

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“COMPOSTABILIDAD DE PELOS DE VACUNO PROCEDENTES
DEL PROCESO DE PELAMBRE CON EXCRETAS HUMANAS
DESHIDRATADAS”**

Presentada por:

LENA CRUZ VILLACORTA

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

Lima - Perú

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“COMPOSTABILIDAD DE PELOS DE VACUNO
PROCEDENTES DEL PROCESO DE PELAMBRE CON
EXCRETAS HUMANAS DESHIDRATADAS”**

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

**Presentada por:
LENA CRUZ VILLACORTA**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Lic. Reg. Reg. Víctor Aguilar Vidangos
PRESIDENTE

Ph.D. Lizardo Visitación Figueroa
ASESOR

M.Sc. Rosa Miglio Toledo
MIEMBRO

M.Sc. Juan Guerreo Barrantes
MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios por la vida, porque teniendo vida se concretan las metas. A mi hijito Samin, que es mi fuente de inspiración y mi fortaleza.

A mis papás Marina y Benjamín, a mis hermanos Mary, Alan, Benjamín, Eric, Oscar, David, Benigno, Arturo por creer en mí, por sus constantes palabras de aliento, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por albergarme en el proceso de formación de la Maestría, que me permitió hacer de mi mejor persona y profesional.

A la Empresa X-Runner, donde desarrolle la parte experimental de la investigación, que a su vez me brindaron el apoyo del personal, la confianza para el uso de sus instalaciones y materiales.

A mi Patrocinador, Ph. D. Lizardo Visitación Figueroa, por su amistad, por toda su contribución en toda la investigación.

A los miembros del jurado MgSc. Rosa Miglio Toledo, Arq. Víctor Aguilar Vidangos, MgSc. Juan Guerrero Barrantes, por la dedicación en la revisión de redacción de la tesis, por sus aportes e ideas en el documento final.

A mis amigas; Celia Vásquez, Carmen Palomino, Mary Flor Césare, Karina Ccapa por su apoyo durante el desarrollo de la presente investigación.

A la familia Everest – Valdez, por su acompañamiento y apoyo.

A todos los amigos y personas, que de una u otra manera estuvieron dándome palabras de apoyo, ¡gracias mil!

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	PELOS DE VACUNO	4
2.2	INDUSTRIA DE CURTIEMBRES	5
2.2.1	Pelambre Convencional	6
2.2.2	Pelambre Enzimático	6
2.3	HECES Y ORINAS HUMANAS	7
2.4	SANITARIOS SECOS.....	12
2.4.1	Tipos de Sanitarios Secos.....	13
a	Doble cámara, contenedor fijo:.....	13
b	Una cámara, contenedor portátil	15
2.4.2	Gestión de Residuos de Sanitarios Secos.....	16
2.5	EL ASERRÍN, MATERIAL SECANTE.....	17
2.6	PROCESO DE COMPOSTAJE	19
2.6.1	Variables Físicas que intervienen en el proceso de compostaje.....	19
2.7	NORMATIVA INTERNACIONAL DE CALIDAD DE COMPOST.....	24
2.7.1	Organización Mundial de la Salud	24
2.7.2	Normativa Austriaca	25
2.7.3	Normativa Chilena.....	26
2.7.4	Norma Mexicana	27
2.7.5	Norma Environmental Protection Agency (EPA) – USA	27
2.7.6	Normativa de Lodos.....	29
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN	30
3.1.1	Ubicación	30
3.1.2	Características climáticas de la zona de estudio.....	31
3.2	DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS INSUMOS	31

3.2.1	Material Secante – Aserrín.....	31
3.2.2	Heces humanas deshidratadas con aserrín	32
3.2.3	Pelos de vacuno	33
3.3	FORMULACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA PILA DE COMPOST	34
3.3.1	Determinación de la relación Carbono Nitrógeno (C/N) inicial	34
3.3.2	Formulación del diseño de mezclas.....	35
3.4	INSTALACION DE LAS PILAS DE COMPOST	36
3.4.1	Dimensiones de las Pilas.....	36
3.4.2	Infraestructura de las pilas	37
3.4.3	Armado de los tratamientos.....	38
3.5	MONITOREO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	40
3.5.1	Niveles de Oxígeno y requerimiento de volteos.....	40
3.5.2	Control de Temperatura	42
3.5.3	Control de humedad.....	42
3.5.4	Generación de gases.....	43
3.5.5	Duración del proceso	43
3.5.6	Instrumentos de colecta de datos	44
3.6	CONTROL DE PRODUCTO FINAL.....	46
3.6.1	Control Agronómico.....	46
3.6.2	Evaluación de Potencial de Hidrógeno y Conductividad Eléctrica.....	47
3.6.3	Evaluación de Relación carbono/ nitrógeno.....	47
3.6.4	Nitrógeno total.....	48
3.6.5	Evaluación de densidad.....	48
3.6.6	Evaluación de Perdidas por Calcinación (LOI).....	49
3.6.7	Evaluación de Capacidad de Retención de Agua	49
3.7	CONTROL MICROBIOLÓGICO BACTERIAS Y PARASITOS	50
3.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1	RESULTADOS DEL MONITOREO DE GASES Y AIREACIÓN.....	54

4.2	RESULTADOS DE MONITOREO DE TEMPERATURA DE LAS PILAS	57
4.3	RESULTADOS DE MONITOREO DE HUMEDAD DE LAS PILAS	59
4.4	RESULTADOS DE MONITOREO DE RELACIÓN C:N	61
4.5	EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE HIDROGENO (pH).....	64
4.6	RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) .	65
4.7	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL EN PORCENTAJE EN BASE SECA.....	66
4.8	RESULTADOS DE CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA.....	67
4.9	RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS INICIALES DE PILAS DE COMPOST INSTALADAS.....	67
4.10	RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS FINALES DE LAS PILAS DE COMPOST INSTALADAS.....	68
4.11	RESULTADOS DE MONITOREO DE BACTERIAS EN LAS PILAS DE COMPOST 70	
4.12	RESULTADOS DE MONITOREO DE PARASITARIOS EN LAS PILAS DE COMPOST.....	73
V.	CONCLUSIONES	76
VI.	RECOMENDACIONES	77
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
VIII.	ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis Químico de Muestras de Pelo de Vacuno	4
Tabla 2: Población, saca y producción de pieles y cueros para el año 2013, según principales especies a nivel nacional	5
Tabla 3: Producción de Heces y Cantidad de Nutrientes Generado por Persona en un Año.....	7
Tabla 4: Cantidad estimada de nutrientes en la excreción por persona año en diversos países ..	8
Tabla 5: Porcentaje de nutrientes en Heces Humanas	8
Tabla 6: Principales Bacterias Patógenas Transmitidas por la Heces Humanas	9
Tabla 7: Condiciones Ambientales que estimulan la muerte de patógenos	10
Tabla 8: Umbral de vida de microorganismos comunes en compost	10
Tabla 9: Periodos de sobrevivencia en días en condiciones distintas de aislamiento y/o tratamiento.....	11
Tabla 10: Estadios evolutivos de protozoos y helmintos	12
Tabla 11: Ventajas y Desventajas de los Baños Secos	13
Tabla 12: Ventajas y Desventajas de Baños Secos.....	16
Tabla 13: Composición química del aserrín de Pinus caribaea (% de materia seca).....	18
Tabla 14: Parámetros físicos de Aserrín y sustratos utilizados en compostaje	19
Tabla 15: Temperatura según etapas del Compostaje.....	21
Tabla 16: Valores óptimos para pH.....	22
Tabla 17: Organismos relacionados con las excretas - OMS.....	24
Tabla 18: Normativa Austriaca - Métodos de Ensayo y Control de Calidad del Compost Ö-NORM S 2022 y S 2200	25
Tabla 19: Valores Fisicoquímicos del compost, según normas de calidad en USA, México, Chile	27
Tabla 20: Valores Microbiológicos del compost según normas de calidad en USA, México, Chile	28
Tabla 21: Límites microbiológicos según diferentes normas.....	28
Tabla 22: Parámetros de higienización de biosólidos.....	29
Tabla 23: Datos para cálculo de relación C:N teórico por tratamiento.....	34

Tabla 24: Relación C:N teórica por tratamiento.....	35
Tabla 25: Tratamientos Generados con sus Respectivos Códigos	35
Tabla 26: Tratamientos Generados con sus respectivos insumos.....	36
Tabla 27: Tratamientos, cantidades e insumos	38
Tabla 28: Materiales de Laboratorio.....	44
Tabla 29: Equipos de Laboratorio	45
Tabla 30: Reactivos de Laboratorio.....	46
Tabla 31: Parámetros analizados en laboratorio en las pilas de compostaje.....	46
Tabla 32: Lectura de % de CO ₂ por tratamientos instalados	54
Tabla 33: Peso de emisión de CO ₂ por tratamientos instalados (Kg CO ₂ x tn ⁻¹)	55
Tabla 34: Medidas ajustadas y errores estándares	58
Tabla 35: Resultados Evaluación de Humedad (%)	60
Tabla 36: Resultados de relación C:N iniciales por tratamientos.....	61
Tabla 37: Resultados de relación C:N finales por tratamientos	62
Tabla 38: Medidas de ajuste del modelo – relación C:N	63
Tabla 39: Medias ajustadas y errores estándares para valores de pH según tratamientos	65
Tabla 40: Resultados de la Evaluación de Conductividad Eléctrica (mS x cm ⁻¹)	65
Tabla 41: Resultados de Evaluación de Capacidad de Retención de Agua (CRA - %)	67
Tabla 42: Ensayos Fisicoquímicos iniciales para los Tratamientos	68
Tabla 43: Ensayos Fisicoquímicos finales comparados con Normas Internacionales.....	69
Tabla 44: Comparación de producto final con otros tipos de compost.....	69
Tabla 45: Resultados de análisis microbiológico cualitativo: Etapa Mesofilica.....	71
Tabla 46: Resultados de análisis microbiológicos cualitativos: Etapa Termófila	71
Tabla 47: Resultados de análisis microbiológicos cualitativos: Etapa de Maduración	72
Tabla 48: Resultados microbiológicos cuantitativos en muestras finales de compost	72
Tabla 49: Resultados microbiológicos comparados con Normativa Internacional	72
Tabla 50: Resultados de análisis parasitológicos Pila Control “XR”	73
Tabla 51: Resultados de análisis parasitológicos tratamiento “XRA” - 5% pelo de vacuno	74
Tabla 52: Resultados de análisis parasitológicos tratamiento “XRB” - 3% de pelo de vacuno	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Baño Seco de doble Cámara.....	14
Figura 2: Baño Seco Portátil.....	15
Figura 3: El Sistema de gestión y tratamiento de residuo colectado	17
Figura 4: Ubicación de la Planta Piloto de Compostaje X-Runner	30
Figura 5: Contenedores con material secante en almacén.....	32
Figura 6: Contenedores con excretas deshidratadas mezcladas con material secante, para formación de pilas.....	32
Figura 7: Adición de reactivo Tandestal Base y Tanplex FLA	33
Figura 8: Esquema de las Unidades de Compostaje	37
Figura 9: Techado de las Pilas.....	38
Figura 10: Pesado de contenedor pequeño con heces deshidratadas y material secante	39
Figura 11: Volteo de Unidades de compostaje.....	41
Figura 12: Apertura de hoyo para registro de temperatura	42
Figura 13: Muestreo de gases en pila de compost y posterior lectura en laboratorio	43
Figura 14: Siembra en placas	52
Figura 15: Vista de parásitos en pantalla	53
Figura 16: Comparativo temperatura Vs producción CO ₂ en pila Control “XR”	56
Figura 17: Comparativo temperatura Vs producción CO ₂ en tratamiento “XRA”	56
Figura 18: Comparativo temperatura Vs producción CO ₂ en tratamiento “XRB”	57
Figura 19: Línea de tendencia de temperatura de los tratamientos.....	58
Figura 20: Respuesta de los tratamientos con respecto a la temperatura.....	59
Figura 21: Línea de Tendencia para relación C:N.....	62
Figura 22: Respuesta de tratamiento con respecto a la relación C:N	63
Figura 23: Comportamiento del Potencial de Hidrogeno	64
Figura 24: Resultados de Análisis de Porcentaje de Nitrógeno Total en Base Seca	66

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FICHAS TÉCNICAS	88
ANEXO 2: DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION	90
ANEXO 3: RESULTADOS DE LECTURA DE GASES	91
ANEXO 4: REGISTRO DE VALORES DE TEMPERATURA EN TRATAMIENTO DE COMPOSTAJE.....	92
ANEXO 5: RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LABORATORIO.....	93
ANEXO 6: IMÁGENES TRABAJO EXPERIMENTAL	97

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la posibilidad de compostar pelos de vacunos procedentes del proceso de pelambre, mezclado con excretas humanas deshidratadas de baños secos de contenedor móvil, como una alternativa para disminuir la presión al ambiente, por las excretas del ser humano. Se instalaron tres tratamientos con la adición de tres por ciento (XRA) y cinco por ciento (XRB) de pelo de vacuno frente a un tratamiento control sin pelo (XR). Para el seguimiento, se evaluaron 13 parámetros fisicoquímicos y se monitoreo CO₂, organizados en 10 fechas de muestreo, en las etapas mesofílica y termofílica la toma de muestra fue semanal y en la etapa de maduración fue mensual, utilizando metodología Austriaca Ö-NORM S 2022 (2016), se realizaron los análisis en laboratorio. Para los análisis microbiológicos tanto de bacterias y parásitos, se recogió una muestra por etapa, analizándose las dos primeras cualitativamente y la tercera cuantitativa. Los resultados se compararon con normas internacionales de compostaje como: Chile - NCh 2880 (2004), FAO (2013), México - NMX-AA-180-SCFI-2018; debido a que no existe norma peruana, y con otros tipos de compost: vegetal, de estiércol de ganado y vermicompost. El producto obtenido para parámetros: fisicoquímicos en concordancia con la norma EPA 40 CFR 503, para C:N [14.6:1(XRA); 17.6:1(XRB); 15.5:1(XR)], los valores de pH [8(XRA); 7.6(XRB); 6.8(XR)], CRA [208.6(XRA); 158(XRB); 375(XR)]%, temperatura final [40.5(XRA); 36.8(XRB); 35.7(XR)] °C estuvieron dentro del rango de las tres normas propuestas, y dentro del rango para otros tipos de compost, los parámetros con valores cercanos fueron C:N, pH. El monitoreo de los gases CO₂, determinaron que hubo mayor emisión de este gas en el proceso termofílico, en comparación de la etapa mesofílica y de maduración. Los parámetros microbiológicos presentaron una reducción para *Escherichia Coli* [52,000(XRA); 51,000(XRB); 57,500(XR)]UFCg⁻¹, para *Coliformes totales* [69,000(XRA); 68,000(XRB); 79,000(XR)] UFC.g⁻¹, estando por encima de los valores establecidos en las tres normativas, que es de 1000 NMP g⁻¹ y ausencia para (*Salmonella Tiphy*, *Coliformes fecales*), respecto a los parásitos se evaluó negativo para Protozoarios como: *Entamoeba coli*, *Blasticistys hominis*, *Endolimax nana*, de igual forma para quistes de helmintos. Se concluye que, si es posible compostar excretas humanas y pelos de vacuno, con propiedades fisicoquímicas óptimas, según normativa

internacional, siendo el tiempo de descomposición mayor, cuatro a seis meses, frente a los compost de materia orgánica común.

Palabras clave: Compost de excretas humanas, compost con pelos de vacuno, baños secos, reutilización de residuos, residuos de pelambre.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the possibility of composting bovine hair from the pelt process, mixed with deshydrated human excretes from dry mobile container toilets, as an alternative to reduce the pressure on the environment, due to human excretes. Three treatments were installed with the addition of three percent (XRA) and five percent (XRB) of bovine hair against a control treatment without hair (XR). For the follow up, 13 physicochemical parameters were evaluated and CO₂ was monitored, organized in 10 sampling dates, in the mesophilic stages the sampling was weekly and in the maturation stage it was monthly, using Austrian methodology Ö-NORM S 2022 (2016), the analyzes were carried out in the laboratory. For the microbiological analyzes of both bacteria and parasites, one sample was collected per stage, the first two being analyzed qualitatively and the third quantitatively. The results were compared with international composting standards such as: Chile – NCh 2880 (2004), FAO (2013), Mexico – NMX-AA-180-SCFI-2018; because there is no Peruvian standard, and with other types of compost: vegetable, cattle manure and vermicompost. The product obtained for parameters: physicochemical in accordance with the EPA standard 40 CFR 503, for C:N [14.6:1 (XRA); 17.6:1 (XRB); 15.5:1 (XR)], the pH values [8 (XRA); 7.6 (XRB); 6.8 (XR)], CRA [208.6 (XRA); 158 (XRB); 375 (XR)]%. Final temperature [40.5 (XRA); 36.8 (XRB); 35.7 (XR)] °C were within the range of the three proposed standards, and within the range for other types of compost, the parameters with close values were C:N. pH. The monitoring of CO₂ gases determined that there was a greater emission of this gas in the thermophilic process, compared to the mesophilic and maturation stage. The microbiological parameters showed a reduction for *Escherichia coli* [52,000 (XRA); 51,000 (XRB); 57,500 (XR)] UFC g⁻¹, for total Coliforms [69,000 (XRA); 68,000 (XRB); 79,000 (XR)] CFU g⁻¹, being above the values established in the three regulations, which is 1000 MPN g⁻¹ and absence for (*Salmonella* *Typhi*, *Fecal Coliforms*), regarding parasites it was evaluated negative for Protozoa such as: *Entamoeba coli*, *Blasticistys hominis*, *Endolimax nana*, likewise for helminth cysts. It is concluded that, if it is possible to compost human excreta and bovine hair, with optimal physicochemical properties, according to international regulations, the decomposition time being greater, four to six months, compared to compost of common organic matter.

Keywords: Compost of human excretes, compost with bovine hair, dry toilets, reuse of waste, waste of hair

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo al 2019, se plantea la economía circular, como respuesta a la generación de desechos y el reaprovechamiento de estos (Acciona 2019) reconociendo en ellos un valor, cambiando el modelo económico lineal. Se plantea tratamientos de estos, sin causar daños medioambientales al agotar su vida útil; suponiendo beneficio económico, generación de empleo, una mirada de sostenibilidad (EMF 2019).

Según Winblad *et al.* (2009), actualmente el planeta sufre la escasez de agua dulce, habiéndose triplicado la demanda en los últimos 50 años; se estima que para el 2030, más de la mitad de la población mundial se verá afectada por la escasez de agua.

El consumo de agua en el Perú se ha venido incrementando debido al crecimiento y demanda de la población. En la ciudad de Lima se concentran 9 millones 485 mil 405 habitantes del total del país (INEI 2017), con una producción de aguas residuales entre 18 a 20 metros cúbicos por segundo, siendo el volumen tratado de aproximadamente tres metros cúbicos por segundo (Moscoso 2011).

Uno de los principales desechos generados por el hombre, son las excretas y orina, con una producción de alrededor de 400 – 500 litros de orina y 50 litros de heces, por persona al año. Los impactos negativos que generan estas descargas se pueden controlar con la utilización de baños secos, este sistema consta de una taza separativa (heces – orina) y cámara de almacenamiento, que permite recolectar las heces y 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, disminuyendo la inversión en redes de alcantarillado y plantas de tratamiento (Winblad *et al.* 2009).

Las heces deshidratadas pueden ser sometidas al tratamiento de compostaje, potencializando su reutilización y una alternativa de minimización de desechos riesgosos y mejora de la

sostenibilidad ambiental (Winblad *et al.* 2009). La producción de compost a partir de excretas humanas hasta el momento es limitada, en el mundo hay experiencias aisladas; siendo el continente africano con mayor aprovechamiento de este recurso (Jönsson *et al.* 2004). El compostaje tradicional, consiste en mezclar materia orgánica rica en carbono y nitrógeno en presencia de humedad; mediante un proceso metabólico controlado y desarrollado por microorganismos (FAO 2013), con el ascenso de temperatura para degradar la materia orgánica y reducir la carga de patógenos (Winblad *et al.* 2004; FAO 2013); las excretas humanas son considerados residuos peligrosos debiendo manipularse siguiendo protocolos de seguridad e higiene adecuados (Stenström y Schönning 2004).

En Perú la Empresa de Saneamiento “X-Runner”, presta servicio de gestión, con el alquiler de baños secos y recolección semanal de excretas humanas deshidratadas, atendiendo a los asentamientos humanos de California con 60 familias y La Rinconada con 50 familias en los distritos de Villa El Salvador y San Juan de Miraflores respectivamente (Vásquez 2013). Al crecer el servicio el número de familias atendidas aumenta, proyectándose atender al 2020 unas 15 000 familias en Lima Metropolitana (Forbes 2015).

Los desechos colectados de los baños secos fueron tratados mediante el proceso de compostaje desarrollado a escala piloto por “X-Runner”, hasta antes de la investigación, este proceso se realizaba sin el seguimiento de las labores de compostaje (FAO 2013), la cantidad de familias afiliadas iba en ascenso, por ende, la cantidad semanal de recolección de excretas humanas deshidratadas aumentaba.

