. Ninguna de las empresas aprovecha los residuos de la madera generados en las diferentes etapas de producción, como insumo para la obtención de productos derivados (madera contrachapada, peletz,...), siendo vendidos en camiones o sacos dependiendo de su tamaño y volumen. El camión de viruta y aserrín es vendido a S/. 200.00 y el saco de aserrín a S/1.00; estos son vendidos principalmente a granjas para cama de pollos y para jardinería (Arbaiza et al., 1999). Se consideraron los siguientes objetivos:

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo:

“Evaluar la incorporación de microorganismos eficientes caseros (EM_C) en un proceso de compostaje para el tratamiento de los residuos sólidos generados en los sanitarios ecológicos de la empresa X- Runner, ubicada en el distrito de Villa el Salvador”.

Las actividades que nos permitirá alcanzar el logro del objetivo planteado, y que constituyen los objetivos específicos de la presente investigación son las siguientes:

- Evaluar la viabilidad de los EMc (parámetros físicos, químicos y microbiológicos) en la mezcla de estos con aserrín.
- Evaluar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la mezcla de aserrín con EMc y excretas humanas.
- Evaluar la eficiencia de los EMc en el proceso de compostaje y reducción de patógenos.
- Evaluar la viabilidad agronómica del compost obtenido, en ensayos de germinación con semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*).

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Excretas Humanas

La materia fecal es una mezcla de los residuos de la dieta humana, con los microorganismos y productos de la secreción de las glándulas del tubo digestivo, está formada por agua, partes no digeridas y no digeribles de los alimentos, pigmentos biliares, colesterol y derivados provenientes de la bilis, caracterizándose por tener la forma del recto (cilíndricas) pastosas, de color amarillo y de olor peculiar debido al ácido sulfhídrico que se forma, el tiempo que duran las heces en salir al exterior es variable pudiendo ser de 13 o más horas o según hábitos de higiene (Jönsson et al., 2004).

Las excretas humanas son fertilizantes completos de alta calidad con bajo contenido de contaminantes, tales como metales pesados. Un humano, puede producir al año entre 25 a 50 kg de heces, compuesta de materia orgánica, rica en Nitrógeno (0,55 kg/hab/año), Fósforo (0,183 kg/hab/año) y Potasio (0,37 kg/hab/año) (Jönsson et al., 2004). A su vez, la orina, además de contener Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), tres de los principales elementos que las plantas absorben, también contiene buenas cantidades de: Sodio (Na), Azufre (S), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y la mayoría de elementos menores como el Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Boro (B) y Hierro (Fe); llamados de esta manera, debido a que las plantas los requieren en cantidades traza (Arroyo et al., 2005).

La aplicación de heces, mediante la adición de materia orgánica, produce una mejora en las propiedades físicas del suelo, tales como la capacidad de retención de agua y la estructura, adicionalmente, para obtener una mejora de la capacidad de amortiguamiento y el pH del suelo, se le añade cenizas. (Jönsson et al., 2004).

En la Tabla 1, se presenta la comparación de nutrientes, estimada en la excreción por persona en diversos países, se aprecia además que la excreción total ha sido dividida entre orina y heces. Usándose como referencia, datos suecos, aproximadamente el 88 por ciento del nitrógeno y 67 por ciento del fósforo se encuentran en la orina y el resto en las heces.

Tabla 1: La composición de nutrientes estimada en la excreción por persona en diversos países.

PAÍS		NITRÓGENO (kg/per cápita-año)	FÓSFORO (kg/per cápita-año)	POTASIO (kg/per cápita-año)
China	Total	4,0	0,6	1,8
	Orina	3,5	0,4	1,3
	Heces	0,5	0,2	0,5
Haití	Total	2,1	0,3	1,2
	Orina	1,9	0,2	0,9
	Heces	0,3	0,1	0,3
India	Total	2,7	0,4	1,5
	Orina	2,3	0,3	1,1
	Heces	0,3	0,1	0,4
Sudáfrica	Total	3,4	0,5	1,6
	Orina	3,0	0,3	1,2
	Heces	0,4	0,2	0,4
Uganda	Total	2,5	0,4	1,4
	Orina	2,2	0,3	1,0
	Heces	0,3	0,1	0,4

FUENTE: Jönsson et al. (2004).

El contenido de metales pesados y sustancias tóxicas en las excretas humanas, son generalmente bajos o muy bajos; dependen de las cantidades presentes en los productos consumidos. El contenido de estas sustancias es mayor en las heces en comparación con la orina; la causa principal es que las heces consisten básicamente en materiales no metabolizados combinados con algunos materiales metabolizados, la proporción principal de micronutrientes y otros metales pesados pasa a través del intestino sin ser afectada (Fraústo da Silva y Williams, 1997).

En la Tabla 2, se muestran las concentraciones de metales pesados (cobre, zinc, cromo, níquel, plomo y cadmio) presentes en los desechos humanos (orina y heces), en la mezcla orina más heces y en los residuos de cocina separados en la fuente; en comparación con estiércol de aves de corral (FYM por sus siglas en inglés), en granjas de ganado orgánico en Suecia; tanto en unidades de $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso húmedo y mg/kg de peso seco.

Tabla 2: Concentraciones de metales pesados en la orina, en las heces, en la mezcla orina más heces y en los residuos de cocina separados en la fuente; comparados con el estiércol de aves de corral (FYM).

	Unidad	Cobre	Zinc	Cromo	Níquel	Plomo	Cadmio
Orina	µg/kg	67	30	7	5	1	0
Heces	µg/kg	6667	65000	122	450	122	62
Mezcla orina + heces	µg/kg	716	6420	18	49	13	7
Residuos de cocina	µg/kg	6837	8717	1706	1025	3425	34
Estiércol de aves de corral (FYM)	µg/kg	5220	26640	684	630	184	23
Orina	mg/kg	101	45	10	7	2	1
Heces	mg/kg	2186	21312	40	148	40	20
Mezcla orina + heces	mg/kg	797	7146	20	54	15	7
Residuos de cocina	mg/kg	5279	6731	1317	791	2644	26
Estiércol de aves de corral (FYM)	mg/kg	3537	18049	463	427	124	16

FUENTE: Jönsson et al. (2004).

Para Miglio y Spittler, (2010), las excretas humanas además de contener altas concentraciones de materia orgánica, constituyen una fuente principal de contaminación por bacterias fecales, patógenos y parásitos; sin, embargo, al ser tratadas (separadas de la orina y el agua) a través de un proceso de compostaje o deshidratación pueden ser reaprovechadas bajo ciertas condiciones como abono o humus, evitando de esta manera la contaminación del agua y del suelo.

4.2. Sanitarios Ecológicos

Los sanitarios ecológicos son una opción de saneamiento ecológico, enfocado en el ahorro de agua, basado en la separación de los residuos, por un lado, las excretas humanas que son depositadas en un balde debajo del inodoro, que es una cámara cerrada con flujo de aire, donde las excretas serán cubiertas con aserrín luego de cada uso, y por otro lado la orina, que se infiltra en el suelo, o se recoge en envases cerrados (galoneras).

El manejo de residuos, se refiere al tratamiento que se le otorga a las excretas humanas, luego de recoger los contenedores que las contienen. Los residuos (excretas humanas

deshidratadas) son compostados hasta lograr alcanzar temperaturas superiores a los 60 °C, permitiendo obtener un producto libre de patógenos, utilizándose como abono en campos de cultivo de tallo alto, en parques y áreas verdes en las ciudades, en campos de golf, campos de fútbol, en el bosque o como tierra de relleno para obras (Calizaya et al., 2009).

Esta opción de saneamiento, además del ahorro del agua (30% del agua destinada a los inodoros convencionales), por el principio de “cero descarga” en el que se basa; contribuye con la reducción de efluentes con alta carga de contaminantes (aguas negras) hacia la red de alcantarillado, con lo cual, se reduciría el costo del tratamiento de las aguas residuales domésticas, permitiendo de esta manera incrementar el porcentaje de tratamiento de dichas aguas (Miglio y Spittler, 2010)

4.3. Microorganismos Eficientes (EM)

Los microorganismos Eficientes o EM (sigla en inglés Effective Microorganisms) son una combinación de microorganismos beneficiosos de origen natural, que se usan principalmente para los alimentos o que se encuentran en los mismos. Contiene organismos beneficiosos de cuatro géneros principales: bacterias fototróficas, bacterias productoras de ácido láctico, actinomicetos y levaduras (EM Research Organization, 2007).

La EM Research Organization fundada por los años 1994 en Okinawa, Japón, es la encargada de promover y divulgar la tecnología EM por todo el mundo a través de sus oficinas regionales, sucursales y anexas, campañas de alianzas estratégicas, ONG, ONP afiliadas y gobiernos locales. Tiene un equipo de 100 investigadores alrededor del mundo que conducen la investigación de E.M. en diferentes campos para descubrir soluciones viables para los problemas ambientales y de salud existentes (EM Research Organization, 2007).

Okumoto (2003) manifiesta que el producto EM fue desarrollado desde hace más de 20 años por el Dr. Teruo Higa, profesor de la Facultad de Ryukyus en Japon. Asimismo, EM Resarch Organization (2007) indica que los microorganismos eficientes fueron desarrollados en forma líquida a lo largo de muchos años por parte del profesor Higa, y el estudio se completó en 1982. Al principio era considerado una alternativa para químicos agrícolas, pero su uso ahora se ha extendido a aplicaciones en los campos ambiental,

industrial y de salud: sin embargo, se debe enfatizar que EM no es ni químico, ni sintético, ni medicina.

El EM-1, EM Original, EM Básico, EM Primario, EM Solución para ganado, etc. son diferentes nombres para el mismo producto, EM-1 viene en forma líquida, cientos de microorganismos útiles y seguros, no es un fertilizante, ni un químico, y no es sintético ni es diseñado genéticamente, se usa con materia orgánica para enriquecer la tierra y para mejorar la flora y labranza (EM Research Organization, 2007).

Según la EM Research Organization (2007) los microorganismos de EM-1 se encuentran en estado latente y por lo tanto es usualmente empleado para hacer “productos secundarios” (EM Solución Extendida, EM Bokashi, EM Compost), dura aproximadamente un año almacenado en un lugar fresco y oscuro, manteniendo el envase bien cerrado y no puede ser aplicado directamente a la tierra o a las plantas. Okumoto (2003) manifiesta que los microorganismos del EM para su mejor conservación a largo plazo, deben estar en condición latente; por lo tanto, es mejor activar los microorganismos antes de utilizarlos, esta técnica de activación del EM permite tener una mayor cantidad de microorganismos beneficios y minimizar el costo del insumo.

EM Solución extendida, EM Activado, EM secundario, etc., según la EM Research Organization (2007) son diferentes nombres para el mismo producto y consiste en 3 por ciento de EM y 5 por ciento de melaza diluidos en 92 por ciento de agua en un recipiente herméticamente cerrado, dejado a fermentar durante una o dos semanas, donde un olor agridulce y un pH de 3,5 o menos indican que el proceso está completo y debe usarse dentro del mes siguiente a la fermentación.

Como producto secundario del EM se encuentra el EM Bokashi (anaeróbico) que consiste en 1 por ciento de EM-1, 1 por ciento de melaza y el resto de agua, a esta mezcla luego se le añade materia orgánica, como afrecho de arroz, y se mezcla completamente hasta que este húmedo en aproximadamente un 30 por ciento, luego se deja para que se fermente durante una o dos semanas, un olor agridulce y agradable indica que el proceso terminó. Se pueden hacer diferentes tipos de EM Bokashi con diferentes materias orgánicas y pueden ser usados para diferentes propósitos, los ingredientes usados con más frecuencia son afrecho de arroz y trigo, cascara de arroz y trigo, manteca, alimento de peces, etc. Se

recomienda almacenarlo en un lugar fresco y oscuro, manteniendo el recipiente herméticamente cerrado (EM Research Organization, 2007).

Otro producto elaborado a partir de EM es el EM Compost, que se elabora usando un 30 por ciento de materia orgánica (mezcla de excremento de animales, desechos sólidos, basura de cocina, hojas verdes, etc.), el EM Extendido es rociado, inyectado o mezclado completamente hasta que se humedezca en aproximadamente un 30 por ciento, luego se cubre con una manta grande para mantener el estado anaeróbico y se deja para que se fermente durante treinta o cuarenta días, un moho blanco (hongo) que aparece en la materia indica que el proceso del EM Compost está completo y debe usarse dentro de los 30 días después de la fermentación (EM Research Organization, 2007).

4.3.1. Efectos de los Microorganismos Eficientes (EM)

Estos microorganismos efectivos, cuando entran en contacto con la materia orgánica, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y antioxidantes. Cambian la microflora y macroflora de la tierra y mejora el equilibrio natural de manera que la tierra que causa enfermedades se convierte en tierra que suprime enfermedades, y esta a su vez tiene la capacidad de transformarse en tierra azimogénica. Los efectos antioxidantes promueven la descomposición de materia orgánica y aumenta el contenido de humus. Esto ayuda a mejorar el crecimiento de la planta y sirve como una excelente herramienta para la producción sostenible en la agricultura orgánica (EM Research Organization, 2007).

Según la Fundación Piedrabuena (2003) los efectos beneficiosos de la aplicación del EM son:

- Promover la germinación, la floración, el desarrollo de los frutos y la reproducción de las plantas.
- Mejora física, química y biológicamente el ambiente de los suelos, y suprime los patógenos y pestes que promueven enfermedades.
- Aumenta la capacidad fotosintética de los cultivos.
- Asegura una mejor germinación y desarrollo de las plantas
- Incrementa la eficacia de la materia orgánica como fertilizante.

Además de los beneficios señalados anteriormente, según la Guía de la Tecnología de EM (2011); los microorganismos eficientes también generan los siguientes beneficios:

- Contribuyen al proceso de descomposición de la materia orgánica, incrementando el humus en el suelo.
- Mejoran el sistema inmunológico de plantas y animales.
- Incrementan la población de microorganismos en la zona de la rizósfera, mejorando la absorción de los nutrientes.
- Contribuyen al manejo de las excretas, impidiendo la proliferación de otros microorganismos que generan la pudrición de la materia orgánica.
- Mejora la calidad del agua de bebida de animales, al mejorar su calidad microbiológica y enriquecerla con sustancias benéficas (probióticos)
- Mejora las condiciones de suelo de estanques.

4.3.2. Aplicaciones de los EM

- En la Actividad Pesquera: De acuerdo a estudios y experimentos realizados por la EM Research Organization (2007), los EM son extremadamente beneficiosos para la actividad pesquera. La comida de los peces se fermenta con EM antes de alimentarlos. La variedad de alimentos hechos con EM incluyen aquellos de excrementos de animales, desechos sólidos con Bokashi y alimento comercial. Para fermentar el alimento se usa el mismo proceso que para hacer EM Bokashi.
- En la Avicultura: La EM Research Organization (2007) señala que, en aves de corral, los alimentos se fermentan antes de suministrarlos. Una variedad de comidas hechas con E.M. incluyen aquellas de excrementos de animales, desechos sólidos con Bokashi y alimento comercial. La preparación es la misma que para los peces, también manifiestan que se puede agregar EM extendido al agua potable en una proporción de 1:100.
- La Producción de animales: Según la EM Research Organization (2007) una amplia variedad de alimentos incluyendo maíz ensilado, forraje y alimentos comerciales se puede fermentar con EM. También se puede agregar EM Extendido al agua potable, diluido en una proporción de 1:500. Usar E.M. también ayuda a reducir, en la carne y en la leche; los efectos secundarios dañinos de las vacunas y otros medicamentos.
- El Tratamiento de agua contaminada: Normalmente el agua contaminada incluye niveles altos de BOD, COD, pH, *E. coli* y otros contaminantes. La EM Research Organization (2007) antes de usar EM recomienda evaluar las propiedades del agua, también debe determinarse el propósito de reciclar, ya sea para eliminar olores desagradables, para uso en agricultura, para drenaje, etc. Por tanto, las propiedades del

agua contaminada y el propósito del reciclaje determinan el método de aplicación para EM.

- Reciclar desechos sólidos (desechos de la ciudad, residuos de cocina): Según la EM Research Organization (2007) los desechos sólidos y la basura de cocina se pueden reciclar para hacer fertilizante con EM. El método es el mismo que el que se usa para EM Compost. El olor de los desechos se puede eliminar rápidamente. Generalmente EM convierte los desechos en productos inofensivos y útiles. Normalmente la descomposición de los desechos tarda varios meses, con EM tarda únicamente de 4 a 6 semanas.
- En el manejo de las excretas; en granjas de aves de corral, se utilizan para controlar la proliferación de microorganismos que pudren la materia orgánica, causan el mal olor y atraen insectos plaga. La aplicación es directa sobre la cama y alrededor de las instalaciones, una vez por día durante todo el ciclo productivo (EM Research, 2011).
- En Rellenos Sanitarios (RS); en líneas generales, entre el 40 al 60 por ciento de los residuos sólidos que van a los RS, son materia orgánica, que al entrar en un proceso de pudrición generan malos olores, atraen insectos vectores plaga, generan lixiviados y producen gas metano; la aplicación de los EM, reduciría los malos olores al evitar la proliferación de los microorganismos que causan la putrefacción de la materia orgánica, lo cual reduciría también la presencia de insectos vectores plaga, aceleraría el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, manteniendo la vida útil del relleno sanitario, mejora la calidad de los lixiviados, y reduciría la generación de gases (metano) (EM Research, 2011).
- En la vida diaria: Según la EM Research Organization (2007) los EM pueden usarse en nuestra vida diaria de diferentes maneras; se puede rociar en los servicios sanitarios para eliminar olores desagradables en los baños para protegerlos de hongos, en las cocinas para eliminar el olor de la comida, en las lavadoras como una alternativa al detergente, en los closet para proteger la ropa de los insectos, en los zapatos para eliminar el mal olor, y en el césped y en los jardines para cultivar flores, frutas y vegetales.

Debido a esta amplia variedad de aplicaciones de EM, es fácil que se extienda de hogar en hogar o a otros vecinos, otras ciudades y más, cuando esto sucede; se está creando una comunidad ideal para vivir en un ambiente saludable (EM Research Organization, 2007). Por lo expuesto la EM Research Organization (2007) recomienda EM- Extendido diluido

en una proporción de 1:500 o EM-1 diluido en una proporción de 1:5000 para las aplicaciones mencionadas.

4.4. Situación de la industria maderera en el Perú

La riqueza del Perú es ampliamente conocida, más de las dos terceras partes de su territorio están constituidas por bosques tropicales que en una considerable proporción, tiene potencial para la producción forestal permanente. Estos recursos lo sitúan como el séptimo país en el mundo en cuanto a extensión forestal y el segundo país en América Latina, después de Brasil (Indacochea, 2005).

Del área total de bosques naturales, 24 millones de hectáreas pueden ser manejados de manera sostenible con objetivos de producción y conservación. La Cámara Nacional Forestal, estima que la capacidad instalada de extracción y aserrado es de 1 600 000 m³ anuales y que existen cerca de 600 pequeñas empresas forestales extractoras de maderas cuyas capacidades de producción son inferiores a los 3 000 m³ anuales (Indacochea, 2005).

La industria del aserrío tiene como principales centros de transformación: Pucallpa (principal centro industrial de producción de madera aserrada), seguido de Iquitos, Puerto Maldonado, Satipo y Lima. En términos generales, se sabe que en la actualidad 2/3 partes de la producción se focalizan en la selva. Actualmente se estima que las empresas trabajan a un 60 por ciento de su capacidad, dependiendo del abastecimiento irregular de materia prima (Arbaiza et al., 1999).

4.5. Manejo del aserrín en el Perú

La industria maderera es una de las más importantes en todo el mundo dentro del ámbito del aprovechamiento de los recursos naturales. En la mayoría de los países se cortan árboles para diversos fines. La industria del aserrado ha existido en formas sencillas desde hace siglos, aunque han sido estas últimas décadas cuando se han producido importantes avances tecnológicos con la introducción de la electricidad, la mejora en el diseño de las sierras y, más recientemente, la automatización de la clasificación y otras operaciones (Demers y Teschke, 2000).

En los países desarrollados, la mayoría de la madera cortada se destina a usos industriales: se incluyen aquí los troncos para el aserrado de chapa, pasta de madera, astillas, partículas y residuos (cortezas, virutas y aserrín). El aserrín y la corteza son residuos del proceso de

aserrío que pueden llegar a ser un problema en la industria de la madera, debido a los grandes volúmenes que se generan en la línea de producción; ya que estos ocupan mucho espacio al interior de la planta (Juárez et al., 2001; citados por Sánchez-Córdova, et al., 2008).

Gonzales (2006) con el apoyo del Instituto Forestal de Chile – Sede Metropolitana, realizó un estudio sobre la «Disponibilidad de residuos madereros provenientes de la industria primaria de la madera para uso energético»; dicho documento señala que de un volumen de 100 m³ de trozas de madera sin corteza, el 52 por ciento corresponden a residuos por aserrío; de los cuales, el 21 por ciento es residuo de aserrín; del 48 por ciento que es madera aserrada, sólo el 35,1 por ciento se aprovecha en manufacturas, mientras que el 12,9 por ciento se pierde como residuos por elaboración; de estos últimos, el 4,3 por ciento corresponden a residuos de aserrín (Figura 1).

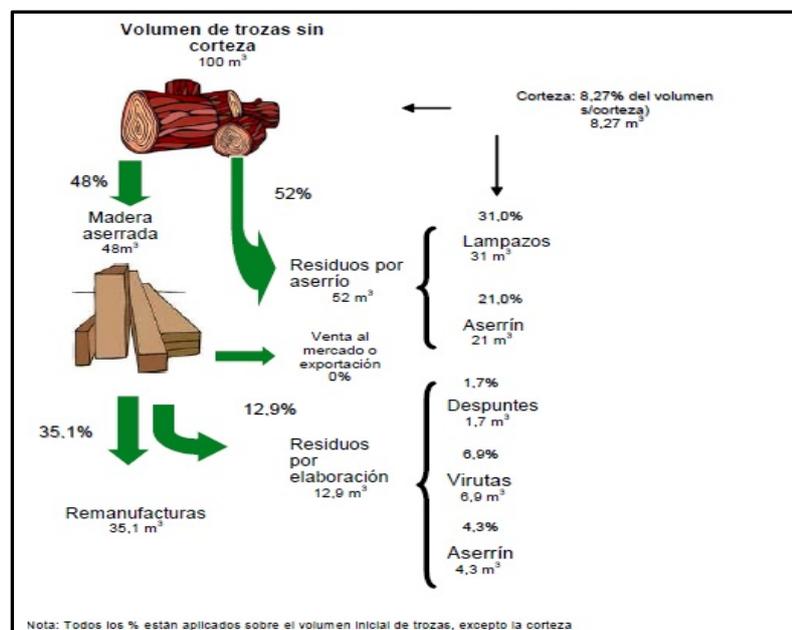


Figura 1: Flujo de producción de un aserradero permanente con línea de elaboración.

FUENTE: González (2006).

En el Perú la transformación mecánica de la madera, principalmente aserrío, es una actividad con rendimientos de madera rolliza a madera aserrada de aproximadamente 60 por ciento, correspondiendo la diferencia a residuos conocidos como cantoneras, cantos, costaneras, despuntes, viruta y aserrín (Bellido et al., 2003); pudiendo este último llegar a representar hasta el 15 por ciento de la producción total de la madera procesada (Pasache y Sánchez, 2013).

Gracias a la introducción de la electricidad, en la industria del aserrío se han producido importantes avances tecnológicos, que han permitido la automatización de las operaciones y los procesos en las líneas de producción; permitiendo un uso más eficiente de la madera, reduciendo el volumen de los residuos generados (Demers y Teschke, 2000).

Estudios realizados por Guevara et al. (1993) en el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP, sobre la industria de transformación mecánica de la madera, señalan que, en el Perú, ocho especies maderables cubren el 92,6 por ciento de la producción de madera, estas son: tornillo (37,1 por ciento); catahua (17,2 por ciento); cedro (10,8 por ciento); caoba (7,3 por ciento); cumala (6,8 por ciento); copaiba (6,5 por ciento); moena (3,9 por ciento) e Ishpingo (2,6 por ciento).

El mismo estudio, indica que la producción de madera procesada, para el año 1991, generó alrededor de 225 000 m³ de madera rolliza, con una generación aproximada de 106 000 m³ de residuos (entre cantoneras, cantos, puntas y aserrín). Los valores porcentuales de generación de aserrín en la producción de madera para estas ocho especies, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Generación de aserrín en tres procesos de producción de madera de ocho especies de madera.

Especie de Madera	ASERRÍN (por ciento)			Total Aserrín
	Sierra	Canteadora	Despuntadora	
Catahua	5,47	0,90	0,18	6,55
Caoba	4,10	0,90	0,24	5,24
Cedro	4,69	1,04	0,34	6,07
Copaiba	6,57	3,65	0,31	10,53
Cumala	8,70	4,00	0,13	12,83
Ishpingo	6,20	1,66	0,64	8,50
Moena	4,30	0,86	0,17	5,33
Tornillo	8,32	1,69	0,67	10,68

FUENTE: Guevara et al. (1993).

Según la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre del Ministerio de Agricultura; al 2008 con una producción de madera aserrada de 80 800 m³, la región de Loreto registró la mayor producción de madera aserrada con un 34 por ciento, seguido de Ucayali con 22 por

ciento, Madre de Dios 16 por ciento y Junín con un 12 por ciento, entre las regiones de mayor explotación maderera.

Tabla 4: Producción de madera rolliza y aserrada por especie, año 2012

Especies		Madera rolliza (m ³)	Madera aserrada (m ³)
Nombre vulgar	Nombre científico		
Eucalipto	<i>Eucalyptus sp</i>	526 496,99	68 086,26
Cumala	<i>Virola sp, Iryanthera sp</i>	193 759,41	88 443,23
Tornillo	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	239 971,53	107 696,24
Lupuna	<i>Chorisia integrifolia</i>	132 456,06	20 719,53
Shihuahuaco	<i>Coumarouna odorata</i>	87 132,04	25 326,93
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	87 161,79	9 579,47
Cachimbo	<i>Cariniana domesticata</i>	95 024,25	18 727,75
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	25 947,35	10 483,56
Capinuri	<i>Clarisia biflora</i>	67 004,78	565,22
Catahua	<i>Hura crepitans</i>	34 873,67	11 562,08
Bolaina	<i>Guazume crinita</i>	27 521,59	5 546,75
Copaiba	<i>Copaifera reticulata</i>	60 143,41	15 130,76
Moena	<i>Aniba spp</i>	49 354,54	15 565,05
Pino	<i>Pinus radiata</i>	76 986,34	5 728,32
Huayruro	<i>Ormosia sunkei</i>	35 690,58	10 938,55
Pashaco	<i>Schizolobuim amazonicum</i>	43 605,65	17 574,29
PRODUCCIÓN TOTAL		2 476 860,42	705 447,28

FUENTE: MINAG (2013).

En el 2012, en el informe técnico: «Diagnóstico de la industria de primera y segunda transformación y de la cadena productiva en Pucallpa»; presentado por la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre del Ministerio de Agricultura; se señala que fueron las regiones de Loreto y Ucayali los principales centros de transformación maderera del Perú; siendo las especies más explotadas por la industria, las que se indican en la Tabla 4.

Según la información presentada en la Tabla 4; para la producción total de madera procesada: 2 476 860,42 m³ de madera rolliza y 705 447,28 m³ de madera aserrada; y considerando el porcentaje de generación (15 por ciento) señalado por Pasache y Sánchez (2013); la generación de aserrín vendría a ser de: 371 529,1 m³ para madera rolliza y de 105 817,10 m³ para madera aserrada, respectivamente.

Estos residuos, según sus dimensiones y la etapa de la transformación en la cual son generados, son aprovechados para la elaboración de productos secundarios, tales como: cajones para frutas, cerillas para fósforo, palos de escoba, entre otros (Bellido et al., 2003).

La viruta y el aserrín, debido a que hasta el momento no se ha encontrado un uso racional para este tipo de biomasa que resulte rentable para los empresarios madereros, debe ser evacuada (desechada o quemada) con prontitud para no obstaculizar el proceso productivo. Sin embargo, estos residuos pueden ser aprovechados, en la industria de diferentes maneras; entre las que podemos destacar:

- a. La producción de tableros de fibra; al respecto, por experiencias en otros países, se tiene conocimiento, que se utiliza hasta el 44 por ciento de residuos de aserraderos como materia prima para la obtención de tableros de fibras, ello debido a que la demanda por materiales livianos con alto grado de resistencia y variedad de densidades y superficies, que reemplacen a la madera, ha venido en aumentando de manera progresiva en los últimos años, a nivel mundial (Bellido et al., 2003).
- b. La fabricación de briquetas. Las briquetas, también conocida como leñetas, son un producto hecho a base de desechos maderables (aserrín principalmente), que mediante un proceso de compresión compactan las partículas de aserrín formando un producto con propiedades caloríficas adecuadas para su utilización en los distintos sectores donde se requiere fuentes de energías caloríficas (García, 2014); no utilizan ningún tipo de aglomerante ya que la humedad y la propia lignina de la madera funcionan como adhesivo natural (Olivares, 2011). Estudios realizados en nuestro país, por ejemplo, en el Cuzco, han desarrollado pruebas de elaboración de briquetas a partir de desechos orgánicos como cáscara de plátano, papa entre otros (García, 2014).
- c. Como fuente de energía. El aserrín está básicamente conformado por: lignina, celulosa, hemicelulosa y extractables; cuyo contenido varía dependiendo de la especie de árbol de la cual provengan. Dependiendo de estos componentes, se puede generar energía de

diversas formas a partir de madera, mediante procesos de conversión. La energía contenida en la biomasa puede transformarse en calor, energía eléctrica o combustibles de transporte (Szarka y Llanos, 2009).