Por otro lado, el proceso de pelambre, de la industria de curtiembres genero 216 toneladas de pelo de vacuno por año (Helianthus SAC 2012), debiéndose disponer en rellenos sanitarios, botaderos; los gastos de disposición eran de un sol por kilogramo, reduciéndose a la mitad del costo si la generación es mayor a 30 toneladas, dependiendo de las distancias de transporte, características del residuo (MEF 2017). La cantidad de pieles de vacuno que se procesan en las curtiembres del país de 734 730 unidades al año (Trejo 2012), cada piel tiene un peso aproximado de 40 Kg (Helianthus SAC 2013), de donde el porcentaje de generación de pelos

que se puede recuperar es de cinco a ocho puntos quince por ciento (Trejo 2012; Helianthus SAC 2013).

El pelo contiene proteínas, lípidos, agua y pequeñas cantidades de oligoelementos (Horvath 2009), a su vez aporta nitrógeno en un 48.4 por ciento base seca (Tinoco & Armijo 2019) en el proceso de compostaje.

En el presente estudio se plantea la importancia de usar este residuo como materia prima para un proceso de compostaje, porque contribuirá al conocimiento científico sobre tratamientos alternativos de excretas humanas deshidratadas y pelos de vaca, procedentes del proceso de pelambre de la industria de curtiembres, así los objetivos son:

Objetivo general: Evaluar la posibilidad de compostar pelos vacunos procedentes del proceso de pelambre de la industria de curtiembres, con excretas humanas deshidratadas derivadas de baños secos.

Objetivos Específicos

- Comparar el desarrollo de dos pilas de compost instaladas con diferentes porcentajes de pelos de vaca frente a una pila sin pelo vacuno como pila control.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, parasitológicos durante el proceso de compostaje.
- Evaluar la calidad de compost, comparándolo con los compost tradicionales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 PELOS DE VACUNO

El pelo, es una estructura eminentemente proteica, con lípidos, agua y pequeñas cantidades de oligo-elementos. Las proteínas de los animales y cuerpos humanos se construyen a partir de permutaciones de moléculas de aminoácidos en una cadena polipeptídica de proteína queratinosa, las cuales se organizan en filamentos en células ciliadas (Horvath 2009). La relación carbono – nitrógeno del pelo es baja, por lo cual el aporte de nitrógeno en procesos de compostaje es adecuado, favoreciendo la degradación aeróbica, el contenido de otros nutrientes como potasio, fosforo son también bastante altos y junto a la materia orgánica permiten obtener compost de excelente calidad (Cnma 1999).

En la Tabla 1, se presenta el análisis químico de muestras de pelo de vacuno realizado por el Laboratorio de Servicios de Análisis, Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía, de la Pontificia Universidad de Chile.

Tabla 1: Análisis Químico de Muestras de Pelo de Vacuno

ANALISIS	UNIDAD	EN BASE SECA	EN BASE SECO AL AIRE
Humedad	%	---	64.6
Materia seca	%	35.4	---
Ceniza	%	31.8	11.2
Proteína cruda	%	48.4	17.1
Extracto etéreo	%	13.1	4.7
C – orgánico	%	39.56	--
R – C/N	--	5.11	--

Fuente: HELIANTHUS SAC (2013)

El pelo, es un componente del cuero en bruto, compuesto de queratina; siendo química y bioquímicamente muy estable. Su destrucción en el pelambre se hace por acción de grandes

cantidades de sulfuro de sodio (Na_2S) (Horvath 2009) y cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en un medio altamente alcalino (Helianthus SAC 2013).

2.2 INDUSTRIA DE CURTIEMBRES

En la tesis “Aprovechamiento de Pelos de Vacuno del Proceso de Pelambre de las Curtiembres en la Remoción de Plomo de un Efluente” (Palomino 2016), se hace referencia a la producción de pieles en función de la saca anual de cada especie y del porcentaje de pérdida de pieles y la producción de cueros para el año 2012, ver Tabla 2. Siendo la cantidad de pieles de vacuno que se procesan en las curtiembres del país de 734 730 unidades al año, material del cual se obtuvo los residuos de pelos que se utilizaron en esta investigación. Además, se puede observar en la Tabla 2, que hay diferentes tipos de pieles que son utilizadas en la industria de curtiembre que tienen potencial para proveer materia prima (residuos de pelos) que pueden ser reutilizados para mejorar proceso de compostaje.

Tabla 2: Población, saca y producción de pieles y cueros para el año 2013, según principales especies a nivel nacional

Especies	Población (unidades)	Saca (unidades)	Perd. Piel (%)	Piel (unidades)	Cueros (unidades)	cuero/ animal (pies ²)	cueros/año (pies ²)
Vacuno	5 156,000	773,400	5	734,730	1 469,460	30	22 041,900
ovino	9 523,200	1 428,480	20	1 142,784	1 142,784	5.5	6 285,312
caprino	2 100,000	315,000	5	299,250	299,250	5.5	1 645,875
alpaca	3 685,500	368,550	80	73,710	73,710	6	442,260
Llama	950,000	76,000	90	7,600	7,600	8	60,800
Total	21 414,700	2 961,430		2 258,074	2 992,804		30 476,147

Fuente: Ing. Mg. Sc. Trejo C., W. jefe del Departamento Académico de Producción. Facultad Zootecnia (2013) – UNALM, Palomino (2016)

La empresa Helianthus S.A.C. realizó encuestas en el año 2012 a 95 curtiembres formales en las cuales se determinó que solo el siete por ciento realizaba pelambre con recuperación de pelo. Este porcentaje de curtiembres producen aproximadamente 11 000 cueros/mes, es decir, entran en el proceso 5 500 pieles por mes, cada piel de res tiene un peso aproximado de 40 kg (Palomino 2016), por tanto, en peso de piel equivale a 220 000 kg de piel vacuno/mes. Considerando que

se puede generar en promedio 8,15 por ciento de pelos (Helinthus SAC 2013); respecto al peso de piel utilizada en la producción de cuero, actualmente se recupera 17 930 kg de pelo/mes siendo por año la cantidad de 215 160 kg de pelo.

La industria de “curtiembres” en el Perú ha ido en crecimiento en los últimos años, procesando más de un millón trescientas mil pieles vacunas al año, repartidas entre 200 curtiembres que se encuentran en Lima, Arequipa, Trujillo. Del total de curtiembres solo tres son de gran producción, procesando alrededor de 4000 pieles mensuales, el resto son de menor escala (Helianthus SAC 2013).

El proceso de pelambre, dentro de la industria de curtiembre, consiste en separar el pelo del cuero, utilizando cal y sulfuro de sodio, produciéndose, además al interior del cuero el desdoblamiento de fibras a fibrillas, a veces se agrega un agente coadyuvante del proceso de pelambre como agentes tenso activos, humectantes, aminas, etc. El efluente de este proceso aporta el mayor porcentaje de carga orgánica del efluente final (Tard *et al.* 2006).

El proceso de pelambre presenta dos métodos para obtención de pelo.

2.2.1 Pelambre Convencional

En el pelambre convencional, se añade cal y el sulfuro o sulfhidrato de sodio en el mismo momento; el pelo sufre destrucción de su estructura disolviéndose completamente en el baño (Aribau 2007). El sulfuro ataca el enlace cruzado disulfuro de la cistina en el pelo del ganado y reduce la cistina a cisteína en un desplazamiento nucleofílico. En este proceso cada enlace cruzado disulfuro está siendo reemplazado por dos grupos sulfhidrilo, con esto se logra la destrucción del pelo (Michelsen *et al.* 1975).

2.2.2 Pelambre Enzimático

El pelambre enzimático es un proceso alternativo al convencional, dentro de la industria del cuero (Vega *et al.* 2014). En un pelambre enzimático, consiste en lograr el acondicionamiento de la piel para disolver la raíz del pelo, tratando de causar el menor daño posible al pelo maduro o externo, recuperándose gran parte del pelo y obteniéndose un efluente de menor carga

orgánica, con lodos mucho más fáciles de manejar y escurrir (Cpts 2003). Es posible el aflojamiento del pelo con el empleo de enzimas como único agente depilante (Aribau 2007).

Los desechos de curtiembre contienen un número de constituyentes variables y significativas, de acuerdo a la cantidad de cueros que se tratan; los materiales que pueden aparecer en los desechos de curtiembre incluyen entre otros: pelo, sangre, estiércol, sales como sal común, sales de cromo, sulfuros, pedazos de piel y carne (Cnma 1999). El pelo, proveniente del proceso de pelambre enzimático genera entre 7.1 a 9.2 por ciento de pelos con respecto al peso de piel utilizada en la producción de cuero (Helianthus SAC 2013). Los pelos se recuperan del baño de pelambre mediante filtrado, por lo tanto, los residuos de pelo que se generan tienen alto potencial de reaprovechamiento por su valor proteico (Vega *et al.* 2014).

2.3 HECES Y ORINAS HUMANAS

Las heces humanas, se componen de materia orgánica no digerida, como las fibras de carbón (Ebert 1999), siendo consideradas como fertilizantes completos, con bajo contenido de contaminantes, ricas en fósforo, potasio y materia orgánica (Jönsson *et al.* 2004).

Como se observa en la Tabla 3, la cantidad excretada por un humano en un año va en un rango de 25 a 50 kg, con un aporte de Nitrógeno 0.55 kg/hab/año, Fósforo 0.183 kg/hab/año y Potasio 0.37 kg/hab/año (Jönsson *et al.* 2004).

Tabla 3: Producción de Heces y Cantidad de Nutrientes Generado por Persona en un Año

Producto	Volumen producido (kg/ persona año)	Características microbiológicas	Nutrientes (g)		
			N	P	K
Heces	25 - 50	Alto contenido de patógenos	550	180	370

Fuente: Adaptado de Ebert (1999), CENCA y AGUAECOSANPERU (2009)

En la Tabla 4, se presenta la comparación del contenido de nutrientes en la excreción por persona entre diversos países, y se puede apreciar además el contenido para heces y orina.

Tabla 4: Cantidad estimada de nutrientes en la excreción por persona año en diversos países

PAIS		NITROGENO (kg/per cápita-año)	FOSFORO (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) y Prado (2015)

En un estudio realizado en 1956 por Gotaas y auspiciado por la OMS, se presenta un comparativo entre composición de las heces sin orina y los orines humanos, los resultados se presentan en la Tabla 5:

Tabla 5: Porcentaje de nutrientes en Heces Humanas

Heces humanas sin orina	Descripción	Porcentaje
Cantidad aproximada	150 a 270 g per cápita por día peso húmedo	
Composición aproximada	Contenido de humedad	66 – 80 %
	Materia orgánica (en la materia seca)	88 – 97 %
	Nitrógeno (en la materia seca)	5.0 – 7.0 %
	Fosforo (P ₂ O ₅) (en materia seca)	3.0 – 5.4 %
	Potasio (K ₂ O) (en materia seca)	1.0 – 2.5 %
	Carbono (en materia seca)	40 – 55 %
	Calcio (CaO) (en materia seca)	4.0 – 5.0 %
	Relación C/N	5.0 – 10.0

<<Continuación>>

Materia fecal:	5.4 g (35%)
Orina:	10.2 g (65%)

Fuente: Gotaas y OMS (1956)

Las heces humanas contienen bacterias entéricas, parásitos y otros seres vivientes (organismos), que causan enfermedades y por ello se denominan patógenos; siendo potenciales causantes de tifoidea, paratifoidea, esquistosomiasis, diarrea y desnutrición (Ebert 1999); en heces frescas los organismos patógenos son: bacterias, virus entericos, protozoarios y lombrices (helminths) (Cyted XVII 2001). La contaminación a partir de las heces es: las manos, las moscas, al agua, el suelo, así como la comida contaminada (Winblad *et al.* 2009).

En la Tabla 6, se muestran las principales bacterias que se pueden transmitir por exposición a zonas contaminadas, el periodo de incubación de las mismas y los síntomas que el huésped presenta en caso de contagio.

Tabla 6: Principales Bacterias Patógenas Transmitidas por la Heces Humanas

Bacterias	Fuente	Periodo de incubación	Duración	Síntomas clínicos
Salmonella typhi	Heces orina	7 – 28 días (14)	5–7días semanas, meses	Fiebre, tos, náuseas, dolor de cabeza, vómito, diarrea
Salmonella sp.	Heces	8 – 48 horas	3 – 5 días	Diarrea acuosa con sangre
Shigellae sp.	Heces	1 – 7 días	4 – 7 días	Disentería (diarrea con sangre), fiebres altas, síntomas tóxicos, retortijones, pujos intensos e incluso convulsiones
Vibrio cholerae	Heces	9 – 72 horas	3 – 4 días	Diarrea acuosa, vomito, deshidratación
	Heces	1 – 5 días	3 – 4 días	Diarrea acuosa
Exchericia coli enterotoxígena	Heces	5 – 48 horas	3 – 19 días	Dolores abdominales, diarrea acuosa, fiebre con escalofríos, náusea, mialgia.
Yersinia enterocolitica	Heces, orina	1 – 11 días (24 – 48 horas)	1 – 21 días (9)	Dolor abdominal, diarrea con moco, sangre, fiebre, vomito
Campylobacter jejuni	Heces	2 – 5 días (42 – 72 horas)	7 – 10 días	Diarrea, algunas veces heces con sangre dolores abdominales y cabeza, fiebre

<<Continuación>>

Plesiomonas shigelloides	Heces	20 – 24 horas	1 – 2 días	Fiebre, escalofríos, dolor abdominal, náuseas, diarrea o vomito.
Aeromonas sp.	Heces	Desconocido	1 – 7 días	Diarrea, dolor abdominal, náuseas, dolor de cabeza y colitis, las heces son acuosas y no son sanguinolentas.

Fuente: Adaptado de CYTED XVII (2001)

Según (Ebert 1999), las condiciones ambientales determinantes en la tasa de mortalidad de las bacterias son la temperatura, humedad, nutrientes, luz solar, pH del medio. La condición varía si es tiempo de estiaje o de precipitaciones; se observan detalles en la Tabla 7.

Tabla 7: Condiciones Ambientales que estimulan la muerte de patógenos

Factores Ambientales	Cómo
Temperatura	Incremento de la temperatura
Humedad	Decremento de la humedad
Nutrientes	Decremento de nutrientes
Luz solar	Incremento de luz solar
pH	Incremento de pH

Fuente: Ebert (1999)

El umbral de muerte se algunos microorganismos, como bacterias patógenas, parásitos que están presentes en el proceso de composteo se presenta en la Tabla 8, se muestran los valores de temperatura, tiempos de exposición de muerte.

Tabla 8: Umbral de vida de microorganismos comunes en compost

Organismo	Temperatura y tiempo de exposición
<i>Salmonella typhosa</i>	Se elimina rápidamente en la pila de compost, es suficiente 30 minutos, 55 – 60 °C para su eliminación.
<i>Salmonella sp.</i>	Se destruye al exponerse una hora a 55°C o 15 – 20 minutos a 60°C.
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse una hora a 55°C.
<i>Escherichia coli</i>	La mayoría muere con una exposición de 1 hora a 55°C o 15 – 20 minutos a 60°C.
<i>Streptococcus faecales</i>	Se inactiva con un tiempo de exposición de 5 a 10 minutos a 65 °C.

<<Continuación>>

<i>Taenia saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55°C
<i>Larvas de trichinella spiralis</i>	Mueren rápidamente a 55°C e instantáneamente a 60°C
<i>Micrococcus pyogenes var. Aureus</i>	Muere después de 10 minutos de exposición a 50°C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Muere después de 10 minutos de exposición a 54°C.
<i>Mycobacterium tuberculosis var. hominis</i>	Muere después de 15 – 20 minutos a 66°C e instantáneamente a 67°C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición a 55°C por un tiempo de 45 minutos
<i>Huevos de Áscaris lumbricoides</i>	Muere a menos de 1 hora a temperaturas superiores a 55°C

Fuente: Pérez *et al.* (2004)

Los Coliformes fecales y *E. coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras (Cytel XVII 2001).

Los microorganismos como: bacterias, parásitos; tienen un periodo de sobrevivencia en días, en condiciones distintas de aislamiento y/o tratamiento, los detalles se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Periodos de sobrevivencia en días en condiciones distintas de aislamiento y/o tratamiento

Condición	Bacteria	Protozoarios	Helmintos
Tierra	400	10	Varios meses
Cultivos	50	No se sabe	No se sabe

Fuente: Ebert (1999)

Los parásitos intestinales, son protozoarios, helmintos, que en sus estadios evolutivos pueden encontrarse en las heces (INS 2003). Según (Ebert 1999), los protozoarios son excretados primero como quistes y pueden ser inmediatamente infecciosos o requerir de un periodo fuera del cuerpo. Las lombrices, en especial los huevecillos, resisten severas condiciones ambientales, se les denomina helmintos. En la Tabla 10, se enlista los estadios evolutivos de los parásitos.

Tabla 10: Estadios evolutivos de protozoos y helmintos

PROTOZOARIOS			
Parásitos	Formas evolutivas para el diagnóstico	Tipo de muestra	Patogenicidad
Clase <i>Lobosea</i>			
<i>Entamoeba coli</i>	Trofozoítos, quistes	Heces	No
<i>Endolimax nana</i>	Trofozoítos, quistes	Heces	No
<i>Blasticystis hominis</i>	Trofozoítos, quistes	Heces	No
HELMINTOS			
Phylum <i>Nematoda</i>			
Clase <i>Aphasmidea</i>			
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Adultos, juveniles, huevos	Heces	Si
Clase <i>Anquilostomídeos</i>			
<i>Trichuris trichiura</i>	Huevos	Heces	Si

Fuente: Instituto Nacional de Salud - INS (2003)

2.4 SANITARIOS SECOS

Un sanitario ecológico seco, es un baño que consta de un asiento o taza especial, que permite separar las heces de la orina (Castillo 2002). Las heces caen dentro de un contenedor que contiene una base de material secante donde estas son colectadas y almacenadas, mientras que la orina es dirigida a través de un tubo a un envase colector, las heces se cubren con un material secante que permite deshidratarlas (aserrín, cal, tierra, etc.).

Los baños secos, conocidos como sanitarios ecológicos (Winblad *et al.* 2009), son una alternativa para el tratamiento de las excretas humanas, que soluciona cuestiones importantes en la percepción y/o el malestar social, así como enfermedades infecciosas, degradación ambiental, uso de agua, recuperación de nutrientes que pueden ser beneficiosos para el suelo y el crecimiento de plantas (Castillo 2002).

El objetivo de utilizar los baños secos es ahorrar agua y transformar excretas humanas potencialmente dañinas en una materia estable, inofensivo a la salud y rico en nutrientes (Winblad *et al.* 2009), que puede mejorar las propiedades físicas del suelo como la capacidad de retención de agua, mejorar la capacidad de amortiguamiento (Jönsson *et al.* 2004).

Los baños secos ofrecen ventajas y desventajas, como se observa en la Tabla 11.

Tabla 11: Ventajas y Desventajas de los Baños Secos

Ventajas	Desventajas
✓ Ahorro de agua	✓ Requiere mantenimiento y/o limpieza periódica.
✓ Cuidado del medio ambiente	✓ Requiere material secante para cubrir excrementos.
✓ Producción de nutrientes para el suelo y plantas	
✓ Construcción y/o instalación y mantenimiento económico	
✓ Sanitario limpio, sin olores, amigable al ambiente.	
✓ Prevención de enfermedades.	

Fuente: Adaptado de Ebert (1999), Castillo (2002), Aguayuda (2013)

El uso de baños secos permite el ahorro de agua hasta en un 30 por ciento (comparadas con inodoros convencionales), por el principio de “cero descargas”; contribuyendo en la reducción de efluentes con alta carga de contaminantes (aguas negras), con lo cual se reduce el costo de tratamiento de las aguas residuales domésticas (Miglio y Spittler 2010).

2.4.1 Tipos de Sanitarios Secos

Se denomina sanitario secos, debido a que satisface la necesidad de manejar las excretas de una forma higiénica, aprovechando los ciclos biológicos naturales para transformar la materia orgánica – excretas, en un producto inofensivo y listo para nutrir al suelo, no usando agua, evitando contaminarla (Granados 2009).

a Doble cámara, contenedor fijo:

El baño seco de doble cámara es un clásico sistema sanitario, usado en Vietnam, Suecia, México, países de América Central (Esrey *et al.* 1999). Se construye sobre superficie, las cámaras de tratamiento descansan sobre una plancha solida de concreto, ladrillo o barro, con al menos 10 cm de espesor, para que no inunden con las lluvias. Las dos cámaras son cubiertas con una losa para acucillarse, cada una con un orificio de entrada, descansos para los pies y canal para la orina. En la parte posterior hay dos aberturas de 30 por 30 cm para retirar el material

deshidratado, las cuales se mantienen selladas hasta el momento de vaciado de las cámaras (Tirado 2015).