- d. Para obtención de carbón activado. Gracias a su alto poder calórico, la inexistencia de azufre, alto grado de porosidad, muy bajo contenido de nitrógeno y un porcentaje de carbono variable entre 48 por ciento y 55 por ciento; los residuos de madera presentan buenas características para su uso potencial como materias primas para la preparación de carbón activado (Tancredi et al., 2007).
- e. Como camas para aves. Según estudios realizados por Brake (1992) y Oconnell y Meaney (1997), el uso del aserrín como cama para aves en granjas avícolas, es una práctica común en muchos países del mundo.
- f. Como sustrato de cultivo. De todas las propiedades del sustrato, las físicas son las más importantes, ya que una vez establecido el cultivo, difícilmente pueden manipularse (Abad et al., 2004; Block et al., 2008). El aserrín que proviene de la industria maderera es un material con potencial como sustrato; las propiedades físicas del aserrín dependen del tamaño de sus partículas y se recomienda que del 20 al 40 por ciento sean inferiores a 0,8 mm. Es un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0,1 a 0,45 g/cm³. La porosidad total es superior al 80 por ciento, la capacidad de retención de agua es de baja a media, pero su capacidad de aireación es adecuada (Maher et al., 2008).
- g. El aserrín solo, como fertilizante es poco efectivo, ya que contiene bajo contenido de elementos nutritivos, aproximadamente 0,1 por ciento de N; 0,02 por ciento de P₂O₅ y 0,12 por ciento de K₂O. Si se suministra fresco al suelo, sin ningún tipo de tratamiento o compostaje, puede provocar carencia de Nitrógeno en las plantas (Álvarez, 1999). En Chile, un grupo de investigadores estudiaron el comportamiento de mezclas suelo-aserrín-ceniza, y comprobaron que estos residuos mejoran la fertilidad del suelo. En Cuba, se realizaron también estudios para demostrar la efectividad de estos residuos forestales en agricultura; por ejemplo, en el Instituto de Investigaciones Forestales (IIF) de Cuba, obtuvieron un abono orgánico a partir de residuos boscosos, cepas microbiológicas y agentes químicos (Harewood, 1989).

Hartmann et al. (1990) indican que es posible que al trabajar con este material se necesite una cantidad adicional de nitrógeno, suficiente para los requerimientos de

descomposición del sustrato y solventar las necesidades del cultivo. La tasa de descomposición varía de acuerdo al tipo de madera.

- h.** Como fuente de fibras para pulpa y papel. El aserrín dependiendo de la etapa de la línea de producción en la cual se genere, va a presentar diferentes características en cuanto al tamaño de fibras. Esta práctica no es nueva, ya se venía empleando desde 1960. Investigadores chilenos, en un estudio sobre la aptitud pulpable del aserrín, determinaron que las fracciones de aserrín con tamaño de fibras adecuadas (3 – 7 mm) para el proceso de Kraft de pulpaje se producen en la Planta y en el Aserradero (Drápela et al., 1993).

4.6. Transformación primaria y secundaria de la madera

En la industria de elaboración mecánica de la madera, la materia prima se convierte en un producto que requiere de otras transformaciones para ser utilizado (Arbaiza et al, 1999).

La transformación de la madera, consiste en su procesamiento para la elaboración de productos manufacturados; como parquet, puertas, ventanas, muebles, partes, piezas, etc. En este proceso se puede distinguir la transformación primaria y la secundaria. La transformación primaria comprende la industria del aserrado y la industria de productos planos (terciados, alistados y laminados decorativos). El fin principal del proceso de corte es el aprovechamiento máximo de las trozas en forma cuantitativa con el propósito de obtener los más altos beneficios económicos (Santiago et al., 2012).

La transformación secundaria, involucra la fabricación de muebles y manufacturados de madera (madera pre dimensionada, machimbres, molduras, carpintería de construcción, ventanas, parquet y chapas decorativas). Se estima que más del 50 por ciento de la actividad de transformación secundaria de la madera se ubica en Lima, aunque Trujillo, Chiclayo, Cusco y Arequipa presentan una significativa de talleres (Arbaiza et al, 1999).

Las principales empresas que fabrican muebles, están ubicadas en Lima, alrededor de 30 medianas empresas, que hacen el 3 por ciento del total, mientras que el resto de la industria está compuesta por micro y pequeñas empresas (Indacochea, 2005).

4.7. Aserrín

Un obstáculo para la sustentabilidad de los bosques y las industrias forestales es el grado de desechos producidos tanto en los bosques como en las plantas procesadoras de aserrío. La comunidad científica internacional reconoce que la situación de los residuos es un problema global que requiere atención urgente.

El aserrín es el residuo común en todos los aserraderos encuestados y es el que más variedad de uso tiene, por ejemplo, en instalaciones educativas, hospitales y otras entidades como elemento de aseo para los pisos. La corteza se desecha en su totalidad, lo que demuestra el desconocimiento por parte de las empresas del valor que posee y la falta de iniciativa para la búsqueda de soluciones encaminadas al aprovechamiento de los residuos (Oconnell y Meaney, 1997).

4.7.1. Características químicas, físicas y biológicas del aserrín

a. Características químicas

La caracterización química del aserrín consiste básicamente en determinar los contenidos de celulosa, lignina, sustancias solubles en agua a 95°C y sustancias solubles en disolventes orgánicos (mezcla benceno-etanol); así como de la ceniza y el poder calórico, en caso se quiera utilizar al aserrín como insumo para biocombustible. En la siguiente tabla, se presenta a manera de ejemplo, la composición química del aserrín de *Pinus caribaea*, por ser la especie maderable de mayor explotación en la industria de la madera.

Tabla 5: Composición química del aserrín de *Pinus caribaea* (por ciento de masa seca).

Componentes	<i>Pinus caribaea</i>
Celulosa	43,10 – 45,61
Lignina	28,41 – 31,27
Cenizas	0,48 – 0,58
Sustancias solubles en agua a 95°C	2,79 – 3,90
Sustancias solubles en benceno-etanol	3,08 – 4,71

FUENTE: Álvarez (1999).

Además de los componentes mencionados en la Tabla 5, en el aserrín de pino se pueden encontrar: hemicelulosas, azúcares, almidones, proteínas, aminoácidos, sales inorgánicas, grasas, ceras, resinas, taninos, terpenos, flavonoides, materiales colorantes, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, aldehídos, fenoles y quinonas (Patrón y Pineda, 2010).

b. Características Físicas

Los parámetros evaluados en el aserrín, están en función a las características físicas que debe tener un buen sustrato de cultivo. Los parámetros evaluados son: Retención de agua (por ciento); densidad aparente (g/cm^3), porosidad total (por ciento), saturación (por ciento), humedad disponible (por ciento), capacidad de campo (por ciento) y punto de marchitez permanente (por ciento). Estudios realizados por Avilés et al. (2010) en el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, reportan los siguientes valores para los parámetros físicos en aserrín y otros sustratos que también pueden ser empleados como insumos dentro de un proceso de compostaje.

Tabla 6: Parámetros físicos en Aserrín y otros sustratos utilizables en compostaje.

Parámetro	Unid.	Aserrín de madera	Cáscara de arroz	Pergaminos del café	Paja de arroz
Densidad aparente⁽¹⁾	g/cm^3	0,29	0,16	0,42	0,83
Porosidad Total⁽²⁾	%	87,39	93,19	81,74	63,91
Humedad disponible⁽³⁾	%	29,37	21,41	18,99	31,93
Saturación de agua⁽⁴⁾	%	150	180	120	140

FUENTE: Elaboración propia a partir de Avilés et al. (2010).

⁽¹⁾ Los valores de referencia señalan que debe ser menor a $0,50 \text{ g/cm}^3$ (Díaz, 2004).

⁽²⁾ Los valores de referencia indican que debe ser mayor a 80 por ciento (Díaz, 2004).

⁽³⁾ Los valores de referencia señalan que de estar entre 20 y 30 por ciento (Díaz, 2004).

⁽⁴⁾ Los valores de referencia señalan que debe ser mayor de 100 por ciento (Díaz, 2004).

c. Características biológicas.

Con relación a los parámetros biológicos, se determinan: poblaciones totales de bacterias, hongos, actinomicetos (log UFC) por la metodología de dilución en Placa Petri (recuento directo).

Tabla 7: Parámetros biológicos en Aserrín y otros sustratos utilizables en compostaje.

Parámetro	Unid.	Aserrín de madera	Cáscara de arroz	Pergaminos del café	Paja de arroz
Hongos*	log UFC	4,79	4,49	5,05	0
Bacterias**	log UFC	7,33	7,36	6,96	6,55
Actinomicetos***	log UFC	6,74	7,45	7,16	6,41

FUENTE: Elaboración propia a partir de Avilés (2010).

* Los valores de referencia indican valores entre 4 y 6 log UFC (CORPOICA INCODER, 2005).

** Los valores de referencia indican valores entre 6 y 8 log UFC (CORPOICA INCODER, 2005).

*** Los valores de referencia, señalan valores entre 5 y 8 log UFC (CORPOICA INCODER, 2005).

4.8. Compostaje

4.8.1. Definición de compost

Es materia orgánica estabilizada, que resulta producto 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 (Guerrero, 1993).

El compost es el resultado de la transformación aeróbica controlada de desechos orgánicos sólidos con el agregado de agua y estimulada por medio de inoculación de microorganismos aeróbicos (IMCL, 2004). Como resultado de estos procesos controlados de degradación biológica autotérmica y termófila, se obtiene un producto (compost) estable con características físicas, químicas y biológicas que resultan beneficiosas para el suelo y las plantas, no presenta malos olores y está libre de agentes patógenos (Córdova, 2007).

4.8.2. Definición de compostaje

El proceso de compostaje es la descomposición y estabilización de diversos residuos orgánicos, por la acción de diversas poblaciones de microorganismos benéficos que se desarrollan bajo condiciones controladas de aire, temperatura y humedad. Este bioproceso aeróbico permite obtener un producto final suficientemente estable para el almacenamiento e incorporación al suelo sin efectos ambientales adversos (Alvarado, 2004).

El compostaje es un método aplicado a residuos sólidos, donde el componente orgánico de estos es descompuesto biológicamente bajo condiciones controladas a un estado en el cual puede ser manejado, almacenado y /o dispuesto en el suelo sin afectar de manera adversa al ambiente (Gouleke, 1977).

Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido. Es por ello, que los controles que se pueden ejercer siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de determinados metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos (La Rosa, 2000).

4.8.3. Variables a considerar antes de instalar pilas de compost

A. Temperatura

Es una variable que indica la evolución del proceso de compostaje. Los cambios experimentados por este parámetro se utilizan normalmente para conocer la actividad microbiana a lo largo del proceso y determinan la estabilidad de la materia orgánica. Las altas temperaturas alcanzadas en el proceso incrementan la actividad microbiana e inactivan los patógenos, esto es importante para conseguir una desinfección correcta del producto. Es importante controlar que la temperatura no se incremente en demasía porque podría producir la muerte de los microorganismos implicados en el desarrollo normal del proceso, con ello se produciría una reducción de la biodiversidad y actividad microbiana en las pilas y en consecuencia una disminución en la velocidad de descomposición de la materia orgánica.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EEUU ha recomendado que se deba mantener una temperatura interna de 55°C al menos durante 15 días, volteándose la pila al menos 5 veces durante la fase bio-oxidativa. La Norma Chilena NCH 2880 del 2004, también establece un rango de temperaturas igual o mayor a 55°C por lo menos tres días consecutivos para el método de compostaje de apilamiento estático; y de 45° y 50°C durante 12 días para el método de apilamiento con volteos. La organización Amigos de la Tierra, en asociación con el Ministerio de Medio Ambiente de España (2009); elaboraron un Manual del Compostaje en el cual señalan que la temperatura del proceso de compostaje para garantizar la higienización y eliminación de microorganismos patógenos, debe alcanzar un rango entre 60°C y 70°C durante siete días, si el proceso es de sistema acelerado, y de uno a dos meses si el proceso es de sistema de fermentación lenta.

B. Humedad

Este factor afecta a la composición y actividad de la población microbiana estando relacionada con la evolución de la temperatura y el grado de descomposición del material orgánico (Sherman y Colwell, 2000). La presencia de agua disuelve compuestos que pueden incorporarse fácilmente al interior celular. La humedad varía según el método de compostaje (sistema de pilas volteadas), el tamaño de la pila y la composición del material. Un contenido de humedad por debajo del óptimo (60 por ciento), inhibe la actividad microbiana (Guerrero, 1993), a medida que se va alcanzando el límite inferior (40 por ciento), el proceso de descomposición se vuelve más lento; si este contenido de humedad se reduce a menos del 8 por ciento, toda la actividad microbiana se detiene, por eso los alimentos secos se conservan mucho más tiempo (Sherman y Colwell, 2000).

La humedad es un componente crítico para lograr un proceso de compostaje óptimo, debido a que éste es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica y la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos que intervienen en él. Pues el agua actúa como medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células, así como de los productos de desecho de esa reacción.

El contenido de humedad durante el proceso de compostaje según la norma chilena NCh 2880 (2004), para todas las clases de compost, debe ser “mayor o igual al 25 por ciento de la masa del producto y menor o igual al contenido de materia orgánica + 6, si el contenido es mayor al 40 por ciento de la masa del producto; o menor o igual al contenido de materia orgánica + 10, si el contenido de materia orgánica es menor de 40 por ciento de la masa del producto”. Además, también la misma norma resalta que todas las clases de compost deben de presentar una adecuada capacidad de absorción de agua.

C. Aireación

En el compost es necesario el aire, ya que durante la fase bio-oxidativa, el porcentaje inicial de oxígeno puede verse reducido hasta en un 20 por ciento, mientras que el dióxido de carbono aumenta hasta un 5 por ciento. También se consigue elevar los porcentajes de oxígeno hasta su óptimo para el desarrollo de los microorganismos, así como controlamos con ello otros factores tan importantes como la temperatura o la humedad. Además para los

organismos el oxígeno es necesario para muchas reacciones de oxidación de especies químicas orgánicas e inorgánicas presentes en las materias primas (Orozco et al., 2006).

Para que el proceso de compostaje no entre en una etapa anaerobia que entorpezca el proceso y de lugar a la generación de malos olores, dando como resultado un producto de baja calidad, debe superarse el 10 por ciento de aireación, que es el mínimo necesario que el proceso requiere para mantener la actividad microbiana. Para garantizar este mínimo, resulta importante controlar el tipo y tamaño de los insumos que se utilizan al inicio del proceso (Amigos de la Tierra, 2009).

D. pH

Factor importante porque influye activamente sobre la actividad microbiana ya que las bacterias y los hongos se desarrollan óptimamente a valores de pH diferentes. Las bacterias tendrán su máximo de desarrollo a pH de 6,0 y 7,5; mientras que los hongos los tendrán a valores entre 5 y 6. Mediante los procesos aerobios se eleva hasta 8,5; sin embargo, Rivero (1999), señala que el pH debe estar mantenido en rangos que garanticen el metabolismo microbiano.

Según la bio-transformación de fracciones de materia orgánica se va evaluando la variación de pH con el tiempo durante el proceso de compostaje (Orozco et al., 2006).

Para Chile, la normativa NCh 2880 (2004), en cuanto a este parámetro es clara, indica que el compost (todas las clases) debe tener un pH entre 5,0 y 7,5; para valores superiores que se encuentren entre el rango de 7,5 y 8,5 la norma establece que la relación de adsorción de sodio (RAS) no debe superar el 7 por ciento, además de informar con un rótulo el contenido de CaCO_3 .

E. Relación Carbono / Nitrógeno (C/N)

La relación C/N es el parámetro probablemente más utilizado para el estudio de la evolución del proceso de compostaje. Asimismo es usado en ocasiones como un instrumento para calificar la madures del compost.

El Carbono tiene dos funciones. Por una parte es una fuente de energía y por otra, conforma sobre el 50 por ciento de la masa de las células microbianas como su elemento estructural básico. El nitrógeno es un componente decisivo de las proteínas. Las bacterias

cuya biomasa está formada en un 50 por ciento por proteínas, necesitan mucho Nitrógeno para su rápido desarrollo. Cuando hay poco Nitrógeno, la población de microorganismos no crecerá a su tamaño óptimo y el proceso de compostaje será lento. Por el contrario, un exceso de Nitrógeno, generará un crecimiento microbiano acelerado, que pueden generar serios problemas: descomposición acelerada, generación de malos olores y pérdidas de Nitrógeno por volatilización (Álvarez, 2008).

Una relación ideal para iniciar el proceso de compostaje oscila entre 25:1 y 30:1 aproximadamente, pero ello no quiere decir, que materiales con una relación C/N superior a la señalada no puedan ser compostados, sino que el proceso será relativamente más frío, ocasionando que la degradación sea más lenta, tomando más tiempo para que el material esté completamente compostado. Una relación C/N baja, significaría pérdidas de nitrógeno como amoníaco (NH₃); ocasionando también un consumo elevado de oxígeno, generando de esta manera condiciones anaeróbicas, con consecuencias de generación de malos olores en la pila de compost (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

Es necesario calcular la relación C/N de la mezcla a compostar, o se puede estimar las condiciones óptimas, simplemente usando una combinación de los materiales que son altos en carbono y de otros que sean altos en nitrógeno. En el caso de materiales con alto contenido de carbono (C) como el aserrín y virutas se debe agregar materiales o fertilizante nitrogenados. Las hojas de árboles y los restos de pasto verde ayudan para este propósito, por su contenido de nitrógeno (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

La teoría para el cálculo de la mezcla idónea de la relación C/N es relativamente sencilla. Para ello, existen herramientas de hojas de cálculo especialmente diseñadas para su rápida obtención, como las hojas de cálculo de la Universidad de Cornell. También puede estimarse esta relación C/N empleando formulaciones empíricas, como las presentadas en el portal web de EARTH Green Colombia; quienes plantean la siguiente fórmula para calcular la proporción de la mezcla en su conjunto; es decir, la relación C/N con la que se estaría iniciando el proceso de compostaje:

$$R = \frac{Q_1(C_1x(100 - M_1)) + Q_2(C_2x(100 - M_2)) + \dots + Q_n(C_nx(100 - M_n))}{Q_1(N_1x(100 - M_1)) + Q_2(N_2x(100 - M_2)) + \dots + Q_n(N_nx(100 - M_n))}$$

Dónde:

R = Relación C/N de la mezcla de abono.

Q_i = Masa del material i , ("tal cual", o "peso húmedo"); $i = 1, 2, 3, \dots, n$

C_i = Carbono (%) del material i ; $i = 1, 2, 3, \dots, n$

N_i = Nitrógeno (%) del material i ; $i = 1, 2, 3, \dots, n$

M_i = Contenido de humedad (%) de material i ; $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Tabla 8: Parámetros de referencia para algunos materiales utilizados en compost.

Material Orgánico	%H	%M.O.	%C	%N	Da
Alperujo	65,0	98,6	57,2	1,3	0,9
Hojin	40,0	87,1	50,5	1,4	0,3
Estiércol vacuno	45,0	48,4	28,1	2,3	0,7
Estiércol ovino	38,5	39,1	22,6	1,7	0,4
Lisier porcino	75,0	56,5	28,2	4,6	N.D.
Purin porcino	3,1	70,7	41,0	3,1	N.D.
Gallinaza	20,1	79,9	40,0	3,2	0,4
Pollinaza	50,0	44,8	26,0	2,3	N.D.
Equinaza	72,0	82,8	48,0	1,6	N.D.
Poda de olivar triturada	54,3	92,0	46,0	1,2	0,5
Restos hortícolas	87,0	88,4	51,3	2,7	0,9
Restos de fruta	80,0	96,5	56,0	1,4	N.D.
Pulpa de café	60,0	69,0	40,0	2,0	N.D.
Vinaza	60,0	25,9	15,0	2,5	N.D.
Orujo de uva	31,0	72,0	42,6	1,4	0,5
Aserrín	39,0	N.D.	106,1	0,2	0,2
Viruta de madera	10,0	69,0	40,0	0,1	N.D.
Paja	12,0	112,0	56,0	0,7	0,1
Desmotado de algodón	35,0	68,0	39,5	1,5	0,2
Cáscara de arroz	8,8	75,9	44,0	0,9	N.D.
Paja de arroz	9,0	81,4	53,0	0,5	N.D.
Polvo de corcho	6,3	69,1	34,6	0,6	0,3
Residuos de comida	69,0	60,3	34,95	1,88	N.D.
Papel periódico	5,0	69,0	40,0	0,1	N.D.
Material de rechazo	35,0	65,0	37,68	2,13	N.D.

N.D.: No Determinado

FUENTE: Elaboración propia a partir de: Álvarez (2008); EARTH Green Colombia (2014).

Tabla 9: Valores de la Relación C/N de algunos materiales utilizado en compostaje.

Material	Relación C / N
Caña de maíz	150/1
Paja	60-100/1
Cascarilla de arroz	95/1
Viruta, aserrín	150-400/1
Rastrojos	80/1
Hojas frescas	40-80/1
Residuos de frutas	50/1
Residuos de champiñones	30-40/1
Algas	18/1
Follaje abundante de gramíneas	18/1
Follaje en floración	20/1
Follaje maduro	50/1
Abonos verdes, prados	10/1
Rastrojo de leguminosas	10/1
Cáscara de café	8/1
Alfalfa	10/1
Estiércol bovino	15/1
Estiércol equino	25-30/1
Estiércol ovino	20/1
Estiércol vacuno	18-40/1
Estiércol de cerdo	16/1
Estiércol de humano	5/1
Estiércol de ave	10/1
Gallinaza	10-15/1
Harina de pescado	15/1
Harina de sangre	2/1
Restos de comida	15-20/1
Cáscaras de papa	25/1
Lodos residuales	11/1
Papel	350/1
Orina	1/1 o inferior de 1/1

FUENTE: Ortiz (2010), Maldonado (2003) y Sztern y Pravia (1999).

Como se puede apreciar en la Tabla 8, los valores porcentuales de Carbono (106,1 por ciento) y Nitrógeno (0,2 por ciento) del aserrín, darían como resultado una relación C/N muy elevada, tal y como se presenta en la Tabla 9.

F. Volumen

El volumen afecta a factores tan importantes como la temperatura y la aireación. En pilas muy pequeñas, la fluctuación de la temperatura es muy brusca, debido a una aireación excesiva. Si se tiene una pila muy grande, la distribución de la temperatura no es uniforme, existiendo un gradiente de temperatura entre el interior y exterior, debido a un déficit de aireación. Para obtener una buena relación superficie/volumen, la pila debe tener una base no menor de 2,0 m y una altura que sea la mitad de la base (Sztern y Pravia, 1999).

G. Calidad de abonos

El concepto de calidad es difícil de definir ya que ha de tener en cuenta múltiples aspectos y, además, puede ser siempre muy subjetivo. Dentro de los niveles de calidad deben o pueden establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Los criterios relevantes en la evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno, requerimientos del mercado. La estrategia para conseguir una determinada calidad no puede separarse de un planteamiento global de la gestión de los residuos (Soliva y López, 2004).

Al plantear las características finales óptimas para un compost es difícil establecer niveles para el contenido en materia orgánica (M.O.) y nutrientes, ya que dependen mucho de los materiales tratados. En la mayoría de normativas o legislaciones, frecuentemente, sólo se fijan los contenidos en metales pesados, siendo poco exigentes en los parámetros más agronómicos. La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características (Soliva y López, 2004). En cualquier caso debe hablarse de:

- **Calidad física:** granulometría, capacidad de retención de agua, humedad, presencia de partículas extrañas, olor.
- **Calidad química,** en la que aparecen tres vertientes: contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido y velocidad de mineralización de los nutrientes vegetales que contenga y presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos.

- **Calidad biológica:** presencia de semillas de malas hierbas y patógenos primarios y secundarios.

Se pueden elaborar listados amplios de parámetros para evaluar la calidad de los abonos orgánicos, sin embargo, no todos deben de determinarse, se deben escoger aquellos parámetros que puedan interesar o que den información más relevante. En las siguientes tablas elaboradas por Soliva y López (2004) se presentan un resumen de parámetros que pueden determinarse en muestras de compost o de cualquier otro material a ser aplicado como abono orgánico.

Tabla 10: Determinación de parámetros físicos para valorar la calidad de los abonos orgánicos.

	Parámetros	Informan e influyen en
Físicos	Densidad aparente	Origen del material y tratamiento aplicado; Transporte; Manejo; Aplicación.
	Coloración	Estabilidad; Aceptación.
	Olor	Estabilidad; Funcionamiento del proceso; Aceptación; Impacto ambiental.
	Humedad	Control del proceso; Transporte; Manejo Salud laboral, seguridad.
	Granulometría	Sistemas de cribado y afinado; Manejo; Salud laboral; Aceptación; Efectos sobre el suelo.
	Capacidad de retención de agua	Efectos sobre el suelo; Ahorro de agua.
	Contaminantes / improprios	Materiales tratados; Sistemas de separación y afinado; Aceptación; Impacto ambiental; Seguridad.
	Autocalentamiento	Desarrollo y control del proceso; estabilidad.
	pH y C.E. (parámetros F-Q)	Materiales iniciales; Desarrollo y control del proceso; Posibles usos; Efectos sobre el suelo; Efectos sobre las aguas; Efectos sobre los vegetales

FUENTE: Soliva y López (2006).

Tabla 11: Determinación de parámetros químicos para valorar la calidad de los abonos orgánicos.

	Parámetros	Informan e influyen en
Químicos	Contenido en Materia Orgánica Total (MOT) y Materia Orgánica Resistente (MOR)	Materiales iniciales; Desarrollo y control del proceso; Estabilidad; Posibles usos; Efectos sobre el suelo; Efectos sobre los vegetales; Aceptación.
	Nitrógeno en forma mineral	Materiales iniciales; Desarrollo y control del proceso; Efectos sobre las dosis de fertilización; Efectos sobre las aguas; Efectos sobre los vegetales.
	Nitrógeno orgánico total y resistente	Materiales iniciales; Desarrollo y control del proceso; Efectos sobre las dosis de fertilización; Efectos sobre las aguas; Efectos sobre los vegetales
	Fósforo y potasio	Materiales iniciales; Efectos sobre las dosis de fertilización; (Efectos sobre las aguas); Efectos sobre los vegetales.
	Calcio y sodio	Materiales iniciales; Riegos durante el tratamiento; Efectos sobre el suelo; Efectos sobre las aguas; Efectos sobre los vegetales.
	Carbonatos	Materiales iniciales; Transformación (estabilidad); Efectos sobre el suelo; Efectos sobre los vegetales.
	Metales pesados (incrementan relativamente a lo largo del proceso)	Materiales iniciales; Contaminación de suelos, aguas y vegetales; Afectación a la cadena trófica; Impacto ambiental.
	Contaminantes orgánicos (posible descomposición / transformación a lo largo del proceso)	Materiales iniciales; Contaminación de suelos, aguas y vegetales; Afectación a la cadena trófica; Impacto ambiental.

FUENTE: Soliva y López (2006).

Tabla 12: Determinación de parámetros biológicos para valorar la calidad de los abonos orgánicos.

	Parámetros	Informan e influyen en
Biológicos	Patógenos (diferenciar los que llegan con materiales iniciales de los que aparecen en determinadas etapas del proceso)	Desarrollo y control del proceso; Estabilidad / higienización; Salud laboral; Contaminación de suelos, aguas y vegetales; Impacto ambiental.
	Índice de germinación	Desarrollo y control del proceso; Estabilidad; Fitotoxicidad; Posibles aplicaciones.
	Respirometrías	Desarrollo y control del proceso; Estabilidad; Actividad biológica; Posibles aplicaciones.
	Mineralización	Desarrollo y control del proceso; Estabilidad; Actividad biológica; Posibles usos; Dosificación; Efectos sobre el suelo; Efectos sobre las aguas; Efectos sobre los vegetales.
	Semillas de malas hierbas	Origen materiales; Desarrollo y control del proceso; Estabilidad / higienización; Efectos sobre la producción.

FUENTE: Soliva y López (2006).

Debido a que en Perú no se cuenta con una normatividad referente a materiales orgánicos aplicables a compost o sobre enmiendas aplicables a suelos, se presentan algunas normas que se pueden tomar como punto de referencia para evitar la contaminación del medio ambiente. En la Tabla 13, se presentan las concentraciones máximas de metales pesados en compost; mientras que las Tablas 14 y 15, se presentan parámetros fisicoquímicos y sanitarios aplicables a compost.

Tabla 13: Concentraciones máximas de metales pesados en compost para agricultura ecológica, según normativa en Los Estados Unidos, Reino Unido, Comunidad Económica Europea, España y Chile.

Concentración Máxima de metales pesados en Compost.		Zn	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	
USEPA (Estados Unidos)		2800	39	3000	1500	17	420	300	
RCEE 2092/91.		200	0,7	70	70	0,4	25	45	
WRAP-Compost Standards in the UK		400	1,5	100	200	1,0	50	150	
Comisión Europea, 2001	Compost. ^a	Clase 1	100	200	0,7	100	0,5	50	100
	/ Digestate. ^b	Clase 2	150	400	1,5	150	1,0	75	150
Norma española B.O.E. N° 171,	Compost	Clase A	70	200	0,7	70	0,4	25	45
		Clase B	250	500	2,0	300	1,5	90	150
		Clase C	300	1000	3,0	400	2,5	100	200
NCh2880 (Chile)	Compost	Clase A	120	200	2,0	100	1,0	20	100
		Clase B	600	2000	8,0	1000	4,0	80	300

^a Compost resultado del proceso de compostaje / ^b Digerido resultante del proceso de digestión anaeróbica

FUENTE: Elaboración propia a partir de las normas internacionales indicadas.

Tabla 14: Valores óptimos para parámetros físicos y fisicoquímicos del compost, según las normas de calidad en USA, México y Chile.

PARÁMETRO	(U.S.A.) EPA 40 CFR 503 (1994)	(México) NTEA-006- SMA-2006	(Chile) NCh 2880 (2004)
pH	6,0 a 8,0	6,5 a 8,0	5,0 a 8,5
Materia Orgánica	Mayor al 20 %	Mayor al 15 %	≥ a 20 %
Relación C/N	15 a 20 : 1	Menor a 12	25 a 30 : 1
Humedad	--	30 a 40 %	30 a 45 %
Conductividad Eléctrica (C.E.)	--	--	3 a 8 dS/m
Tamaño de partículas	Granulado fino	--	≤ a 16 mm
Temperatura	32 °C a 60 °C	45 °C a 70 °C	--
Nitrógeno Total*	2,4 a 5,0 %	--	≥ a 0,5 %
Fósforo	--	> a 1000 ppm	--
Potasio	--	> a 2500 ppm	--

* Expresado en base a materia seca.

FUENTE: Córdova (2007)

Tabla 15: Valores límite de parámetros sanitarios para compost, según las normas de calidad en USA, México y Chile.

PARÁMETRO		VALOR LÍMITE (*)		
		(U.S.A.) EPA 40 CFR 503 (1994)	(México) NTEA-006- SMA-2006	(Chile) NCh 2880 (2004)
Hongos Fitopatogénicos		--	Ausente	--
Huevos de helmintos (Viabiles)		< 1,0 HE/4 g	< 10 HE/g	1,0 HE/4 g
Coliformes Fecales.	Compost Clase A	< 1000 NMP/g	Menor a 1000 NMP/g	Menor a 1000 NMP/g
	Compost Clase B	2 x 10 ⁶ NMP/g		
Salmolnella spp		< 3 NMP/4 g	< 3NMP/g	3NMP/4 g
Virus Entérico		< 1 UFP/4 g	--	--

(*) En base a Peso Seco; **NMP**: Número Más Probable; **UFP**: Unidad de Formación de Placas.

FUENTE: Córdova (2007).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Población y muestra

5.1.1. Población

La población es la mezcla de excretas humanas con aserrín de usuarios de baños secos provenientes de dos asentamientos humanos Huertos y California ubicados en el Distrito de Villa el Salvador.

5.1.2. Toma de muestras

El muestreo se basó en La Norma Austriaca (Ö – NORM) S 2023, que refiere al “Método del Cuarteo”, la cual dicta que es necesario llevar a cabo por lo menos tres cortes de perfil por carga de compost.

Para el estudio de las pilas, las muestras se tomaron en diferentes profundidades y diferentes perfiles de la pila se mezclaron parcialmente con el fin de evaluar los diferentes estados y procesos en las diversas partes de la pila de compostaje. Se tomaron 21 muestras con 3 repeticiones cada uno de los tratamientos y control durante los meses de mayo, junio, julio, agosto, octubre y diciembre haciendo un total de 63 muestras para los análisis físicos químicos. Para los análisis microbiológicos finales se tomaron 3 muestras con tres repeticiones de los tratamientos y control en el mes de diciembre haciendo un total de 9 muestras.

La toma de muestras en las pilas de compost se realizó sobre el total del material bien homogenizado.

5.1.3. Evaluación y análisis de las muestras.

Durante el desarrollo de la investigación se efectuaron las evaluaciones de campo y de laboratorio, mediante el análisis microbiológico, parasitológico y la determinación de parámetros físicos y químicos.

correspondiente a un clima Seco Desértico y frío; con una temperatura media anual que inferior a los 18 °C; con una precipitación anual inferior a la tasa de evaporación (la media anual se encuentra entre 0 – 216 mm) y con una nubosidad media de 8 octavos; la humedad relativa media varía entre 85 por ciento y 95 por ciento, llegando algunas veces en invierno hasta 100 por ciento; los vientos soplan durante el día, de norte a suroeste y durante la noche de suroeste a norte y tienen una velocidad media de 2 a 4 m/s.

5.4. Instrumentos de colecta de datos

5.4.1. Materiales, equipos y reactivos.

a. Materiales de laboratorio requeridos para la investigación

- Bolsas de polietileno de 45 x 45 cm y de 40 gramos de espesor
- Frascos de 50 ml
- Probeta graduada 100 ml, 50 ml
- Matraz Erlenmeyer
- Tubos de ensayo
- Pipetas graduadas de 5 ml, 10 ml
- Placas Petri
- Buretas
- Vasos de precipitados
- Gotero
- Baguetas
- Espátulas

b. Equipos

- Potenciómetro
- Conductímetro
- Balanza analítica (+/- 0.0001 g)
- Termómetro digital (+/- 1°C)
- Agitador magnético
- Estufa
- Refrigerador

c. Reactivos

- Agua destilada
- Medios de cultivos para análisis microbiológicos y parasitológicos
- Hidróxido de Sodio 0.1 N
- Fenolftaleína

d. Otros

- Aserrín proveniente de la planta de compostaje X- Runner proveniente de tres diferentes especies forestales, las cuales son: Capirona, Huayruro y Pumakiri, estas se encontraban mezcladas en sacos.
- Semillas de lechuga *L. sativa* variedad Duett.
- Microorganismos benéficos donados del Departamento de Biología de la UNALM.

5.5. Metodología experimental

5.5.1. Preparación de la solución de microorganismos eficientes caseros (en adelante EM_C)

La solución de EM_C, es un producto microbiano que puede aplicarse para varios usos o propósitos, contiene una variedad de microorganismos vivos; los cuales, si las condiciones del medio (alimento y ambientales) les son favorables, se reproducen y propagan rápidamente. Esta propagación se conoce como activación y es simple de realizarla de manera casera, haciendo el uso de los EM_C mucho más económico (Ramírez, 2006).

Para preparar una solución de EM_C, se requieren los siguientes ingredientes, materiales y equipos:

a. Ingredientes.

- Chancaca
- Hígado de vaca cocinado y triturado
- Agua
- Sal
- Solución madre de microorganismos donados por el Departamento de Biología.

b. Materiales.

- Cilindro plástico de 80L
- Cuchilla

c. Equipos

- Potenciómetro (medidor de pH)
- Balanza digital
- Brixómetro (° Brix)

d. Modo de preparación de la solución de los EM_C.

- En el cilindro de 80 litros, previamente lavado y secado, se preparó la solución de activación inoculando la solución madre mencionada líneas arriba en una concentración de 3 por ciento, la melaza en 5 por ciento y el agua en 91 por ciento para completar con hígado y sal en un 1 por ciento. Para garantizar una buena fermentación de la mezcla y evitar que las levaduras se inhiban o extingan de la solución, se debió cuidar que el agua de aplicación se encuentre libre de cloro y que no esta no exceda los 40°C.
- Para el manejo de los microorganismos en la solución, se verificó que el contenido de sólidos solubles totales estuviera entre 14° a 24° Bx (grado Brix).
- Posteriormente, el recipiente se dejó en incubación (o fermentación) por un período de entre cuatro a siete días, en un lugar fresco y seco a una temperatura entre 20° C a 30° C, para que el pH del sistema descienda hasta valores que oscilen entre 3 y 4, valores que indican que los microorganismos ya están activados (Meza, 2014).
- Generalmente a la temperatura indicada, en cuatro a siete días y si el pH está por debajo de 3,8 (el pH ideal es de 3,0 a 3,5) y la fermentación con producción de gas a cesado, la solución activada está lista para ser utilizada con las disoluciones en agua recomendadas para cada uso. Debe tener un olor agridulce y su color deberá cambiar a marrón rojizo.

5.5.2. Evaluación de la viabilidad de los microorganismos eficientes caseros (EM_C) en el aserrín.

Para evaluar la viabilidad de los EM_C en el aserrín, se prepararon soluciones concentradas al 20 por ciento y 30 por ciento de EM_C, a partir de la solución patrón indicada en el

apartado anterior; estas soluciones fueron añadidas a una muestra de 3kg de aserrín. Se añadió 1,5 litros de ambas concentraciones al aserrín ya pesado.

El período de duración de esta prueba fue de quince días, y el intervalo de evaluación de parámetros fisicoquímicos fueron cada 3 días y los parámetros microbiológicos fueron evaluados en el laboratorio al inicio y al final de la prueba; según el siguiente cronograma:

Tabla 16: Cronograma de evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en muestras de aserrín con microorganismos eficientes (EM_C)

Concentración de EM _C en aserrín	Tipo de Análisis	Parámetros	Unid.	Tiempo (días)					
				0	03	06	09	12	15
TA-20 %	Análisis físico – químicos	pH		X	X	X	X	X	X
		T	°C	X	X	X	X	X	X
		Acidez	%	X	X	X	X	X	X
		C.E.	dS/cm	X	X	X	X	X	X
	Análisis micro-biológicos	M.A.V.		X					X
		Lactobacillus	UFC/g	X					X
TB-30 %	Análisis físico – químicos	pH		X	X	X	X	X	X
		T	°C	X	X	X	X	X	X
		Acidez	%	X	X	X	X	X	X
		C.E.	dS/cm	X	X	X	X	X	X
	Análisis micro-biológicos	M.A.V.		X					X
		Lactobacillus	UFC/g	X					X

5.5.3. Evaluación del pre tratamiento anaeróbico de las excretas, aserrín y EM_C

Para la distribución del aserrín inoculados con EM_C a las viviendas de los asentamientos trabajados se realizó la preparación del material en las concentraciones de 20 y 30 por ciento ya indicados líneas arriba. El aserrín que se usó fue la mezcla de tres géneros de madera dura como son: Capirona, Huayruro y Pumakiri.

Es importante mencionar, que la disposición de la mezcla del aserrín con el EM_C en su debida concentración se hizo de la siguiente manera:

- El tratamiento A: Consistió en muestras de aserrín más inóculo de EM_C al 20 por ciento.
- El tratamiento B: Consistió en muestras de aserrín más inóculo de EM_C al 30 por ciento.

De acuerdo al INEI (2011), el Distrito de Villa el Salvador cuenta con una población de 427 500 personas de las cuales 67 243 carecen de agua y desagüe. Es por ello, que la empresa X – Runner viene trabajando con dos asentamientos humanos y expandiéndose cada vez más a las viviendas que están interesadas en el uso de sanitarios ecológicos diseñados por la mencionada empresa.

El sanitario ecológico con el que se trabajó presenta una tasa con desviador de orina instalada en el baño; debajo del inodoro seco se coloca un contenedor en donde se almacenan las excretas con material secante; cuya medida dependerá del volumen del modelo de baño; es ideal para viviendas ubicadas en zonas periurbanas que no cuentan con espacios grandes, asimismo es recomendable para los pisos altos de la vivienda.

Para darles mayor comodidad a las mujeres al usar este modelo de baño, se ha diseñado un mecanismo de cierre al contenedor, convirtiendo a este en un urinario que no les permite ver los residuos. La orina será directamente descargada por una tubería al terreno (infiltración) o almacenada en bidones. Las heces caen directamente en el contenedor el cual fue preparado con una cama de aserrín más EM_C con cualquiera de las concentraciones mencionadas (20 y 30 por ciento).

El aserrín es usado como residuo orgánico para el proceso de compostaje, como soporte y medio nutritivo para las bacterias presentes en la solución de EM_C y también como material secante cuya función fue de absorber la humedad de las excretas, la misma que en condiciones normales tiene 80 por ciento de humedad, la cual fue evaporada durante el proceso de maduración.

La recolección de las muestras luego de ser enviadas a cada vivienda fue después de 7 días; la recolección se realizó en cada domicilio y se hizo la entrega del nuevo material preparado ya se de 20 o 30 por ciento del inóculo EM_C en el aserrín.

Luego de siete días las muestras recolectadas de los lugares de procedencia fueron dispuestas en mangas de plástico, en ausencia de luz y oxígeno, con la finalidad que los EMc logren adaptarse al medio y comiencen a incrementar su población por competencia de nutrientes y por mejor adaptación al medio y sus condiciones.

Cada tratamiento ya sea de 20 o 30 por ciento tuvo tres periodos de descarga con una diferencia de siete días por cada descarga. Es decir, al momento de distribuir a cada vivienda el material de aserrín con el inóculo de EMc se esperan siete días antes de su recojo, finalizado este tiempo se procedió a recoger las muestras de excreta con aserrín + EMc de cada asentamiento humano.

Las muestras descargadas de cada asentamiento humano según su tratamiento fueron pesadas y dispuestas en mangas de plástico de color negro, luego se procedió a añadir la solución EMc en una concentración del 6 por ciento para acelerar el proceso de dominio numérico y de descomposición, luego de la inoculación de los microorganismos eficientes en cada manga de plástico con cada descarga de muestras, estas fueron cerradas herméticamente.

Todo este proceso tuvo una duración de veinte días, durante los cuales se realizaron muestreos fisicoquímicos durante el día 0, 10 y 20, así como también muestreos microbiológicos durante los días 0 y 20 de cada una de las mangas de plástico con la finalidad de obtener una muestra compuesta (por cada pre tratamiento) la cual fue enviada al laboratorio para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que nos indicaron la evolución del proceso y que se muestran en la Tabla 17.



Figura 3: Preparación de las concentraciones: 20y 30 por ciento.



Figura 4: Material listo para su distribución listas para su distribución en viviendas.



Figura 5: Recepción de las muestras al cabo de siete días



Figura 6: Peso de cada material con residuos colectado.



Figura 7: Disposición de las muestras en las mangas de plástico.

Tabla 17: Cronograma de evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la mezcla de aserrín + excretas y EM_C.

Concentración de EM _C en aserrín	Tipo de Análisis	Parámetros	Unid.	Tiempo (días)				
				0	05	10	15	20
TA-20 por ciento	Análisis físico - químicos	pH		X		X		X
		T	°C	X		X		X
		Acidez	%	X		X		X
		C.E.	dS/m	X		X		X
		Humedad	%	X		X		X
	Análisis micro-biológicos	M.A.V.		X				X
		Lactobacillus	UFC/g	X				X
		Coliformes T	NMP/g	X				X
		E. coli	NMP/g	X				X
		Parásitos		X				X
TB-30 por ciento	Análisis físico - químicos	pH		X		X		X
		T	°C	X		X		X
		Acidez	%	X		X		X
		C.E.	dS/m	X		X		X
		Humedad	%	X		X		X
	Análisis micro-biológicos	M.A.V.		X				X
		Lactobacillus	UFC/g	X				X
		Coliformes T	NMP/g	X				X
		E. coli	NMP/g	X				X
		Parásitos		X				X

5.5.4. Evaluación del proceso de compostaje del aserrín más excretas más solución de microorganismos eficientes caseros (EM_C).

Luego de realizar el pre tratamiento anaeróbico de la mezcla: aserrín, excretas y EM_C, las dos mangas de plástico de cada tratamiento (20 y 30 por ciento) fueron liberadas y mezcladas de manera particular formando una pila cada una y así iniciar el proceso de compostaje. Se formaron 3 pilas de acuerdo a lo siguiente:

Pila A, la cual consiste en la mezcla del aserrín más inóculo de EM_C al 20 por ciento y las excretas humanas.

Pila B, la cual consistió en la mezcla del aserrín más inóculo de EMc al 30 por ciento y las excretas humanas.

Pila C (Control).

Para el inicio del proceso de compostaje las dimensiones de cada pila de compostaje fueron 1,50 m de altura, 1,80 m de ancho y 2,30 m de largo, con los cual se obtiene:

- La pila del tratamiento A, tuvo un volumen de 3,11 m³
- La pila del tratamiento B tuvo un volumen de 3,11 m³
- La pila control también tuvo un volumen de 3,11 m³

De la misma manera que los tratamientos investigados, el control se conformó por tres descargas de muestras en una sola pila de compostaje, esta pila se instaló finalizando las últimas descargas de los tratamientos A y B.

Finalizado las tres descargas del control y la última evaluación de las descargas de los tratamientos A y B, dio inicio al proceso de compostaje para las tres pilas a partir del mes de mayo del 2014.

El riego de las pilas se efectuó conforme se realizaron los volteos de cada pila, en el caso de los tratamientos A y B se regaron con 1 por ciento de EMc completando el porcentaje con agua libre de cloro y en el caso del control el riego se efectuó solo con agua libre de cloro hasta alcanzar una humedad que no genere lixiviado y esto se comprobó con la prueba de puño.

El proceso de compostaje tuvo una duración de 8 meses (Mayo a Diciembre del 2014); durante este período de tiempo, al igual que en la etapa anterior, se realizaron muestreos en cada pila de compostaje, de las cuales se obtuvo una muestra compuesta (por cada pila) que fue enviada al laboratorio para el análisis de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos, los cuales sirvieron como indicadores del buen manejo del proceso de compostaje.



Figura 8: Pila B (tratamiento 30 por ciento)



Figura 9: Pila A (tratamiento 20 por ciento)



Figura 10: Pila C (Control)



Figura 11: Volteo de Pilas.



Figura 12: Riego de las pilas A y B con EM_C al 1,0 por ciento y control con agua.



Figura 13: Secuencia del muestreo de las pilas para análisis físico químicos y microbiológicos.

La frecuencia de los volteos se detalla en la Tabla 18; mientras que el cronograma de evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se detalla en la Tabla 19.

Tabla 18: Dosis de riego y frecuencia de los volteos de las pilas de compost.

Pila	Dosis de EM _C	Frecuencia de Volteo			
		1 vez/ 1er mes	1 vez /2do mes	1 vez/ 4to mes	1 vez/ 6to mes
C (Control)	Sin EM _C solo agua libre de cloro	1 vez/ 1er mes	1 vez /2do mes	1 vez/ 4to mes	1 vez/ 6to mes
B	30 por ciento EM _C	1 vez/ 1er mes	1 vez /2do mes	1 vez/ 4to mes	1 vez/ 6to mes
A	20 por ciento EM _C	1 vez/ 1er mes	1 vez /2do mes	1 vez/ 4to mes	1 vez/ 6to mes

Tabla 19: Cronograma de evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Pila / Tratamiento	Tipo de Análisis	Parámetros	Unid.	Tiempo (meses)										
				01	02	03	04	05	06	07	08			
Pila TA Pila TB Pila TC	Análisis físico - químicos	Materia Orgánica completa	%										X	
		C/N	-	X		X	X	X	X				X	
		pH	-	X	X	X	X		X				X	
		T	°C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
		Acidez	%	X	X	X	X		X				X	
		C.E.	dS/m											X
		Humedad	%	X	X	X	X		X					X
Pila TA Pila TB Pila TC	Análisis Microbiológicos	Mesófilos Aerobios Viables	UFC/g										X	
		Lactobacillus	UFC/g										X	
		Coliformes T.	NMP/g										X	
		<i>E.coli</i>	NMP/g										X	
		Parásitos											X	

5.5.5. Procedimientos de análisis de datos en laboratorio

A. Temperatura

La temperatura fue registrada diariamente, para ver la elevación de la temperatura, el instrumento de lectura será un sensor digital de temperatura Marca Acurite, modelo FMP NSE, punta de metal, que fue introducido en el punto central de la mezcla. (Sherman, 2000).

B. Humedad

Se determinó por el método gravimétrico, por la diferencia de peso fresco y peso seco de la muestra, según el procedimiento descrito por la Norma Austriaca (Ö – NORM) S 2023. Se determinó por triplicado en materiales homogéneos.

- Se pesó en papel tarado (T) en una balanza de precisión (+/- 0,0001 g) la muestra húmeda (P₀)
- Se secó la muestra en la estufa a 105 °C al menos 18 horas, hasta que su peso sea constante. Se sacó la muestra de la estufa y se dejó enfriar en el desecador y pesar (P_f)
- Se determinó el porcentaje en humedad (%H) y el porcentaje en mayoría seca (%MS) según las ecuaciones siguientes:

$$\%H = \frac{(P_0 - P_f)}{(P_0 - T)} \times 100$$

$$\%MS = 100 - \%H$$



Figura 14: Peso de las muestras para disponerlas en papel (previamente tarado a falta de crisoles.



Figura 15: Luego de 24 horas, se calculó el peso seco de las muestras.

C. Potencial de hidrogeno (pH)

Para la preparación del extracto, se pesó 10 g de la muestra en una balanza digital con precisión 0,01 g y se introdujeron en un vaso de precipitados de 250 ml, junto con 100 ml de agua destilada. Se agitó durante 2 horas en un agitador magnético. Se centrifugó el sobrenadante durante 15 minutos a 3000 rpm y después se filtra. Se realizó la lectura de forma directa con el potenciómetro (Orozco et al., 2006).



Figura 16: Pesado de 10 g. de muestra.



Figura 17: Agitación de las muestras por una hora a 400 rpm.



Figura 18: Se realizó el filtrado de cada muestra.



Figura 19: Cálculo del pH con ayuda del potenciómetro.

D. Conductividad eléctrica (C.E.)

Se examinó la conductividad de una suspensión producida igual que la que sirve para determinar el valor de pH. Se leyó usando el Conductímetro.

El medio de dilución es agua destilada en relación 1 en 10 ((Ö – NORM) S 2023), se agitó durante dos horas y se filtró; después mediante Conductímetro se realizó la lectura. Los resultados fueron expresados en dS/cm.

E. Porcentaje de acidez.

La determinación del ácido láctico se hizo mediante la medición indirecta del ácido láctico titulable, empleando la metodología de la AOAC (Official methods) (1998) citada por Peralta (2010).

Dicho método consiste en la titulación del ácido presente en la muestra con el hidróxido de sodio 0,1 N teniendo como punto final al cambio de pH del indicador fenolftaleína. El método consiste en expresar en gramos de ácido láctico por 100 gramos del producto, usando el factor del ácido adecuado, para el ácido láctico es de 0,090.

Se pesó 1 gramos de la muestra y se diluyó en 100ml de agua destilada, para luego tomar una alícuota de 10 ml, añadiéndole unas 3-4 gotas de fenolftaleína y se tituló con hidróxido de sodio 0,1N. El porcentaje de ácido láctico titulable en las muestras se calculó con la fórmula:

$$\% \text{ de ácido láctico titulable} = G * N * f * 100/m$$

Dónde:

G = gasto de NaOH (ml)

N = normalidad del NaOH

m = masa de la muestra (g)

f = factor de conversión (0,090)

Se realizaron 3 repeticiones de este procedimiento



Figura 20: Muestra 1 g. diluido en 100 ml de agua destilada, se dejó reposar 15 minutos para separar el sobrenadante.



Figura 21: Se tomó una alícuota de 10 ml del sobrenadante.



Figura 22: Se agregó tres gotas de fenolftaleína.

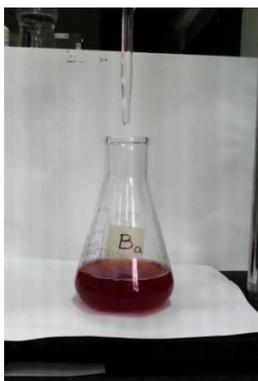


Figura 23: Se realizó la titulación con NaOH 0,1 N hasta el viraje a color rosa.

Cada uno de estos procedimientos de análisis de laboratorio, que se realizaron durante el presente trabajo de investigación, se detallan en la Tabla 20; en esta tabla se indica la metodología empleada por los laboratorios para el análisis de cada parámetro evaluado; así como también se hace referencia a la norma internacional aplicada.

Tabla 20: Métodos empleados en el análisis de la materia orgánica.

Parámetros	Metodología empleada	Norma de ensayo*
pH	Potenciometría	SW-846
Conductividad eléctrica	Conductimetría	(Ö – NORM) S 2023
Porcentaje de acidez	Titulación con NaOH (0,1N)	AOAC (Official methods) (1998)
Porcentaje de humedad	Secado a estufa 105°C por 24 horas	(Ö – NORM) S 2023
Sólidos totales	Gravimetría	TMECC 03.09
Materia orgánica	Walkley y Black o Dicromato de Potasio	TMECC 05.07-A
Nitrógeno	Kjeldahk	UNE-EN 13040
Fósforo	Amarillo del Vanadato Molibdato	TMECC 04.03-A
Potasio, Calcio, Magnesio, Sodio	Espectrometría de absorción atómica	UNE-EN 13650
Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso	Espectrometría de absorción atómica	UNE-EN 13650
Boro	Curmina	ASTM D 4994
Pb, Cd, Cr	Espectrometría de absorción atómica	TMECC 04.06

Fuente: LASPAF – UNALM (2009); Norma Chilena: NCh2880

*TMECC = Test methods for the examination of composting and compost

F. Densidad Aparente.

Se la define como la relación entre la masa de material sólido seco (a 105° C) y el volumen que ocupa en unas condiciones determinadas, incluyendo el espacio poroso entre partículas. Generalmente se expresa en g/cm^3 o en g/L (Martínez, 1992).

El procedimiento experimental seguido para la experiencia es la descrita por De Boodt, en 1974; y fue de la siguiente manera:

1. Se determinó el peso (**A**) del anillo II (inferior) vacío con el trozo de tela (en g.).
Calcular su volumen en cm^3 (**V**).
2. Se colocó el anillo (I) sobre el (II).
3. Los anillos se llenaron de material (sin presionarlo).
4. Los anillos se colocaron en un recipiente de plástico, que se llenó de agua, con cuidado de que no caiga sobre el sustrato. Las muestras se saturan durante 48 horas.
5. Después de la saturación. Los anillos se colocaron sobre el cubo con arena. Se aplicó una tensión (succión) de 10 cm. de columna de agua (**c.a.**) en la parte superior del cubo. Se alcanza el equilibrio a las 48 horas.
6. Se separaron los dos anillos con la ayuda de una espátula, quedando el anillo (II) lleno de sustrato.
7. Se determinó el peso (**B**) del anillo (II) lleno de sustrato húmedo, tomándose a continuación 4 muestras del sustrato de dicho anillo para la determinación de la humedad (**X**, en %).
8. La fórmula para el cálculo de la densidad aparente fue la siguiente:

$$Da = \frac{(B - A) * (100 - X)}{100 * V}; g / cm^3;$$

9. Se siguió la metodología propuesta por Martínez (1992). El valor obtenido en porcentaje, representa la masa de agua perdida cuando la muestra se secó a $105 \pm 3^\circ C$, referida a la masa inicial.

$$\%Hd(X) = \left(\frac{MasaSustrato_{(HÚMEDO)} - MasaSustrato_{(SECO)}}{MasaSustrato_{(HÚMEDO)}} \right) * 100;$$

Secuencia fotográfica de la metodología descrita por De Boodt



Figura 24: Pesar el anillo inferior con la malla sintética.



Figura 25: Anillo I sobre el anillo II.



Figura 26: Anillos llenos de sustrato y puestos en el recipiente de tecknopor.



Figura 27: Llenar el recipiente con agua, con cuidado de no hacer caer sobre la muestra.



Figura 28: Saturación de las muestras por 48 horas.



Figura 29: Después de la saturación los cilindros se colocan en el cubo de arena. Previamente se coloca un papel filtro sobre la arena



Figura 30: Separar el Anillo I del Anillo II, con ayuda de una espátula.



Figura 31: Determinar el peso del Anillo II lleno de sustrato húmedo.

G. Análisis microbiológicos.

Los análisis microbiológicos se realizaron en:

El laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la Universidad Nacional Agraria la Molina para evaluar los parámetros físicos químicos y microbiológicos.