Consta de un asiento o taza especial, para separar las heces de la orina, la materia fecal cae dentro de un cámara, mientras la orina va por una tubería a un envase colector o se infiltra en el suelo (Castillo 2002). Después de usar el servicio el usuario espolvorea sobre la excreta material secante y cada semana deberá mezclar el material y agregar más material secante. Cuando la cámara está casi llena, se agrega tierra hasta el borde y se cierra; se habilita la segunda cámara, ubicando la taza separadora. Un año después, se abre la primera cámara y se retira el material (Cdmb 2011; Tirado 2015). Un ejemplo del sistema se puede observar en Figura 1.

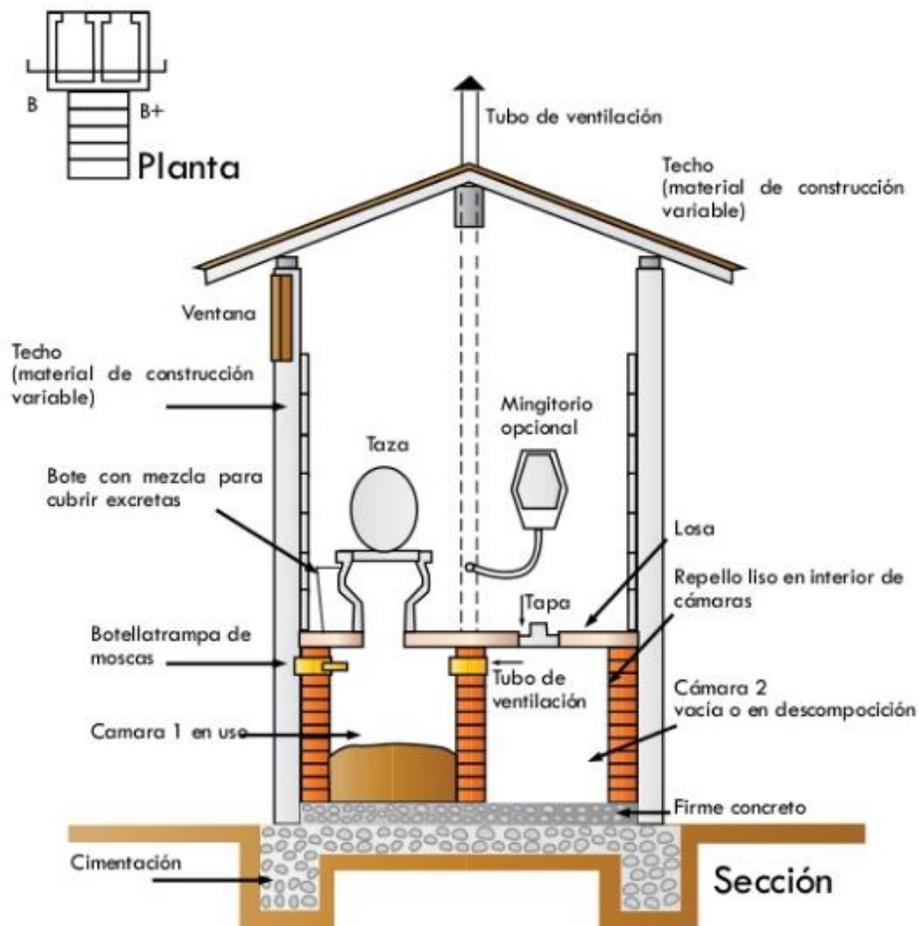


Figura 1: Baño Seco de doble Cámara

Fuente: CDMB (2011)

b Una cámara, contenedor portátil

El baño seco con contenedor portátil es un inodoro seco, que permite la separación en origen de heces y orina a través del uso de un asiento especial. Consiste en aparatos sanitarios prefabricados (Ministerio de salud 2017), los cuales, se pueden instalarse sobre el suelo o sobre una losa. El separador de orines se evacúa a través de una manguera, de una pulgada de diámetro, que conecta con un recipiente colector o se infiltra (Ipc 2015).

El envase colector de heces se ubica dentro del contenedor portátil, el cual, según su uso, se va llenando con una mezcla de heces y material secante; posteriormente el contenido es sacado y dispuesto a una zona para ser compostado.

El detalle de los baños se muestra en la Figura 2.

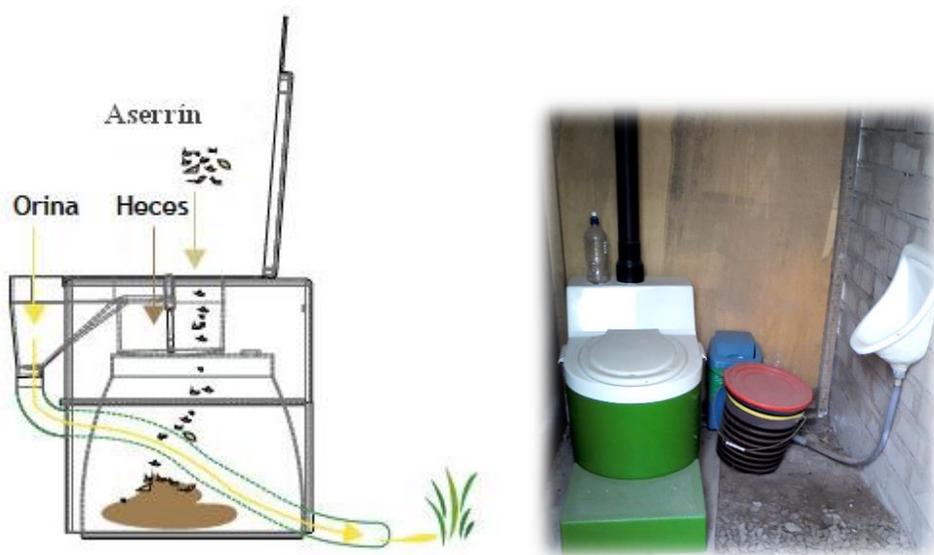


Figura 2: Baño Seco Portátil

Fuente: Adaptado de IPC (2015) y X-.Runner (2016)

En la Tabla 12, se enlista las ventajas y desventajas de ambos sistemas de baños secos.

Tabla 12: Ventajas y Desventajas de Baños Secos

Doble cámara, contenedor fijo	Una cámara, contenedor portátil
VENTAJAS	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mayor reducción de carga de patógeno, según periodo de deshidratación. ✓ No hay costos adicionales de transporte, de tratamiento. ✓ Tiene mayores periodos de almacenamiento y el vaciado es menos frecuente. ✓ El riesgo de esparcir material fecal no tratado disminuye considerablemente. ✓ Baja dependencia de proveedores de servicios externos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Permite mayor flexibilidad en relación a la cantidad de usuarios, con costos relativamente bajos. ✓ El uso de contenedor portátil hace que vaciarlos sea rápido y fácil. ✓ Usa menos espacio, se integra más fácil en casas ya construidas. ✓ Es mayormente aceptado por poblaciones urbanas.
DESVENTAJAS	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las cámaras son movidas cuando sed llenas o cuando sea necesario. ✓ Las cámaras son movidas cuando sed llenas o cuando sea necesario. ✓ El espacio disponible no puede variar, para garantizar un tiempo suficiente de almacenamiento. ✓ El uso incorrecto o excesivo puede generar heces húmedas y con olor. ✓ Los costos de construcción son altos y la cantidad de espacio necesaria es mayor. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No hay reducción significativa de patógenos dentro de los contenedores. ✓ El manejo de heces frescas se realiza por un proveedor de servicios externos. ✓ No hay reducción significativa de patógenos dentro de los contenedores. ✓ El manejo de heces frescas se realiza por un proveedor de servicios externos. ✓ El vaciado frecuente, exige un tratamiento correcto para las heces, pudiendo significar riesgos a la salud. ✓ El costo de recolección y tratamiento pueden ser superiores que la instalación de los baños.

Fuente: Adaptado de Ministerio de Salud Argentina (2017)

2.4.2 Gestión de Residuos de Sanitarios Secos

Según Winblad *et al.* (2009), las preocupaciones principales respecto a la seguridad de la manipulación de las excretas humanas radican en las heces; ya que son vías de transmisión de patógenos al ser humano y por consiguiente de enfermedades.

La Asociación Sanisol (X-Runner 2016), presta servicio de saneamiento básico a familias que carecen de sistemas de alcantarillado en Lima Metropolitana, a través de las instalaciones de

sanitarios secos portátiles, recojo, transporte y tratamiento del material fecal. El material recogido es tratado, mediante el proceso de compostaje, a nivel piloto; presentando problemas debido al correcto tratamiento de estos residuos y obtener un producto sanitizado y apto para ser usado en jardines, producción de planta de tallo alto.

En la Figura 3, se muestra el ciclo del servicio que presta la Asociación Sanisol, a los usuarios de los distritos de Villa El Salvador y San Juan de Miraflores, departamento de Lima.

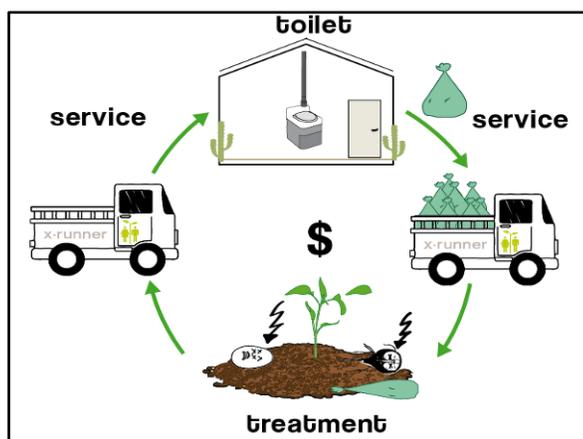


Figura 3: El Sistema de gestión y tratamiento de residuo colectado

Fuente: <http://xrunner-venture.org/es/que-hacemos/#problem> (2016)

El baño seco portátil, está diseñado para extraer del contenedor el material fecal para tratar las excretas humanas, mediante un proceso aeróbico de compostaje, es decir, en presencia de oxígeno; las excretas con el material secante son una mezcla rica en carbono, mediante la oxidación se logra transformar el excremento en un material estabilizado (Winblad *et al.* 2009).

2.5 EL ASERRÍN, MATERIAL SECANTE

El aserrín es un residuo común de los aserraderos y tiene variedades de uso (Prado 2015). Según el informe técnico del 2012: “Diagnostico 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 (MINAGRI 2012), las regiones de Loreto y Ucayali, fueron los principales centros de transformación maderera del Perú; con una producción total

de 2 476 860, 42 metros cúbicos de madera rolliza y 705 447, 28 metros cúbicos de madera aserrada, con un porcentaje de obtención de aserrín de 15 por ciento, por lo tanto la cantidad de aserrín es de: 371 529,1 metros cúbicos de madera rolliza y 105 817,10 metros cúbicos de madera aserrada (Pasache & Sánchez 2013).

El aserrín se usa como material secante en los baños secos, por su capacidad de absorción, siendo rico en carbono y contribuyendo en el balance de la acidez (EPA 2005). El aserrín deshidrata las excretas, logrado por el aporte del material secante y ventilación adecuada.

La composición química del aserrín se basa en la cantidad de celulosa, lignina, sustancias solubles en agua a 95°C y sustancias solubles en disolventes orgánicos. En la Tabla 13, se presenta como ejemplo el aserrín de la madera *Pinus caribaea*, siendo una especie altamente maderable (Prado 2017).

Tabla 13: Composición química del aserrín de *Pinus caribaea* (% de materia 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: Adaptado a partir de Álvarez (1999) y Prado (2017)

Las propiedades físicas del aserrín están en función de las características de un buen sustrato de cultivo; según Avilés *et al.* (2010), en el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, se reportan valores de parámetros físicos de aserrín que pueden ser empleados como insumos para un proceso de compostaje.

Tabla 14: Parámetros físicos de Aserrín y sustratos utilizados en compostaje

Parámetro	Unidad	Aserrín de madera	Cascara 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: Elaborado a partir de Avilés *et al.* (2010) y Prado (2017)

⁽¹⁾ Los valores de referencia señalan que debe ser menor a 0.50 g/cm³ (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 debe estar entre 20 y 30 por ciento (Díaz, 2004).

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

2.6 PROCESO DE COMPOSTAJE

El compostaje es un tratamiento biológico aerobio en condiciones controladas (Soliva *et al.* 2008), en el que intervienen microorganismos aerobios los cuales descomponen la materia orgánica dependiendo de los valores de temperatura (Kalil 2007). La variación de temperatura a lo largo del proceso obedece a tres etapas principales en un compostaje; fase mesófila, fase termófila o de higienización, fase de enfriamiento o mesófila II (Román *et al.* 2013).

El manejo del proceso es importante para obtener un buen compost, por lo cual se necesita generar condiciones, para que los microorganismos tengan un medio óptimo de desarrollo (Neyra 2016). Las condiciones que favorecen el desarrollo de microorganismos aerobios, están dadas por la presencia de oxígeno (aireación), agua, temperatura adecuada, balance de nutrientes, pH, relación carbono / nitrógeno (relación C:N) (Soto y Muñoz 2002) . Según Soliva *et al.* (2008), los parámetros que pueden determinarse en muestras de compost dependen de los componentes iniciales y posibilidades de uso.

2.6.1 Variables Físicas que intervienen en el proceso de compostaje

a. Relación Carbono - Nitrógeno

La relación C/N debe mantenerse en un inicio entre 25 y 35 partes de carbono por una parte de nitrógeno (25:1 y 35:1); si la relación es muy elevada, disminuye la actividad biológica y si es muy baja no afecta el proceso de compostaje, pero se pierde nitrógeno en forma de amoníaco (Picado y Anasco 2005). Según (Cegarra 1994), los microorganismos generalmente utilizan 30 partes de carbono por una de nitrógeno. Los materiales que poseen coloración café y están secos (como hojas otoñales, aserrín y papel) contienen mayor cantidad de carbono (Richard 1993).

La relación C/N, es determinante, debido a que el carbono es fuente de energía y el nitrógeno es un nutriente indispensable para el crecimiento y funcionamiento celular de los microorganismos (Richard 1993). La relación C/N varía en función del material de partida, la relación numérica se obtiene al dividir el contenido de C (porcentaje de carbono total) sobre el contenido de N (porcentaje de nitrógeno total) de los materiales a compostar (Román *et al.* 2013). Las pérdidas de nitrógeno se dan en forma de amoníaco (NH₃), ocasionando un consumo elevado de oxígeno, generando de esta manera condiciones anaeróbicas, por consiguiente, generación de malos olores en la pila de compost (Sepúlveda y Alvarado 2013).

Para el cálculo de una óptima relación C:N, existen hojas de cálculo, como las que plantea la Universidad de Cornell, en el portal web de EARTH Green Colombia. La fórmula para calcular la proporción de la mezcla en su conjunto; es decir, la relación C:N, con que se iniciaría el proceso de compostaje, se expresa como sigue:

$$R = \frac{Q1(C1x(100 - M1) + Q2(C2x(100 - M2) + \dots + Qn(Cnx(100 - Mn))}{Q1(N1x(100 - M1) + Q2(N2x(100 - M2) + \dots + Qn(Nnx(100 - Mn))}$$

Dónde:

R = Relación C:N de la mezcla de abono

Qn = Masa de material n (“tal cual” o “peso húmedo”); n= 1,2,3,...,n

Cn = Carbono (%) del material n; n= 1,2,3,...,n

Nn = Nitrógeno (%) del material n; n= 1,2,3,...,n

Mn = Contenido de humedad (%) de material n; n= 1,2,3,...,n

Fuente: <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/74-principios-basicos-del-compostaje>, 2017

b. Temperatura

El proceso se inicia a temperatura ambiente (etapa mesófila); a medida que comienza la actividad microbiana, la temperatura se eleva hasta valores cercanos a 55 – 60 °C (etapa termófila), siendo una etapa muy importante para la eliminación de agentes patógenos y semillas de hierbas indeseadas. La temperatura va disminuyendo entre 30 – 35°C (etapa de estabilidad), cuando la materia orgánica se va estabilizando; posteriormente se da la humificación, donde se llega a temperaturas mesófilas (Cempre 2014). En la Tabla 15, se presentan las probables variaciones de temperaturas asociadas a las etapas del proceso de compostaje y sus causas.

Tabla 15: Temperatura según etapas del Compostaje

Temperatura (°C)	Causas asociadas	Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente <35°C)	Humedad insuficiente	Bajas temperaturas, pueden darse por la falta de humedad y los microorganismos disminuyen la actividad metabólica, por tanto, la temperatura baja. Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras u otros)
	Material insuficiente	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada no alcanzando temperaturas adecuadas. Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C/N	El material tiene una alta relación C/N por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas, disminuyen su actividad. Añadir material con alto contenido de nitrógeno como estiércol. Demora subida temperatura.
Altas temperaturas (T° ambiente >70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura muy alta, se inhibe la descomposición. Se mantiene la actividad microbiana pero no posibilita activar a los microorganismos hemofílicos y facilitar la terminación del proceso. Volteo y verificación de la humedad (55 - 60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, pasto seco) ralentizando el proceso.

Fuente: Román *et al.* (2013)

c. Potencial de Hidrogeno (pH)

Cordova (2006) y Morales (2003), mencionan que el pH, es un parámetro importante del proceso de compostaje, depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5) es un parámetro de control, así al inicio de la reacción debe bajar a un rango entre 4.5 y 5.5, a medida que la temperatura aumenta, debe llegar entre 8 y 9, mientras que al finalizar el proceso debe acercarse al valor neutro (Morales 2003).

En la Tabla 16, se presenta los valores óptimos para pH en un proceso de compostaje, este parámetro dependerá del tipo de materia inicial.

Tabla 16: Valores óptimos para pH

pH	Causas asociadas		Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
4,5 – 8,5 rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C: N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Fuente: Román *et al.*(2013)

Neyra (2016), describe la variación de pH, en las diferentes fases del proceso así: el pH en la fase mesófila disminuye por la formación de ácidos orgánicos, originados por la acción de microorganismos sobre los carbohidratos, favoreciendo el crecimiento de hongos y la descomposición de la celulosa y la lignina.

En la fase termófila, el pH aumenta hasta valores entre 8 y 9 por la formación de amoníaco, por la desaminación de la proteína y los aumentos fuertes de pH facilitan la pérdida de nitrógeno en forma amoniacal. En la fase de maduración, el valor de pH se sitúa en 8, como consecuencia de la capacidad tamponante que confiere a la materia orgánica el humus que se va formando por consecuencia de la degradación del carbono.

d. Humedad

La humedad, es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, siendo el agua usada como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular (Román *et al.* 2013). El porcentaje de humedad debe encontrarse entre 50 y 80 por ciento, siendo este valor el adecuado para el desarrollo de los microorganismos descomponedores (Brutti 2001). El grado de humedad depende del tipo de materia prima usada en materiales fibrosos o residuos forestales el grado idóneo es de 75 – 85 por ciento, mientras que para material fresco es de 50 – 60 por ciento, por debajo del 40 por ciento de humedad, se reduce la actividad microbiana y por debajo de 20 por ciento el valor es altamente restrictivo (Winblad *et al.* 2009).

Por otro lado, el exceso de agua desplaza el aire de los espacios porosos, produciendo malos olores, debido a que se establecen situaciones anaeróbicas, generando la putrefacción de los materiales (Picado y Anasco 2005).

Según Román *et al.* (2013), cuando se usan sustratos como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos como hortalizas y cortes de césped.

e. Aireación y/o ventilación

El venteo, volteo o aireación es necesario para proporcionar oxígeno suficiente a los microorganismos aeróbicos, para que estos puedan estabilizar los residuos orgánicos (Soliva *et al.* 2008). El proceso de compostaje es aeróbico, por lo tanto, los materiales deben estar sueltos. La frecuencia de los volteos depende de la humedad, textura y estabilidad de la mezcla (Alvarez de la Puente 2006). Se debe tener cuidado de no compactar los materiales, si no se airea bien, los microorganismos no pueden trabajar y se obtiene un producto de baja calidad (Picado y Anasco 2005). El volteo se realiza por varios fines: control de olor, mayor velocidad de transformación y control de insectos. Winblad *et al.* (2009), mencionan que los microorganismos necesitan oxígeno para cumplir su papel de descomposición.

2.7 NORMATIVA INTERNACIONAL DE CALIDAD DE COMPOST

El Perú, no cuenta con normativa referente a procesos de compostaje, con materiales procedentes de baños secos, considerado residuo peligroso “sustancias infecciosas” (DIGESA 2006). Por lo cual se mencionan algunas normas internacionales, que se pueden tomar como punto de referencia y evaluar la calidad del producto obtenido.

2.7.1 Organización Mundial de la Salud

La Organización Mundial de la Salud (OMS), plantea directrices, en la publicación Excreta and Greywater use in agricultura, de plantea directivas para sistemas de tratamiento a gran escala de excretas para uso en la agricultura (OMS 2006). Se controlan huevos de helmintos y bacterias como *E-coli*. y se dan recomendaciones para el tratamiento, almacenamiento de excretas secas antes de su uso a nivel doméstico y municipal; señala además que las excretas son fuente importante de nutrientes en la agricultura.