El laboratorio de Microbiología de la Facultad de Obstetricia y Enfermería de la Universidad San Martín de Porres, para evaluar los parámetros microbiológicos (presencia de parásitos intestinales en las muestras).

H. Análisis parasitológicos

Los análisis parasitológicos se realizaron en el laboratorio de parasitología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

5.5.6. Prueba del efecto del compost en semillas de lechuga

Luego de la caracterización microbiológica y agronómica del compost se procedió a realizar el ensayo del efecto del compost en semillas de lechuga, utilizando el “te de compost” (Scheverell, 2004; Angulo et al., 2011), para ello se considerará usar una variedad vegetal con las siguientes características:

- Cultivo sensible a la concentración de sales.
- Rápida germinación.

5.5.6.1. Elaboración del té de compost

La elaboración del té de compost consistió en seguir la técnica señalada por Scheverell, 2004; Angulo et al., 2011, que consistió en:

- Utilizar el compost maduro luego de la cosecha de las tres pilas (A, B y Control).
- El compost se introdujo en la malla de nylon en una relación correspondiente a aproximadamente el 10% (peso/volumen) del volumen de agua del recipiente.
- Se introdujo la malla amarrada en 2 litros de agua sumergiéndola; en este caso no se usó el motor recomendado por el autor para la aireación sino más bien se aireó el proceso manualmente cada día al cabo de 15 a 20 minutos a temperatura ambiente.



Figura 32: Movimiento de la preparación por 15 minutos.

- Cumplido el tiempo de 10 días, se exprimió todo el material de la malla a otro recipiente y haciendo uso de un embudo se procedió a llenar el té en recipientes limpios y secos.



Figura 33: Liberando el líquido que queda dentro de la malla a otro recipiente.



Figura 34: Embotellado del té de compost.



Figura 35: Té de compost de las tres pilas (A, B y Control).

5.5.6.2. Prueba de bioensayo con té de compost.

Luego de preparado el té de compost se procedió a realizar el bioensayo para lo cual se debe tener en cuenta lo siguiente:

El bioensayo sólo se realizó con el té de compost de la pila tratamiento B o 30 por ciento, debido a que esta finalmente después de todos los análisis fisicoquímicos y microbiológicos resultó tener mejores características frente al tratamiento A y frente al control, es por eso que fue seleccionada como el mejor tratamiento para realizar la presente prueba.

Las condiciones usadas para evaluar el efecto del té de compost en la germinación, crecimiento y desarrollo de las plántulas de lechuga *Lactuca sativa* L. en sus primeros estadios según Sobrero y Ronco (2004), fueron las siguientes:

- La temperatura para la germinación de $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$
- La calidad de la luz (oscuridad)
- El tiempo de duración de 120 horas (5 días)
- El efecto medio de la inhibición en la elongación de la radícula e hipocótilo
- La inhibición de la germinación
- Resultado final: inhibición media (CI) 50 y 0%
- Aceptabilidad de los resultados: germinación $> 90\%$

Se usaron 360 semillas de lechuga de *L. sativa* variedad Duett que fueron distribuidas en 18 placas petri o unidades experimentales con 20 semillas cada una y 3 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos tendrán diferentes dosis de té de compost diluidos con agua de mesa y al control positivo se le aplicará solo agua de mesa.

Los tratamientos fueron:

- Tratamiento control (agua de mesa)
- T1: Té de compost puro B
- T2: Dilución del té de compost B de 1/5
- T3: Dilución del té de compost B de 1/6.67
- T4: Dilución del té de compost B de 1/10
- T5: Dilución del té de compost B de 1/50

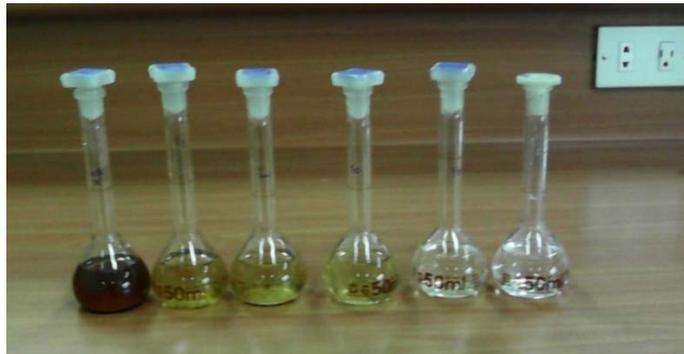


Figura 36. Diluciones preparadas

Para evaluar el efecto en la elongación de la radícula y el hipocótilo, se midieron dichas partes de la planta usándose regla milimetrada. Teniendo en cuenta que la medida de la elongación de la radícula se considera desde el nudo (región más engrosada de transición entre la radícula y el hipocotilo) hasta el ápice radicular (Figura 3).

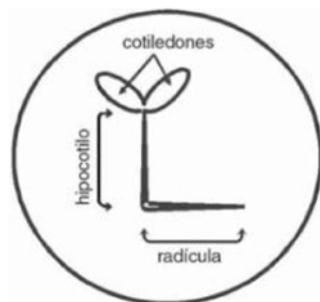


Figura 37: Esquema de una plántula de lechuga normal después del periodo de exposición.

Luego de obtener todas estas mediciones, se procedió a hacer el cálculo del porcentaje e índice de germinación (IG).

5.5.7. Análisis estadístico

Se utilizó el análisis de variancia (ANOVA, *Analysis of Variance*) para comparar la media de los valores de los diferentes parámetros a ser estudiados para cada tratamiento aplicado el test de la menor diferencia significativa al 5 por ciento del nivel de probabilidad, entre un tratamiento y otro. Para evaluar la diferencia significativa entre tratamientos se usó la prueba de Tukey.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Preparación de la solución de microorganismos eficientes caseros (EM_C).

En la solución de EM_C activado se encuentran perfectamente mezclados varios tipos de microorganismos benéficos como: Bacterias lácticas, fotosintéticas, levaduras, hongos y otros.

Tabla 21: Características físico químicas de los microorganismos eficientes caseros (EM_C) activados.

Características físico químicas de los EM activados	
° Brix	15 °
pH	3,83
Color	marrón rojizo
Olor	dulce acido
C.E.	11,2 dS/cm

Los microorganismos eficientes caseros (EM_C) obtenidos y usados en la presente investigación se caracterizan por presentar una gran similitud ya que toman como eje a los EM^R descubiertos en 1994 por el profesor Teruo Higa de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus-Okinawa- Japón, quien es considerado como el padre de la tecnología de EM^R y que a través de la EM Research Organization difunden esta tecnología en todo el mundo para que sea usada en diversos campos (Carrasco, 2009)

Los EM_C trabajados en esta tesis consisten en un cultivo microbiano mixto que coexisten en un medio líquido y que tienen todo el potencial para ser usados en áreas como la agricultura, ambiente, salud, industrial, entre otros.

Los EM_C, debido a la presencia de bacterias fotosintéticas en su composición, tiene la propiedad de neutralizar los malos olores y prevenirlos. Las bacterias fotosintéticas transforman las sustancias que producen olores desagradables (metano, mercaptano, ácido sulfhídrico, amoníaco, etc.) en ácidos orgánicos que no producen mal olor y que no son nocivos para el hombre, también estos producen sustancias que aceleran la descomposición de la materia orgánica, por lo cual el EM permite reducir el período de compostaje (Carrasco, 2009).

Dicho esto, y como el eje central de la investigación fue evaluar el rol de estos microorganismos eficientes caseros inmovilizados en un soporte que en este caso fue el aserrín en un proceso de compostaje; se procedió como parte fundamental a la preparación y activación como se indicó en la metodología con ingredientes que permitieron la obtención de la solución.

Como se observa en la Tabla 21, se obtuvo a la temperatura indicada (20 - 30 °C) y en un periodo de 5 a 7 días un pH de 3,83 con olor agridulce y color marrón rojizo; características similares a las reportadas por el BID (2009), el cual menciona que para concluir con la fermentación de los EM_C estos deben tener un pH con valores cercanos a 3,8 o menores, de olor dulce ácido parecido al guarapo, color marrón rojizo. Para el manejo de los microorganismos en la solución se verificó que el contenido de sólidos solubles totales estuviera entre 14 a 24 °Bx (Meza, 2014); resultando en la presente investigación un valor de 15 °Bx, valor que está dentro del rango indicado por el autor.

Finalmente es importante señalar que el cese de gas producto de la fermentación fue también un indicador adicional de que la solución estaba lista para ser utilizada con las disoluciones en agua pertinentes para cada uso inmediato ya que según Ramírez (2006), esta solución activada de EM_C, puede ser utilizada hasta un mes después de ser preparada, resaltando que los efectos de los EM_C son mejores cuando se aplican en tiempos más próximos a su preparación; también señala que esta solución no puede ser utilizada para realizar otra activación, debido a que la coexistencia y acoplamiento de los grupos que conforman el EM_C, como las bacterias ácido lácticas, bacterias fototrópicas y levaduras, presentarían un desbalance y desacoplamiento en sus interrelaciones y aunque logre obtener un solución bacterial activa de bajo ácido, los resultados no estarían garantizados.

6.2. Evaluación de la viabilidad de los microorganismos eficientes (EM_C) en el aserrín.

Un soporte adecuado para la inmovilización de microorganismos con aplicación en el área ambiental debe proporcionar condiciones apropiadas para la supervivencia de las células y su funcionamiento como inóculo, lo cual da como resultado una vida media suficientemente larga así como el mejoramiento de la supervivencia y de la actividad en el suelo. Se requiere que el soporte no sea tóxico, ni contaminante y que tenga una calidad constante, para permitir una liberación precisa de los microorganismos en el sitio de interés y eventualmente se evite la dispersión de los microorganismos (van Veen et al., 1997; Cassidy et al., 1996; Gentry et al., 2004b).

Dicho esto, el aserrín usado en la presente investigación es un sustrato biodegradable usado como soporte natural para inmovilizar a los EM_C, ya que la inmovilización brinda a las células una protección contra el efecto tóxico de las sustancias presentes en el medio y a la depredación por parte de otras poblaciones (Mishra et al., 2001).

La solución de EM_C fue utilizada como inoculante en el aserrín, debido a que la mayoría de los microorganismos presentes en dicha solución son heterotróficos, es decir, ellos requieren de fuentes orgánicas de carbono y nitrógeno. El EM es más eficaz cuando es aplicado a enmiendas orgánicas para proporcionar oxígeno, carbono y energía.

6.2.1. Evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas presentes en el aserrín puro

El aserrín es un producto de desecho del procesamiento de la madera compuesto de tres componentes principales: la lignina, celulosa y la hemicelulosa. Una de las principales ventajas que presenta este material es su bajo costo, ya que requiere un procesamiento mínimo y es abundante como residuo de la industria forestal (Indacochea, 2005)

Tabla 22: Características fisicoquímicas en el aserrín.

Características del Aserrín			
pH	C.E. (dS/cm)	Porcentaje de acidez	Porcentaje de Humedad
5,82	0,30	0,32	29

Las propiedades físicas y químicas del aserrín dependen del tamaño de sus partículas, del tipo de especie forestal, de la edad y parte del árbol del que procede el material, y se recomienda que del 20 al 40 por ciento sean inferiores a 0,8 mm. Este es un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0,1 a 0,45 g/cm³. La porosidad total es superior al 80 - 85 por ciento, la capacidad de retención de agua es de baja a media, pero su capacidad de aireación suele ser adecuada lo que representa una mayor tasa de difusión de oxígeno en comparación con la turba. El bajo contenido de agua disponible puede producir estrés hídrico durante el crecimiento de la planta, por ello el riego debe aplicarse con frecuencia y en pequeñas cantidades (Favaro et al., 2002).

Como se observa la Tabla 22, el promedio de los valores de las propiedades físico químicas del aserrín, este mostró un pH ligeramente ácido de 5,82, una baja concentración de sales de 0,3 dS/cm y un porcentaje de acidez de 0,32 por ciento, este valor refleja que no se está realizando el proceso de fermentación con la formación de ácido láctico como producto principal debido a que seguramente las condiciones no son las más adecuadas para que el grupo de bacterias ácido lácticas realicen con normalidad todos sus procesos metabólicos. En cuanto a la humedad, el aserrín es un material relativamente hidrófilo, con gran capacidad de retención de humedad, el valor analizado fue menor a 30 por ciento, en concordancia con los mencionado por Aviles *et al.*, 2010, quien menciona un porcentaje de humedad de 29, 37 por ciento.

Tabla 23: Análisis microbiológico del aserrín.

Análisis Microbiológico del Aserrín	
Recuento de aerobios mesófilos viables (UFC/g)	17 x 10 ⁵
Recuento de <i>Lactobacillus sp.</i> (UFC/g)	25 x 10 ²

FUENTE: Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la UNALM, 2014.

El proceso de degradación de la madera en general, y del aserrín de madera en particular, en amplios términos, puede ser atribuido a dos causas primarias; agentes Bióticos y agentes Físicos. Los agentes BIÓTICOS que intervienen en el proceso de degradación de la madera y por ende de aserrín en general, requieren ciertas condiciones para la supervivencia. Estos requisitos incluyen humedad, oxígeno disponible, temperaturas convenientes, y una fuente

adecuada de alimento, que, en éste caso particular, proviene de la madera (Favaro et al., 2002).

La madera y el aserrín producto de ella deben contener agua para que ocurran los ataques biológicos. El contenido de agua es un factor determinante e importante de los tipos de organismos presentes que degradan estos compuestos orgánicos (Favaro et al., 2002).

La humedad del aserrín responde a varios propósitos en el proceso de la degradación de ésta. Los hongos, también proporcionan un medio de difusión para que las enzimas degraden la estructura de la madera. Cuando el agua entra en la madera, la microestructura se hincha hasta alcanzar el punto de saturación de la fibra (sobre un 30% del contenido de humedad en la madera). En este punto, el agua libre en las cavidades de las células provenientes de la madera, permite que el hongo pueda comenzar a degradarla (Favaro et al., 2002)

Como era de esperar en la Tabla 23, se puede observar que el aserrín contiene microbiota natural procedente de los ambientes en los que se obtienen y se almacenan y que está representada por los microorganismos mesófilos aerobios viables y lactobacillus presentes de manera representativa en la solución de EM_C usada.

Las bacterias ácido lácticas producen ácidos a partir de azúcares y otros carbohidratos provenientes de las bacterias fotosintéticas y las levaduras. El ácido láctico que producen es un potente esterilizador; como tal, combate a los microorganismos perjudiciales y acelera la descomposición de la materia orgánica (Fundación Piedrabuena, 2006).

Por otra parte, los lactobacillus que se encuentran dentro del grupo de las bacterias ácido lácticas, facilitan la fermentación de materiales tales como la celulosa y los troncos evitando así causar perjuicios similares a los que se originan cuando estos materiales entran en descomposición (Fundación Piedrabuena, 2006).

6.2.2. Características físico químicas del aserrín al 20 por ciento (A) y 30 por ciento (B) de concentración de microorganismos eficientes caseros (EM_C) evaluados durante quince días.

El aserrín considerado como un soporte para inmovilizar microorganismos genera condiciones apropiadas para la supervivencia de las células microbianas y su funcionamiento como inóculo, lo cual da como resultado una vida media suficientemente

larga, así como el mejoramiento de la supervivencia y de la actividad en el área donde sea aplicable (Juarez-Ramirez *et al.*, 2011).

Dicho esto, analizando el comportamiento de las propiedades físico químicas del aserrín como soporte para inmovilizar al inóculo de EM_C, se pudo observar en la tabla 24, en el día 0 que los valores de temperatura fueron altos en comparación con los días sucesivos, y esto debido a que en el día inicial cuando los EM_C son inoculados al aserrín comenzaron a desarrollar sus actividades metabólicas para degradar los componentes orgánicos del sustrato en mención. En el caso del pH, no se observa una tendencia constante siendo los valores en los días evaluados ligeramente ácidos, esto es debido a la adición de la solución de EM_C el cual poseen un pH de 3,83. Los microorganismos como parte de su actividad metabólica al degradar los compuestos orgánicos realizan procesos de fermentación produciendo como su principal producto el ácido láctico, es por ello, que también se midió el porcentaje de acidez el cual resultó ser menor al 1 por ciento durante los 15 días de evaluación, esto debido a que estos EM_C son exigentes nutricionalmente y al ser la única fuente nutricional los componentes del aserrín el proceso de degradación fue mínimo (Carrasco, 2009).

Tabla 24: Evaluación físico química del aserrín al 20 por ciento (A) y 30 por ciento (B) de concentración de microorganismos eficientes (EM_C) evaluados durante quince días.

Días	Concentración: 20 por ciento					Concentración: 30 por ciento				
	T°	pH	C.E	Acidez (%)	Humedad (%)	T°	pH	C.E	Acidez (%)	Humedad (%)
0	27,17	6,53	0,93	0,43	30,83	26,43	6,14	2,80	0,49	31,33
3	26,6	5,72	0,60	0,49	29,17	25,20	4,85	2,87	0,36	30
6	26,1	6,01	0,57	0,35	26	25,37	5,02	1,87	0,34	26,87
9	23,57	5,59	0,70	0,36	25,97	23,33	5,08	2,37	0,23	24,17
12	24,57	5,98	0,67	0,28	22,50	23,23	5,07	2,90	0,21	20,67
15	24,33	5,88	0,63	0,30	20,13	23,80	5,06	2,97	0,28	22,03

La humedad inicial bordeó el 30 por ciento en ambos tratamientos, unos grados más de lo especificado por Aviles *et al.*, 2010, quien menciona una humedad para el aserrín de 29 por ciento. A medida que pasaron los días se observó que el aserrín tiene una gran capacidad de absorción, es por ello que la mezcla EMC mas aserrín se tornó más seca apoyando así que la humedad disminuya progresivamente en el transcurso de los días hasta llegar finalmente en el día 15 a una humedad de 20,13 por ciento (para el tratamiento de 20 por ciento) y de 22,03 por ciento (para el tratamiento de 30 por ciento). Es importante señalar que las características físico químicas del aserrín varían de acuerdo a la especie forestal con la que se trabaje, en este caso se usó aserrín de Capirona, Huayruro y Pumakiri, las cuales se encuentran mezcladas en sacos que son donados por las carpinterías a la empresa X-Runner.

De acuerdo a la evaluación estadística al día 15 para cada parámetro en los dos tratamientos se deduce lo siguiente (Anexo 2)

- No hay diferencia significativa entre el promedio de temperatura de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,085$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue para el tratamiento de 20 por ciento: 1,03 por ciento y para el tratamiento de 30 por ciento: 1,11 por ciento. Este mismo valor de CV (1,03 y 1,11 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de pH; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.
- Si hay diferencia significativa entre el promedio de pH de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,000$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue para el tratamiento de 20 por ciento: 0,34 por ciento y para el tratamiento de 30 por ciento: 0,50 por ciento. Este mismo valor de CV (0,34 y 0,50 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de pH; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.
- Si hay diferencia significativa entre el promedio de C.E. de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,010$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue para el tratamiento de 20 por ciento: 12,76 por ciento y para el tratamiento de 30 por ciento:

24,12 por ciento. Este mismo valor de CV (12,76 y 24,12 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de pH; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

- No hay diferencia significativa entre el promedio de porcentaje de acidez de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,624$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue para el tratamiento de 20 por ciento: 7,02 por ciento y para el tratamiento de 30 por ciento: 16,37 por ciento. Este mismo valor de CV (7,02 y 16,37 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de pH; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

- No hay diferencia significativa entre el promedio de porcentaje de humedad de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,109$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue para el tratamiento de 20 por ciento: 4,77 por ciento y para el tratamiento de 30 por ciento: 4,98 por ciento. Este mismo valor de CV (4,77 y 4,98 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de pH; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

6.2.3. Características microbiológicas del aserrín al 20 por ciento (A) y 30 por ciento (B) de concentración de microorganismos eficientes (E.M.) evaluados durante quince días

El manejo de los microorganismos inmovilizados permite minimizar los riesgos de contaminación y los hace más tolerantes a los contaminantes, son pocos los estudios de estos inmovilizados en soportes orgánicos como el aserrín, sin embargo, es necesario utilizar este tipo de soportes debido a su biodegradabilidad y así generar beneficios ambientales (CORPOICA INCODER, 2005).

En la presente investigación, se evalúa el comportamiento de los EMC en el aserrín como soporte orgánico analizando su viabilidad durante quince días y viendo como este consorcio microbiano mantiene su población adaptándose a las características fisicoquímicas del aserrín y del medio ambiente

Los EM_C, son un cultivo microbiano mixto de especies seleccionadas, estos contienen un alto número de levaduras, bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas y cantidades menores de otros tipo de microorganismos. Se incluyen también los actinomicetos (Tabora, 2002).

Es muy difícil para los microorganismos digerir el aserrín y las astillas de madera porque contienen las mismas sustancias químicas que hacen a la madera dura y resistente a la lluvia. El aserrín no contiene muchos nutrientes, específicamente nitrógeno, que es un alimento esencial para las plantas. Además de una fuente de carbono orgánico, los microorganismos requieren de nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que tienen efectos complejos. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima (CORPOICA INCODER, 2005).

Tabla 25: Análisis Microbiológico del aserrín con 20 por ciento (A) y 30 por ciento de concentración de microorganismos eficientes (EM_C).

Análisis Microbiológicos Finales					
Tipos de bacterias	Unidades	Aserrín + EM _C 20%		Aserrín + EM _C 30%	
		Inicial (0 días)	Final (15 días)	Inicial (0 días)	Final (15 días)
Aerobios mesófilos viables	(UFC/g)	45 x 10 ⁵	23 x 10 ⁶	11 x 10 ⁵	94 x 10 ⁵
<i>Lactobacillus sp.</i>	(UFC/g)	24 x 10 ⁵	55 x 10 ³	69 x 10 ⁵	15 x 10 ³

FUENTE: Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” de la UNALM, 2014.

La descomposición del aserrín proveniente de la madera es una serie continua, donde las acciones de degradación son responsabilidad de uno o más microorganismos, en este caso encontramos microorganismos no solo en el consorcio de EM_C sino también en el aserrín; según Favaro *et al.*, 2002, el aserrín posee principalmente poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos

La degradación en el aserrín requiere ciertas condiciones para la supervivencia de las poblaciones microbianas que actúan en los procesos degradativos. Estas condiciones incluyen humedad, oxígeno disponible, temperatura y una fuente de alimento, que en este caso particular proviene de la madera (Favaro *et al.*, 2002).

Los aerobios mesófilos viables (los aerobios son los microorganismos que se desarrollan en presencia de oxígeno), incluyen a todas las bacterias, mohos y levaduras capaces de desarrollarse a 30° C en las condiciones establecidas.

Siendo los microorganismos aerobios mesófilos viables indicadores de calidad más usado en términos alimenticios, podemos observar en la Tabla 25 que estos aumentaron su población al cabo de 15 días ya que las condiciones de temperatura fueron las óptimas variando de 30 a 22 °C durante este período y así posibilitaron su reproducción. García, 2008 menciona que las bacterias mesófilas viables se desarrollan en ambientes de 17 a 30 °C y presencia de aire.

Se puede observar en la Tabla 23 que el aserrín en condiciones naturales posee una carga microbiana de aerobios mesofilos viables de 17×10^5 UFC/g, por lo tanto, luego de agregarle las dos concentraciones de EM_C se observa en la Tabla 25 un incremento al cabo de quince días siendo mayor en la concentración de 20 por ciento. Este incremento se debe al proceso celulolítico que se llevó a cabo por la actividad de los microorganismos capaces de degradar la celulosa y lignina componentes principales de las paredes celulares del aserrín originando como principales productos de la degradación celulolítica CO₂ y biomasa, dicha biomasa estaría constituida también por microorganismos capaces de aprovechar esta fuente de carbono (Holt, *et al.*, 2000).

Dentro del consorcio de EM^R los principales microorganismos son: Bacterias Fototróficas, Bacterias Acido Lácticas y Levaduras (Guía de la Tecnología del EM, 2002).

Las bacterias ácido lácticas producen ácido láctico de azúcares y otros carbohidratos, producidos por las bacterias fototróficas y levaduras. Sin embargo, el ácido láctico es un compuesto esterilizante fuerte que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa fermentándolos, removiendo efectos no deseables de la materia orgánica no descompuesta (Guía de la Tecnología del EM, 2002).

Dicho esto, podemos observar en la tabla 23 que los lactobacillus inicialmente en el aserrín tuvieron una población de 25×10^2 lo cual aumenta al añadirle el consorcio microbiano de EM_C en ambos tratamientos trabajados (20 y 30 por ciento) como se observa en la tabla 25, pero en el transcurso de los días se evidencia una disminución progresiva de los lactobacillus; esto debido a que se estaría llevando un proceso de competencia nutricional

entre los microorganismos capaces de digerir la lignina y la celulosa directamente ya que presentan las enzimas necesarias (celulasa, por ejemplo) para descomponer los componentes de la madera, entre las especies que realizan procesos celulolíticos se encuentran *Bacillus sp* y *Streptomyces sp* (Holt, *et al.*, 2000). Caso contrario sucede con los lactobacillus quienes degradan principalmente azúcares y carbohidratos y como producto obtienen ácido láctico, quien ayuda a descomponer la lignina y la celulosa (Guía de la Tecnología del EM, 2002). Es por ello, que los lactobacillus tienden a disminuir hasta llegar a valores de 55×10^3 para el tratamiento de 20 por ciento y a 15×10^3 en el caso del tratamiento del 30 por ciento.

6.3. Evaluación del Pre Tratamiento anaeróbico de las excretas y aserrín más la solución de EM_C.

6.3.1. Evaluación fisicoquímica de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM_C+ excretas humanas durante 20 días.

Antes de poner a compostar las excretas con el aserrín y los EM_C, se realizó un pre tratamiento anaeróbico, el cual consistió en enclaustrar todos los materiales en unas mangas de plástico, en ausencia de luz y oxígeno, con la finalidad que los EM_C logren adaptarse al medio y comiencen a incrementar su población.

Cada tratamiento ya sea de 20 o 30 por ciento tuvo tres periodos de descarga con una diferencia de siete días por cada descarga. Es decir, al momento de distribuir a cada vivienda el aserrín y su respectiva concentración de EM_C inoculado se esperan siete días antes de su recojo, finalizado este tiempo se procedió a recoger las muestras de excreta con aserrín más EM_C de cada asentamiento humano y de la misma manera se hizo entrega del nuevo material (aserrín más EM_C en cada concentración trabajada) para la segunda descarga al cabo de siete días y así sucedió también para la tercera descarga. De tal manera que el tratamiento se repite por triplicado.

Las muestras descargadas de cada asentamiento humano según su tratamiento fueron pesados y dispuestos en mangas de plástico de color negro y se procedió a añadir inicialmente 6 por ciento de EM_C de acuerdo al peso de cada manga de plástico para acelerar la descomposición de la materia orgánica, luego de ello fueron cerradas herméticamente. Todo este proceso tuvo una duración de veinte días, durante los cuales se

realizaron muestreos en cada uno de los pre-tratamientos de aserrín + EM, con la finalidad de obtener una muestra compuesta (por cada pre-tratamiento) que fue enviada al laboratorio para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que nos indicaron la evolución del proceso.

Es necesario mencionar que se consideró necesario de realizar este pre tratamiento o tratamiento primario en condiciones anaeróbicas a la mezcla de aserrín+ excretas + EM_C ya que como sabemos las excretas humanas son residuos peligrosos por la cantidad de microorganismos patógenos que puedan presentar y es una alternativa de barrera para poder disminuir esta carga patogénica.

Tabla 26: Análisis fisicoquímico de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM_C+ excretas humanas durante 20 días.

PRIMERA DESCARGA: ASERRÍN + EM _C + EXCRETAS										
Fecha	14/03/2014									
Peso (kg)	272					252				
Tratamiento	20 por ciento o A					30 por ciento o B				
Días	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)
0	31,50	8,25	1,3	0,13	53,50	36,6	8,45	2,97	0,17	55,3
10	30,63	8,50	1,4	0,21	57,30	32,7	8,37	3,13	0,34	65,2
20	35,30	7,39	1,4	0,05	64,50	37,4	8,31	1,90	0,02	65,2

SEGUNDA DESCARGA: ASERRÍN + EM _C + EXCRETAS										
Fecha	20/03/2014									
Peso (kg)	215					216				
Tratamiento	20 por ciento o A					30 por ciento o B				
Días	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)
0	35,43	7,65	1,83	0,41	43,6	44,07	8,05	2,80	0,29	52,1
10	33,77	8,58	2,59	0,21	78,6	34,70	8,39	4,94	0,20	63,7
20	36,53	8,10	1,83	0,06	78,6	44,93	8,58	2,30	0,06	61,1

«Continuación»

TERCERA DESCARGA: ASERRÍN + EM _C + EXCRETAS										
Fecha	28/03/2014									
Peso (kg)	219					215				
Tratamiento	20 por ciento o A					30 por ciento o B				
Días	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)
0	31,10	8,62	1,97	0,25	58,2	32,97	7,75	3,77	0,32	55,80
10	36,93	8,62	1,27	0,38	78,9	39,03	8,65	1,71	0,44	60,70
20	34,53	7,50	1,07	0,42	75,3	38,40	8,65	2,00	0,50	61,13

Se consideró necesario implementar las condiciones anaeróbicas debido a la gran cantidad de patógenos que pueden presentar las excretas humanas y en su mayoría estos microorganismos putrefactivos se caracterizan por vivir en condiciones aeróbicas (coliformes) y por ello se trató de generar una barrera a su condición normal de vida; otro factor es la presencia de microorganismos eficientes en las muestras los cuales generaron una mayor competencia por nutrientes en medio de un proceso fermentativo láctico que es la actividad principal dentro del grupo de los EM_C. Según Boucourt (2006), menciona que, durante el proceso fermentativo, las relaciones ecológicas que se implantan posibilitan que unos microorganismos surjan como dominantes y otros disminuyan en su número o desaparezcan. Asimismo, este proceso de ajuste ecológico en las fermentaciones puede ser consecuencia de la competencia por los nutrientes y de la producción de sustancias antimicrobianas, como los ácidos orgánicos (ácido láctico y ácido acético), bacteriocinas y peróxido de hidrogeno.