La OMS (2019), en las Guías para el saneamiento y la salud, en el Capítulo 6, refiere sobre los organismos patógenos relacionados con un manejo deficiente de las excretas, se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17: Organismos relacionados con las excretas - OMS

Patógeno	Importancia para la salud	Vías de transmisión	de	Importancia probable del saneamiento en el control	Duración de la excreción
<i>E.Coli</i> (Entero hemorrágica)	Alto riesgo de mortalidad y secuelas graves	De persona a persona (en agua, alimentos)		Ganado	Alta
<i>E.coli</i> (entero patógena)	Diarrea en lactante	De persona a persona		Ninguna fuente zoonótica evidente	Alta Puede ser prolongada
Entamoeba histolytica	Causa diarrea, disentería amebiana y abscesos hepáticos o abscesos metastásicos	Por los alimentos y agua. De persona a persona, con menor frecuencia.		Ninguno	Alta Hasta 10 ⁷ quistes/día
Ascaris lumbricoides (lombriz intestinal)	Causa helmintiasis humanas, puede producir obstrucción del intestino delgado o grueso, apendicitis, pancreatitis y desnutrición.	Consumo de tierra y alimentos contaminados.		<i>Áscaris lumbricoides</i>	Alta 10 ⁵ huevos/g

Fuente: Adaptado de OMS (2019)

2.7.2 Normativa Austriaca

En la normativa Austriaca Ö-NORM S2023 (2014), hace referencia a los métodos de ensayo y control de calidad en laboratorio de compost en general y del tipo de muestreo a desarrollar en campo. Los resultados se expresan en fracción decimal, con dos repeticiones, reportándose el valor promedio, los valores recomendados se encuentra en la y se observan en la Tabla 18.

Tabla 18: Normativa Austriaca - Métodos de Ensayo y Control de Calidad del Compost Ö-NORM S 2022 y S 2200

Parámetro	Norma	Valor
Físico		
Humedad	Ö-NORM S 2022 y S2200	25-50%
Densidad Aparente	Ö-NORM S 2022 y S2200	< 0,85 kg/litro
Capacidad de retención de agua	Ö-NORM S 2022 y S2200	85 y 120 gramos/100 gramos de MS
Químico		
pH	Ö-NORM S 2022 y S2200	7-8.5
Conductividad eléctrica	Ö-NORM S2022 y S2200	<5.0Ms/cm
Nitrógeno Total	Ö-NORM S2022	≥ 0.8 % de muestra seca
Nitrógeno amoniacal	Ö-NORM S 2022 y S2200	≤0.03% de muestra seca
Nitrato	Ö-NORM S 2022 y S2200	>0.03% de muestra seca
Fósforo	NOM- AA-024	≤0.1% para plantas sensibles al fosforo
Potasio	NOM- AA-024	No determinado
%MO	Ö-NORM S 2022 y S2200	≥ 45 %
Carbono orgánico	Ö-NORM S 2022 y S2200	> 12 % de muestra seca
C/N	Ö-NORM S 2022	35:1 a 20:1
Cadmio	EEC 488/98 Ecolabel	< 1mg/kg
Cobre	EEC 488/98 Ecolabel	< 100mg/kg
Níquel	EEC 488/98 Ecolabel	< 50mg/kg
Plomo	EEC 488/98 Ecolabel	< 100mg/kg
Zinc	EEC 488/98 Ecolabel	< 300mg/kg
Cromo	EEC 488/98 Ecolabel	< 100mg/kg
Mercurio	EEC 488/98 Ecolabel	< 1mg/kg
Arsénico	EEC 488/98 Ecolabel	< 10mg/kg
Microbiológico		
Coliformes totales	Sayden y Eder (2014).	Ausente

<<Continuación>>

Coliformes fecales	Sayden y Eder (2014).	Ausente
<i>Escherichia Coli</i>	Sayden y Eder (2014).	Si sale positivo se recomienda su remediación
<i>Salmonella</i>	Sayden y Eder (2014).	Ausente
<i>Shigella</i>	Sayden y Eder (2014).	Ausente
Análisis complementarios -Madurez del compost		
Prueba de germinación	Federal Government of Germany (2001)	$\leq 80\%$
AT ₄ -mgO ₂ /gMS	Federal Government of Germany (2001)	≤ 7

Fuente: Adaptado de Neyra (2016)

2.7.3 Normativa Chilena

En la Norma Técnica Chilena 2880 (2004), se definen calidades del compost obtenido según clases.

Si el compost es de alta calidad y cumple con exigencias establecidas en la mencionada norma es de clase A. El producto no presenta restricciones de uso, debido a que se somete a un proceso de humificación, no requiriendo ser mezclado.

Para un compost clase B, definido como calidad intermedia, el producto presenta algunas restricciones de uso, requiere ser mezclado con elementos adecuados.

Para un compost inmaduro o subestandar, donde la materia orgánica paso por las etapas mesofilica y termofilica del proceso, no alcanzando las etapas de enfriamiento y maduración necesarias para obtener compost clase A o clase B. Es un producto que se debe mezclar para ser aplicada para no producir hambre de nitrógeno.

2.7.4 Norma Mexicana

La Norma Mexicana (NMX-AA-180-SCFI-2018). Establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales.

La Norma Ambiental para el Distrito Federal (NADF-020-AMBT-2011), el cual establece requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal.

2.7.5 Norma Environmental Protection Agency (EPA) – USA

Las regulaciones publicadas por EPA (1994), establece secciones de gestión y aplicación de los biosólidos, la calidad fisicoquímica, biológica que debe tener los biosólidos para su eliminación y/o disposición en la superficie del suelo.

En Tabla 19, 20 y 21 se presentan parámetros fisicoquímicos y biológicos comparando valores según Normativa Chilena, Normativa Mexicana y valores de EPA, aplicados a la calidad de compost, como producto terminado.

Tabla 19: Valores Fisicoquímicos del compost, según normas de calidad en USA, México, Chile

Parámetro	(USA)	(Chile)	(México)
	EPA 40 CFR 503 (1994)	NCh 2880 (2004)	NADF-020-AMBT (2011)
pH	6.0 – 8.0	6.5 – 8.0	5.0 – 8.5
Materia orgánica	Mayor al 20%	Mayor al 15%	≥ a 20%
Relación C/N	15:1 – 20:1	Menor a 12:1	25:1 – 30:1
Humedad	--	30 – 40%	30 – 45%
Conductividad eléctrica	--	--	3 a 8 dS/m
Tamaño de partículas	Granulado fino	--	≤ a 16 mm
Temperatura	32 °C – 60 °C	45°C – 70°C	--

<<Continuación>>

Nitrógeno total*		--	≥ a 0.5%
Fosforo	2.4 – 5.0 %	> a 1000 ppm	--
Potasio	--	> a 2500 ppm	--
	--		

*Expresado en base a materia seca

Fuente: Adaptado a partir de EPA (1994), NCh 2880 (2004), NADF-020-AMBT (2011)

Tabla 20: Valores Microbiológicos del compost según normas de calidad en USA, México, Chile

Parámetro	Valores límite (*)		
	(USA)	(Chile)	(México)
	EPA 40 CFR 503 (1994)	NCh 2880 (2004)	NADF-020-AMBT (2011)
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	>1000 NMP/g
	Compost Clase B	2 x 10 ⁶ NMP/g	>1000 NMP/g
Salmonella spp	< 3 NMP/4g	< 3 NMP/g	3 NMP/4g
Virus Entérico	< 1 UFP/4g	--	--

*Expresado en base a peso seco; NMP: Numero Más Probable; UFP: Unidad de Formación de Placas

Fuente: Adaptado a partir de EPA (1994), NCh 2880 (2004), NADF-020-AMBT (2011)

Tabla 21: Límites microbiológicos según diferentes normas

Microorganismo	Límite de tolerancia			Colombia 5167/2004
	Chile NCh 2880/2004		EU European Union	
	A	B		
✓ Coliformes fecales	<1000 NMP/g	<2000 NMP/g	<1x10 ³ NMP/g	<1000ufc/g enterobacterias totales
✓ Salmonella spp.	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto

<<Continuación>>

✓ Enterococcus faecalis	Ausente en 1g	Hasta 1 en 1g	1000 NMP/g Ausente en 1g	ND
✓ Huevos viables de Helminto/áscaris	--	--	Algunos países incluyen Plasmodiophora brasicae	Ausente según especie vegetal

Fuente: FAO (2013)

2.7.6 Normativa de Lodos

El Decreto Supremo que aprueba el reglamento para el Reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (D.S. N° 015-2017-VIVIENDA), considera parámetros de higienización para biosólidos de Clase A y de Clase B, deberán cumplir con los parámetros que se muestran en Tabla 22:

Tabla 22: Parámetros de higienización de biosólidos

Parámetros de higienización de biosólidos		
Indicador	Clase A	Clase B
Indicadores de contaminación fecal	<i>Escherichia coli</i> < 1000 NMP/ 1g ST o <i>Salmonella sp.</i> < 1 NMP/10g ST	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en e
Indicador de huevos de helmintos	Huevos viables de helmintos <1/4g ST Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

Fuente: MVCS (2017)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

3.1.1 Ubicación

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Planta Piloto de Producción de Compost X-Runner, ubicada en el kilómetro 17.5 de la Auxiliar de la carretera Panamericana Sur, en dirección sur del centro de Lima, Distrito de Villa El Salvador, Provincia de Lima, Departamento de Lima, Perú.

Geográficamente se encuentra ubicada en la zona 18L, en las coordenadas UTM 8650378.09 N y 285280.88 E, entre los 0 y 165 msnm.



Figura 4: Ubicación de la Planta Piloto de Compostaje X-Runner
Fuente: Imagen Satelital obtenida de Google Eart Digital Globe (2016)

3.1.2 Características climáticas de la zona de estudio

La zona de estudio, Distrito de Villa El Salvador, según la clasificación climática de Köppen corresponde al tipo BWh (B corresponde a seco, W corresponde a desértico, h corresponde a una temperatura media anual mayor a 18 °C, la tasa de evaporación se encuentra entre cero y 11.2 mm, la humedad relativa varía de 85.7 hasta 95 por ciento, llegando algunas veces en invierno hasta 100 por ciento; los vientos en el Sur de Lima soplan en dirección sureste en verano, otoño e invierno con una velocidad que varía entre tres punto seis a cuatro punto dos metros por segundo (SENAMHI 2014).

3.2 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS INSUMOS

Las características de los insumos para las unidades de compostaje se determinaron a partir del cálculo de la relación C/N teórica inicial, la cantidad en peso de mezcla de excretas humanas deshidratadas, procedentes de baños secos, con diferentes porcentajes de aserrín, los cuales están en función, del uso de material secante por parte de los usuarios, la cantidad de usuarios.

3.2.1 Material Secante – Aserrín

El material secante, aserrín, se obtuvo de las carpinterías cercanas, siendo considerado desecho, se adquiría en peso, el saco de la misma que tuvo un análisis del contenido de Carbono y Nitrógeno. El aserrín, se preparaba previamente en contenedores, tanto, grandes y pequeños, el material secante se llenaba, forrando los envases con papel krap y en bolsas biodegradables, importadas desde Chile, con el fin de evitar el traslado de contenedores y contacto con las excretas deshidratadas frescas.

Los pesos de los contenedores grandes fueron de 7 a 8 kg, y pequeños de 3 a 4 kg de aserrín, para su posterior distribución a los usuarios, dependía de la cantidad de integrantes por familia, el tamaño de los contenedores de material secante se muestra en Figura 5.



Figura 5: Contenedores con material secante en almacén

3.2.2 Heces humanas deshidratadas con aserrín

Las heces humanas deshidratadas, se recogieron mezcladas con aserrín (material secante) después del uso de los baños secos, se recogían después de una semana. En Figura 6, se muestra el ingreso de los contenedores a la planta piloto.



Figura 6: Contenedores con excretas deshidratadas mezcladas con material secante, para formación de pilas

Las heces deshidratadas con aserrín eran las heces frescas mezcladas con aserrín. Por razones de sanidad, se tuvieron que pesar juntos e incluirlos en la instalación de los tratamientos.

Se usó compost maduro de excretas de vaca, con el fin de activar la descomposición de los materiales e insumos instalados, a su vez para cubrir las pilas instaladas, evitar la presencia de vectores como las moscas, mosquitos, etc. y reducir la emisión de olores.

Las hojas secas, provenientes de una donación de la Municipalidad de Lima, se usaron para recubrir las pilas instaladas, por el lapso de una semana; actuando como paraguas, lo cual permitió el ascenso de temperatura e indicando el inicio de la descomposición de la materia orgánica.

3.2.3 Pelos de vacuno

Los pelos de vacuno se obtuvieron después del proceso de pelambre enzimático de la empresa de curtiembre Helhiantus SAC, dándole un tratamiento previo, para neutralizar el valor de pH, para tal fin, se siguió el siguiente procedimiento:

En un botal, se cargaron los pelos de vacuno, se midió el valor de pH alcanzando un valor de 12.0, indicando la alta carga de sal (cloruro de sodio). Para bajar el valor de pH, se adicionó reactivos químicos (ver Anexo 1 A y B), con el fin de disminuir el valor de pH, “Tandescal BASE” en una concentración de 0.5 por ciento en peso, lavándose con abundante agua, disminuyendo el pH a un valor de 10.0, por lo tanto, se agregó 1.0 por ciento del reactivo químico, “Tanplex FLA”, en periodos cortos de tiempo de 15 minutos, hasta obtener un pH cercano al neutro (pH=7) siendo de 7.05; se observa en Figura 7.



Figura 7: Adición de reactivo Tandestal Base y Tanplex FLA

Posteriormente se procedió con el lavado de los pelos a chorro con abundante agua potable, hasta obtener un valor de pH igual a 7.05, la misma que era trasladada a la zona donde se instalaran las unidades de compostaje, desde el Distrito de Chorrillos hasta Km 17.5 de Antigua Panamericana Sur.

3.3 FORMULACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA PILA DE COMPOST

3.3.1 Determinación de la relación Carbono Nitrógeno (C/N) inicial

La instalación de los tratamientos estuvo en función de la disposición de excretas humanas, recogidas semanalmente, los cuales, para la instalación de los tratamientos, son pesados y posteriormente mezclados con el pelo de vacuno, hojas secas, compost maduro. Con los pesos obtenidos se calcula la relación C/N.

El cálculo de la relación C/N inicial, se desarrolló según la ecuación de la Universidad de Cornell:

$$R = \frac{Q1(C1x(100 - M1) + Q2(C2x(100 - M2) + \dots + Qn(Cnx(100 - Mn))}{Q1(N1x(100 - M1) + Q2(N2x(100 - M2) + \dots + Qn(Nnx(100 - Mn))}$$

Donde:

R → Relación C/N de la mezcla

Qn → Masa de insumos; n=1,2,3,...,n

Nn → Porcentaje de Nitrógeno del insumo; n=1,2,3,...,n

Cn → Porcentaje de Carbono del insumo; n=1,2,3,...,n

Mn → Porcentaje de humedad del insumo; n=1,2,3,...,n

La relación C:N se halló en base a los pesos de los insumos considerados para la instalación de los tratamientos, se muestra en la Tabla 23, los mismos que están expresados en porcentajes.

Tabla 23: Datos para cálculo de relación C:N teórico por tratamiento

Porcentajes	Excretas (%)	Aserrín (%)	Pelos (%)	Hojas secas (%)	Compost maduro (%)
Carbono (Cn **)	47.5	40.0	39.6	48.6	43.0
Nitrógeno (Nn **)	6.0	0.1	7.7	0.9	2.6
Humedad (Mn **)	73.0	5.0	64.6	38.0	67.5

**Datos de web de EARTH Green Colombia

Tabla 24: Relación C:N teórica por tratamiento

Código	R
XR-n	30.9313409
XRA-n	25.5269809
XRb-n	28.1409237

En la Tabla 24, se presentaron los valores de “R”, calculados que determinaron la relación C/N teórica, se calculó previo a la instalación de los tratamientos. Para el cálculo se usaron datos teóricos, según los insumos considerados, que se detalla en la Tabla 24. Los datos, sirvieron como indicador de la formulación de los tratamientos.

3.3.2 Formulación del diseño de mezclas

Para la investigación se instalaron tres mezclas, denominados tratamientos con sus respectivos códigos, como se observa en la Tabla 25.

Tabla 25: Tratamientos Generados con sus Respectivos Códigos

Tratamiento	Código
1. Control	XR – n
2. Con 5 por ciento de pelo de vacuno	XRA – n
3. Con 3 por ciento de pelo de vacuno	XRb - n

La pila con código (XR-n), es la pila control o blanco, en su composición no se consideró ningún porcentaje de pelo de vacuno. La pila que corresponde al código (XRA-n), se consideró un cinco por ciento de pelo de vacuno y la pila que corresponde al código (XRb-n), se consideró tres por ciento de pelo de vacuno.

Las unidades de compostaje que se formaron fueron un total de tres, a partir de las heces humanas deshidratadas, usando material secante (aserrín), procedentes de baños secos, mezcladas con diferentes porcentajes de pelo de vacuno procedentes del proceso de pelambre de las curtiembres.

Los insumos adicionados, con los que se contaba al momento de instalar las unidades de tratamiento, se presentan en Tabla 26.

Tabla 26: Tratamientos Generados con sus respectivos insumos

PILA		Insumos	Pelo Adicionado	Peso de Pelo de vacuno	Excretas mezcladas con aserrín	Peso de pila
N°	Código	Descripción	%	kg	kg	kg
1	XR-n	Se le adicionó compost maduro, hojas secas.	0.0	0	800.0	872.0
2	XRA-n	Se le adicionó compost maduro, hojas secas, pelos de vacuno, papel krap.	5.0	50	701.5	1012.5
3	XRB-n	Se le adicionó compost maduro, hojas secas, pelos de vacuno, papel krap.	3.0	50	600.0	932.0

La columna Peso de Pila, define el peso con el cual se instalaron las pilas e iniciaron el proceso de compostaje, las mismas que estuvieron sujetas a la disposición de heces mezcladas con aserrín, lo que condiciono en el tiempo de instalación de los tratamientos, los cuales demoraron:

- Para el tratamiento control “XR-n”; el tiempo que demoro su instalación fue de cuatro semanas, hasta alcanzar un peso de 872.0 kg.
- Para el tratamiento con 5 por ciento de pelo “XRA-n”; el tiempo que demoro fue de cuatro semanas, hasta alcanzar el peso de tratamiento de 1012.5 kg.
- Para el tratamiento con 3 por ciento de pelo “XRB-n”; el tiempo que también fue de cuatro semanas, el peso que alcanzó fue de 932.0 kg.

3.4 INSTALACION DE LAS PILAS DE COMPOST

Se instalaron tres unidades de compostaje a escala piloto, estas se construyeron dentro de la planta de X-Runner. En lo referente al tamaño de las pilas, se consideró la guía de Román *et al.* (2013), donde se establece dimensiones de las pilas.

3.4.1 Dimensiones de las Pilas

El tamaño de las pilas estuvo en función de la disposición de excretas humanas deshidratadas, las cuales eran recogidas semanalmente. En la Figura 8, se muestra el esquema de instalación de las unidades de compostaje.

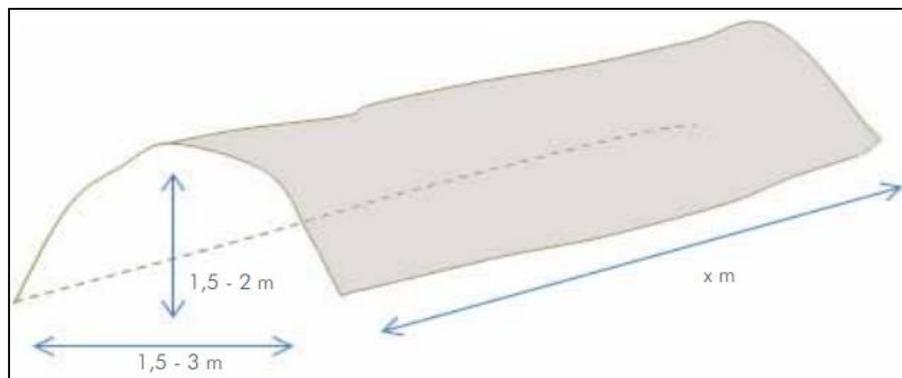


Figura 8: Esquema de las Unidades de Compostaje

Fuente: Román *et al.* (2013)

La altura, de las unidades de compostaje se evaluó en función del humedecimiento, la ventilación de las mismas y el ascenso de la temperatura.

Las pilas de tratamiento, se instalaron en un sistema abierto, a desnivel en pilas de 2.0 m x 1.5 m x 1.5 m (largo, altura y ancho), las especificaciones de cada pila y/o tratamiento instalado inicialmente se presenta en Tabla 26, donde se detalla el código, la cantidad de insumos y el peso inicial aproximado de cada pila.

3.4.2 Infraestructura de las pilas

La infraestructura de las unidades de compostaje, por tratamiento se organizó de la siguiente manera:

- A. La base de las unidades de compostaje, se impermeabilizaron con plástico de densidad alta, cuyas dimensiones fueron de 4 metros de ancho por 8 metros de largo; no teniendo la necesidad de tener una plataforma o base firme, como losa con vaciado de concreto. Se buscaba asegurar la retención del excedente de agua, posterior al humedecimiento, a su vez por la mínima generación de lixiviados.
- B. El humedecimiento de las pilas se desarrolló con riego usando una manguera, debido a la poca precipitación que presenta la ciudad de Lima, no fue necesario considerar drenajes entre pila y pila.

C. Para el volteo, se consideró como indicador el ascenso de temperatura, la cual era medida y registrada diariamente, entre las 9 a 11 de la mañana, si el tratamiento estaba sobre 60°C, se dejaba transcurrir un día entero; transcurrido las 24 horas se volteaba, debido al compost y la homogenización del proceso. A su vez, como contienda se organizó los volteos por fechas según eran instalados los tratamientos.

El área se techo para reducir el ingreso de aves (palomas) sobre las pilas. Así mismo el suelo, se recubrió con plásticos gruesos, con el objetivo de evitar la infiltración, pérdida del agua, escurrimiento de lixiviados, se observa en Figuras 9.



Figura 9: Techado de las Pilas

3.4.3 Armado de los tratamientos

La secuencia de instalación de los tratamientos se dio con la preparación de las heces deshidratadas mezcladas con aserrín, las cuales fueron pesadas, se adiciono los insumos, que también fueron pesados, hojas secas, compost maduro, los detalles de los pesos se muestran en Tabla 27.

Tabla 27: Tratamientos, cantidades e insumos

PILA		Pelo Adicionado	Heces deshidratadas con aserrín	Pelos de vacuno	Hojas secas	Compost maduro	Otros*	Peso de pila
N°	Código	%	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	XR-n	0.0	800.0	0.0	70.0	1.0	1.0	872.0
2	XRA-n	5.0	701.5	50.0	100.0	160.0	1.0	1012.5
3	XR-n	3.0	600.0	50.0	100.0	120.0	2.0	932.0

* Otros (Bolsa biodegradables, papel kraft)

El pesado de las heces recogidas en contenedores, para posterior instalación de las pilas se muestra en la Figura 10:



Figura 10: Pesado de contenedor pequeño con heces deshidratadas y material secante

La instalación de las pilas fue progresiva, en función de la disposición de las excretas humanas deshidratadas, las cuales se recogían semanalmente en un peso promedio de 180 kg. La secuencia de instalación de las pilas se muestra a continuación:

A. Tratamiento “**XR-n**” – Tratamiento Control

El tiempo de instalación fue de cuatro semanas. En su formulación no se consideró ningún porcentaje de pelo de vacuno, el peso de excretas humanas deshidratadas fue de 800 kg. Se le añadió hojas secas procedentes de los parques de la Municipalidad de Lima, siendo una donación, ascendiendo a un peso 70 kg, la misma que sirvió de material de cobertura del tratamiento instalado. El compost maduro, en un peso de 1 kg se consideró con el fin de activar el proceso de degradación, el mismo que era compost de excretas de ganado vacuno, otros materiales considerados fue papel kraft, el cual se usaba para sostener el material secante “aserrín” en los contenedores de plástico. El peso total de instalación del tratamiento control fue de 872.0 kg.

B. Tratamiento “**XRA - n**” - Tratamiento con 5% de pelo de vacuno

Su instalación, demoro cuatro semanas. En su formulación se consideró cinco por ciento de pelo de vacuno, ascendiendo a 50 kg, el peso de excretas humanas deshidratadas fue de 701.50 kg.

Se le añadió hojas secas procedentes de los parques de la Municipalidad de Lima, un peso de 100 kg, el mismo que sirvió de material de cobertura del tratamiento instalado.

El compost maduro, se añadió en un peso de 160 kg, con el fin de activar el proceso de degradación, el mismo que era compost de excretas de ganado vacuno, otros materiales considerados fue papel kraft, el cual se usaba para sostener el material secante “aserrín” en los contenedores de plástico, bolsas biodegradables que se usaban como contenedor para el material secante. Esta etapa coincidió, en que se daba el cambio de papel kraft a bolsas biodegradables, para contener al material secante “aserrín”.

El peso total de instalación del tratamiento con código “XRA- n” fue de 1012.0 kg.

C. Tratamiento “**XRB - n**” – Tratamiento con 3% de pelo de vacuno

Su instalación demoró cuatro semanas, con cinco por ciento de pelo, en su formulación se consideró un porcentaje de pelo de vacuno del 3 por ciento, siendo el peso de pelo de vacuno de 50 kg. El peso de excretas humanas deshidratadas fue de 600 kg. Se le añadió hojas secas procedentes de los parques de la Municipalidad de Lima, siendo una donación, ascendiendo a un peso 100 kg, la misma que sirvió de material de cobertura del tratamiento instalado. El compost maduro, en un peso de 120 kg, el mismo que era compost de excretas de ganado vacuno, otros materiales considerados fue papel kraft y bolsas biodegradables, los cuales se usaron para sostener el material secante “aserrín” en los contenedores de plástico. El peso total de instalación del tratamiento control fue de 932.0 kg.

3.5 MONITOREO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

El monitoreo del proceso se basó en recojo de muestras a partir de tres cortes de perfil por pila de compost, según la Norma Austriaca (Ö-NORM) S 2023, denominada “Métodos de Ensayo y Control de Calidad del Compost” se usó el “Método de Cuarteo”.

3.5.1 Niveles de Oxígeno y requerimiento de volteos

La importancia del volteo o aireación tuvo la finalidad de otorgar la cantidad de oxígeno necesaria para el proceso de descomposición, la cual estaba en función del ascenso de la

temperatura de las unidades de compostaje, con la reducción del oxígeno atmosférico y generación de emisiones de CO₂ (Román *et al.* 2013).

Para la pila control “XR-n” y los dos tratamientos “XRA-n” y “XRB-n”, se organizó los volteos en función de las fechas de muestreo; el primer volteo fue una semana después de culminar la instalación completa de cada tratamiento.

La temperatura para el volteo debería estar sobre 65°C, en la etapa termófila, después los volteos serán dos veces por semana hasta que la temperatura este en valores menores a 50°C, hasta alcanzar la etapa de madurez aproximadamente por debajo de los 30 °C.

Se determinó que los volteos iniciaban una semana después de instalados cada tratamiento, a su vez se buscó que coincidieran con el recojo de muestra, en las especificaciones del volteo, se indicó de manera detallada la organización de los volteos según fechas de muestreo y días de recojo de muestras.

Para la ventilación de los tratamientos instalados, se colocaron tubos de PVC, se buscaba optimizar el ingreso de aire al interior de las pilas de compost, como se muestra en Figura 11.



Figura 11: Volteo de Unidades de compostaje

3.5.2 Control de Temperatura

El parámetro que se midió en campo fue la temperatura, se usó un termómetro digital con extensión de electrodo con punta metálica (rango de cero a 100 °C). Las mediciones se efectuaron diariamente entre las 9:00 am hasta 11:00 am; considerando el punto de inicio el día del primer muestreo de las pilas de compostaje, hasta la culminación del proceso, por un periodo de seis meses.

La medición de temperatura de cada pila se realizó haciendo un hoyo en cuatro puntos diferentes a profundidades medias que va desde 40 cm y 60 cm, reportándose como resultado el promedio de las cuatro medidas.



Figura 12: Apertura de hoyo para registro de temperatura

3.5.3 Control de humedad

Se determina, según norma Ö-NORM S2023 (2014). El contenido de humedad se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{100 - (\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso húmedo}}$$

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje hasta una fracción decimal; el valor promedio osciló en no más de ± 2.5 por ciento. El número de repeticiones fue de dos. El valor recomendado según Ö-NORM, se encuentra entre 25 – 50 por ciento de humedad.

3.5.4 Generación de gases

La emisión de gases se evaluó con el equipo portátil de lectura de gases de marca “Landtec”, modelo GEM-500, como se muestra en la Figura 13b. La muestra se colectó en bolsas de polipropileno (25x50), succionando el gas de los tratamientos de compost con un inflador adaptado para coleccionar muestras de gases, la misma que era cerrada herméticamente en la parte de la boquilla, y recubierta con cinta de embalaje; posteriormente era transportada hasta el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y realizar su lectura. Las muestras de gases se recogían el mismo día de recojo de muestras de análisis fisicoquímico de compost, a una altura media de la pila. En la Figura 13, se presenta el cómo se realiza el muestreo de gases y el Equipo Portátil de Lectura de Gases, que se utilizó.



Figura 13: Muestreo de gases en pila de compost y posterior lectura en laboratorio

3.5.5 Duración del proceso

La cantidad de muestras por cada tratamiento, durante el proceso de muestreo fue de diez muestras, haciendo un total, por los tres tratamientos, de treinta muestras, que ingresaban a

laboratorio para posterior análisis; durante los meses de julio a diciembre del año 2013 y los meses de enero, febrero del año 2014.

3.5.6 Instrumentos de colecta de datos

Los instrumentos para la toma de muestras en la Fase de campo fueron:

a La fase de campo

Se determina por la etapa de muestreo

- Bolsa de polietileno (muestras de gases 25x50 y compost 10x15)
- Termómetro digital con punta metálica (+/- 1°C)
- Cooler (preservar muestras)
- Equipos de protección personal (EPP), adecuados para el muestro, para los volteos realizados (mameluco de protección, guantes quirúrgicos, tapabocas con filtro, lentes, gorra, botas de hule)

b Materiales, equipos y reactivos

Materiales, equipos y reactivos para la fase de laboratorio.

Los materiales, se enlistan en la Tabla 28:

Tabla 28: Materiales de Laboratorio

Análisis fisicoquímicos	Análisis microbiológicos y parasitológicos
✓ Frascos de plástico de 50, 250, 500, 1000 ml	✓ Bolsa de polietileno (10x15)
✓ Frascos de vidrio de 50, 100, 500 ml	✓ Frascos de plástico de 50, 250 ml
✓ Matraz Erlenmeyer de 50, 100, 250 ml	✓ Frascos de vidrio de 50, 100 ml
✓ Vaso de precipitado de 10, 25, 50, 200 ml	✓ Matraz Erlenmeyer de 50, 100, 250 ml
✓ Embudos de plástico	✓ Vaso de precipitado de 200 ml
✓ Probeta de plástico 500 ml	✓ Espátulas
✓ Gradilla	✓ Pipeta de vidrio de 1, 5, 10 ml
✓ Tubos de ensayo	✓ Micropipeta

<<Continuación>>

✓ Recipientes graduados de plástico (medir capacidad de retención de agua)	✓ Pipeta Pasteur
✓ Papeles filtro (fino y grueso)	✓ Vaso de vidrio cónico
✓ Espátulas	✓ Placas Petri descartables (Diámetro 90 mm)
✓ Imán para agitador magnético de 2 cm de longitud.	✓ Pinza metálica
✓ Pipeta de vidrio 1, 5, 10 ml	✓ Mechero de alcohol
✓ Guantes quirúrgicos	✓ Guantes quirúrgicos
✓ Bandejas de secado	✓ Respiradores

Equipos y reactivos utilizados en laboratorio se enlistan en Tabla 29 y Tabla 30.

Tabla 29: Equipos de Laboratorio

Equipos de laboratorio	
Análisis fisicoquímicos y Sustancias húmicas y fúlvicas	Análisis microbiológicos y parasitológicos
- Lectura de gases (Marca Landtec, Modelo GEM-500)	✓ Centrifuga
- Potenciómetro (Marca Hach)	✓ Microscopio electrónico Marca Honyu, modelo XSZ – 107BN, ampliación desde 40X – 1000X.
- Conductímetro (Marca Hach)	✓ Estufa (Incubadora). Marca Memmert, modelo INB 500
- Balanza analítica (+/- 0.0001 g) Marca	✓ Cabina de seguridad biológica BioBase, Clase II, tipo A2. Marca Dauerharft, modelo BSC – 2000 II A2 – X.
- Agitador magnético. Marca	✓ Mechero de mesa
- Estufa	✓ Esterilizador Marca Memmert, modelo SNB 200.
- Mufla	✓ Autoclave tipo olla, capacidad 25 litros. Marca All American.
- Espectrofotómetro (Marca	
- Refrigerador	
- Bomba de vacío (Marca	
- Licuadora	
- Centrifuga (Marca	
- Campana extractora	
- Cámara fotográfica	

Tabla 30: Reactivos de Laboratorio

Análisis fisicoquímicos y de sustancias húmicas y fúlvicas	Análisis microbiológicos y parasitológicos
- Agua destilada	✓ Agua destilada
- Solución de hidróxido de sodio al 80%	✓ Agar Mac Conkey
- Ácido clorhídrico 0.05 N	✓ Agar EMB
- Cloruro de calcio dihidratado	✓ Agar SS
- Soda caustica al 80%	✓ Indicador Fenolftaldehina
- Hidróxido de sodio	
- Indicador Fenolftaldehina	
- Indicador Anaranjado de metilo	
- Ácido sulfúrico concentrado	

3.6 CONTROL DE PRODUCTO FINAL

3.6.1 Control Agronómico

Los parámetros que se controlaron en compost terminado estuvieron en concordancia con normativa internacional: de Estados Unidos EPA 40 CFR 503 (1994), normativa de Chile NCh 2880 (2004), norma mexicana NADF-020-AMBT (2011), reuso de lodos D.S. N° 015-2017-MVCS (2017).

Los parámetros controlados y evaluados en laboratorio y campo se presentan en la Tabla 31, las cuales se clasificaron en cuatro grupos.

Tabla 31: Parámetros analizados en laboratorio en las pilas de compostaje

Ensayo	Parámetros a evaluar	Método de análisis	N° de
		Laboratorio	muestras
Gases	Lectura de gases: CO ₂ , Oxígeno.	Equipo portátil de lectura de gases	10 / por cada tratamiento
Fisicoquímicos	pH, Conductividad Eléctrica, temperatura, densidad, relación C/N, Nitrógeno total, LOI, capacidad de retención de agua.	Norma Austriaca (Ö – NORM) S 2023	10 / por cada tratamiento

<<Continuación>>

Microbiológicos	<i>Coliformes totales, coliformes fecales, Escherichia coli,</i>	NTP N° 37 - 2003	03 / por cada tratamiento
Parasitológicos	Protozoos (Entamoeba histolytica, Blastocystis hominis) Huevos de helmintos	NTP N° 37 - 2003	03 / por cada tratamiento

Los análisis fisicoquímicos, se realizaron en el laboratorio de Análisis Químico y en el Centro de Investigación en Química, Toxicología y Biotecnología Ambiental “CIQTOBIA”, de la Facultad de Ciencias de la UNALM.

3.6.2 Evaluación de Potencial de Hidrógeno y Conductividad Eléctrica

El procedimiento se desarrolló según la norma ((Ö-NORM)S2023 2014), realizando la lectura con un potenciometro Hach, para el valor de pH y con un conductimetro para el valor de conductividad electrica. La medición se llevó a cabo con una precisión de un decimal, referente a 20°C, con una oscilación de ± 2.5 %, para pH y para la conductividad eléctrica el resultado se da en mS/cm con precisión en un decimal referente a 20°C, con una oscilación de \pm cinco por ciento del valor medio, según Ö-NORM el rango de valores obtenidos esta entre: Compost tipo A < 4,0 mS/cm, para compost tipo B < 2.0 mS/cm.

3.6.3 Evaluación de Relación carbono/ nitrógeno

Para el cálculo de la relación C/N, se usó la metodología: ASTM D 5042 – 90, método de análisis aproximado de carbono. Se determinó el nitrógeno total de la muestra se utilizó el análisis por digestión Kjeldahl.

La metodología ASTM D 5042 – 90, se evaluó de forma indirecta, se evaluó previamente parámetros como: % Humedad, % ceniza, perdidas por calcinación (LOI), porcentaje de carbono.

3.6.4 Nitrógeno total

El contenido de nitrógeno total se determinó como nitrógeno Kjeldahl, mediante destilación de vapor de agua. El nitrógeno total se determinó sumando nitrógeno Kjeldahl, nitrógeno amoniacal y nitrógeno en forma de nitrato.

La determinación de nitrógeno Kjeldahl se introdujo aproximadamente un gramo de muestra de análisis, adicionando 10 ml de ácido sulfúrico concentrado; digestando toda la solución por un tiempo de 2 – 4 horas, la temperatura será de 650 °C, la solución quedó lechosa.

La muestra digestada y fría, se destiló con vapor de agua con concentración de ácido bórico al 2 por ciento, con unas gotas de indicador mixto anaranjado de metilo y solución de soda caustica al 80%. El tiempo de destilación aproximado fue de 5 minutos. La solución resultante es amonio borato se tituló con solución de ácido clorhídrico al 0.01 M hasta que vire de color rosa a azul, se calculó el contenido de nitrógeno mediante el volumen gastado de ácido clorhídrico usado, según la fórmula:

$$NKjeld (\% MS) = \frac{0.14007 \times \text{ácido clorhidrico gastado (ml)} \times 100}{\text{Peso (g)} \times (100 - \text{contenido restante de agua})}$$

El nitrógeno en sus diferentes formas como nitrógeno amoniacal (NH₄ – N), nitrógeno en forma de nitrato, se analizó según el procedimiento Ö-NORM S 2023, donde la muestra se secó previamente al aire libre.

3.6.5 Evaluación de densidad

La densidad se evalúa con muestra fresca; a través del método estimado donde se usa una probeta de plástico (forma de cilindro). Se pesa y se llena con la muestra fresca, donde el cilindro debe sacudirse 10 veces y la diferencia de altura del solido

Se calcula reemplazando en la siguiente formula:

$$\text{Densidad } \left(\frac{kg}{L} \right) = \frac{\text{Peso de la muestra fresca (kg)}}{\text{Volumen de la muestra fresca (L)}}$$

El resultado se da en kg/litro, el rango de valores obtenidos según Ö-NORM, es de <0.85 kg/litro.

3.6.6 Evaluación de Perdidas por Calcinación (LOI)

Se evalúa reemplazando en la siguiente formula:

$$LOI (\%MS) = \frac{(\text{Peso seco} - \text{Peso extinguido})}{\text{Peso seco (L)}} \times 100$$

El tamaño de la muestra a analizar es de ≤ 0.63 mm. Siendo el número de repeticiones de 02 (Ö-NORM S 2023)

3.6.7 Evaluación de Capacidad de Retención de Agua

Se llenan ligeramente con muestra fresca dos recipientes cilíndricos con fondo de tamiz ($\emptyset = 100$ mm, h=130 mm). Para compactar el material se alzaron los recipientes diez veces por unos cinco cm y se les deja caer. Se les lleno de nuevo hasta el margen, compactándolos nuevamente con diez golpes. Se colocaron los cilindros en un baño de agua, que se llenó lentamente hasta cinco milímetros por debajo del margen superior del cilindro; los cilindros permanecieron en este baño toda la noche.

Los cilindros al estar saturados de arena se ubicaron en un lecho de arena saturado de agua a 10 cm de ancho, cubriéndolo con una hoja de papel aluminio, para evitar las pérdidas de evaporación; el lecho de arena específico, genera una tensión aspiradora de 1000 Pascales. Después de 3 horas, las muestras se colocaron en bandejas de aluminio secándolas a 105 °C.

Se calculó según la siguiente formula:

$$\text{Capacidad de retencion de agua (\%MS)} = \frac{100 - \text{Peso saturado}}{\text{Peso seco}} - 100$$

El valor recomendado según Ö-NORM S 2022, está entre 85 y 120 gramos/ 100 gramos de materia seca (MS).

3.7 CONTROL MICROBIOLÓGICO BACTERIAS Y PARASITOS

Los análisis microbiológicos y parasitológicos se realizaron en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Obstetricia y Enfermería de la Universidad San Martín de Porres (USMP), Lima, según metodología de Holguín *et al.* (2000).

La cantidad de muestras evaluadas por todos los parámetros propuestos en la investigación, fueron de seis por cada tratamiento, las cuales se recogieron, en cooler a una temperatura de $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$, acondicionando con gel refrigerante.

Para los ensayos microbiológicos y parasitológicos se tomaron tres muestras con dos repeticiones según el proceso de descomposición, siendo estos:

- Inicio del tratamiento, se recogió muestra siete días después de instalados los tratamientos.
- Periodo intermedio, se recogió muestra el día ochenta, es decir, en la semana once de iniciado el tratamiento.
- Periodo de maduración del compost, se recogió muestra a los ciento setenta días, siendo la vigésimo tercera semana.

Evaluación de Coliformes totales y Coliformes fecales

Se desarrolló el método tradicional, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

- Se preparó la muestra diluyendo la muestra de compost con 20 ml de agua destilada, homogenizando las soluciones.
- Se transfirió 1 ml de solución de compost en placas Petri, siendo por triplicado.
- Se sembró por estrías en el medio Agar Mac Conkey, la muestra tomada con una asada.
- Se incubó las placas con inóculo a $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 48 horas.
- Posteriormente se realizó el recuento de unidades formadoras de colonia por gramo, teniendo en cuenta el rango establecido para estos microorganismos.