En el sistema planteado el pre tratamiento ocurre durante la recolección, y en los sistemas secos este normalmente ocurre bajo el inodoro durante el período de recolección. El pre tratamiento tiene varios objetivos: a) reducir el riesgo de olores; b) reducir el riesgo de la presencia de moscas; y c) reducir el riesgo higiénico, es decir, disminuir el número de patógenos potenciales en las heces. En un sistema seco, este tratamiento puede consistir de la adición de cenizas luego de cada defecación (Jonsson *et al.*, 2004).

Se realizó el pre tratamiento anaeróbico usando microorganismos eficientes quienes fueron los protagonistas que realizaron sus actividades para que los patógenos no puedan sobrevivir ya que como se sabe la mayoría de estos son seres aeróbicos.

Dentro de las características físico químicas del pre tratamiento podemos observar en la tabla 26 que ambos tratamientos tuvieron una variación de temperatura que varió entre 30° a 35 °C durante los 20 días de evaluación, de la misma manera se obtuvo un pH alcalino de 8 ya que el aserrín viene mezclado con una pequeña dosis de cal la que genera la alcalinidad del medio; obtuvieron una baja cantidad de sales expresado en la conductividad eléctrica en un rango de 1 a 3 dS/cm.

El parámetro de porcentaje del ácido láctico titulable, genera los cambios de pH hacia la acidez originando condiciones de antagonismos que no permiten el desarrollo de bacterias putrefactivas y patógenos (García, 2008), con este parámetro evaluado, se indica la cantidad de ácido producido por las bacterias lácticas en el proceso de fermentación.

En la digestión anaerobia, se degrada aproximadamente la misma cantidad de materia orgánica que en el compostaje, 40-70 por ciento, pero el N mineralizado no se pierde, como sucede en el compostaje. En lugar de ello el N permanece como amonio en los residuos de la digestión. Alrededor del 40-70 por ciento del N encontrado en el residuo está en forma de amonio, que es fácilmente disponible para las plantas (Akerhielm y Richert Stintzing, 2004).

De acuerdo a la evaluación estadística (ANOVA) para cada parámetro en los dos tratamientos se deduce lo siguiente: (Anexo 4).

- Si hay diferencia significativa entre el promedio de temperatura de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,000$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue 3,69 por ciento. Este mismo valor de CV (3,69 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de temperatura; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.
- Si hay diferencia significativa entre el promedio de pH de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,000$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue 0,55 por ciento. Este mismo valor de CV (0,55 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de pH; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

- Si hay diferencia significativa entre el promedio de C.E. de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,000$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue 7,62 por ciento. Este mismo valor de CV (7,62 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de conductividad eléctrica; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.
- Si hay diferencia significativa entre el promedio de porcentaje de acidez de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,000$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue 26,678 por ciento. Este mismo valor de CV (26,678 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de porcentaje de acidez; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.
- Si hay diferencia significativa entre el promedio de porcentaje de humedad de los dos tratamientos evaluados: Valor $p = 0,000$. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue 2,08 por ciento. Este mismo valor de CV (2,08 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de porcentaje de humedad; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

6.3.2. Evaluación microbiológica de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM_C+ excretas humanas durante 20 días.

Como se puede apreciar en las figuras 38 y 39, en ambos tratamientos hubo una tendencia a la disminución de microorganismos patógenos, todo ello se debe a que se produce una competencia nutricional entre los microorganismos presentes en el inóculo de EM_C y los patógenos presentes en las heces humanas provenientes de los dos asentamientos humanos trabajados; la flora microbiana presente en el inóculo EM_C muestra una ventaja frente a los patógenos debido a que muchas especies que conforman este inóculo presentan las enzimas necesarias para degradar los componentes del aserrín como son la celulosa y la lignina.

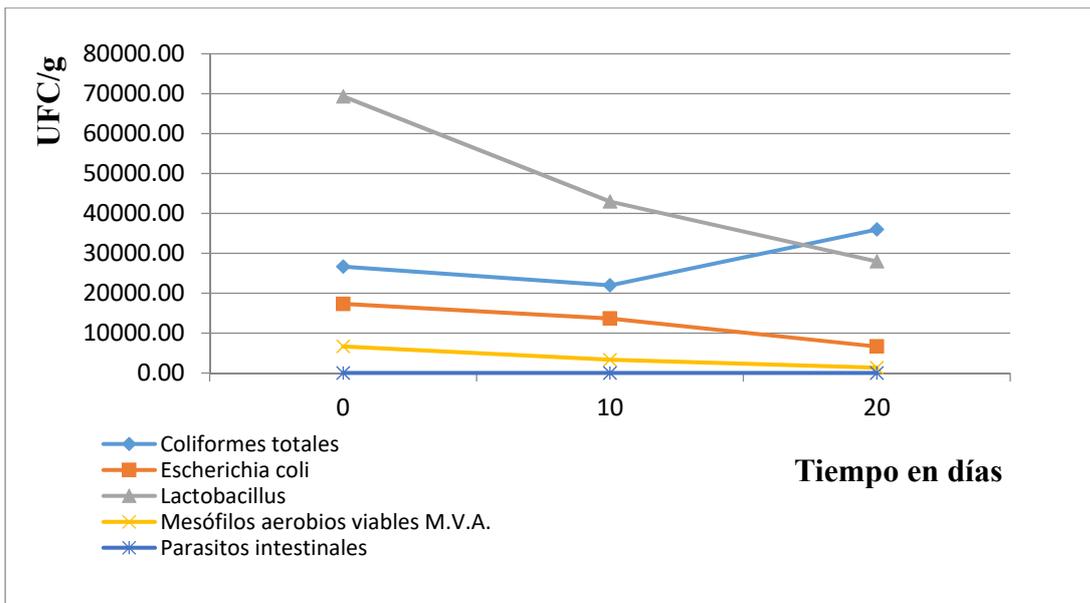


Figura 38: Análisis microbiológicos de los tratamientos A (20 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM_C + excretas humanas durante 20 días.

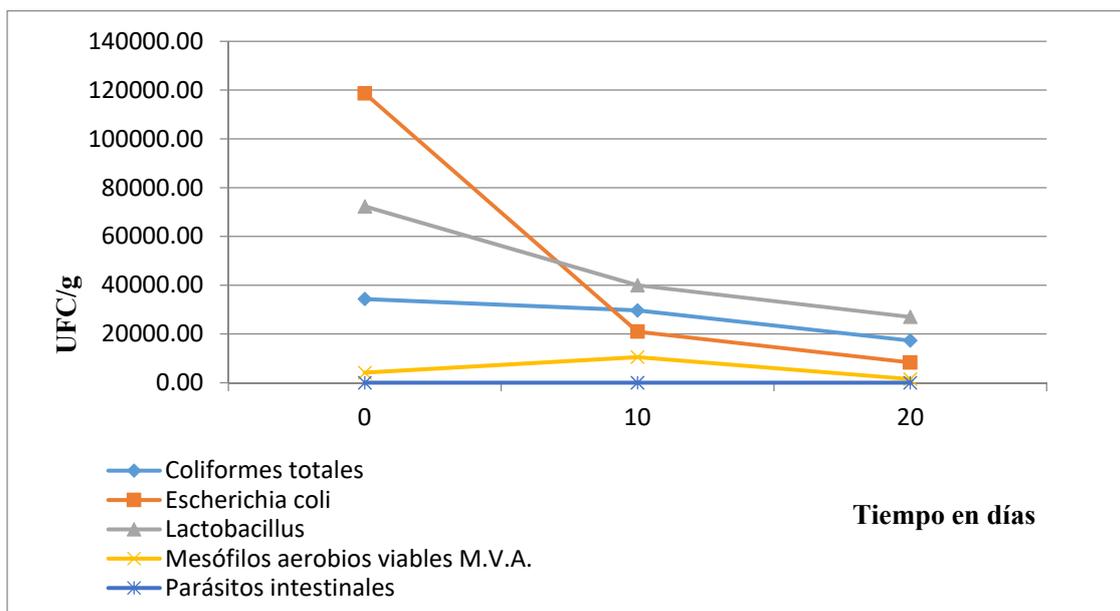


Figura 39: Análisis microbiológicos de los tratamientos B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM_C + excretas humanas durante 20 días.

El potencial de contaminación microbiana, asociado a residuos, está directamente relacionado con la presencia de material fecal que es uno de los principales factores de contaminación. La presencia de heces en residuos, como también en el ambiente en

general, señala la posibilidad de presencia de agentes patógenos causadores de enfermedades humanas (Solans *et al.*, 2007).

El grupo coliforme, ha sido largamente empleado como indicador debido a que es un común habitante en el tracto intestinal tanto de los humanos como de los animales de sangre caliente, y existen en general en el tracto intestinal en gran número. Aparte de otras clases de bacterias, cada ser humano evacua de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes cada día. Dentro de los coliformes termotolerantes están presentes la *Escherechia coli* y especies de los géneros *Klebsiella* y *Enterobacter*. De estos, solamente la *Escherechia coli* tiene una presencia garantizada en las heces humanas y de animales homeotérmicos de un 96 a 99 por ciento (Solans *et al.*, 2007).

De acuerdo a lo mencionado por Solans *et al.*, 2007, cada ser humano evacua de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes cada día, los análisis arrojan valores menores que estos, pero entre todo son valores altos de presencia de coliformes. La *E. coli* que garantiza su presencia en un 99 por ciento sufre una disminución poblacional al cabo de veinte días en las tres descargas, pero esta bacteria a comparación de las demás excepto a los mesófilos fue la que se encontró en menor número en los tres periodos de descarga.

El grupo de los mesófilos son un grupo bacteriano que requieren de temperaturas moderadas para su crecimiento, son aerobios y generan calor. Este tipo de bacterias son saprófitos estrictos, es decir, descomponen y se alimentan de materia orgánica por lo que son típicos en los residuos orgánicos (Solans *et al.*, 2007). Es por ello, que por su condición aeróbica encontramos un bajo número de estas bacterias en comparación con las demás, pero también mostrando la misma tendencia en descenso al cabo de los veinte días de análisis.

6.4. Evaluación del proceso de compostaje del aserrín, excretas humanas y EMC

Luego de finalizado el pre tratamiento anaeróbico de la mezcla: aserrín, excretas y EMC, las tres mangas de plástico de cada tratamiento fueron liberadas y mezcladas para iniciar el proceso de compostaje.

Como se sabe en el pre tratamiento antes de ingresar cada descarga de cada tratamiento estas muestras fueron pesadas para saber finalmente con cuantos kilogramos llegaríamos a la etapa de compostaje, y esto se describe así:

- En la pila del tratamiento A, se compostó un total de 706 kilogramos de muestra.
- En la pila del tratamiento B, se compostó un total de 683 kilogramos de muestra.
- En la pila control C, se compostó un total de 665 kilogramos de muestra.

Transcurrido los veinte días de evaluación físico química y microbiológica de la mezcla: aserrín, excretas, EMc y demás residuos de los tratamientos A, B y Control, cada uno de ellos fueron apilados conformando tres pilas, en las cuales se dio inicio al proceso de compostaje. Cabe resaltar, que en el caso del control no se realizó pre tratamiento anaeróbico.

6.4.1. Análisis de los parámetros evaluados durante el proceso de compostaje

A. Análisis del parámetro pH en los tratamientos A, B y Control durante los meses de compostaje

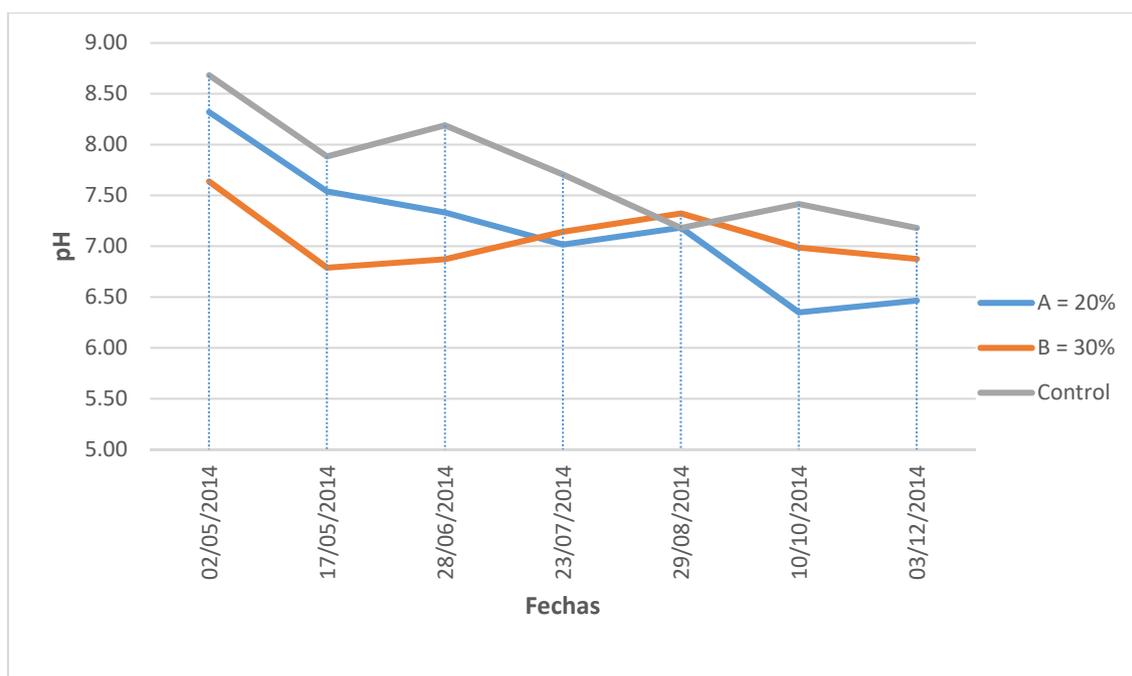


Figura 40: Evolución del pH durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.

Podemos observar en la presente figura 4, un comportamiento similar entre el tratamiento B y el control, mientras que el tratamiento A presenta generalmente un descenso en los valores de pH encontrando un pico de subida en el mes de agosto y vuelve a subir al mes de diciembre.

El tratamiento A y el Control iniciaron con un pH mayor a 8 y el tratamiento B con un pH de 7,6; estos valores altos pueden ser causados por el sustrato utilizado (aserrín y excretas), el cual provoca la actividad de los microorganismos mesófilos generando ácidos orgánicos simples que van descomponiendo materiales proteicos y aumentando el pH por la presencia de amoníaco (Castro, 2006). Se observa también, que las tres pilas finalizan el octavo mes con un pH de: 6,47 para A, 6,88 para B y 7,18 para el Control.

En resumen, los valores obtenidos de la variación del pH durante el proceso de compostaje en las 3 pilas, a pesar de sus diferentes comportamientos, son valores considerados buenos porque se encuentran dentro del rango aceptable para el desarrollo de los microorganismos encargados de la descomposición de los residuos orgánicos (pH=5,5-8,5) (Avedaño, 2003).

La evaluación de pH de los tres tratamientos finalizó el mes de diciembre. Los datos de pH fueron analizados con el análisis de varianza, encontrándose diferencia significativa ($\alpha=0,05$, Valor P= 0,001). La prueba de Tukey indica que todos los tratamientos son significativamente diferentes, el valor de pH más alto fue de 7,81 de la pila control, seguido por el tratamiento B con un pH de 6,87. Finalmente en el tratamiento A se obtuvo el pH más bajo con un valor de 6,47 (Anexo 6 y 7). El coeficiente de variación (cv) obtenido fue de 1,66 por ciento, lo cual indica confiabilidad en los datos.

B. Análisis del porcentaje de acidez en los tratamientos A, B y Control durante los meses de compostaje.

En la figura 41, se puede apreciar que el porcentaje de acidez tiene una tendencia descendente en las tres pilas evaluadas durante todo el proceso de compostaje, pero se observa que todos los valores iniciales y finales son menores a 1,0 por ciento es decir, la producción de ácido láctico por parte de las bacterias ácido lácticas presentes en la solución EMc inoculadas al inicio, en el etapa de pre tratamiento anaeróbico y durante el riego en el caso de las pilas A y B y en el caso del control por la presencia de la flora láctica natural no encontraron un medio totalmente acorde a sus requerimientos nutricionales y no produjeron ácido láctico en concentraciones mayores.

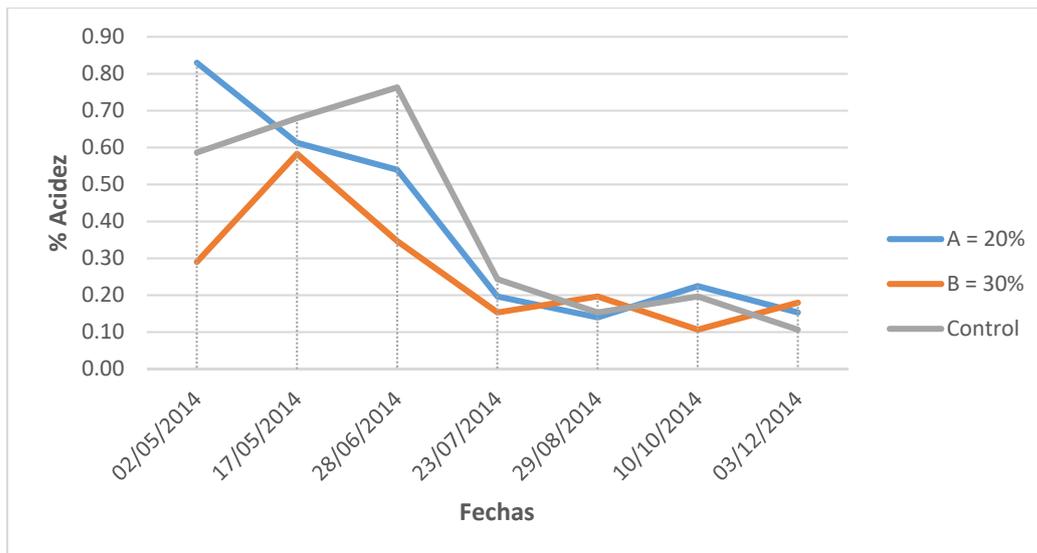


Figura 41: Evolución del porcentaje de acidez durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable porcentaje de acidez se realizó para el último mes de monitoreo (Diciembre), y nos indica que entre los tratamientos existe diferencia significativa arrojando valores de $p= 0,015$ (Anexo 6), es decir que la variable porcentaje de acidez tiene comportamientos diferentes para las 3 pilas y los valores de porcentaje de acidez obtenidos en los monitores son diferentes. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue de 14,55 por ciento. Este mismo valor de CV (14,55 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de porcentaje de acidez; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

C. Análisis del porcentaje de humedad en los tratamientos A, B y Control durante los meses de compostaje.

La humedad es un componente crítico para lograr un proceso de compostaje óptimo, debido a que éste es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica y la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos que intervienen en él, pues el agua actúa como medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células, así como de los productos de desecho de esa reacción.

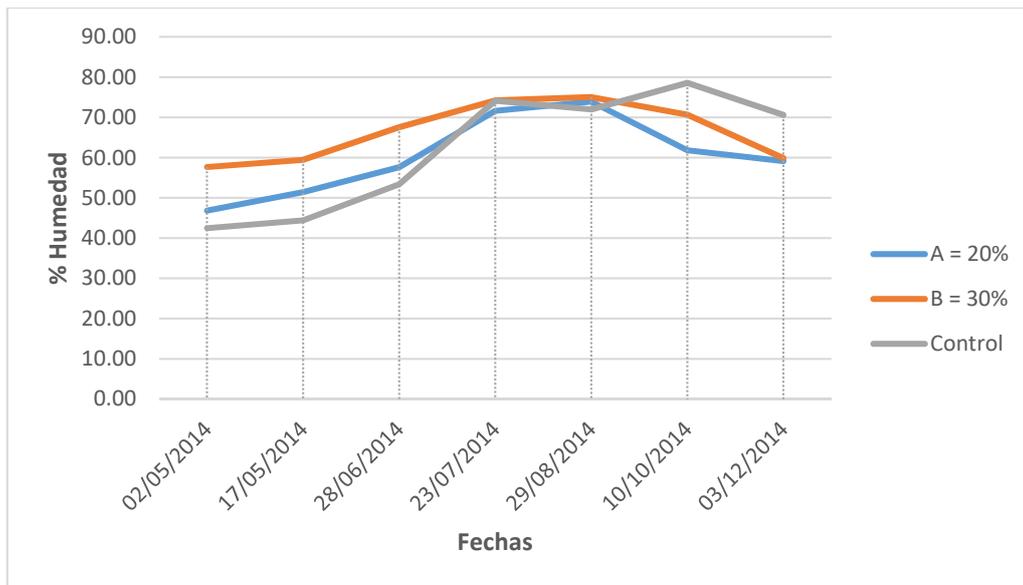


Figura 42: Evolución del porcentaje de humedad durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.

En la figura 42, se observa una tendencia ascendente durante los primeros meses: desde mayo hasta julio con valores iniciales mayores a 70 por ciento, luego se observa que la humedad se estabiliza durante los dos meses siguientes, luego de ello ocurre un descenso de humedad durante los últimos meses llegando a valores de humedad entre 50 a 70 por ciento en las 3 pilas evaluadas, debido también que durante los dos últimos meses ya no se efectuó el riego a las pilas. Finalmente, el tratamiento A, en el mes de diciembre cuenta con un porcentaje de humedad de 59,13 por ciento, el tratamiento B de 59,9 por ciento y el control de 70,6 por ciento de humedad.

La humedad ideal para el proceso de compostaje, según la universidad de California varía entre 40–60 por ciento; para Dalzell *et al.*, (1991) y Fujita, (1998), esta se encuentra entre 50–60 por ciento y para Binner, (2002) el contenido de humedad ideal se encuentra entre 50–65 por ciento. Sin embargo, el máximo contenido de humedad, que satisfaga el proceso de compostaje aeróbico dependerá del tipo de material utilizado (Gotaas, 1956).

Dicho esto, la humedad obtenida en las pilas de compostaje A y B se encuentran dentro del valor ideal para el proceso de compostaje; en el caso de la pila control la humedad está por encima de lo ideal y la solución ante ello podría ser reducir el volumen de riego ya que el aserrín tiene gran capacidad de retención de humedad.

En el caso del riego de las pilas, este se realizó para los tratamientos A y B con la solución EMc en una proporción en peso de cada pila del 1 por ciento, el riego se realizó cuatro veces de acuerdo a los volteos realizados (fueron en mayo, junio, agosto y octubre) pero también es importante señalar que el aserrín es un material que permite una alta retención de humedad es por eso que fue poca la frecuencia de riego. Lo más importante que se buscó fue mantener una humedad estable sin excesos ni deficiencias para sostener el equilibrio de agua necesario para las actividades microbianas que se realizan dentro de las pilas de compostaje. En el caso del control el riego se realizó con agua pura hasta comprobando la cantidad de agua en cada pila de acuerdo al método del puño.

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable porcentaje de humedad se realizó para el último mes de monitoreo (Diciembre), y nos indica que entre los tratamientos existe diferencia significativa arrojando valores de $p= 0,000$ (Anexo 6 y 7), es decir que la variable porcentaje de humedad tiene comportamientos diferentes para las 3 pilas y los valores de humedad obtenidos en los monitoreos son diferentes. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue de 1,87 por ciento. Este mismo valor de CV (1,87 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de porcentaje de humedad; puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

D. Análisis de la relación C/N en los tratamientos A, B y Control durante los meses de compostaje.

Según Castillo *et al* (2002), un factor muy determinante en la calidad del compost es la velocidad de descomposición del mismo y ésta a su vez depende de la proporción existente de carbono/nitrógeno (C/N) del material ya que está y tendría que tener valores antes mencionados.

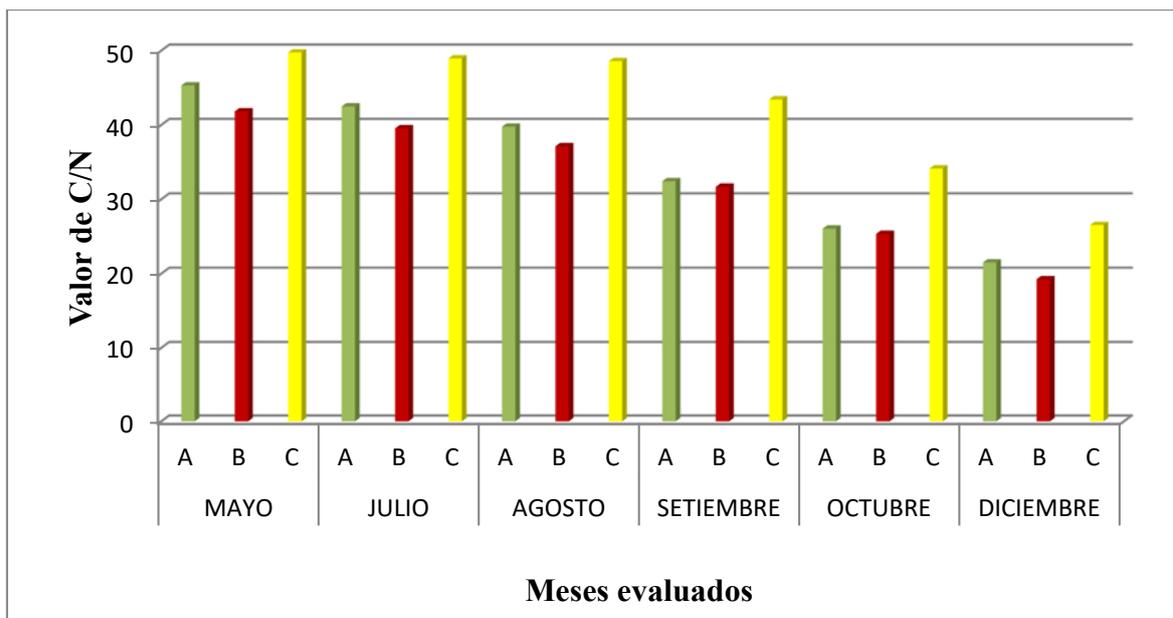


Figura 43: Evolución de la relación C/N durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.

Según Castillo *et al* (2002), es necesario para que ocurra un proceso adecuado de compostaje, un balance entre los materiales con una concentración de carbono (residuos de color marrón), empleados para generar energía, y materiales con una concentración alta de nitrógeno (residuos de color verde) que son necesarios para el crecimiento y la reproducción.

Como podemos apreciar en la figura 8; en las pilas A y B la relación C/N tiende a descender, conforme se va desarrollando el proceso; mientras que en la pila control, al término del cuarto mes la relación C/N sufrió un ligero incremento, pero luego desciende nuevamente llegando a valores de 16,54 menor a los dos tratamientos A y B, esto debido posiblemente que en las pilas tratamiento había mayor cantidad de carbono. Esto es un factor no deseable, debido a que el proceso de descomposición es más lento (Soto, 2003). Sin embargo, según Stoffell & Kahn (2005), el carbono proporciona la fuente primaria de energía y el nitrógeno es imprescindible para el desarrollo de la población microbiana.

El rango óptimo de la relación C/N para considerar a un compost maduro, se encuentra entre 15 a 20 unidades de carbono por 1 unidad de nitrógeno; si nos fijamos en la gráfica al quinto mes las pilas empiezan a cumplir esta condición y al término del octavo mes todas las pilas de compost cumplen con esta condición, por lo tanto, se les puede considerar como pilas de compost maduros (Soto, 2003).

Labrador (1996), expresa que si las relaciones C/N son muy altas el proceso de compostaje es más lento ya que la materia prima contiene muchos materiales leñosos, es por ello que en la presente investigación el proceso de compostaje fue más lento de lo habitual debido a las concentraciones altas iniciales de C/N que presenta el aserrín.