La prueba confirmativa:

- Para la confirmación de la prueba de coliformes, en placas que presentaron presencia de turbidez, se sembró por estrías una asada de cada una de las muestras a placa con medio de cultivo Agar Eosina Azul de Metilo (EMB).
- Se incubaron las placas invertidas a $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.
- Se realizó la lectura de las unidades formadoras de colonias típicas de coliformes (fermentación de lactosa).

Evaluación de *Escherichia Coli*

El método tradicional para determinar ausencia/ presencia, se siguió el siguiente procedimiento:

- Se pesó 10 gramos de muestra y se colocó en 90 ml de caldo tripticasa de soya, el cual se incubó durante 6 a 8 horas a 35°C .
- Se tomó 1 ml de la muestra anterior y se transfirió a un tubo que contenía 10 ml de caldo EC. Este se incubó a 37°C durante 18 horas.
- Se realizó un aislamiento por agotamiento en cajas con agar EMB y Mac Conkey y se incubó a 37°C durante 24 – 48 horas.
- Después del proceso de incubación se observaron las colonias características (lactosa positiva), realizando la lectura de unidades formadoras de colonias por gramo.

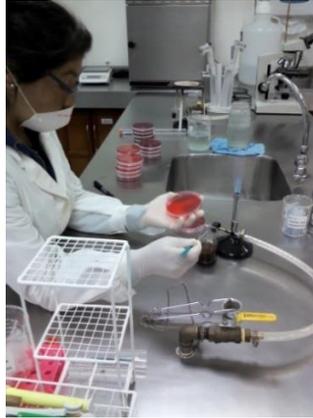


Figura 14: Siembra en placas

Determinación de parásitos

El método que se empleó fue el “Método de sedimentación rápida o concentración por sedimentación sin centrifugación”, consiste en que todas las formas parasitarias sedimentan espontáneamente cuando se suspenden en agua, siendo un medio menos denso y adecuado. Con este método se buscó detectar quistes de protozoarios y huevos de helmintos.

Procedimiento:

- Se pesó la muestra 3 a 6 gramos, se homogenizo con 10 a 20 ml de agua filtrada.
- Se colocó la coladera y dos capas de gasa en la abertura del vaso y a través de ella se filtró la muestra homogenizada.
- Se retiró la coladera con la gasa y se adiciono nuevamente agua filtrada hasta una altura de un centímetro por debajo del borde del vaso. Se dejó sedimentar la muestra por unos 30 minutos.
- Se decantó las 2/3 partes del contenido del vaso, se agregó nuevamente agua filtrada y se repitió el procedimiento cuatro veces, donde el sobrenadante quedo limpio.
- El sedimento se transfirió a una luna de reloj, con la ayuda de una pipeta Pasteur.

- Se observó en microscopio, Marca L2000, de origen chino hasta con un aumento espectral de 1000.



Figura 15: Vista de parásitos en pantalla

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La evaluación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y parasitológicos, se complementaron con el análisis estadístico, para ello se usó el software gratuito InfoStat versión 2016; evaluando las medias ajustadas y errores estándar con los tres tratamientos, buscando obtener las diferencias significativas. Los resultados fueron analizados usando el Software Info Stat versión 2016.

- Se determinaron las medidas de ajuste del modelo, para determinar la diferencia significativa entre tratamiento propuestos, para los resultados de la relación C:N.
- Para la temperatura, se realizó el análisis de supuestos básicos, con homogeneidad de varianzas, para determinar la diferencia significativa entre los tres tratamientos.
- Para los valores de potencia de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (CE), humedad (Hu), Nitrógeno amoniacal (NH_4N), en los tres tratamientos, se evaluaron con pruebas de hipótesis marginales con ($\alpha=0.05$ y $p > 0.05$) y medias ajustadas para calcular el error estándar.

Se realizaron los gráficos de tendencia de los parámetros evaluados, los cuales se desarrollaron con el asiente de Office en hoja Excel, versión 2010.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL MONITOREO DE GASES Y AIREACIÓN

El porcentaje de emisión de dióxido de carbono (CO₂), se da por la oxidación del carbono, Román *et al.* (2013), en los procesos de compostaje instalados se presenta en la Tabla 32.

Tabla 32: Lectura de % de CO₂ por tratamientos instalados

	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
Tiempo	1 semanas	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semanas	7 semanas	11 semanas	15 semanas	19 semanas	23 semanas
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	4.7	3.0	0.8	0.6	2.0	1.5	1.7	0.8	2.0	1.3
XRA	2.9	0.3	0.1	1.9	2.9	1.7	1.8	1.9	3.4	2.2
XRB	0.4	1.6	0.1	2.4	2.6	3.0	2.9	0.7	2.1	1.5

Las pilas de compost presentaron porcentajes diferentes de oxígeno, según Márquez *et al.* (2007) y Eckinci *et al.* (2004) Indican que en el interior de las pilas de compost el contenido de CO₂ va en ascenso y contenido de oxígeno va en descenso, hasta una profundidad mayor a 60 cm, donde el porcentaje de oxígeno está en un rango de 0.5 y 2 por ciento, indicando una aireación pobre, permite el crecimiento de poblaciones microbianas anaerobias, retardando la descomposición y generación de malos olores (Bidlingmair 1996). Los porcentajes en todo el proceso estuvieron por debajo de 5%, indicando que la aireación en el proceso de descomposición estuvo adecuada. Se calculó la emisión CO₂ al ambiente, los valores calculados se registran en Tabla 33:

Tabla 33: Peso de emisión de CO₂ por tratamientos instalados (Kg CO₂ x tn⁻¹)

	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
Tiempo	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semanas	6 semanas	8 semanas	12 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Código	t1 (Kg)	t2 (Kg)	t3 (Kg)	t4 (Kg)	t5 (Kg)	t6 (Kg)	t7 (Kg)	t8 (Kg)	t9 (Kg)	t10 (Kg)
XR	40.55	24.67	6.45	4.80	16.02	11.64	13.05	5.79	14.73	9.30
XRA	29.01	2.53	0.84	16.23	23.60	13.60	13.89	14.93	25.50	15.86
XRB	3.42	13.90	0.57	20.21	21.40	24.65	22.59	5.10	16.22	11.16
Etapas	Mesófila				Termófila				Enfriamiento	

En la Tabla 33, se presentan las lecturas obtenidas de producción de CO₂, indicando que hubo consumo de carbono orgánico, siendo liberado por los volteos. La producción de CO₂, en el proceso de compostaje, corroboró que al ser un proceso aeróbico donde el carbono orgánico degradable (DOC) de los insumos considerado se convierten en CO₂, según SEIE (2017), siendo un indicador de actividad biológica (Bueno *et al.* 2007, Guerrero *et al.* 2012).

Para el tratamiento control “XR” la emisión de CO₂, el consumo de carbono comienza en el día siete, indicando que hay un proceso de degradación, siendo un valor alto, comenzando la etapa termófila mostró un ascenso en la producción de este gas, se observó también para el tratamiento “XRA” con 5% de pelo, se produjo mayor porcentaje en la etapa termófila, en la semana cinco y en la etapa de maduración, mostró un ligero descenso. Para el tratamiento “XRB” con 3% de pelo, se observó un ascenso en la semana cinco, correspondiendo a la etapa termófila, la misma que descendió en la etapa de maduración.

Las unidades de la lectura de gases registrada en Tabla 33, fueron en porcentaje producido (%CO₂). Según Román *et al.* (2013) se produce de 2 a 3 kilos de CO₂ por día; asumiendo esos valores la emisión de CO₂, para los tratamientos propuestos estuvieron por encima, indicando que la degradación de carbono orgánico degradable se convirtió en CO₂ (Seie 2019).

Comparando los valores de temperatura registradas (°C) versus la producción de CO₂ (kg), por unidades de compostaje.

Las figuras 16, 17 y 18; indica la generación de CO₂ en el proceso y su variación en las etapas de descomposición, así en la etapa mesófila, el ascenso es mínimo, en la etapa termófila el

ascenso es mayor, llegando a producir hasta 24.6 kg por día en tratamiento con tres por ciento de pelo y el descenso en la etapa de maduración, para los dos tratamientos y la pila control.

Pila control sin Pelo de Vacuno "XR"

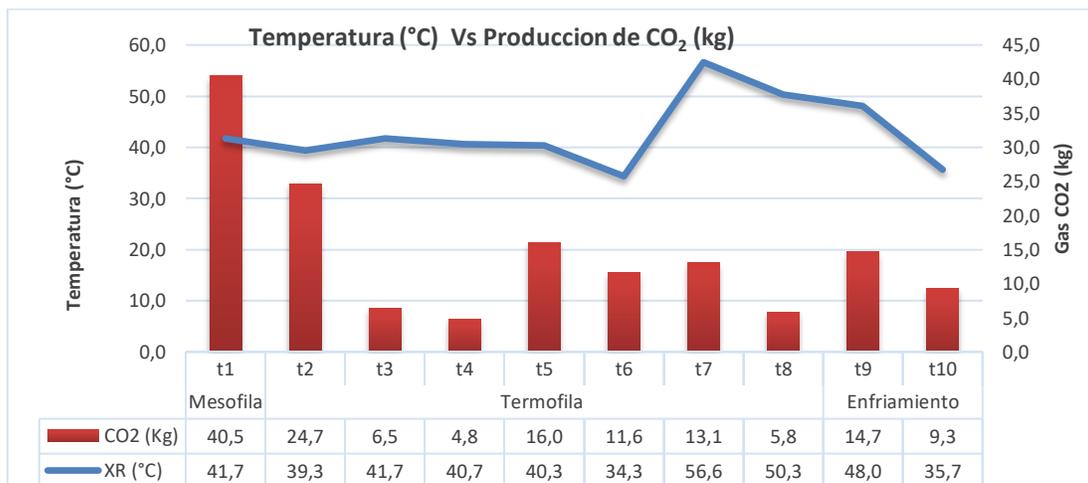


Figura 16: Comparativo temperatura Vs producción CO₂ en pila Control "XR"

Pila con 5% de pelo de vacuno "XRA"

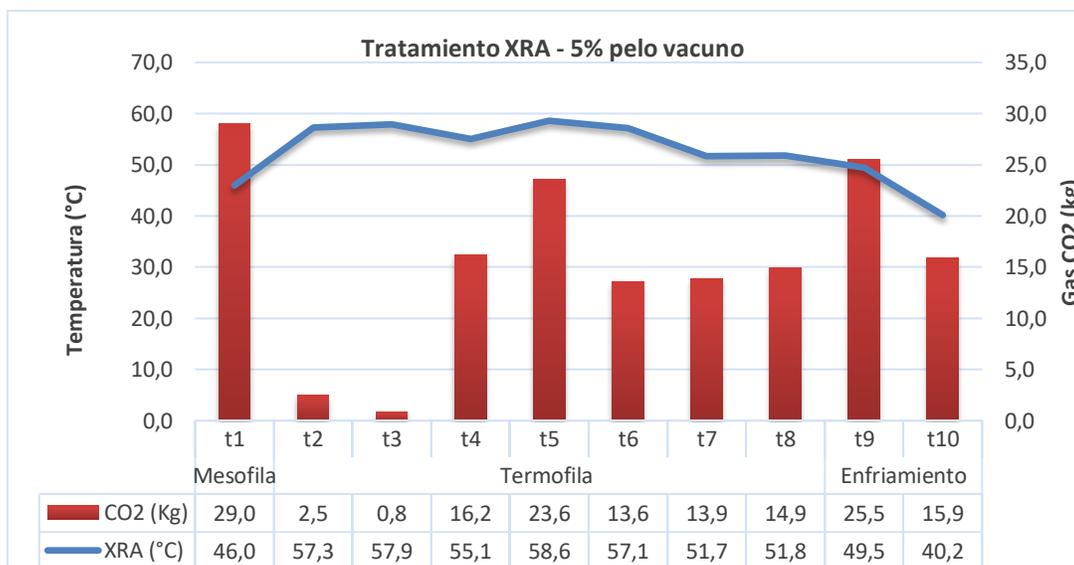


Figura 17: Comparativo temperatura Vs producción CO₂ en tratamiento "XRA"

Pila con 3 % de pelo de vacuno “XRB”

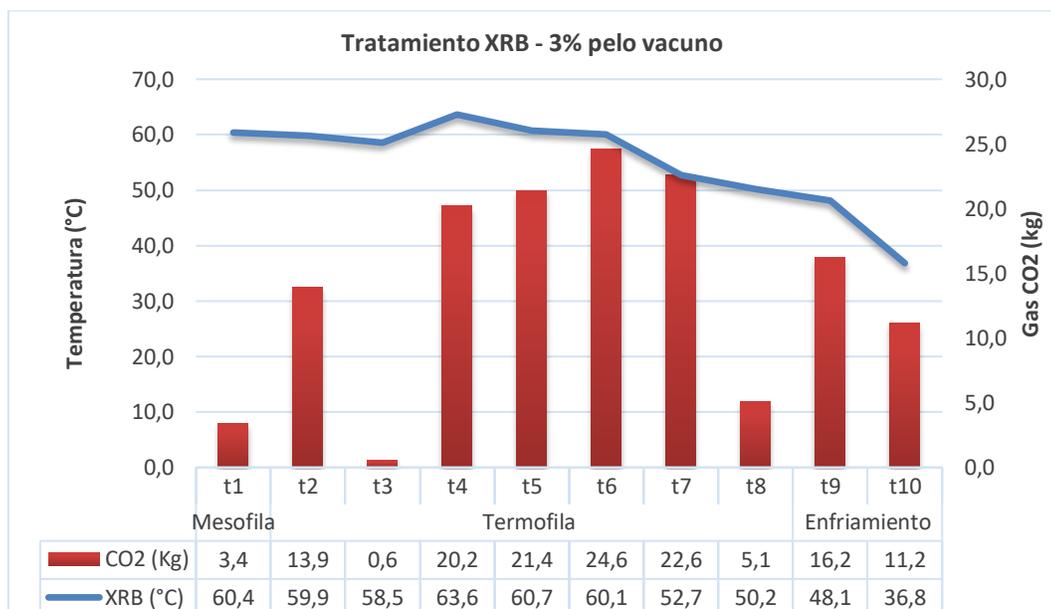


Figura 18: Comparativo temperatura Vs producción CO₂ en tratamiento “XRB”

4.2 RESULTADOS DE MONITOREO DE TEMPERATURA DE LAS PILAS

Parámetro evaluado in-situ, se registró diariamente. Sin embargo, para la discusión de resultados, se considera el promedio de temperaturas según fechas de muestreo, se reportan en Figura 19. Al ser uno de los parámetros más importantes para la sanitización de las unidades de compostaje, sobre todo en la etapa mesofílica (45 – 60 °C) y termofílica (45 °C) (Castillo *et al.* 2002, Román *et al.* 2013), los tratamientos “XRA” y “XRB” estuvieron dentro del rango, excepto el tratamiento control “XR”.

Según FAO (2013), la destrucción de microorganismos patógenos, el control y registro de variables tales como el tiempo, temperatura, humedad, en las etapas mesofílica y termofílica; en los tratamientos con porcentaje de pelo de vacuno, la temperatura estuvo sobre 50 °C, estando en concordancia con la Norma NCh2880, la misma que indica valores de temperaturas entre 45 a 50 °C, por doce días continuos, o valores de 55 °C, por tres días continuos. Para Winblad *et*

al. (2004), la temperatura de sanitización estaría sobre 60°C, valores alcanzados por el tratamiento “XRB”, en toda la etapa termofílica.

La línea de tendencia, de los tres tratamientos instalados, se muestra en la Figura 19, donde se incluyeron los valores promedio del registro de temperatura.

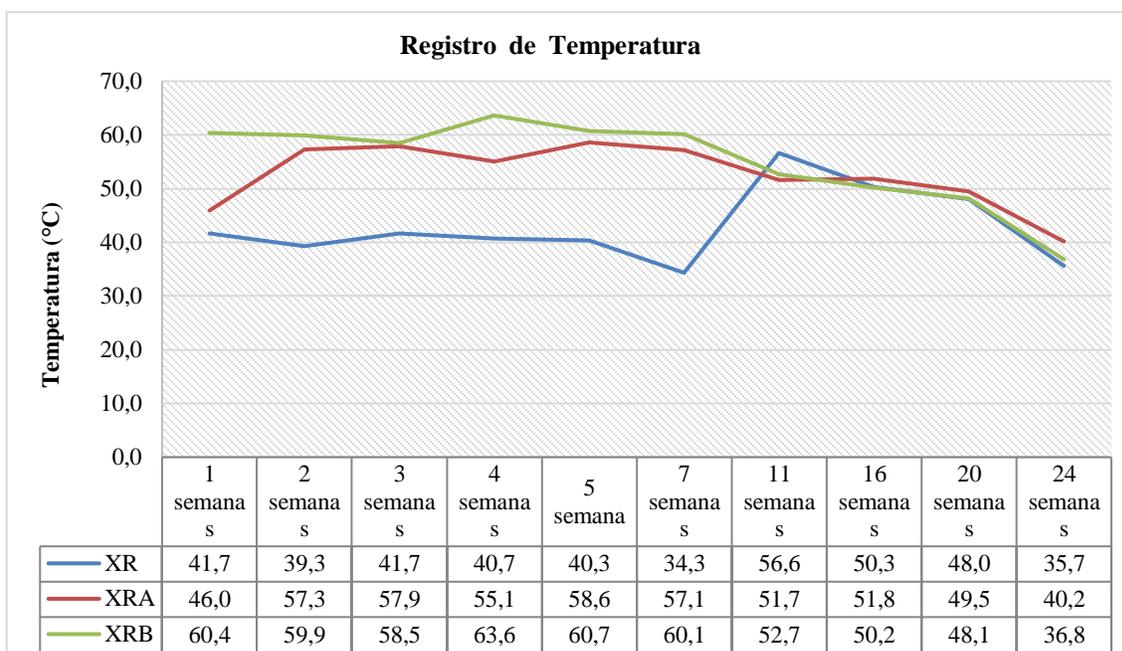


Figura 19: Línea de tendencia de temperatura de los tratamientos

La evaluación de temperatura en el software Infostat para los tres tratamientos, muestra que el parámetro cumple con los supuestos básicos, homogeneidad de varianzas, linealidad de los residuales ($n=9$, $r=0.943$), como se muestra en Tabla 34.

Tabla 34: Medidas ajustadas y errores estándares

dif.Temp - Medias ajustadas y errores estándares para tratamientos
LSD Fisher (Alfa=0.05)
Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamientos	Medias	E.E.	
XRB	23.60	3.06	A
XR	6.00	0.58	B
XRA	5.80	1.44	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En la Tabla 34, se muestran resultados de temperatura en °C evaluados con Infostat, los mismos que indicaron que el tratamiento “XRB” con tres por ciento de pelo tuvo diferencia significativa en comparación al tratamiento control “XR” y el tratamiento con cinco por ciento de pelo “XRA”. En la Figura 20, se muestra la desviación estándar para el parámetro de temperatura.

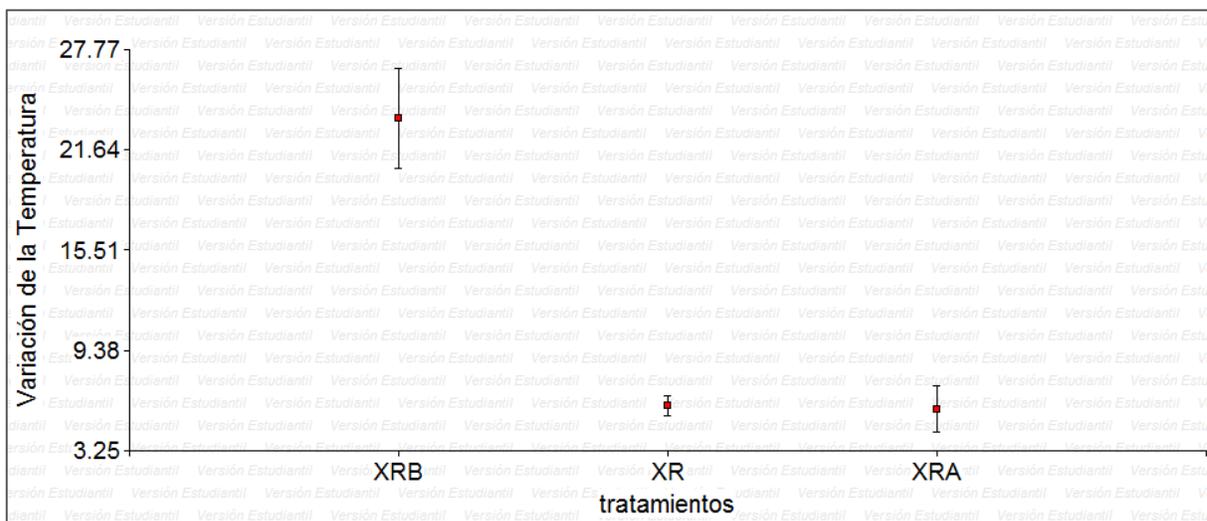


Figura 20: Respuesta de los tratamientos con respecto a la temperatura

El tratamiento que presentó mayor variación fue el “XRB”, correspondiendo al porcentaje de cinco por ciento de pelo adicionado, los otros tratamientos presentan desviaciones similares. Según Márquez (2007), la evolución de la temperatura tiene una relación directa con la eficiencia y el grado de estabilización del proceso de compostaje, debido a que existe una relación directa entre la temperatura y la magnitud de la degradación de la materia orgánica.

4.3 RESULTADOS DE MONITOREO DE HUMEDAD DE LAS PILAS

En el proceso de compostaje, se evaluó la humedad debido a que es un parámetro que relaciona la actividad microbiana, (Román *et al.* 2013), y la degradación de materia orgánica, contribuyendo al transporte de nutrientes, materiales energéticos, los cuales son transferidos a través de la membrana celular. La humedad optima, según Winblad *et al.* (2004), Román *et al.* (2013), deben estar en un rango de 45 a 60 por ciento, en Binner (2002), menciona que el porcentaje varía entre 50 y 60.

La necesidad de riego, para las unidades de compostaje instaladas, debido a los insumos utilizados como aserrín, hojas secas; condicionan al riego, por ser sustratos con bajo porcentaje de humedad. En Tabla 35, se presentan los porcentajes de humedad evaluados en todo el proceso de compostaje, para los tres tratamientos. La frecuencia de riego de los tratamientos se realizaba como mínimo dos veces por semana, las mismas que debían estar completamente humedecidas.

Tabla 35: Resultados Evaluación de Humedad (%)

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
	1 semana	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semanas	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	34.95	44.55	38.15	49.55	43.7	41.4	50.35	50.2	58.7	47.8
XRA	57.25	48.95	50.55	53.15	59.05	51.2	59.65	59.6	60.15	68.8
XRБ	45.6	55.1	54.65	59.85	54.9	53.4	55	56.3	64.65	53.9

La humedad obtenida en las unidades de compostaje, “XRA” y “XRБ”, estaban dentro de los rangos planteados por los autores y normativa (Ö-NORM) S2022 (2014), siendo superiores a 50% (Brutti 2001; Román *et al.* 2013), en todas las fechas de muestreo, las cuales corresponden inicialmente a la etapa mesofílica y posteriormente termofílica, hasta lograr su maduración.

Para la pila control “XR”, presenta valores al inicio del tratamiento, correspondiendo a la etapa mesofílica por debajo del ideal y pasando a etapa termofílica con valores que van en ascenso, culminando este tratamiento con un valor de 47.8%, que cumple con Winblad *et al.* 2004. Las pruebas de hipótesis marginales ($\alpha=0.05$ y $p > 0.05$), indica que no hay diferencias entre tratamientos, con un $p = 0.2437$.

El producto terminado estuvo con valores de humedad, 47.8, 68.8, 53.9 por ciento para XR, XRA, XRБ respectivamente, según normativa NCh 2880 (2004), NADF-020-AMBT (2011); indican que los porcentajes deben estar en un rango de 30 a 45 por ciento, indico que la humedad está por encima de lo recomendado en normativa internacional.

4.4 RESULTADOS DE MONITOREO DE RELACIÓN C:N

La relación C:N inicial de los tratamiento instalados, para las tres pilas son: pila control, con código “XR-1” es 28%, para el tratamiento con 5 por ciento de pelo con código “XRA-1” es de 22.6% y el tratamiento con 3 por ciento de pelo con código “XRB-1” es de 36.6%, según la normativa Chilena NCh 2880 está dentro del rango propuesto, al igual que la Norma Austriaca Ö-NORM S2023, según Bueno *et al.* (2007), Román *et al.* (2013), Seie (2019), son resultados de los análisis para las concentraciones de C:N tanto inicial y final estaban dentro del rango para la instalación de unidades de compostaje.

La relación de C:N de las muestras finales fueron de 15.5% para muestra “XR-10” del tratamiento control, 15.4% para la muestra “XRA-10” del tratamiento con cinco por ciento de pelo y 14.6% para la muestra “XRB-10” del tratamiento con tres por ciento de pelo. Se determinó un descenso de la relación C:N, como indicaron los resultados analizados entre muestras iniciales y finales, se presentan en Tabla 36.

Tabla 36: Resultados de relación C:N iniciales por tratamientos

Código	t1 (%)	C:N Calculado (%)
XR	(28.1)/1	(30.9)/1
XRA	(22.6)/1	(25.5):1
XRB	(36.7)/1	(28.1):1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 36, se presenta los resultados de análisis iniciales de muestras tomadas de las unidades de compostaje, frente a los resultados del cálculo teórico de C:N, evaluados con valores teórico. Ambos determinan que son valores cercanos. Los valores considerados en normativa chilena NCh 2880, plantea valores que van entre 25:1 y 35:1, para compost Tipo A y Tipo B respectivamente. Para Román *et al.* (2013), Winblad *et al.* (2004), la relación C:N inicial, debería ser >35:1 y 30:1, respectivamente; los tratamientos cumplen con el valor de este parámetro. En normativa peruana, no se cuenta con valores establecidos.

Tabla 37: Resultados de relación C:N finales por tratamientos

Código	t10 (%)
XR	15.5
XRA	17.6
XRB	14.7

En la Tabla 37, se presentan resultados de los análisis para la relación C:N finales, las mismas que están en el límite máximo de valores para Román *et al.* (2013), el valor estuvo entre 10% y 16%, para normativa Chilena NCh 2880, el valor debería ser 10%, no habiendo llegado a desarrollar todo el proceso de descomposición de los compuestos carbonados y que aún había materiales ricos en nitrógeno.

En la Figura 21, se evaluó la variación de la relación C:N, considerando los diez resultados obtenidos para este parámetro, las curvas están graficadas para cada tratamiento. La variación determino un descenso a medida que transcurrirán las semanas.

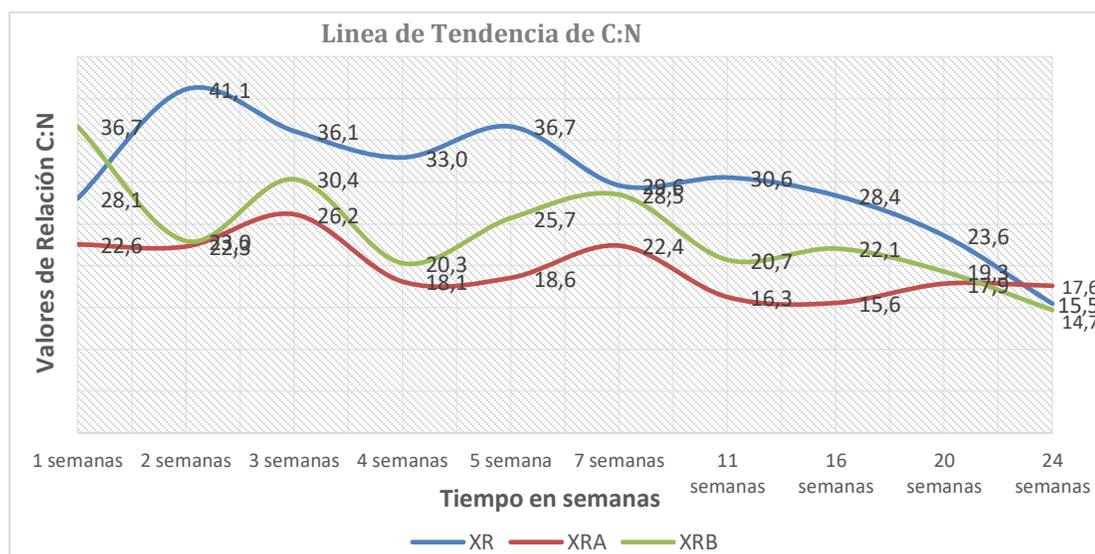


Figura 21: Línea de Tendencia para relación C:N

La relación C:N fue descendiendo durante las 23 semanas de tratamientos, según Stofell & Kahn (2005) es por la descomposición aeróbica de materia orgánica, siendo la fuente primaria de energía el carbono y el desarrollo de la población microbiana, es debido al nitrógeno. El

tratamiento con cinco por ciento de pelo, presento en la última muestra un valor de 17.6%, frente al demás tratamiento que mostraron un descenso continuo de la relación.

Respecto a los tres tratamientos desarrollados, se determinó con el Software Infostat, si existían diferencias significativas entre los tres tratamientos, se evaluaron con las medias ajustadas y errores estándar, como se detalla en Tabla 38.

Tabla 38: Medidas de ajuste del modelo – relación C:N

C.N - Medias ajustadas y errores estándares para TRATAMIENTOS
 LSD Fisher (Alfa=0.05)
 Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRATAMIENTO	Medias	E.E.		
XRB	21.95	2.36	A	
XR	12.60	2.36	A	B
XRA	4.95	2.36		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

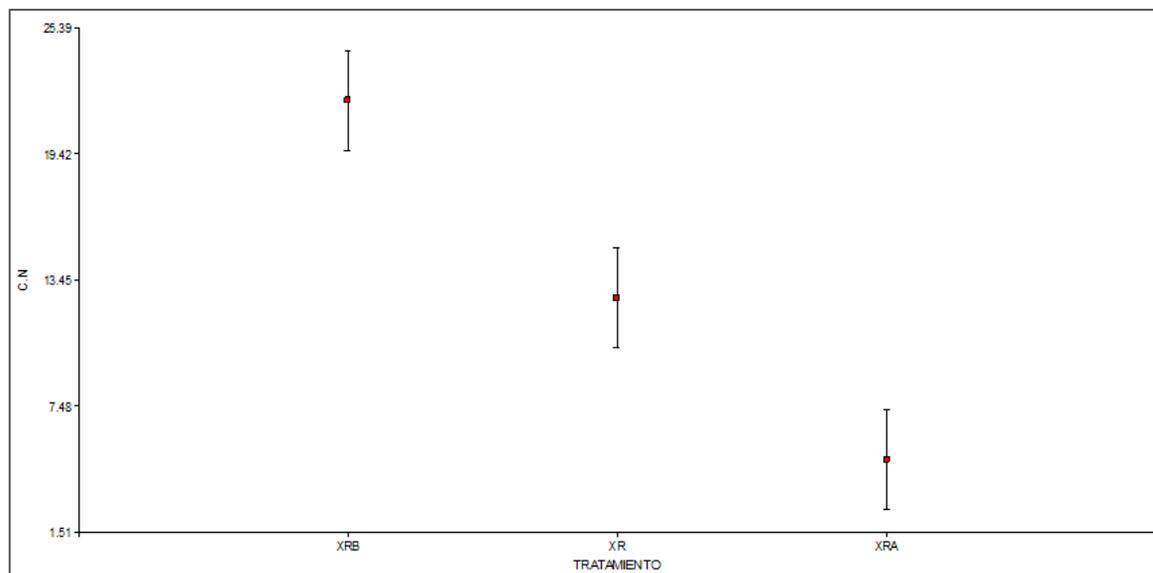


Figura 22: Respuesta de tratamiento con respecto a la relación C:N

La Figura 21, representa que el tratamiento que tuvo mejor respuesta tanto con el porcentaje inicial y final de insumos era el tratamiento “XRA” que se le adicionó 5% de pelo de vacuno, siendo significativamente diferente al tratamiento “XRB” con 3% de pelo y al tratamiento control “XR”.

4.5 EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

El potencial de hidrogeno, que es adimensional, en el proceso de compostaje se ve determinado por la composición de los materiales de origen o los sustratos utilizados para la instalación de las unidades de compostaje, como son aserrín, excretas humanas, definiendo el desarrollo y multiplicación de microorganismos, Román *et al.* (2013). En la Figura 22, se observa que los tres tratamientos inician con valores de pH mayores a 8.0, la descomposición de la materia orgánica comienza en la etapa mesofílica, donde los microorganismos comienzan a descomponer compuestos proteicos, posibilitando el ascenso del pH por la presencia de amoníaco, Castro (2006), el valor de pH se fue acidificando, en la etapa termofílica, debiéndose a la producción de ácidos orgánicos, Román *et al.* (2013). Para la etapa de maduración, los resultados de valores de pH fueron cercanos al neutro. El resumen de los mismos se presenta en la Figura 22.

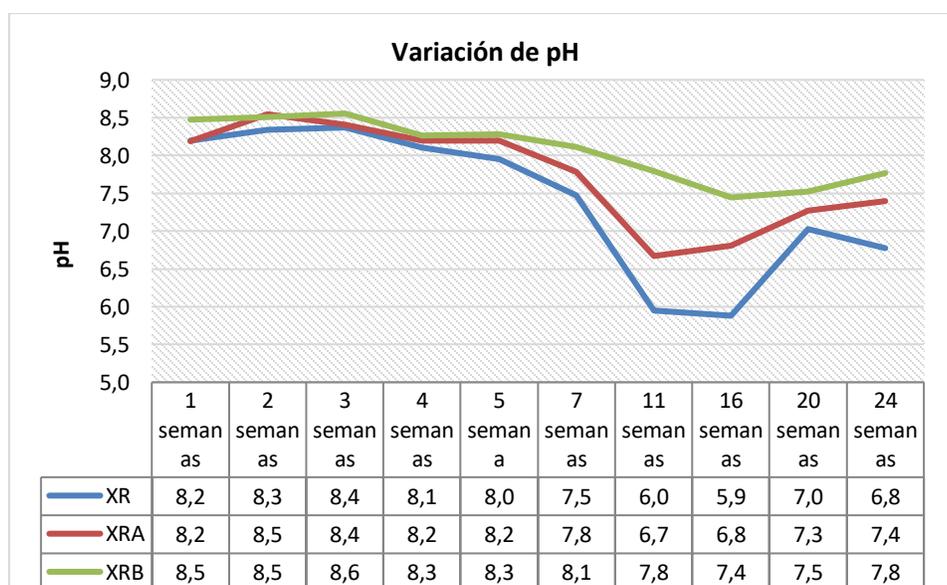


Figura 23: Comportamiento del Potencial de Hidrogeno

La evaluación de pH, en los tres tratamientos fueron analizados con el Software Infostat versión 2016, Luego de evaluar diversos modelos, se determinó que este fue el mejor modelo que brinda ajuste para analizar los datos; encontrándose diferencias significativas ($\alpha=0.05$, valor $p=0.0001$), como se presenta en Tabla 39.

Tabla 39: Medias ajustadas y errores estándares para valores de pH según tratamientos

LSD Fisher (Alfa=0.05)
Procedimiento de corrección de p-valores: No

TRATAMIENTO	Medias	E.E.	
XR	1.41	0.01	A
XRB	1.20	0.01	B
XRA	0.22	0.01	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Según el análisis de las medias, los tres tratamientos tienen diferencias significativas, los valores de pH, son valores aceptables para la degradación de materia orgánica desarrollada por los microorganismos (Avedaño 2003; Castro 2006; Román *et al.* 2013). El tratamiento que responde a la calidad aceptable de compost “XRA” con la adición de 5% de pelo de vacuno, con respecto al tratamiento con 3% de pelo “XRB”. El tratamiento control, su valor de pH, tiende a un valor de 6.8, indicando que la actividad microbiana se desarrolló adecuadamente, indicando que estuvo en concordancia con la norma Ö-NORM S 2022, que sugiere valores entre 7.0 y 8.5.

4.6 RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Las distintas clases de compost, para el parámetro CE, según normativa Chilena (NCh 2880), deben cumplir con los requisitos para compost Clase A, debe ser menor o igual a 5 mho/cm (5 y para Clase B, debe estar entre 5 mho/cm – 12 mho/cm, para Norma Ö-NORM S2022, los valores deben estar para tipo A <4.0 mS/cm y para tipo B <2.0 mS/cm.

Los tres tratamientos, presentaron valores descritos en Tabla 40, los cuales se compararon con normativa, indicando que estaban dentro de los rangos.

Tabla 40: Resultados de la Evaluación de Conductividad Eléctrica (mS x cm⁻¹)

	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
Tiempo	1	2	3	4	5	7	11	16	20	24
	semana	semanas	semanas	semanas	semana	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	2.8	2.1	2.1	2.0	2.4	2.5	2.4	2.3	2.1	2.4
XRA	2.8	4.3	2.6	3.6	4.0	3.7	3.2	2.9	3.4	3.6
XRB	2.8	3.3	2.8	3.4	3.2	3.6	3.1	3.1	2.2	3.0

El tratamiento control “XR”, arrojó un valor de 2.4, los demás tratamientos “XRA” y “XRB” estuvieron con valores superiores a 3.6 y 3.0 respectivamente.

Para encontrar diferencias significativas entre los tres tratamientos, se realizó la prueba de hipótesis marginales, con el fin de reconocer el tratamiento, que tienen mejor respuesta ($\alpha=0.05$ y $p=0.0488$); siendo el de mejor respuesta el tratamiento “XRB” con tres por ciento de pelo.

4.7 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL EN PORCENTAJE EN BASE SECA

El valor de nitrógeno total es un valor importante para la multiplicación de la actividad biológica en el compost, según Román *et al.* (2013), el rango ideal en la etapa inicial mesofílica, está en el rango de 2.5 a 3 por ciento, para la etapa termofílica debería estar entre uno a dos por ciento, para un compost maduro en un porcentaje cercano al uno por ciento.

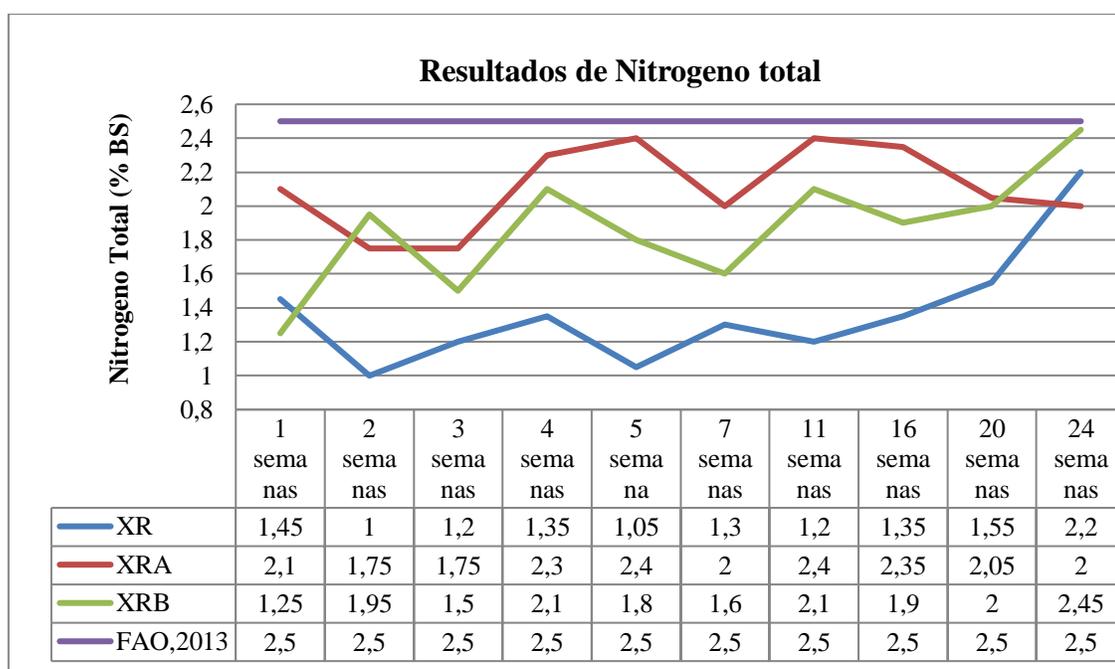


Figura 24: Resultados de Análisis de Porcentaje de Nitrógeno Total en Base Seca

En la Figura 24, se presentan los resultados de los análisis realizados para Nitrógeno total en base seca, dado en porcentaje. Los resultados se encuentran por debajo del valor límite de 2.5 por ciento en todos los tratamientos, correspondiendo a una etapa inicial, mesofílica. Para la

etapa termofílica, en el tratamiento control “XR” y los tratamientos con porcentajes de pelo “XRA” y “XRB”, están por encima del rango que va entre (1 – 2 por ciento respectivamente).

4.8 RESULTADOS DE CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA

La evaluación de Capacidad de Retención de agua, que en siglas CRA, en compost, establecido en normativa internacional, denominada como capacidad de rehidratación (NCh 2880 2004), contribuye a la fertilidad total del suelo al incrementar la materia orgánica, permitiendo en un largo plazo la disponibilidad de los nutrientes (Román *et al.* 2013; NCAT 2015), no precisándose valores referenciales.

Tabla 41: Resultados de Evaluación de Capacidad de Retención de Agua (CRA - %)

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
	1	2	3	4	5	7	11	16	20	24
	semana	semana	semana	semana	semana	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas
Etapas	Mesofila				Termofila			Enfriamiento		
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR (%)	289.1	323.8	315.1	335.2	294.5	277.1	329.9	320.6	340.7	375
XRA (%)	187	191.8	255.5	208.5	305.6	277.4	218.6	293.6	135.5	208.6
XRB (%)	183.8	285	325.2	339.9	293.5	163.6	298	164.6	165	158.1

En la Tabla 41, se presentan valores porcentuales, indicando que la capacidad de retención de agua de las tres pilas, estuvieron por encima del 100 %. Para el tratamiento XRA (5% pelos), presento un rango de CRA de 135.5 hasta 305.6 por ciento. El tratamiento XRB (3% pelos), indico un rango de CRA de 158.1 hasta 339.9 por ciento. Los valores indicaron que el compost obtenido en los tratamientos y la pila control, presentaron una adecuada capacidad de absorción de agua.