E. Análisis de la temperatura en los tratamientos A, B y Control durante los meses de compostaje

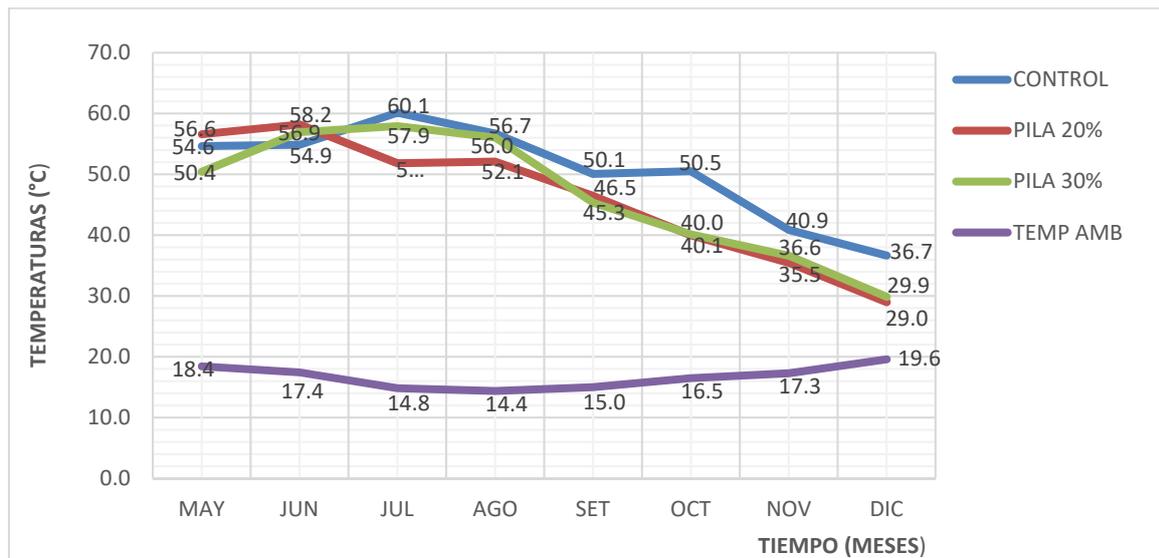


Figura 44: Evolución de la temperatura durante los meses de compostaje de los tratamientos A, B y el Control.

La temperatura (°C), es una variable que indica la evolución del proceso de compostaje. Los cambios experimentados por este parámetro se utilizan normalmente para conocer la actividad microbiana a lo largo del proceso y determinan la estabilidad de la materia orgánica. Las altas temperaturas alcanzadas en el proceso incrementan la actividad microbiana e inactivan los patógenos, esto es importante para conseguir una desinfección correcta del producto. Es importante controlar que la temperatura no se incremente en demasía porque podría producir la muerte de los microorganismos implicados en el desarrollo normal del proceso, con ello se produciría una reducción de la biodiversidad y actividad microbiana en las pilas y en consecuencia una disminución en la velocidad de descomposición de la materia orgánica.

Según Thivierge & Seito (2005), la temperatura es uno de los factores que mejor indica el desarrollo del proceso de descomposición de la materia orgánica. El incremento en la temperatura de la abonera tiene dos efectos importantes: acelerar la descomposición y

eliminar o disminuir las poblaciones de los microorganismos patogénicos existentes, además de eliminar a través de altas temperaturas (pasteurización) las larvas de moscas presentes en los materiales utilizados en el proceso.

Thivierge & Seito (2005), expresa que es importante que el compost alcance la temperatura de la pasteurización para que todas las semillas de malas hierbas y las esporas sean afectadas. La fase de pasteurización ocurre cuando las pilas alcanzan las temperaturas de 55 - 65 °C.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EEUU ha recomendado que se deba mantener una temperatura interna de 55°C al menos durante 15 días, volteándose la pila al menos 5 veces durante la fase bio-oxidativa.

La celulosa de algunos materiales que son fuente de carbono, son transformados en azúcares y energía por las bacterias, y las proteínas que son fuente de nitrógeno permiten el desarrollo de las bacterias. Parte de la energía liberada en la descomposición del material se desprende calor y esto origina un aumento de temperatura (Dalzell *et al*, 1991).

En la figura 9 se puede observar que al primer mes las tres pilas se encuentran en la etapa mesofílica donde abundan las bacterias y hongos mesofílicos, debido a la actividad metabólica de estos microorganismos la temperatura se incrementa a valores mayores o cercanos a 40 °C. En esta etapa la relación C/N es de especial importancia ya que el carbono aportara la energía a los microorganismos y el nitrógeno es esencial para la síntesis de nuevas moléculas, por ello la relación debe estar entorno 30, si superamos esta proporción la actividad biológica disminuye, mientras que proporciones superiores de N provocan el agotamiento rápido del oxígeno, y la pérdida del exceso en forma de amoníaco, tóxico para la población bacteriana o por lixiviados.

La pila A, en el mes de junio alcanza temperaturas de mayores a 60°C, es decir, entra a la etapa termofílica mientras que las pilas control y B lo hacen en el mes de julio a agosto. En esta etapa la población de bacterias y hongos mesofílicos mueren o permanecen en estado de dormancia mientras que las bacterias termofílicas, actinomicetos y hongos termofílicos encuentran su óptimo, generando incluso más calor que los mesófilos. La degradación de los ácidos obtenidos en la etapa anterior provoca el incremento del pH pasando desde 5,5 hasta 7,5 donde permanecerá casi constante hasta el final del proceso, el color del compost

se pone más oscuro paulatinamente y el olor original se comienza a sustituir por olor a tierra.

Los meses que continúan permitieron el enfriamiento en las tres pilas evaluadas porque los nutrientes y energía comienzan a escasear, reaparecen los microorganismos mesofílicos al pasar por los 40-45°C, estos dominarán el proceso hasta que toda la energía sea utilizada.

Y finalmente, observamos que el control al cabo de los meses de compostaje culmina con una temperatura ligeramente mayor a comparación de los otros dos tratamientos, y por ende se puede determinar que el proceso degradativo continuaría en esta pila con poca actividad.

La determinación de la etapa de maduración se hace considerando no solo la estabilidad de la temperatura sino también de los otros factores ya analizados anteriormente. Y observando la evaluación realizada a los anteriores parámetros podemos concluir que al cabo de los ocho meses de compostaje tenemos un compost en proceso de maduración y con mayor intensidad en la pila A y B por estar más cerca de la temperatura ambiente y de menor intensidad en la pila control ya que aún presenta temperaturas más altas que las pilas tratamiento y más alejadas a la temperatura ambiental; pero también es importante señalar que la determinación de madurez se realiza considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos que permiten la utilización del compost como abono orgánico.

De la cosecha del compost por cada tratamiento se obtuvieron los siguientes resultados:

Tratamiento A

En este tratamiento se inició con un peso total de insumos de 706 kg que luego del proceso de compostaje se obtuvo como resultado 260,4 kg de compost fino (distribuidos en 11,5 carretillas); además se obtuvo también 22,3 kg de compost grueso, que podría ser incorporado al siguiente proceso de compostaje o ser utilizado para mejorar áreas verdes de acuerdo al objetivo que el agricultor persiga.

Tratamiento B

En este tratamiento se inició con un peso total de insumos de 683 kg, que luego del proceso de compostaje se obtuvo como resultado 124,7 kg de compost fino (distribuidos en 6 carretillas); en este caso no se obtuvo el material grueso, el proceso fue muy eficiente.

Tratamiento C

En este tratamiento se inició con un peso total de insumos de 665 kg; que luego del proceso de compostaje se obtuvo como resultado 207 kg de compost fino (distribuidos en 11 carretillas), al igual que en el tratamiento A, en este tratamiento se obtuvo también 31,1 kg de compost grueso que podría ser incorporado al siguiente proceso de compostaje o ser utilizado para mejorar áreas verdes de acuerdo al objetivo que el agricultor persiga.

Luego de la cosecha se envió las muestras de los tratamientos A, B y Control al Laboratorio de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM, al Laboratorio Marino Tabusso y al Laboratorio de Parasitología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia para los análisis respectivos.

6.4.2. Análisis físico químico final de la materia orgánica en las tres pilas de compostaje.

Tabla 27: Análisis físico químico final de la materia orgánica.

Análisis físico químico de la materia orgánica						
PILAS	pH	C.E. ds/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
A	5,53	11,8	80,23	2,06	1,39	0,93
B	6,1	9,21	76,57	2,23	1,47	1,09
Control	6,4	6,94	80,57	2,58	1,69	0,83
Análisis físico químico de la materia orgánica						
PILAS	CaO %	MgO %	Hd %	Na %		
A	1,52	0,52	59,83	0,95		
B	2,17	0,66	62,89	0,84		
Control	2,57	0,75	68,74	0,83		
Análisis físico químico de la materia orgánica						
PILAS	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	
A	2475	20	101	78	21	
B	3623	24	123	96	26	
Control	2926	28	175	106	29	
USEPA	-	1500	2800	-	-	
RCEE 2092/91	-	70	200	-	-	

«Continuación»

PILAS	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm		Relación C/N
A	4,85	1,58	5,33		21,5
B	7,98	2,23	6,66		19,25
Control	6,93	1,98	6,91		26,54
USEPA (EEUU)	300	39	3000		
RCEE 2029/91	45	0,7	70		

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes. Facultad de Agronomía.

Universidad Nacional Agraria La Molina, 2014

Estos resultados, nos muestran que el compost producido utilizando residuos se aserrín, excretas provenientes de seres humanos y solución de microorganismos eficientes, presentó valores de pH ligeramente neutros y ácidos en el caso del tratamiento A (A= 5,53; B= 6,1 y Control=6.4); con elevado nivel de salinidad (A= 11,8 dS/m, B= 9,21 dS/m, Control= 6,94 dS/m), superior al rango de 3 a 8 dS/m, señalado por la norma chilena NCh 2880 del 2004; el contenido de materia orgánica (A= 80,23%, B= 76,57%, Control= 80,57%) es adecuado, superior al 20% que establece la misma norma; la relación C/N (A= 21,5, B= 19,25 y Control= 16,54) es baja, lo que nos indica que el compost está maduro y presenta un nivel de degradación de materia orgánica alto. El porcentaje de Nitrógeno es ideal, superior al 0,5% señalado por la norma chilena NCh 2880 del 2004.

Con respecto al fósforo y al potasio, se debe multiplicar por un factor de conversión (Murray et al, 2000) para obtener el valor de porcentaje del elemento; este valor a su vez será multiplicado por 10^4 para obtener el valor en ppm. Los factores de conversión son los siguientes: Para el caso del fósforo: 0,4365; y para el potasio: 0,8301. Los valores expresados en ppm para el fósforo y potasio son los siguientes:

Cálculo del porcentaje de fósforo.

$$A: \%P = \%P_2O_5 * 0,4365 = 1,39 * 0,4365 = 0,60673$$

$$B: \%P = \%P_2O_5 * 0,4365 = 1,47 * 0,4365 = 0,64165$$

$$\text{Control: } \%P = \%P_2O_5 * 0,4365 = 1,69 * 0,4365 = 0,73768$$

Transformación a ppm.

$$P_{(ppm)} = \%P * 10000 = 0,60673 * 10000 = 6067,3 \text{ ppm}$$

$$P_{(ppm)} = \%P * 10000 = 0,64165 * 10000 = 6416,5 \text{ ppm}$$

$$P_{(ppm)} = \%P * 10000 = 0,73768 * 10000 = 7376,8 \text{ ppm}$$

Cálculo del porcentaje de potasio.

$$\%K = \%K_2O * 0,8301 = 0,93 * 0,8301 = 0,77199$$

$$\%K = \%K_2O * 0,8301 = 1,09 * 0,8301 = 0,90480$$

$$\%K = \%K_2O * 0,8301 = 0,83 * 0,8301 = 0,68898$$

Transformación a ppm.

$$K_{(ppm)} = \%K * 10000 = 0,77199 * 10000 = 7719,9 \text{ ppm}$$

$$K_{(ppm)} = \%K * 10000 = 0,90480 * 10000 = 9048,0 \text{ ppm}$$

$$K_{(ppm)} = \%K * 10000 = 0,68898 * 10000 = 6889,8 \text{ ppm}$$

Según la norma mexicana, los niveles ideales de fósforo y potasio presentes en el compost, deben ser mayores a 1000 ppm y 2500 ppm respectivamente. Como hemos podido apreciar en los cálculos realizados anteriormente, los niveles de fósforo y potasio en las tres pilas de compost superan ampliamente estas condiciones.

La cantidad de hierro encontrado en el producto final osciló entre 7398 a 4795 ppm. La pila B tiene el valor mayor con respecto a hierro. Con relación a cobre (Cu), el control obtiene el mayor valor encontrado (28 ppm), seguido de la pila B (24 ppm). El contenido de manganeso (Mn) en estas mezclas varió de 78 a 106 ppm y el de zinc (Zn) de 101 a 175 ppm. La mayor cantidad en ppm de manganeso (Mn) y zinc (Zn) fue encontrada en las pilas control y B (Tabla 27).

El Fe es constituyente de varias enzimas de óxido-reducción, entre las que se figuran las catalasas, peroxidasas deshidrogenadas. Participa en la síntesis de clorofila y de proteína; el Cu es esencial para el metabolismo de las plantas. Es parte integral de compuestos enzimáticos (Kass, 1996); el Mn es esencial para la fotosíntesis de proteína, en la síntesis de clorofila y en la formación y funcionamiento de cloroplastos; el Zn interviene en la formación de auxinas, síntesis de proteína, como agente catalítico en reacciones oxidantes, en el metabolismo de carbohidratos y fotosíntesis (García, 2001).

Como podemos apreciar en la tabla 27, el compost producido en las tres pilas (A, B y Control) presenta valores de concentración de metales pesados que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles según la normativa internacional USEPA (Estados Unidos, 1994).

El contenido de metales pesados es mayor en las heces en comparación con la orina. La causa principal de esto es que las heces consisten básicamente en materiales no metabolizados combinados con algunos materiales metabolizados. La proporción principal de micronutrientes y otros metales pesados pasa a través del intestino sin ser afectada (Fraústo da Silva y Williams, 1997). Aun así, las concentraciones de sustancias contaminantes en las heces son usualmente más bajas que en los fertilizantes químicos (por ejemplo, el cadmio) y en el estiércol de aves de corral (por ejemplo, el cromo y el plomo).

6.4.3. Análisis microbiológico final de la materia orgánica en las tres pilas de compostaje

Para los análisis de microorganismos patógenos, se preparó una muestra compleja con las muestras simples recolectadas de la pila de compostaje, se tomó 1,0 Kg de esta muestra compleja y se envió al Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso” – Universidad Nacional Agraria La Molina y el Laboratorio de Parasitología de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Los resultados de estos análisis se presentan en la Tabla N° 28.

Tabla 28: Análisis microbiológico final de agentes patógenos en muestras de compost final de las pilas de compostaje.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS FINALES												
Pilas	<u>Coliformes Totales</u> (NMP/g)		<u>Coliformes fecales</u> (NMP/g)		<u>Escherichia coli</u> (NMP/g)		Mohos y levaduras (UFC/g)	<u>Lactobacillus sp.</u> (UFC/g)		<u>Salmonella sp.</u> (25 g.)		Parásitos
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final		Inicio	Final	Inicio	Final	
A	36x10 ³	40	N.D.	40	6,67x10 ³	40	>18x10 ⁵	28x10 ³	<10	Presencia	Ausencia	No se observó
B	20,6x10 ³	20x10	N.D.	<3	11x10 ³	<3	>79x10 ⁴	27x10 ³	80x10 ²	Presencia	Ausencia	No se observó
C	90x10 ⁴	11x10 ²	N.D.	40	90x10 ⁴	40	>97x10 ⁴	N.D.	13x10 ²	Presencia	Ausencia	Se observó nemátodos

Fuente: Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso”. 2014. Según las especificaciones del Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso”, el valor <3 significa ausencia del parámetro en la muestra analizada.

El compostaje es un proceso microbiano constantemente cambiante producido por las actividades de una sucesión de varios grupos de microorganismos, cada uno de los cuales es apropiado para un medio y de duración relativamente limitado (Dalzell *et al*, 1991).

Los organismos patógenos causantes de enfermedades pueden pertenecer a cualquiera de los principales tipos de microorganismos, bacterias, actinomicetos, hongos y protozoos. La mayor parte de estos organismos patógenos prefieren temperaturas por debajo de los 42 °C centígrados ya que normalmente viven a la temperatura corporal del ser humano y animales o a temperatura ambiente de las plantas. La mayor parte de estos, morirán si se exponen durante un tiempo a condiciones más severas que las de su ambiente habitual (Dalzell *et al*, 1991).

En efecto, 99% de coliformes fecales (bacterias usuales en heces) morirán, aproximadamente en dos semanas, en el verano (época de calor) y en tres semanas durante el invierno (época de frío). Una temperatura cercana a los 60°C tendrá como consecuencia la muerte casi instantánea de todos los patógenos excretados con las heces. Una temperatura que se mantenga en un rango de 50-60°C, tendrá como consecuencia el no crecimiento de las bacterias y la muerte, en minutos (30 minutos o menos) de casi todos los patógenos. De todos los métodos existentes para eliminar patógenos el compostaje de alta temperatura es el mejor modo de destruir rápidamente la mayor parte de patógenos (Dalzell *et al*, 1991).

En cuanto a enumeración de coliformes el EPA 40 CFR 503 (1994), NTEA-006-SMA (2006) y NCh 2880 (2004) refieren valores menores a 1000 NMP/g para compost de clase A y de 2×10^6 NMP/g, en el caso de compost clase B, por lo tanto, como podemos observar en la tabla 28 las tres pilas A, B y C se encuentran dentro del rango de compost de clase A reportando valores muy por debajo de 1000 NMP/g. En el caso de la pila A, observamos del recuento de Lactobacillus que estos son menores a 10, esto podría deberse a que la pila tratamiento A aún presenta coliformes totales y fecales así como de *E.coli* presenta una caída de los lactobacillus porque estos no han encontrado el medio nutricional para poder colonizar de manera efectiva en este tratamiento. Como se sabe los diversos géneros que se encuentran en los EMc, específicamente las BAL no pueden sobrevivir óptimamente a altas temperaturas, lo que sucedió en esta pila es que por competencia nutricional y por acción de T° estos microorganismos no pudieron ejercer sus actividades metabólicas con normalidad.

En el caso de la pila B, observamos que hay ausencia de coliformes fecales y *E. coli* resultando valores menores a 3 que denotan ausencia de estos microorganismos, de igual manera observamos presencia de *Lactobacillus* en mayor proporción con respecto a las otras dos pilas afirmando que estas bacterias presentes en la solución de EMC para este tratamiento pudieron aprovechar adecuadamente los nutrientes necesarios para realizar sus actividades metabólicas y así degradar la materia orgánica presente en esta pila como las excretas y el aserrín básicamente. Dentro de los *Lactobacillus* el único género que puede sobrevivir hasta temperaturas mayores a 80 °C son *los Lactobacillus plantarum*, pudiendo afirmar que en esta pila este género fue el que más ha prevalecido a todo el proceso de compostaje.

En el caso de la pila control, es la que presenta mayor cantidad de coliformes totales en comparación con las otras dos pilas tratamiento, pero posee concentración de *Lactobacillus* en menor proporción con respecto a la pila B, esto podría deberse a la flora natural de estas bacterias que se encuentran en el aserrín y en los otros sustratos. Pero es necesario mencionar que la pila control por encontrarse con una relación C/N aun alta con respecto a las otras dos pilas y una temperatura más lejana a la ambiental aún se encuentra en proceso de degradación y en este lapso de tiempo puede que este grupo de *Lactobacillus* exprese una disminución en número.

Los hongos son muy importantes en la descomposición de la celulosa que es una de las partes más resistentes de la materia orgánica y que puede constituir hasta el 60 por ciento de la masa total del aserrín de la presente investigación. Dentro de las masas en compostaje se deben crear condiciones que favorezcan las actividades de estos hongos. La temperatura es un factor clave, dado que los hongos se morirán cuando ésta se eleve por encima de 55-60 °C y reinadirán desde las zonas más frías cuando las temperaturas bajen (Dalzell *et al*, 1991).

Es evidente también señalar que se encontraron poblaciones de macroorganismos que ayudan a la descomposición de los materiales orgánicos. Antes de ser víctimas de los microbios del suelo, los restos vegetales y animales son atacados, descompuestos y digeridos por animales más evolucionados y visibles a simple vista que pertenecen a los grupos de artrópodos (insectos, arañas, crustáceos y miriápodos) y al grupo de los anélidos, entre ellos los gusanos de tierra (Castillo *et al*, 2002).

Finalmente observamos ausencia de parásitos y salmonella en las tres pilas de compostaje, sólo en la pila C (pila control) se observó la presencia de larvas de nemátodo; esto nos ayuda a concluir también que las poblaciones con las que se trabajó se encuentran en buenas condiciones de salud. De la misma manera, se observó que las tres pilas presentan una disminución en cuanto a la presencia de los microorganismos patógenos desde el inicio hasta el final del proceso de compostaje, debiéndose principalmente al control de la temperatura, la cual estuvo entre 50 - 60 °C por 4 meses y a la acción de las bacteriocinas secretadas por los EMc.

La presente investigación demuestra que, mediante un enfoque de saneamiento ecológico, sistemas anaeróbicos, aeróbicos (compostaje) más el uso de EMc se puede tratar exitosamente residuos peligrosos como es el caso de las excretas humanas obteniendo un producto (compost) libre de este tipo de microorganismo dañinos para el ambiente y la salud de las personas. A diferencia de otros tratamientos de compostaje convencionales la presente investigación demuestra que los EMc son de suma importancia para el tratamiento de este tipo de residuos, de la misma forma que lo es el aserrín, el cual representa el soporte biológico para que estos microorganismos puedan desarrollarse y ejercer su función.

Básicamente, dentro del consorcio microbiano de los EMc se encuentran grupos de microorganismos con facultad propia de descomponer materiales con contenidos de celulosa y lignina (presentes en el aserrín) lo que ayuda a reducir los nutrientes para los microorganismos patógenos, los cuales disminuyen su viabilidad progresivamente no solo por la falta de nutrientes sino por los sistemas o cambios en las condiciones ambientales a los que se les sometió en la presente investigación, como es, los cambios de temperatura, humedad, pH, contenido de oxígeno, entre otros. Por lo tanto, no hay referencias que demuestren que mediante un sistema de compostaje tradicional puede eliminarse la carga patógena que contienen las excretas humanas, pero caso contrario sucede con otros residuos orgánicos (como es el estiércol de origen animal u otros residuos) los cuales se ha demostrado que es más factible su eliminación mediante procesos tradicionales de compostaje.

Finalmente, cabe resaltar aunque el control haya tenido disminución en la carga de patógenos al igual que las otras dos pilas, es preciso considerar, que con la adición del inoculo de EMc se obtiene ausencia total de estos microorganismos patógenos como sucede con la pila B y de igual forma las características de textura, olores, rapidez en la

degradación y demás características analizadas anteriormente demuestran que este consorcio de EMc mejora la calidad del producto (compost) y en menor tiempo que un tratamiento convencional.

6.4.4. Densidad aparente.

Tabla 29: Cálculo de la densidad aparente y volumen inicial y final para cada pila de compostaje.

ANILLO	Peso Anillo	Peso anillo + tela	Peso húmedo	Peso Seco 105°	Diámetro anillo II	Altura	Volumen Anillo II	Densidad Aparente
ANILLO 1 (A)	336,68	345,41	470	380	7.7	4	186,265	0,24802
ANILLO 2 (A)	346,91	353,83	462	390	7.7	4	186,265	0,21975
ANILLO 3 (A)	342,12	349,1	460	382	7.7	4	186,265	0,23935
ANILLO 4 (B)	338,43	345,09	460	380	7.7	4	186,265	0,23196
ANILLO 5 (B)	340,16	347,27	440	380	7.7	4	186,265	0,19456
ANILLO 6 (B)	335,32	342,52	458	378	7.7	4	186,265	0,2217
ANILLO 7 (C)	334,11	341,04	441	369	7.7	4	186,265	0,18654
ANILLO 8 (C)	342,36	349,38	453	380	7.7	4	186,265	0,20672
ANILLO 9 (C)	343,62	350,67	453	385	7.7	4	186,265	0,20283

Se observa en la tabla 30 los cálculos realizados para hallar la densidad de cada pila de compostaje trabajado, así como también el volumen inicial y final que se logró hallar teniendo como dato la densidad de cada pila y claramente se observa que hubo pérdida de volumen al paso del tiempo de degradación debido a la acción natural de descomposición de los residuos orgánicos por parte los microorganismos que integran el proceso.

La densidad aparente obtenida en cada una de las tres pilas de compost siguiendo la metodología de De Boodt fueron: Pila A= 0,24, Pila B= 0, 22 y Pila C= 0,20, esta densidad es debido a que los materiales utilizados (aserrín y las excretas humanas) poseen bajas densidades. Sin embargo, si atendemos a la definición de densidad aparente podemos inferir que el compost final va ocupar para poco peso mayor volumen, lo cual hace referencia a que posee buen porcentaje de porosidad (o espacio poroso total), que contribuiría a mejorar la estructura en suelos compactados por actividades agrícolas o de suelos muy arenosos.

En el caso del volumen se aprecia que la pila control presentó inicialmente mayor volumen seguido por la pila A y finalmente la pila B mientras que finalmente hubo mayor degradación en la pila B lo que deduce que la actividad degradativa se dio a mayor escala en está presentando también mejores características físicas, químicas y microbiológicas que las otras las cuales se mostraron anteriormente.

Los resultados obtenidos luego del proceso de compostaje (pila A: 0,24 g/cm³; pila B: 0,22 g/cm³ y pila C: 0,20 g/cm³), son muy similares a los obtenidos por Martínez et al., (2013), quienes utilizaron bagazo de maguey mezcalero para producir compost, reportaron valores de densidad aparente de 0,19 g/cm³, 0,26 g/cm³ y 0,30 g/cm³; Según Abad et al., (2000), aquellos materiales para ser utilizados como sustratos de cultivo, deben de tener valores menores a 0,4 g/cm³; para Ochoa Soto (2009), la densidad aparente de un compost de calidad, debe estar en el rango entre 0,4 g/cm³ – 0,7 g/cm³; Román et al., (2013) en su Manual de compostaje del agricultor, elaborado para la FAO, señalan que el rango ideal de la densidad aparente para un compost maduro se encuentra por debajo de 0,70 g/cm³.

Como se puede apreciar, entre los diferentes autores estudiados, el común denominador para el parámetro densidad aparente es que el rango ideal no debe exceder los 0,7 g/cm³; por lo cual se puede inferir que para sustratos orgánicos que vayan a ser utilizados como sustratos de cultivo o como estructuradores de suelo, la preferencia es que sean de una densidad aparente baja, por cuanto favorecería al incremento del espacio poroso total, dando lugar a que la capacidad de aireación y la capacidad de retención de humedad del suelos mejore, favoreciendo de esta manera el paso del aire y agua al interior del suelo, lo cual permitiría un mejor desarrollo de las plantas.

Por tanto, podemos afirmar que la densidad aparente obtenida como resultado del proceso de compostaje de la mezcla de aserrín con excretas y microorganismos benéficos, es buena y puede ser utilizado como un sustrato de cultivo o como estructurador del suelo.

6.5. PRUEBA DEL EFECTO DEL COMPOST EN SEMILLAS DE LECHUGA

Luego de la caracterización microbiológica y agronómica de las pilas de compost se procedió a realizar el ensayo del efecto del compost en semillas de lechuga, utilizando el “te de compost” (Scheverell, 2004; Angulo *et al.*, 2001) para ello se consideró usar una planta con las siguientes características:

- Cultivo sensible a la concentración de sales.

- Rápida germinación.

6.5.1. Determinación del Porcentaje de Germinación según diluciones del té de compost de las pilas evaluadas

En la figura 46 podemos observar el porcentaje de germinación de las semillas de lechuga en el día inicial y al cabo de cinco días que lo que duró el bioensayo.

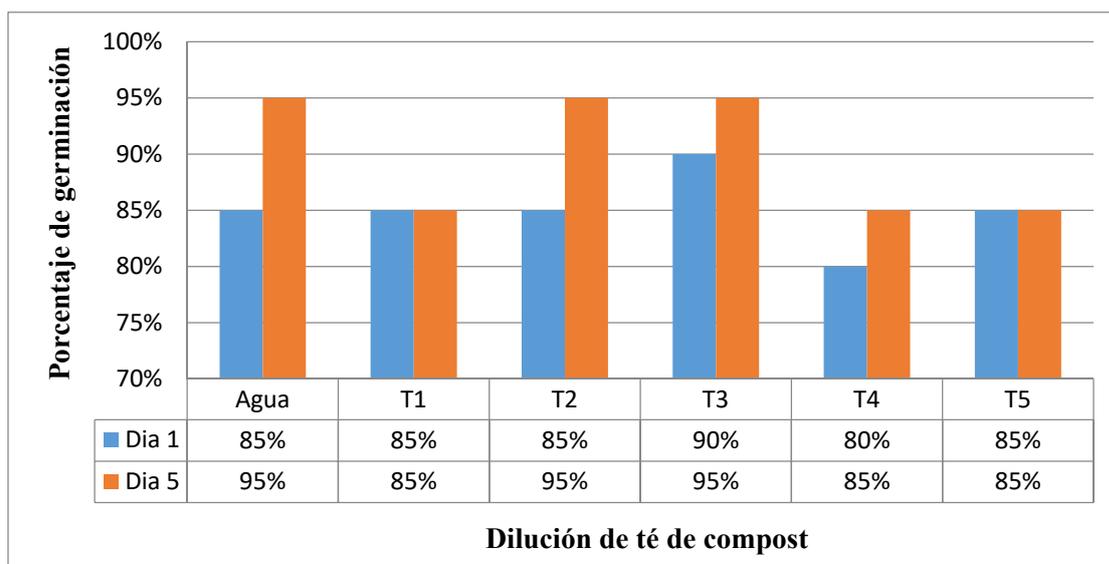


Figura 45: Porcentaje de germinación según dilución de té de compost.

Se observa que el agua y los tratamientos 1(té puro), 2 (1/5) y 3 (1/6,67), muestran un elevado porcentaje de germinación de 95 por ciento y los tratamientos 4 (1/10) y 5 (1/50) mostraron porcentajes de germinación de 85 por ciento, siendo estos valores considerados como muy buenos en cuanto al porcentaje de germinación.

6.5.2. Determinación del Índice de germinación (IG) en porcentaje de las diluciones y/o tratamientos realizados con el té de compost.

El índice de germinación (IG) permitió evaluar el grado de madurez requerido para los residuos orgánicos que se seleccionen como componente base en la elaboración de sustratos especializados de uso agrícola. Siguiendo la metodología de Varnero (2007), los resultados en cuanto al porcentaje de germinación relativo (PCR) en las diluciones o tratamientos 1, 2 y 3 obtuvieron valores altos de 100 por ciento, mientras que los tratamientos T4 y T5 obtuvieron un valor menor de 89,5 por ciento (Ver Tabla N° 31).

Varnero (2007), menciona que los valores de Porcentaje de Germinación Relativo (PGR), Crecimiento de Radícula Relativo (CRR) e Índice de Germinación (IG) deben encontrarse por encima de 80 por ciento para considerar que las sustancias empleadas no contienen elementos fitotóxicos, valores entre 80 y 50 por ciento indican una presencia moderada, mientras que valores por debajo de 50 por ciento revela una fuerte presencia de fitotoxinas.

Tabla 30: Determinación del Porcentaje de germinación relativa y del Índice de Germinación según las diluciones evaluadas.

Nº Semillas germinadas		PGR (%) (1)	Elongación de la radícula (mm)	CRR (2)	IG (%) (3)
Control	19		32,5		
T1	19	100	22,4	68,9	68,9
T2	19	100	30,0	92,3	92,3
T3	19	100	28,7	88,3	88,3
T4	17	89.5	26,5	81,5	73,0
T5	17	89.5	26,03	80,1	71,7

(1) Porcentaje de Germinación Relativo.

(2) Crecimiento de Radícula Relativo.

(3) Índice de Germinación.

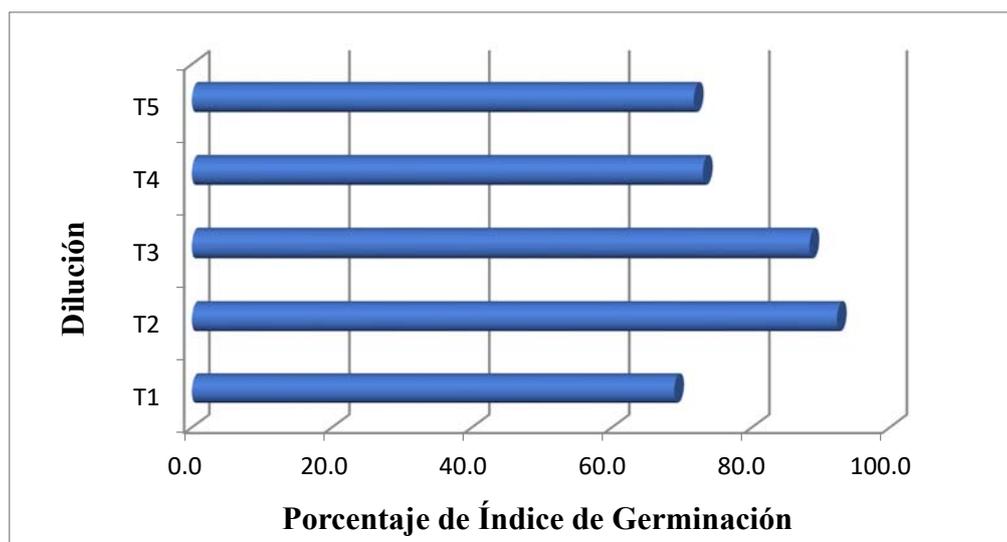


Figura 46: Índice de germinación según las diluciones y/o tratamientos del té de compost.

En la tabla 31 y en la figura 47, la dilución 1/5 o tratamiento 2 presentó un IG de 92,3 por ciento alcanzando el valor más alto de índice de germinación; luego tenemos a la dilución 1/6,67 con 88,3 por ciento, la dilución 1/10 con 73 por ciento, la dilución 1/50 con 71,7 por ciento y el té de compost puro con el menor valor de IG de 68,9 por ciento; por lo tanto, se puede deducir que a mayor cantidad de té de compost el índice de germinación es mayor debido a los nutrientes que se encuentran en esta solución de té que de alguna manera diluidos en agua efectúan un efecto positivo a las plantas.

Los compuestos presentes en el té de compost incluyen sustancias orgánicas que han sido producidas por los microorganismos durante el proceso de elaboración del té. Esto es por ejemplo, ácidos orgánicos, aminoácidos y azúcares, entre otros. Igualmente contiene elementos inorgánicos solubles como N, P, K, entre otros, que contribuyen a la nutrición de los microorganismos y de las plantas una vez sea aplicado en un sistema agrícola.

Así mismo, contiene una alta concentración y variedad de microorganismos benéficos del grupo de las bacterias, hongos y nematodos que en los sistemas agrícolas, contribuyen a prevenir enfermedades, aumentar la disponibilidad de elementos nutricionales y estimular el crecimiento vegetal.

Mientras la cantidad total de nutrientes excretados con las heces es menor que con la orina, la concentración de nutrientes, y especialmente P y K es más alta en las heces y, al ser usada como fertilizante, la materia fecal puede incrementar significativamente la producción de las plantas. El P es particularmente valioso para la planta en su desarrollo inicial e importante para un buen desarrollo de las raíces. A más de proveer macro y micronutrientes, las heces contienen materia orgánica, que aumenta la capacidad de retención del agua y la capacidad de amortiguamiento del suelo, sirve como alimento para los microorganismos y es importante para mejorar la estructura del suelo (Schönning y Stenström, 2004).

El efecto fertilizante de las heces varía mucho más que el efecto de la orina. Esto se da principalmente por que la cantidad de N que se encuentra en forma mineral en las heces varía considerablemente según la estrategia de tratamiento aplicada, como se mencionó anteriormente.

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable radícula nos indica que entre los tratamientos existe diferencia significativa arrojando valores de $p=0.004$ (Anexo 8 y 9), es

decir que la variable radícula tiene comportamientos diferentes para las diluciones. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue de 4,65 por ciento. Este mismo valor de CV (8,81 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de radícula puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable hipocótilo nos indica que entre los tratamientos existe diferencia significativa arrojando valores de $p=0.001$ (Anexo 8 y 9), es decir que la variable hipocótilo tiene comportamientos diferentes para las diluciones. El coeficiente de variación (cv) obtenido fue de 7,74 por ciento. Este mismo valor de CV (7,74 por ciento) nos confirma que la investigación, en este caso el proceso de monitoreo de radícula puede ser considerado válido y los datos obtenidos en campo pueden considerarse confiables por encontrarse el valor de CV por debajo del 30 por ciento.

ESQUEMA FOTOGRÁFICO DEL ENSAYO DE ÍNDICE DE GERMINACIÓN

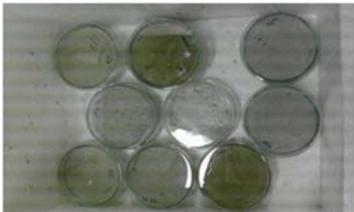
 <p>Figura 47. Organización de materiales.</p>	 <p>Figura 48. Preparación de las diluciones.</p>	 <p>Figura 49. Diluciones preparadas.</p>
 <p>Figura 50. Semillas en placas con la respectiva dilución.</p>	 <p>Figura 51. Placas en caja para germinación.</p>	



Figura 52. Semillas germinadas.



Figura 53. Medición de la radícula e hipocotilo.



Figura 54. Longitud hipocotilo.



Figura 55. Semillas germinadas en agua.



Figura 56. Semilla germinada en dilución 1:5.



Figura 57. Semilla germinada en dilución 1:6,67.



Figura 58. Semilla germinada en dilución 1:10.



Figura 59. Semilla germinada en dilución 1:50.



Figura 60. Semilla Germinada en Te de Compost Puro.

VII. CONCLUSIONES

1. Los microorganismos eficientes presentan gran capacidad de viabilidad en la materia orgánica y permitieron acelerar el proceso natural de descomposición de los residuos orgánicos provenientes de sanitarios ecológicos para generar un producto final que fue el compost con una muy baja inversión económica me permitió obtener los resultados deseados.
2. Los microorganismos eficientes inoculados al aserrín en dos concentraciones (20 y 30 por ciento) lograron tener viabilidad a este sustrato durante quince días de evaluación mostrando resultados de (20 por ciento= 55×10^3 y 30 por ciento= 15×10^3) representados por el recuento de Lactobacillus, y que en valores exponenciales se evidencia una perdida poblacional microbiana de inicio a final de $23,45 \times 10^5$ y $68,85 \times 10^5$ para el tratamiento de 20 y 30 por ciento respectivamente.
3. Dentro de los parámetros físicos químicos evaluados del aserrín más los EMc se observó un descenso en los valores durante los quince días evaluados mostrando diferencia significativa solo en pH y C.E. mientras que para el porcentaje de humedad, porcentaje de acidez y temperatura no se evidencia diferencia significativa en las dos concentraciones.
4. En la etapa de pre tratamiento anaeróbico se observó un descenso poblacional positivo de los microorganismos patógenos en las muestras evaluadas durante 20 días evaluados; así como también; los parámetros físico químicos (pH, C.E., porcentaje de humedad, porcentaje de acidez y temperatura) presentaron diferencias significativas entre ellos.
5. Durante el proceso de compostaje, el pH en las tres pilas evaluadas (A= 5,53, B=6,1 y Control= 6,4) se encuentra dentro de los valores aceptados por el autor (5,5 – 8,5) para una adecuada descomposición de materia orgánica por parte de los microorganismos. De la misma manera, el porcentaje de humedad en las tres pilas se encuentra dentro del rango adecuado de 40 a 60 por ciento de humedad.

6. Las relaciones de C/N reportados en las pilas (A= 21,5; B=19,25 y Control= 26,54) se encuentran dentro de los valores óptimos señalados por las normas de calidad para el compost.
7. La variación temporal de la temperatura durante todo el proceso de compostaje ha demostrado que en todas las pilas evaluadas se ha logrado alcanzar la fase termogénica (> 50 °C). Todo sistema de compostaje debe de alcanzar temperaturas entre 50° y 70° C, lo que garantiza la eliminación de agentes patógenos y la desinfección natural de los materiales utilizados (estiércoles).
8. El porcentaje de materia orgánica en las pilas (A=80,33; B=76,57 y Control= 80,57) superan el 20 por ciento lo que los hace adecuados en términos de este parámetro. En cuanto a los valores de P y K superan 1000 y 2500 ppm respectivamente señalados como valores adecuados para el proceso.
9. Como podemos apreciar, el compost producido en las tres pilas (A, B y Control) presenta valores de concentración de metales pesados que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles según la normativa internacional USEPA (Estados Unidos, 1994).
10. Los resultados de los análisis microbiológicos reporta que la pila B presenta ausencia de Coliformes fecales, *E.coli.*, Salmonella y Parásitos y mayor concentración de *Lactobacillus sp* que la diferencia positivamente de las otras pilas evaluadas, no descartando que estas también presentan valores adecuados. Esto nos permite concluir que el control efectuado en las pilas de compostaje durante todo el proceso ha sido correcto logrando obtener un producto final que cumple con todos los lineamientos establecidos por las normas internacionales.
11. Los bioensayos de calidad agronómica, demostró un porcentaje de germinación de 95 por ciento para los tratamiento 2 y 3, de la misma manera un índice de germinación de 92.3 por ciento para el tratamiento 2, valor que se encuentra por encima al 80 por ciento y puede concluirse como una sustancia libre de elementos fitotóxicos en las semillas de *Lactuca Sativa* variedad Duett.

VIII. RECOMENDACIONES

- Ampliar la investigación del proceso de compostaje de excretas humanas, utilizando otros tipos de sustratos orgánicos que mejoren el proceso de degradación de materia orgánica.
- Realizar investigaciones de campo sobre los efectos del compost producido a base de excretas humanas en la producción agrícola; para su posible utilización en la agricultura.
- Se recomienda el uso de este tipo de compost, en reforestación, en la recuperación de áreas verdes municipales y para la revegetación de zonas afectadas por la minería (pasivos mineros).
- Realizar un estudio del mercado y la demanda potencial del compost hecho con excretas humanas, a nivel local, regional y nacional; para elaborar el diseño de una planta de producción de compost utilizando estas excretas humanas, que satisfaga esta demanda potencial.
- Se recomienda por la cantidad de sales que presentan las excretas humanas que el uso de este tipo de compost debe ser utilizada en la agricultura mediante un proceso de lavado o diluyendo el compost para no dañar a las plantas.
- Realizar más investigaciones sobre el potencial microbiano de los EMC para reducir otras especies de patógenos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, B. M., NOGUERA P. y BURÉS S. 2000. Inventario de sustratos y materiales para ser utilizados como sustratos o componentes de sustratos en España. *Acta Hort.* 32, 361 – 377

ABAD, B. M., NOGUERA P., CARRIÓN B. C. 2004. Los Sustratos en los cultivos sin suelo. En: M. G. URRESTARAZU (Ed). *Tratado de cultivo sin suelo*. 2nd ed. Mundi-Prensa. Almería, España. pp. 113-158

AKERHJELM, H. Y RICHERT STINTZING, A. 2002. In press. Anaerobically digested source separated food waste as a fertilizer in cereal production. Submitted to RAMIRAN, *FAO International Conference Proceedings*.

ÁLVAREZ, E. 1999. *Perspectivas de aprovechamiento del aserrín mediante su transformación hidrolítica y como fuente de biomasa para diversos fines*. Tesis de Doctorado en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río. Facultad de Agronomía y Forestal. Cuba.

ALARCÓN, F. 2004. *Evaluación del uso de diferentes técnicas biotecnológicas para la producción de compost*. Tesis. UNALM. Lima – Perú. 66 pp.

ÁLVAREZ, J. M. 2008. *Manual de Compostaje para la Agricultura Ecológica*. Consejería de Agricultura y pesca. Junta de Andalucía. España. Folleto, 48 pp.

AMIGOS DE LA TIERRA. 2009. *Manual de Compostaje. Experiencias realizadas años 2004 – 2008*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid – España. V.A. Impresiones, S.A. 121 pp.

ANGULO, R.J., SOUZA, M.C., REIMER, P., SASAOKA, S.K., 2005. Reservoir effect of the southern and southeastern Brazilian coast. *Radiocarbon* 47, 67–73.

ARBAIZA, C, HURTADO, A, CAVARO, M. 1999. *Los retos de la industria de la madera en el Perú: Innovando para competir*. MITINCI.

ARROYO, G. D., FRANCISCO, J. y BULNES, M. 2005. Lo que sabemos de orina humana como fertilizante. Proyecto de Saneamiento Ecológico, Área de Agricultura Urbana. Tepoztlán, México. Febrero del 2005.

AVILÉS, E., NÚÑEZ, P., PÉREZ, A., ALMONTE, I., LÓPEZ, G. y MARTÍNEZ, C. 2010. Caracterización física y biológica de materiales alternativos para la elaboración de sustratos. Sistema de producción en agricultura protegida. Proyecto SEESCYT-IDIAF. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. República Dominicana.

AVENDAÑO ROJAS, D. 2003. El Proceso de Compostaje. Tesis para optar el Grado de Ingeniero Agrónomo. Santiago-Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 38 pp.

BELLIDO, M., EGOAVIL-CUEVA, G., GONZALES, E. 2003. Tableros de fibra de la madera tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke). En: Bosque (Valdivia), dic 2003, vol. 24, p 39 – 44. ISSN 0717 – 9200.

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO – CONVENIO FONDO ESPECIAL DE JAPÓN/ BID ATN/JO – 10792 UR. 2009. Proyecto de reducción de pobreza y mejora de las condiciones higiénicas de los hogares de la población rural de menores recursos. Uruguay.

BINNER, E. 2002. Separatas del Curso Tratamiento Biológico de los Residuos en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Agraria de Viena. Austria.

BLOK, C., DE KREIJ C., BAAS, R., WEVER, G. 2008. Chapter 7. Analytical Methods Used in Soilless Cultivation. In *Soilless Culture: Theory and Practice*. RAVIV, M.; LIETH J. H. (Eds.). Editorial Elsevier. United States of America. Pp. 245-290

BOE-A-2005-12378. 2005. Real Decreto 824/2005, de 8 julio, sobre productos fertilizantes. Ministerio de la Presidencia. España. Páginas 25592 a 25669.

BOSCH, A y PINTÓ, R. 2010. Virus entéricos, UB. Dpto. Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.

BOURCOURT R, CARRASCO E, LÓPEZ A, RODRIGUEZ Z y GUITIERREZ O. 2006. Microbiota aerobia en caña fermentada con excreta vacuna como alternativa alimentaria. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 40, N° 3 pp. 279 - 281. Cuba.

BRAKE, JD. 1992. Evaluation of the Chemical and Physical Properties of Hardwood used as a Broiler Litter material. *Poultry Science* 71:467 - 472

BROOKS G, BUTEL J, MORSE S. 1999. Microbiología médica de Jawetz, Melnick y Adelberg. 16ed. México: El Manual Moderno.

CALIZAYA J., GARCÍA S., MIGLIO R., VARGAS C., INGA D. 2009. El ECODESS: Una guía para un sistema integral de saneamiento ecológico en áreas periurbanas y rurales. CENCA/AGUAECOSANPERU. Lima. Perú.

CARRASCO, LUNA. 2009. Evaluación de tres diferentes tipos de sustrato (Bagacillo, Aserrín e Ichu picado) en la producción de EM Compost. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Lima – Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina, 71 pp.

CASTILLO, A; ERESUE, M; RODRÍGUEZ, L; RUGAMA, J, A. 2002. Manejo integrado de la fertilidad de los suelos en Nicaragua. Managua, Nicaragua. 130 pp.

CASTRO A., C. HENRIQUEZ y F. BERTSCH. 2006. Capacidad de suministro de NPK de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*. 33 (1): 31 – 43.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL – CDC. 1992. Famine-affected, refugee and displaced populations: recommendations for public health issues. *MMWR* 1992; 41 (N° RR-13): 1-74.

CORPOICA INCODER. 2005. Caracterización, zonificación y evaluación económica de los sistemas productivos en el área de desarrollo rural de la Altillanura. Primera aproximación. CIAT. 2004. Plan de desarrollo municipal Con nuestra gente gobernamos. 2004 – 2007. C.D. CIAT ADR. Colombia.

CÓRDOVA, E. 2007. Evaluación de parámetros físicos y biológicos para el compostaje de los lodos residuales de la industria del papel. Tesis para Optar el Título de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ciencias. Departamento de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología. Universidad Nacional Agraria La Molina. 256 pp.

DALZELL, H., A. BIDDLESTONE, K. GRAY Y T. THURAIRAJAN, 1991. Manejo del suelo: Producción y uso del Composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín de suelos* FAO (56), Roma. Italia. 177 pp.

DEMERS, P. y TESCHKE, K. 2000. Capítulo 71. Industria de la Madera. Sectores basados en Recursos Biológicos. En: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, p 71.1 – 71.14

DÍAZ, F. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, México.

DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS N° L 182 de 16/07/1999 p. 0001 – 0019. Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. Artículo 2º, inciso e.

DRÁPELA, V., PAZ, J. y MELO, R. 1992. Aptitud pulpable del aserrín. Trabajo Técnico. Celulosa y papel 8 (2):14-20.

EM RESEARCH ORGANIZATION INC. 2011. Guía de la Tecnología de EM. Publicado por EM Producción y Tecnología S.A. (EMPROTEC), San Juan de Tibás. Costa Rica. 36 pp.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 1994. Composting yard trimmings and municipal solid waste. EPA 530-R-94-003, May 1994. Office of Solid Waste and Emergency Response.

ESREY, S. 1999. Saneamiento ecológico. Fundación Friedrich Ebert. Mexico. 101 pp

EUROPEAN COMMISSION (EC). 2001. Biological Treatment of Biowaste. 2nd Draft Working Document. DG ENV. A.2/LM/biowaste/2nd draft. Brussels, 12/02/2001. Directorate-General Environment.

FRAUSTO DA SILVA, J.J.R. y WILLIAMS, R.J.P. 1997. The Biological Chemistry of the Elements – The Inorganic chemistry of Life. Oxford, UK.

GÁRATE, T. y FUENTES, I. 2012. Indicaciones del estudio parasitológico en heces. Posibles estrategias de actuación. Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica. XVI Congreso Instituto de Salud Carlos III, Madrid-España.

GARCÍA, C, L. 2001. Fertilización de suelos y fertilización de cultivos. Texto básico. Managua, Nicaragua. Pp 104.

GARCÍA, E. 2014. Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de Briquetas de Aserrín. Tesis de pregrado en Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.

GARCÍA TORRES L. 2008. Uso de bacterias pro bióticas en el ensilado de residuos de pescado. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.

GOLUEKE, A. 1977. Técnicas Modernas en Agricultura. Litte Ediciones. Buenos Aires. 65 pp.

GONZALES, P. 2006. Disponibilidad de residuos madereros provenientes de la industria primaria de la madera para uso energético. Seminario. Instituto Forestal, Sede Metropolitana, XI Región Aysén. Chile.

GOTAAS H., 1956. Composting. Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes. World Health Organization. Geneva 1956. Printed in Switzerland. 205 pp.

GUERRERO, J. 1993. Manual de Abonos Orgánicos. Tecnologías para el Manejo Ecológico de Suelos. RAAA. Lima, PE.90 pp.

GUEVARA, L., REYES, P. y BOCANEGRA, L. 1993. Evaluación de residuos de Aserrío. En: Folia Amazónica VOL. 5 (1-2)-1993. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA (IIAP). Perú

GUIA DE LA TECNOLOGIA DEL EM. 2002. Publicado por EM Producción y Tecnología S,A(EMPROTEC) APDO POSTAL 642-1100,San Juan de Tibás,Costa Rica,C.A.

GULYAS H. 2007. Greywater reuse: concepts, benefits, risk and treatment technologies. En Conferencia Internacional en saneamiento sustentable. Fortaleza. Brasil.

HAUG, Roger Tim. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. CRC Press Inc; 2 Sub edition (23 Jul 1993). Lewis Publishers. Printed in The United Status of America. 752 pp.

HAREWOOD, CH. 1989. Proceso tecnológico para la producción de compost como abono orgánico a partir de residuos boscosos. Resúmenes. Primer Congreso Forestal de Cuba. La Habana. 130 pp.

HARTMANN, H., KESTER, D. and DAVIES, F. 1990. Plant propagation, principles and practices. New Jersey, Prentice Hall. 647 pp.

ICMSF. 2000. Microorganismos de los alimentos 2. Métodos de muestreo para análisis microbiológicos: Principios y aplicaciones específicas. University of Toronto Press.

INGALINELLA, ANA. 1999. Apuntes de cátedra de “Ingeniería Sanitaria”. Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMATICA (INEI). 2011. Censo poblacional por distritos. Lima – Perú.

JERCIC, M. y OYARCE, A. 2013. Recomendaciones para la realización del examen parasitológico seriado de deposiciones. Documentos técnicos para el laboratorio clínico. Departamento Laboratorio Biomédico Nacional y de Referencia. Instituto de salud Pública de Chile.

JÖNSSON H., RICHERT A., VINNERAS B., SALOMON E. 2004. Lineamientos para el Uso de la Orina y Heces en la Producción de Cultivos. Serie de Publicaciones ECOSANRES, Estocolmo, Suecia. Reporte 2004-2. 46 pp.

JUAREZ-RAMIREZ, C., RUIZ-ORDAZ, N., CRISTIANI- URBINA, E. Y GAL´INDEZ-MAYER, J. (2001). Degradation kinetics of phenol by immobilized cells of *Candida tropicalis* in a fluidized bed bioreactor. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 17,697-705.

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES (LASPAF). 2009. Métodos y Normas de ensayo de laboratorio. Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria – La Molina. Lima, Perú.

LABRADOR, J., 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio Agricultura y Pesca, ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. Pp 115-129.

LANDMAN, C. 2005. Manual de técnicas de toma de muestras para exámenes de laboratorio. Universidad de Valparaíso, Chile.

LA ROSA, D. 2000. Evaluación de 4 abonos orgánicos en el rendimiento de los cultivos de col y coliflor en la Molina. Tesis UNALM. Lima, PE.

M. DA COSTA y SILVA. 2003. Caracterización microbiológica de residuos sólidos domiciliarios de barrios y comunidades pobres de la ciudad de Rio de Janeiro 23. Congreso Brasileiro de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

MAHER, M., PRASAD, M., RAVIV, M. 2008. Organic Soilless Media Components. In Soilless Culture: Theory and Practice. RAVIV, M.; LIETH J. H. (Eds.). Editorial Elsevier. United States of America 459-504 pp.

MALDONADO, R. 2003. Establecimiento de una composta comunitaria en San Andrés Cholula y determinación del efecto de sus lixiviados en un cultivo de girasol (*Helianthus annuus*). Tesis Licenciatura. Biología con área en Ecología. Departamento de Química y Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. Junio, 2003

MARTÍNEZ GUTIÉRREZ, G, ÍÑIGUEZ COVARRUBIAS, G, ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y, LÓPEZ-CRUZ, J, & BAUTISTA CRUZ, M. 2013. Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. Revista internacional de contaminación ambiental [On line], vol.29, n.3, pp. 209-216.

MEZA, V. 2014. Análisis del proceso de compostaje, determinación de microorganismos y viabilidad de comercialización del producto final (compost) y medidas de seguridad y salubridad para la empresa X- RUNNER. Lima-Perú.2014

MINAG-DGFFS. 2013. Perú Forestal en números año 2012. Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre-DICFFS. Ministerio de Agricultura. Perú. 220pp

MINSA. 2003. Manual de procedimientos de laboratorio para el diagnóstico de los parásitos intestinales del hombre. Serie de Normas Técnicas N° 37. Instituto Nacional de Salud. Lima 2003. 101 páginas.

MISHRA, S., JYOT, J., KUHAD, R. Y LAL, B. (2001). Evaluation of inoculum addition to stimulate it in situ bioremediation of oily-sludge-contaminated soil. Applied and Environmental Microbiology 67, 1675-1681.

MOSCOSO, J. 2011. Estudio de opciones de tratamiento y reuso de aguas residuales en Lima Metropolitana. Lima, Perú.

MURRAY, R.W., MILLER, D.J., KRYC, K.A., 2000. Analysis of Major and Trace Elements in rocks, sediments, and interstitial waters by Inductively Coupled Plasma–Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). ODP Technical Note 29. Ocean Drilling Program (ODP). Texas A&M University, College of Geosciences (TAMU). 27p.

NORMA OFICIAL CHILENA. 2004. (NCh 2880.Of.2004). Compost – Clasificación y Requisitos. Gobierno de Chile. 27p.

NORMA MEXICANA. NMX-F-436-SCFI-2011. Industria azucarera y alcoholera - Determinación de grados Brix en jugos de especies vegetales productoras de azúcar y materiales azucarados - método del refractómetro.

OCHOA SOTO, I. 2009. Curso de compostaje en la UAM: Tipos de Compost. Asociación Ferrer i Guàrdia, Universidad Autónoma de Madrid. España.

CONNELL, J., MEANEY, W. 1997. Comparison of shredded newspaper and sawdust as bedding for dairy cows: Behavioural, clinical and economic parameters. Irish Veterinary Journal 50 (3):167 - 170.

OLIVARES, L. 2011. Proyecto: «Recuperación de la poda de las parras para compostaje y briquetas para hornos». XIV Concurso del Fondo de Protección Ambiental 2011. Villaseca, Chile

OROZCO, C. et al. 2006. Contaminación Ambiental: Una Visión desde la Química. Editorial Thompson Paraninfo. Primera edición. ISBN: 978-848-73217-8-5.

ORTÍZ, F. 2010. Manual de elaboración de composta. Bases para la elaboración de un plan de trabajo en un huerto orgánico. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas/ METROCERT. México.

PASACHE, M., SÁNCHEZ, E. 2013. Análisis de caso de estudio del uso de briquetas de aserrín en familias que usan leña y carbón en la zona de Piura y Sullana-Perú.

PATRÓN, J. y PINEDA, J. 2010. Sustratos Orgánicos: Elaboración, manejo y principales usos. Primer Curso Nacional de Sustratos. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México, 28-30 de julio, 2010.

PERALTA, L. 2010. Determinación de parámetros óptimos en la producción de Fast biol usando las excretas del ganado lechero del establo de la UNALM. Trabajo de Investigación Biólogo. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.

RAMÍREZ, M. 2006. Tecnología de Microorganismos efectivos (EM) aplicada a la agricultura y medio ambiente sostenible. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Especialización Ingeniería Ambiental. Tesis. Bucaramanga. Colombia.

RIVERO, B. J. 1999. Los fullerenos y derivados en el ámbito de la especiación medioambiental. Tesis Doctoral. 266 pp. Universidad de Córdoba.

ROMAN SOTO C. 2011. Tratamiento biológico de cuyinasa de la granja de cuyes de Cieneguilla de la UNALM a través de un proceso de fermentación homoláctica. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.

SÁNCHEZ-CÓRDOVA, T., ALDRETE, A., CETINA-ALCALÁ, V.M. y LÓPEZ-UPTÓN, J. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. En: Madera y Bosques 14(2), 2008; p 41 – 49. México.

SANTIAGO, P., GUEVARA, L., ESPINOZA, M. 2012. Diagnóstico de la industria de primera y segunda transformación y de la cadena productiva en Pucallpa. INFORME TÉCNICO. En: Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. N° de Serie: PD 512/08 Rev. 2 (I). Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral (AIDER). Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre. Ministerio de Agricultura. Perú.

SCHEUERELL S. and W. MAHAFFEE. 2004. Compost tea: principles and prospect for plant disease control. Compost science and utilization 10 (4): 313 – 338.

Secretaría de Salud. NOM-110-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico. Norma Oficial Mexicana. México

SEPÚLVEDA, L. y ALVARADO, J. 2013. Manual de compostaje. Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Colombia. Primera edición. Registro ISBN: 978-958-8513-69-0.

SHERMAN, A., COLWELL, R. 2000. Actinobacter lipases: molecular biology biochemical properties and biotechnological polenta. J and Microbio Biotechnol 31: 391-400

SOLANS. 2007. Exposición laboral a hongos y bacterias ambientales. Reunión Iberoamericana Micológica. 24: 131 – 135. Barcelona – España.

SOLIVA, M. y LÓPEZ, M. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escola Superior d' Agricultura de Barcelona. UPC. 20 pp.

SOTO, M. G. 2003. Abonos orgánicos: El proceso de compostaje. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 27 pp.

STOFFELL, P.J. Y KAHN, B.A. 2005. Utilización del compost en los sistemas de cultivo hortícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona. 26 pp.

SZARKA, N. y LLANOS, C. 2009. Madera nativa como fuente de energía. En: Revista: Celulosa y papel. Octubre 2009. Páginas: 2-35. Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT), Universidad de Concepción. Chile.

SZTERN, D. y PRAVIA, M. A. 1999. Manual para la elaboración de Compost. Bases Conceptuales y Procedimientos. OPS/HEP/HES/URU/02.99. 69p.

TABORA, P. 2002. Guía práctica para el uso de E.M. en la producción animal sostenible. COSTA RICA. GUÁCIMO. 89P.

TANCREDI, N., AMAYA, N., MEDERO, N. 2007. Residuos de madera de bosque tropical: Obtención de carbón activado y determinación del poder calorífico. Cátedra de fisicoquímica y laboratorio de fisicoquímica de superficies, Facultad de Química, Universidad de la República Oriental del Uruguay.

TRIVIERGE.C & SEITO. M. 2005. Nuevas Tecnologías de vivero en Nicaragua, bandejas y sustratos mejorados-compost. Primera edición. Managua, Nicaragua. Pp 23-43.

UNITED NATIONS CHILDRENS FOUNDATION (UNICEF). 1992. Assisting in emergencies: a resource handbook for UNICEF field staff. New York: UNICEF; 1992.P. 34 – 365.

VAN VEEN J.D, VAN OVERBEEK L.S. Y VAN ELSAS J.D. (1997). Fate and activity of microorganisms introduced into soil. Microbiology end Molecular Biology Reviews 61, 121-135.

VARNERO M, ROJAS C, ORELLANA R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. Revista de Ciencia de Suelo y Nutrición vegetal. 7 (1) (28 – 37).

WRAP. 2002. Review of compost standards in the UK. The Waste and Resources Action Programme (WRAP). June 2002. Oxon United Kingdom. ISBN: 1-84405-020-3.

WINBLAD, U., ESREY, S., GOUGH, J., RAPAPORT, D., SAWYER, R., SIMPSON-HEBERT, M., VARGAS, J. 1999. Saneamiento Ecológico. Fundación Friedrich Ebert. SIDA

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA.

ALVARADO, P. 2004. Producción de Compostaje (En línea). Facultad de Agronomía. Universidad de Chile. Consultado el 3 de agosto del 2014. Disponible en:

<http://agronomia.uchile.cl/temporalscroll/2004/palvarado>

EARTH Green Colombia. 2014. Principios básicos del Compostaje. (En línea). Colombia. Consultado el 16 de agosto del 2014. Disponible en:

<http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/74-principios-basicos-del-compostaje>

EM REASEARCH ORGANIZATION. 2007. Consultado el 12 de febrero 2014. Disponible en: <http://emro.co.jp/English/>

FLORIDA'S ON-LINE COMPOSTING CENTER. 2002. Compost Maturity Test. Institute of Food and Agricultural Sciences. (On line) University of Florida. USA. Consultado el 15 de marzo del 2014. Disponible en:

<http://www.compostinfo.com/tutorial/MaturityTests.htm>

FUNDACIÓN PIEDRABUENA. 2003. Uso del EM en la producción avícola (En línea). Consultado el 12 de febrero del 2014. Disponible en:

<http://em.iespana.es/manuales/manuales.html>

IMCL (Intendencia Municipal de Cerro Largo). 2004. Producción de Compostaje. (En línea). Uruguay. Consultado el 16 de febrero del 2014. Disponible en: <http://www.cerrolargo.gub.uy/compost.htm>

INDACOCHEA, A. 2005. Cajamarca competitiva. Capitulo IX. Forestación. (En línea). Consultado el 17 de marzo del 2014. Disponible en:

http://centrum.pucp.edu.pe/docentes/AIndacochea_Libros/cajamarca_competitiva/Cap9.pdf

MERCK SHARP & DOHME. 2013. Infecciones por parásitos. Manual Merck para el Hogar (En línea). Consultado el 21 de setiembre del 2014. Disponible en:

<http://www.msdsalud.es/manual-merck-hogar/seccion-1/infecciones-parasitos.html>

MIGLIO, R y SPITTLER, H. 2010. Saneamiento Ecológico (ECOSAN) como instrumento para ahorrar agua en el transporte de excretas (En Línea). Consultado el 27 de enero de 2016. Disponible en:

[http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/ponencias/SANEAMIENTO%20ECOL%C3%93GICO%20\(ECOSAN\)%20COMO%20INSTRUMENTO%20PARA%20AHORRAR%20AGUA.pdf](http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/ponencias/SANEAMIENTO%20ECOL%C3%93GICO%20(ECOSAN)%20COMO%20INSTRUMENTO%20PARA%20AHORRAR%20AGUA.pdf)

OKUMOTO, 2005. Costa Rica. (En línea). Consultado el 12 de febrero del 2014.
Disponible en: <http://netobjects.com>

SOBRERO, M. y RONCO, A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga.
Consultado 3 abril de 2012. Disponible en:
<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/573/cap4.pdf>.

X. ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 31: Características físico químicas del aserrín más EM_C durante quince días.

Días	Concentración: 20 por ciento					Concentración: 30 por ciento				
	T°	pH	C.E	Acidez (%)	Humedad (%)	T°	pH	C.E	Acidez (%)	Humedad (%)
0	27,17	6,53	0,93	0,43	30,83	26,43	6,14	2,80	0,49	31,33
3	26,6	5,72	0,60	0,49	29,17	25,20	4,85	2,87	0,36	30
6	26,1	6,01	0,57	0,35	26	25,37	5,02	1,87	0,34	26,87
9	23,57	5,59	0,70	0,36	25,97	23,33	5,08	2,37	0,23	24,17
12	24,57	5,98	0,67	0,28	22,50	23,23	5,07	2,90	0,21	20,67
15	24,33	5,88	0,63	0,30	20,13	23,80	5,06	2,97	0,28	22,03

ANEXO 2

Tabla 32: Análisis de varianza al día quince de los parámetros evaluados en el proceso de viabilidad.

Variable: Temperatura						
Tratamiento de EM _C	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Valor T	Valor p
20 por ciento	3	24,333	0,252	1,036	2,530	0,085
30 por ciento	3	23,800	0,265	1,113		
Variable: pH						
Tratamiento de EM _C	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Valor T	Valor p
20 por ciento	3	5,880	0,020	0,340	44,000	0,000
30 por ciento	3	5,063	0,025	0,498		
Variable: Conductividad Eléctrica (C.E.)						
Tratamiento de EM _C	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Valor T	Valor p
20 por ciento	3	0,633	0,153	24,171	-9,900	0,010
30 por ciento	3	2,967	0,379	12,774		
Variable: Porcentaje de acidez						
Tratamiento de EM _C	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Valor T	Valor p
20 por ciento	3	0,297	0,021	7,010	0,570	0,624
30 por ciento	3	0,280	0,046	16,357		
Variable: Porcentaje de Humedad						
Tratamiento de EM _C	N	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Valor T	Valor p
20 por ciento	3	20,133	0,961	4,773	-2,260	0,109
30 por ciento	3	22,030	1,100	4,993		

ANEXO 3

Tabla 33: Análisis físico químico de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín + EM + excretas humanas, durante 20 días.

PRIMERA DESCARGA: ASERRÍN + EM _C + EXCRETAS										
Fecha	14/03/2014									
Peso (kg)	272					252				
Tratamiento	20 por ciento o A					30 por ciento o B				
Días	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)
0	31,50	8,25	1,3	0,13	53,50	36,6	8,45	2,97	0,17	55,3
10	30,63	8,50	1,4	0,21	57,30	32,7	8,37	3,13	0,34	65,2
20	35,30	7,39	1,4	0,05	64,50	37,4	8,31	1,90	0,02	65,2

SEGUNDA DESCARGA: ASERRÍN + EM _C + EXCRETAS										
Fecha	20/03/2014									
Peso (kg)	215					216				
Tratamiento	20 por ciento o A					30 por ciento o B				
Días	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)
0	35,43	7,65	1,83	0,41	43,6	44,07	8,05	2,80	0,29	52,1
10	33,77	8,58	2,59	0,21	78,6	34,70	8,39	4,94	0,20	63,7
20	36,53	8,10	1,83	0,06	78,6	44,93	8,58	2,30	0,06	61,1

TERCERA DESCARGA: ASERRÍN + EM _C + EXCRETAS										
Fecha	28/03/2014									
Peso (kg)	219					215				
Tratamiento	20 por ciento o A					30 por ciento o B				
Días	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)	T°	pH	C.E. (dS/cm)	Acidez (%)	Hd (%)
0	31,10	8,62	1,97	0,25	58,2	32,97	7,75	3,77	0,32	55,80
10	36,93	8,62	1,27	0,38	78,9	39,03	8,65	1,71	0,44	60,70
20	34,53	7,50	1,07	0,42	75,3	38,40	8,65	2,00	0,50	61,13

ANEXO 4

Tabla 34: Análisis microbiológico de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín + EM_C + excretas humanas, durante 20 días.

PRIMERA DESCARGA: ASERRIN + E.M. + EXCRETAS HUMANAS					
Día	Análisis microbiológico	Unidades	Tipo de Cultivo	Aserrín +E.M 20 por ciento + excretas humanas - A	Aserrín + E.M 30 por ciento + excretas humanas - B
0	Coliformes totales	NMP/gr	AGAR EMB	15000	19000
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/gr	AGAR MC CONKEY	5000	12000
	Lactobacillus	UFC/gr	AGAR ROGOSA	58000	62000
	Mesófilos aerobios viables M.V.A.	UFC/gr	AGAR NUTRITIVO	4000	3400
	Parásitos	Presencia o Ausencia	Método directo, Método sedimentación rápida y M. de Willis	No se observaron huevos ni quistes de parásitos	No se observaron huevos ni quistes de parásitos
20	Coliformes totales	NMP/gr	AGAR EMB	75000	10000
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/gr	AGAR MC CONKEY	2000	4000
	Lactobacillus	UFC/gr	AGAR ROGOSA	30000	38000
	Mesófilos aerobios viables M.V.A.	UFC/gr	AGAR NUTRITIVO	1000	1600
	Parásitos	Presencia o Ausencia	Método directo, Método sedimentación rápida y M. de Willis	No se observaron huevos ni quistes de parásitos	No se observaron huevos ni quistes de parásitos

«CONTINUACIÓN»

SEGUNDA DESCARGA: ASERRIN + E.M. + EXCRETAS HUMANAS					
0	Coliformes totales	NMP/gr	AGAR EMB	35000	42000
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/gr	AGAR MC CONKEY	27000	34000
	Lactobacillus	UFC/gr	AGAR ROGOSA	70000	85000
	Mesófilos aerobios viables M.V.A.	UFC/gr	AGAR NUTRITIVO	10000	7000
	Parásitos	Presencia o Ausencia	Método directo, Método sedimentación rápida y M. de Willis	No se observaron huevos ni quistes de parásitos	No se observaron huevos ni quistes de parásitos
20	Coliformes totales	NMP/gr	AGAR EMB	13000	17000
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/gr	AGAR MC CONKEY	8000	8000
	Lactobacillus	UFC/gr	AGAR ROGOSA	25000	20000
	Mesófilos aerobios viables M.V.A.	UFC/gr	AGAR NUTRITIVO	1000	2500
	Parásitos	Presencia o Ausencia	Método directo, Método sedimentación rápida y M. de Willis	No se observaron huevos ni quistes de parásitos	No se observaron huevos ni quistes de parásitos
TERCERA DESCARGA: ASERRIN + E.M. + EXCRETAS HUMANAS					
0	Coliformes totales	NMP/gr	AGAR EMB	27000	35000
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/gr	AGAR MC CONKEY	16000	27000
	Lactobacillus	UFC/gr	AGAR ROGOSA	40000	30000
	Mesófilos aerobios viables M.V.A.	UFC/gr	AGAR NUTRITIVO	3000	1800
	Parásitos	Presencia o Ausencia	Método directo, Método sedimentación rápida y M. de Willis	No se observaron huevos ni quistes de parásitos	No se observaron huevos ni quistes de parásitos
20	Coliformes totales	NMP/gr	AGAR EMB	20000	25000
	<i>Escherichia coli</i>	NMP/gr	AGAR MC CONKEY	10000	13000
	Lactobacillus	UFC/gr	AGAR ROGOSA	29000	23000
	Mesófilos aerobios viables M.V.A.	UFC/gr	AGAR NUTRITIVO	2000	500
	Parásitos	Presencia o Ausencia	Metodo directo, Método sedimentación rápida y M. de Willis	No se observaron huevos ni quistes de parásitos	No se observaron huevos ni quistes de parásitos

ANEXO 5

Tabla 35: Análisis de varianza al día veinte de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín + EM_C + excretas humanas durante 20 días.

Variable: Temperatura						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Tratamiento	5	221,95	44,389	3,69	22,11	0,000
Error	12	24,09	2,008			
Total	17	246,04				
Variable: pH						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Tratamiento	5	525,489	105,098	0,55	519,71	0,000
Error	12	0,02427	0,00202			
Total	17	527,916				
Variable: Conductividad Eléctrica (C.E.)						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Tratamiento	5	31,961	0,63921	7,62	36,64	0,000
Error	12	0,2093	0,01744			
Total	17	34,054				
Variable: Porcentaje de acidez						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Tratamiento	5	0,55988	0,111976	26,678	53,95	0,000
Error	12	0,02491	0,002076			
Total	17	0,58479				
Variable: Porcentaje de Humedad						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Tratamiento	5	837,39	167,478	2,08	84,18	0,000
Error	12	23,87	1,989			
Total	17	861,26				

ANEXO 6

Tabla 36: Prueba Tukey al día veinte de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) en condiciones anaeróbicas de la mezcla: aserrín+ EM_C + excretas humanas durante 20 días.

Variable: Temperatura			
Tratamiento	Mean	N	Tukey Grouping
XB	44,93	3	A
B	40,267	3	B
YB	38,400	3	B C
XA	36,533	3	B C
A	35,333	3	C
YA	34,53	3	C
Variable: pH			
Tratamiento	Mean	N	Tukey Grouping
B	8,7100	3	A
YB	8,6533	3	A B
XB	8,5833	3	B
XA	8,1033	3	C
YA	7,5000	3	D
A	7,3933	3	D
Variable: Conductividad Eléctrica (C.E.)			
Tratamiento	Mean	N	Tukey Grouping
XA	1,8300	3	A
YA	1,0667	3	AB
A	1,3000	3	B
XB	2,3033	3	B
B	1,9000	3	C
YB	2,000	3	C
Variable: Porcentaje de acidez			
Tratamiento	Mean	N	Tukey Grouping
YB	0,497	3	A
YA	0,4200	3	A
XA	0,05700	3	B
XB	0,05667	3	B
A	0,05100	3	B
B	0,02333	3	B

«CONTINUACIÓN»

Variable: Porcentaje de Humedad			
Tratamiento	Mean	N	Tukey Grouping
XA	78,567	3	A
YA	75,333	3	A
B	65,230	3	B
A	64,533	3	B C
YB	61,133	3	C
XB	61,100	3	C

A: Primera descarga tratamiento 20 por ciento

XA: Segunda descarga tratamiento 20 por ciento

YA: Tercera descarga tratamiento 20 por ciento

B: Primera descarga tratamiento 30 por ciento

XB: Segunda descarga tratamiento 30 por ciento

YB: Tercera descarga tratamiento 30 por ciento

ANEXO 7

Tabla 37: Análisis de varianza del último mes de las pilas A (20 por ciento) y B (30 por ciento) y control del proceso de compostaje.

Variable: pH						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Muestra	2	0,76896	0,38448	1,66	29,91	0,001
Error	6	0,07713	0,01286			
Total	8	0,84609				
Variable: Porcentaje de acidez						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Muestra	2	0,008267	0,004133	14,55	9,07	0,015
Error	6	0,002733	0,000456			
Total	8	0,011000				
Variable: Porcentaje de Humedad						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Muestra	2	246,562	123,281	1,87	87,78	0,000
Error	6	8,427	1,404			
Total	8	254,989				

ANEXO 8

Tabla 38: Prueba Tukey del último mes de los tratamientos A (20 por ciento) y B (30 por ciento) y Control del proceso de compostaje.

Variable: pH			
Tratamiento	Mean	N	Tukey Grouping
Control	7,1800	3	A
B	6,8767	3	B
A	6,4667	3	C
Variable: Porcentaje de acidez			
B	0,1800	3	A
A	0,1533	3	A B
Control	0,1067	3	B
Variable: Porcentaje de Humedad			
Control	70,600	3	A
B	59,900	3	B
A	59,133	3	B

ANEXO 9

Tabla 39: Características físico químicas de las pilas A, B y Control durante los meses de compostaje.

PROCESO DE COMPOSTAJE				
Fecha	02/05/2014			
Repetición	Muestra	pH	Porcentaje de acidez	Porcentaje de Humedad
a	A = 20%	8,30	0,77	46,6
b		8,33	0,86	49,1
c		8,33	0,86	44,9
a	B = 30%	7,72	0,32	53,0
b		7,59	0,23	62,0
c		7,60	0,32	58,0
a	Control	8,65	0,68	42,0
b		8,74	0,63	42,1
c		8,66	0,45	43,3
Fecha	17/05/2014			
Repetición	Muestra	pH	Porcentaje de acidez	Porcentaje de Humedad
a	A = 20%	7,56	0,63	51,1
b		7,51	0,59	51,4
c		7,55	0,62	51,8
a	B = 30%	6,78	0,59	58,9
b		6,80	0,59	60,1
c		6,79	0,57	59,4
a	Control	7,94	0,77	45,2
b		7,89	0,68	43,9
c		7,82	0,59	44,2
Fecha	28/06/2014			
Repetición	Muestra	pH	Porcentaje de acidez	Porcentaje de Humedad
a	A = 20%	7,36	0,63	55,6
b		7,34	0,45	59,5
c		7,30	0,54	57,8
a	B = 30%	6,90	0,27	67,4
b		6,87	0,41	68,1
c		6,85	0,36	67,2
a	Control	8,19	0,74	53,5
b		8,18	0,77	53,5
c		8,20	0,78	53,2
Fecha	23/07/2014			
Repetición	Muestra	pH	Porcentaje de acidez	Porcentaje de Humedad
a	A = 20%	6,98	0,18	72,21

«CONTINUACIÓN»

b	A = 20%	7,05	0,18	71,37
c		7,02	0,23	71,32
a	B = 30%	7,03	0,14	74,67
b		7,36	0,14	74,61
c	Control	7,04	0,18	73,38
a		7,68	0,23	73,98
b		7,74	0,27	74,27
c		7,70	0,23	74,20
Fecha	29/08/2014			
Repetición	Muestra	pH	Porcentaje de acidez	Porcentaje de Humedad
a	A = 20%	7,22	0,14	73,91
b		7,16	0,14	74,35
c		7,17	0,14	73,51
a	B = 30%	7,48	0,18	75,31
b		7,23	0,23	74,96
c		7,26	0,18	74,86
a	Control	7,19	0,14	72,72
b		7,17	0,18	71,07
c		7,18	0,14	72,22
Fecha	10/10/2014			
Repetición	Muestra	pH	Porcentaje de acidez	Porcentaje de Humedad
a	A = 20%	6,35	0,23	62,46
b		6,36	0,23	61,55
c		6,34	0,23	61,48
a	B = 30%	7,00	0,09	70,66
b		6,97	0,09	70,64
c		6,99	0,14	70,70
a	Control	7,57	0,23	78,12
b		7,32	0,18	78,87
c		7,36	0,18	78,70
Fecha	03/12/2014			
Repetición	Muestra	pH	Porcentaje de acidez	Porcentaje de Humedad
a	A = 20%	6,42	0,14	59,30
b		6,61	0,18	59,00
c		6,37	0,14	59,10
a	B = 30%	6,91	0,18	57,60
b		6,86	0,18	61,30
c		6,86	0,18	60,80
a	Control	7,10	0,09	70,60
b		7,09	0,14	70,20
c		7,35	0,09	71,00

ANEXO 10

Tabla 40: Análisis de varianza al quinto día del bioensayo para las diluciones analizadas.

Variable: Radícula						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Dilución	5	186,17	37,234	8,81	6,26	0,004
Error	12	71,42	5,951			
Total	17	257,59				
Variable: Hipocótilo						
Fuente	Grados de Libertad	Suma de cuadrados ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Coefficiente de Variación	Valor F	Valor P
Tratamiento	5	471,8	94,37	7,74	8,92	0,001
Error	12	127	10,59			
Total	17	598,9				

ANEXO 11

Tabla 41: Prueba Tukey al quinto día del bioensayo para las diluciones analizadas.

Variable: Radícula			
Dilución	Mean	N	Tukey Grouping
Agua	32,52	3	A
1/5	29,95	3	A
1/6.67	28,72	3	AB
1/10	26,533	3	AB
1/50	26,033	3	AB
Té de compost puro	22,350	3	B
Variable: Hipocótilo			
Té de compost puro	48,37	3	A
1/5	45,65	3	AB
agua	44,467	3	AB
1/6,67	43,20	3	AB
1/10	36,75	3	BC
1/50	33,733	3	C

ANEXO 12

Tabla 42: Medidas de la radícula e hipocótilo del bioensayo.

Dilución	Tamaño Radícula(mm)			Tamaño Hipocótilo (mm)		
	H1	H2	H3	R1	R2	R3
Agua	37	38	41	48	50	43
	36	30	45	50	52	50
	38	42	46	47	46	50
	34	37	36	39	30	41
	30	45	42	36	36	38
	40	26	36	50	48	49
	15	41	44	39	54	57
	40	38	43	55	46	49
	37	42	45	42	44	46
	35	36	30	48	48	46
	44	30	16	38	39	40
	32	31	36	56	45	48
	31	37	14	32	35	36
	38	15	7	38	38	26
	44	18	18	50	45	36
	35	42	36	49	49	50
	17	37	31	39	58	59
	6	38	46	40	56	50
	16	34	33	49	45	50
	4	33	7	22	45	28
Promedio	30.45	34.5	32.6	43.35	45.45	44.6
1/50	30	38	32	41	43	47
	35	30	37	46	33	45
	15	13	27	30	40	46
	10	32	19	16	40	25
	35	32	22	45	43	34
	35	47	36	47	40	46
	12	35	18	20	42	38
	30	35	28	32	32	48
	37	27	35	40	30	41
	36	40	26	44	30	37
	43	27	17	47	30	27
	40	35	25	47	50	43
	47	22	27	45	30	46
	44	25	25	47	37	34

«CONTINUACIÓN»

1/50	22	17	23	30	35	30
	30	24	30	31	32	35
	38	25	34	50	34	42
	0	26	32	0	40	41
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Promedio	26.95	26.50	24.65	32.90	33.05	35.25
1/10	25	27	38	37	53	53
	25	30	46	38	35	55
	40	28	32	58	42	35
	13	25	45	15	43	53
	34	33	40	41	44	57
	14	32	15	14	53	47
	21	26	35	51	38	55
	42	22	20	56	48	37
	35	40	28	45	50	34
	40	32	43	55	33	40
	30	45	40	52	55	53
	25	30	11	35	42	12
	40	40	30	45	57	34
	33	28	32	45	43	50
	40	33	28	55	44	41
	35	17	30	58	33	33
	35	36	10	10	55	10
	0	18	0	0	28	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Promedio	26.35	27.10	26.15	35.50	39.80	34.95
1/6.67	30	40	30	57	43	50
	35	37	28	57	55	46
	25	41	20	50	56	45
	35	35	38	45	55	58
	35	30	33	54	50	37
	30	40	27	54	50	38
	45	30	57	57	43	37
	10	30	37	23	55	53
	32	41	41	62	62	54
	32	30	37	56	35	54
	27	35	27	44	46	57

«CONTINUACIÓN»

1/6.67	37	15	25	57	25	41
	22	35	40	44	54	41
	30	44	38	46	50	55
	26	36	15	55	50	50
	27	27	32	48	24	27
	15	0	38	27	0	49
	30	0	30	41	0	56
	17	0	24	30	0	54
	0	0	20	0	0	30
Promedio	27	27.3	31.85	45.35	37.65	46.6
1/5	37	37	34	50	64	62
	36	36	27	50	54	56
	36	22	27	60	40	46
	32	20	24	45	22	40
	42	30	25	52	59	44
	33	37	36	57	50	59
	35	30	36	57	52	63
	33	25	31	45	57	50
	36	37	27	54	57	50
	39	35	27	60	49	55
	45	31	32	50	42	48
	31	32	35	56	45	48
	20	39	22	30	53	43
	27	30	29	32	37	52
	45	32	26	60	51	40
	40	33	17	60	50	34
	35	31	35	48	48	47
	38	30	35	56	36	35
	38	0	0	59	0	0
27	0	0	20	0	0	
Promedio	35.25	28.35	26.25	50.05	43.30	43.60
Té de compost puro	25	23	24	59	53	49
	21	33	22	56	60	59
	19	24	28	46	65	61
	21	26	24	57	60	62
	25	28	32	62	47	62
	25	34	32	54	63	50
	24	15	23	51	27	51
	23	16	20	62	45	45
	26	25	17	62	60	59

«CONTINUACIÓN»

Té de compost puro	20	35	16	56	45	62
	38	35	30	66	62	49
	24	25	24	59	57	53
	28	15	24	32	50	53
	22	27	27	55	59	52
	21	15	22	60	44	54
	23	21	23	55	33	64
	28	16	26	53	32	33
	23	22	15	43	15	58
	13	0	28	14	0	47
	0	0	0	0	0	0
Promedio	22.45	21.75	22.85	50.10	43.85	51.15