4.9 RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS INICIALES DE PILAS DE COMPOST INSTALADAS

La caracterización fisicoquímica inicial de la instalación de las pilas de compost, se muestra en la Tabla 42, los análisis iniciales se desarrollaron a partir de muestras recogidas una semana después de instalada las unidades de compostaje, debido a que las excretas estaban frescas, las

que correspondieron al tratamiento control (XR-1), el tratamiento con un porcentaje de pelo de cinco (XRA-1), y el tratamiento con tres por ciento de pelo de vacuno (XRB-1).

Tabla 42: Ensayos Fisicoquímicos iniciales para los Tratamientos

ENSAYO QUIMICOS	Tratamiento control	Tratamiento 5% pelos	Tratamiento 3% pelos
	X-R-1	XRA-1	XRB-1
1.- Humedad (g/100g de muestra original)	34,9	57,3	45.6
2.- Ceniza, (% MS)	30,2	18	18.5
3.- Pérdidas por calcinación LOI (% MS)	69,3	81.6	81.5
4.- Carbono Orgánico Total, (% MS)	40.2	47.3	47.3
5.- Nitrógeno, (% MS)	1,4	2,1	1.3
6.- C/N	28,0	22,6	36.6
7.- Conductividad (mS/cm)	2,8	2,8	2.8
8.- pH	8.2	8.2	8.8
9.- Nitrógeno amoniacal NH ₄ -N (%M.S.)	0,17	0.3	0.05
10.- Nitrógeno nitrato NO ₃ -N (mg/KgM.S.)	1246.8	1431.39	1492.1
11.- Densidad (Kg/L)	0.7	0.6	0.4
12.- Capacidad de retencion de agua (%)	289.1	187.0	183.8
13.- Temperatura (°C)	41.7	46.0	60.4

4.10 RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS FINALES DE LAS PILAS DE COMPOST INSTALADAS

La transformación de las excretas humanas colectadas en baños secos (materia prima), pelos de vacuno, hojarasca, bolsas biodegradables, papeles (insumos) a compost, se desarrolló en aproximadamente seis meses.

En Tabla 43, los resultados de análisis finales fueron realizados con muestras que corresponden a la pila control “XR-10”, para el tratamiento con 5 por ciento de pelo “XRA-10” y el tratamiento con 3 por ciento de pelo “XRB-10”.

Los resultados de los ensayos fisicoquímicos finales se presentan en la Tabla 43, los valores se comparan con Normas internacionales de producción de compost.

Tabla 43: Ensayos Fisicoquímicos finales comparados con Normas Internacionales

ENSAYO QUIMICOS	Tratamiento control	Tratamiento 5% pelos	Tratamiento 3% pelos	(USA)	(Chile)	(México)
				EPA 40 CFR 503 (1994)	NCh 2880 (2004)	NADF-020-AMBT (2011)
	X-R-10	XRA-10	XR-10			
1.- Humedad (g/100g de muestra original)	47.82	68.8	53.9	--	30 – 40%	30 – 45%
2.- Nitrógeno total, (% MS)	2.2	2.1	2.5	2.4 – 5.0 %	--	≥ a 0.5%
3.- Relación C/N	15.5	17.6	14.6	15:1 – 20:1	Menor a 12:1	25:1 – 30:1
4.- Conductividad electrica (mS/cm)	2.41	3.64	3.01	--	--	3 a 8 dS/m
5.- pH	6.8	8	7.6	6.0 – 8.0	6.5 – 8.0	5.0 – 8.5
6.- Temperatura (°C)	35.7	40.5	36.8	32 °C – 60 °C	45°C – 70°C	--
7.- Nitrógeno amoniacal NH4-N (%M.S.)	0.01	0.02	0.02	--	--	--
8.- Nitrógeno nitrato NO3-N (mg/KgM.S.)	0	0	35.14	--	--	--
9.- Densidad (Kg/L)	0.8	0.9	0.7	--	--	--
10.- Capacidad de retencion de agua (%)	375	208.6	158.1	--	--	--
11.- Carbono Orgánico Total, (% MS)	34	36.7	36.1	--	--	--

En la Tabla 43, los resultados de compost obtenido, tanto de la pila control y los tratamientos, coinciden con las normas internacionales para valores de humedad, pH. Para valores de C:N, coinciden con normativa EPA 40 CFR 503 (1994) y NADF – 020 – AMBT (2011), para valores de nitrógeno total, temperatura, coincide con normativa Mexicana.

En la Tabla 44, se comparan los resultados de los tratamientos con otros tipos de compost.

Tabla 44: Comparación de producto final con otros tipos de compost

ENSAYO QUIMICOS	Tratamiento control	Tratamiento 5% pelos	Tratamiento 3% pelos	Compost vegetal	Compost de estiércol	Vermicompost
				X-R-10	XRA-10	XR-10
1.- Humedad (g/100g de muestra original)	47.82	68.8	53.9	30 - 40%	30 – 40%	30 – 45%
2.- Nitrógeno total, (% MS)	2.2	2.1	2.5	--	--	--
3.- Relación C/N	15.5	17.6	14.6	< 15:1	< 20:1	< 20:1
4.- Conductividad eléctrica (mS/cm)	2.41	3.64	3.01	--	--	--
5.- pH	6.8	8	7.6	6.0 – 8.0	6.5 – 8.0	6.5 – 8.0
6.- Temperatura (°C)	35.7	40.5	36.8	--	--	--

<<Continuación>>

7.- Nitrógeno amoniacal NH_4-N (%M.S.)	0.01	0.02	0.02	--	--	--
8.- Nitrógeno nitrato NO_3-N (mg/kgM.S.)	0	0	35.14	--	--	--
9.- Densidad (kg/L)	0.8	0.9	0.7	--	--	--
10.- Capacidad de retención de agua (%)	375	208.6	158.1	--	--	--
11.- Carbono Orgánico Total, (%MS)	34	36.7	36.1	> 40%	> 35%	> 40%

Los resultados del compost obtenido, comparados con otros tipos de compost indican valores similares para humedad, relación C:N, pH y carbono orgánico total en materia seca, para los demás ensayos, la normativa internacional no presentan valores para comparación.

4.11 RESULTADOS DE MONITOREO DE BACTERIAS EN LAS PILAS DE COMPOST

Según Castillo (2002) y FAO (2013), la presencia de microorganismos patógenos depende de los materiales considerados para la instalación de las unidades de compostaje, como el uso de excretas humana, siendo un riesgo de contaminación humanas por agentes fecales (Winblad *et al.* 2004), condicionando la inocuidad biológica de los tratamientos de compostaje. Los microorganismos patógenos, prefieren temperaturas por debajo de los 42°C (Dalzell *et al.* 1991), los cuales son cercanos a la temperatura corporal del ser humano.

De acuerdo a normativa NCh 2880 (2004), se establecen para *Coliformes fecales* < a 1000 NMP/gr de compost, en base seca; *Salmonella sp.* Ausencia, *Clostridium perfringens* (10) por tres gramos de compost. Su exceso causaría contagio de enfermedades para personas, cultivos, tejidos, animales que fueron expuestos.

Los resultados de los análisis microbiológicos desarrollados en los tratamientos propuestos para las etapas iniciales, intermedias y finales se resumen en la Tabla 45, mostrando que todos los tratamientos tienen presencia de *Escherichia Coli*, *Coliformes totales*, *Coliformes fecales*; posterior a los siete días de instalación de todos los tratamientos, encontrándose en etapa

mesofílica. En caso de la bacteria *Salmonella Tiphy* se reportó ausencia para los tratamientos con porcentaje de pelo de vacuno adicionado.

Tabla 45: Resultados de análisis microbiológico cualitativo: Etapa Mesofílica

Análisis Microbiológico	MUESTRAS DE INICIALES		
	XR - 1	XRA - 1	XRB - 1
<i>Escherichia Coli</i>	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Salmonella Tiphy</i>	Presencia	Ausencia	Ausencia
<i>Coliformes totales</i>	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Coliformes fecales</i>	Presencia	Presencia	Presencia

Para la etapa termofílica, correspondiendo al muestreo intermedio, los análisis realizados registraron, presencia para *Escherichia Coli*, *Coliformes totales*, en los tres tratamientos como se registra en Tabla 46. En caso de las bacterias *Coliformes fecales*, se reporta presencia para el tratamiento control “XR”, sin embargo en los tratamientos con porcentaje de pelo, se reporta ausencia. Como se indicó en Figura 19, el ascenso de temperatura, sobre 55°C hasta 65°C, fueron para los tratamientos “XRA” y “XRB”, ambos con la adición de porcentajes de pelo de vacuno. Para la bacteria *Salmonella Tiphy*, se reporta ausencia para los tres tratamientos.

Tabla 46: Resultados de análisis microbiológicos cualitativos: Etapa Termófila

Análisis Microbiológico	MUESTRAS DE INTERMEDIAS		
	XR - 7	XRA - 7	XRB - 7
<i>Escherichia Coli</i>	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Salmonella Tiphy</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Coliformes totales</i>	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Coliformes fecales</i>	Presencia	Presencia	Presencia

En la etapa de maduración, que correspondió al muestreo final, los resultados de los análisis cualitativos fueron los que se presentan en Tabla 47. Indicando, los análisis de laboratorio para bacterias *Escherichia Coli* y *Coliformes totales*, sigue habiendo presencia, aun tomando en cuenta las temperaturas alcanzadas en las unidades de compostaje.

Tabla 47: Resultados de análisis microbiológicos cualitativos: Etapa de Maduración

Análisis Microbiológico	MUESTRAS DE FINALES		
	XR - 10	XRA - 10	XR - 10
<i>Escherichia Coli</i>	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Salmonella Tiphy</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Coliformes totales</i>	Presencia	Presencia	Presencia
<i>Coliformes fecales</i>	Presencia	Presencia	Presencia

Al reportar presencia de bacterias patógenas, como se indica en Tabla 47, con los análisis cualitativos, se procedió a desarrollar los análisis cuantitativos, que se presentan en la Tabla 48, para muestras finales del proceso de compostaje, para los tratamientos propuestos.

Tabla 48: Resultados microbiológicos cuantitativos en muestras finales de compost

FECHA	CODIGO	CULTIVO COLIFORMES	CULTIVO
		TOTALES	ESCHERICHIA COLI
		AGAR EMB	AGAR MC CONKEY
Muestra final	XR	79000 UFC/gr	57500 UFC/gr
Muestra final	XR - 10	69000 UFC/gr	52000 UFC/gr
Muestra final	XRA	68000 UFC/gr	51000 UFC/gr

Los resultados cuantitativos evaluados para las pilas, se compara con valores de calidad de normativa internacional, se presenta en Tabla 49, indicando lo siguiente:

- Para la evaluación de *Coliformes totales*, se observa Presencia en las tres etapas de análisis por cada tratamiento, no siendo adecuado para el uso en vegetales de tallo bajo, no cumpliendo con Normativa NCh 2880 (2004).
- Evaluación de *Coliformes fecales*, se observa Presencia en los tratamientos con porcentaje de pelo de vacuno y para el Tratamiento control.

Tabla 49: Resultados microbiológicos comparados con Normativa Internacional

Ensayo	Tratamiento control	Tratamiento 5% pelos	Tratamiento 3% pelos	(USA)	(Chile)	(México)
				EPA 40 CFR 503 (1994)	NCh 2880 (2004)	NADF-020-AMBT (2011)
<i>Coliformes totales</i>	79000 UFC/gr	69000 UFC/gr	68000 UFC/gr	< 1000 - 2x10 ⁶ NMP/g	>1000 NMP/g	>1000 NMP/g
<i>Escherichia coli</i>	57500 UFC/gr	52000 UFC/gr	51000 UFC/gr	--	--	--

Con respecto a los análisis microbiológicos realizados, se reportó disminución, de microorganismos patógenos, desde el inicio del proceso de descomposición hasta la etapa de maduración; sin embargo, aun alcanzando temperaturas superiores a 55°C, no se logró obtener un producto inocuo y con ausencia de bacterias patógenas.

4.12 RESULTADOS DE MONITOREO DE PARASITARIOS EN LAS PILAS DE COMPOST

Según FAO (2013), los análisis de huevos de parásitos, debería reportar por tres días consecutivos, la misma la misma temperatura, que debe alcanzar 55°C para asegurar su eliminación. Los análisis se realizaron para Protozoos, como: *Entamoeba coli*, *Blasticistis hominis*, *Endolimax nana*; huevos de *Helmintos*.

En Tabla 50, se reportan resultados de los análisis realizados, tanto por el método directo y método de concentración, para el Tratamiento Control “XR”, en etapa mesofílica, termofílica y de maduración.

Tabla 50: Resultados de análisis parasitológicos Pila Control “XR”

		MUESTRAS DE TRATAMIENTO CONTROL					
		XR - 1		XR - 7		XR - 10	
Análisis parasitológico		Método directo	Método de concentración	Método directo	Método de concentración	Método directo	Método de concentración
	Protozoos	<i>Entamoeba coli</i>	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo
<i>Blasticistys hominis</i>		Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo
<i>Endolimax nana</i>		Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo
	Helmintos	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Los resultados de la Tabla 50, indican que, para los Protozoarios, en etapa mesofílica y termofílica eran Positivos. Para la etapa de maduración, los resultados reportan Negativo. Indicando que no cumple con Norma NCh 2880 (2004), tales valores pueden ser perjudiciales para cultivos de tallo bajo y que sean de consumo humano.

Para el Tratamiento con tres por ciento de pelo de vacuno “XRA”, se presenta en Tabla 51, donde se reportan los resultados de los análisis de parásitos realizados. Indicando que solo para

Blasticistys hominis, en etapa mesofílica y etapa termofílica era positivo. Para la etapa de Maduración, en muestra final, el reporte fue Negativo. El resultado también se evidencia en la evaluación de los huevos de Helmintos.

Tabla 51: Resultados de análisis parasitológicos tratamiento “XRA” - 5% pelo de vacuno

Análisis parasitológico	MUESTRAS DE PILA CON 3% PELO VACUNO					
	XRA - 1		XRA - 7		XRA - 10	
	Método directo	Método de concentración	Método directo	Método de concentración	Método directo	Método de concentración
Entamoeba coli	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Protozoos Blasticistys hominis	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo
Endolimax nana	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Helmintos	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Los resultados de la Tabla 51, indican que, para los Protozoarios, en etapa mesofílica y termofílica eran Negativos. Para la etapa de maduración, los resultados reportan Negativo. Indicando que no cumple con Norma NCh 2880 (2004), tales valores pueden ser perjudiciales para cultivos de tallo bajo y que sean de consumo humano.

Para el Tratamiento con cinco por ciento de pelo de vacuno “XRB”, se presenta en Tabla 52, donde se reportan los resultados de los análisis de parásitos realizados. Indicando que solo para Entamoeba coli, en etapa mesofílica y etapa termofílica era positivo. Para la etapa de Maduración, con muestra final, el reporte fue Negativo. El resultado también se evidencia en la evaluación de los huevos de Helmintos, evaluando que en las tres etapas del proceso es negativo.

Tabla 52: Resultados de análisis parasitológicos tratamiento “XRB” - 3% de pelo de vacuno

		MUESTRAS DE PILA CON 5% PELO VACUNO					
		XRB - 1		XRB - 7		XRB - 10	
		Método directo	Método de concentración	Método directo	Método de concentración	Método directo	Método de concentración
Análisis parasitológico							
Protozoos	Entamoeba coli	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo
	Blasticistys hominis	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
	Endolimax nana	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Helmintos		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Finalmente, considerando que los tratamientos alcanzaron temperaturas mayores a 50 °C, las unidades de compostaje, no se sanitizaron completamente.

Para la evaluación de Helmintos, los análisis desarrollados en laboratorio desde un inicio reportan negativos para la presencia de larvas y huevos. Según FAO (2013), los límites de sanitización microbiológicos de acuerdo a varias normas, presentado en Tabla 52, determina que el producto obtenido está dentro de los límites aceptables y que responde a una calidad sanitaria.

La comparación de los resultados, con los valores de FAO (2013), NCh 2880, Noma Mexicana (2011); demostró que los valores cuantitativos descritos en Tabla 52, exceden los valores mínimos, para un compost con niveles de sanitización aceptables.

V. CONCLUSIONES

1. Los valores de 15.5 y 35.7 (XR); 17.6 y 40.2 (XRA), 14.7 y 36.8 (XRB), que corresponden valores de la relación C:N y temperatura, indican que si es posible compostar excretas humanas deshidratadas, pelos de vacuno procedentes del proceso de pelambre de la industria de curtiembre, con excretas humanas deshidratadas derivadas de los baño, en un rango de tiempo de cuatro a seis meses.
2. El tratamiento con código XRB, con la adición de (3%) de pelo vacuno, al igual que el tratamiento XRA (5%), tuvieron mejor respuesta para valores de capacidad de retención de agua con porcentajes de 208.6 % y 158.1%, valores de temperatura de 40.2 °C y 36.8°C respectivamente.
3. Los parámetros fisicoquímicos para producto final de los dos tratamientos y la pila control, están dentro de los valores propuestos por normativa internacional mexicana NADF-020-AMBT y USA EPA 40 CFR 503. Los parámetros microbiológicos y parasitológicos, en los dos tratamientos y el control no están dentro de los rangos exigidos por normativa internacional.
4. Comparado con los compost tradicionales, este tipo de compost tiene una composición fisicoquímica propia de un compost de materia orgánica en general, la diferencia se ve determinada por la aun presencia de microorganismos patógenos presentes, y latencia de protozoarios, indicados en análisis cuantitativos.
5. La ventaja económica y ambiental, se demuestra en la calidad del compost; evaluado en la etapa de maduración indicando que es un producto estable solo en parámetro fisicoquímico.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda desarrollar temas de investigación en esta línea, con el fin de contribuir con datos experimentales frente a la necesidad de normativa nacional que establezca parámetros de calidad mínimos y máximos de un compost de este tipo de sustrato, tanto parámetro físico químico, microbiológico, haciendo hincapié en microorganismos patógenos.
- ✓ Considerar el proceso de tratamiento térmico de la materia prima, para asegurar la inocuidad del producto terminado y estandarizar la reutilización de este recurso.
- ✓ Profundizar en el seguimiento de análisis parasitológico para cada etapa del proceso de compostaje, con el fin de observar los huevos de helmintos.
- ✓ Considerar el uso de un porcentaje mayor de pelos de vacuno en la instalación de pilas de compostaje.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayuda, I. 2013. Baño Seco. Maryland, EE. UU.: Aguayuda, INC.
- Alvarez, E. 1999. Perspectivas de aprovechamiento del aserrin mediante su transformacion hidrolítica y como fuente de biomasa para diversos fines. Tesis doctoral en Ciencias Forstales. Universidad de Pinar del Río. Facultad de Agronomía y Forestal. Cuba.
- Alvarez de la Puente, J. M. 2006. Estudio sobre mezclas óptimas de material vegetal para compostaje de alperujos en alzamaras ecológicas y caracterización fisico química de los compost producidos. España.
- Aribau, P. J. 2007. Pelambre y Curtido al Cromo con Tecnologías limpias. Lima,. Perú: Centro de Innovación Tecnológica del Cuero, Calzado e Industrias Conexas.
- Avedaño, R. D. 2003. El Proceso de Compostaje. Tesis para optar el Grado de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 38 pp.
- Avilés. E.; Núñez, P.; Pérez, A.; Almonte, I.; López, G.; 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.
- Bidlingmair, W. 2013. Odour emissions from composting plants. *Compost Science & Utilization*. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1993.10757905>
- Binner, E. 2002. Tratamiento Biológico de los Residuos en la Universidad Agraria La Molina, Universidad Agraria de Viena. Austria. Separatas del curso.

- Brutti, L. 2001. *Sistemas de Compostaje: Factores críticos del Proceso de Compostaje*. Santiago : Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Chile.
- Centro Nacional de Tecnología Apropiada (NCAT). 2015. *Hola de Datos: compost. ATTRA Agricultura Sustentable*. Un programa del Centro Nacional de Tecnología Apropiada. España.
- Camacho, A.; Giles, M.; Ortigón, A.; Serrano, B.; Velásquez, O. 2009. *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*. 2da ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Castillo, C., & L. 2002. *Sanitario Ecologico Seco. Manual de Diseño, construcción, uso y mantenimiento*. Guadalajara, Mexico.
- 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; Henríquez, C; Bertsch, F. 2006. *Capacidad de Suministro de NPK de cuatro abonos orgánicos*. *Agronomía Costarricense*. 33(1):31-43.
- CDMB – Amigos de la Vida. 2011. *Sistema Séptico – SS & Sanitario Ecológico Seco – SES*. Documento para la Educación Ambiental. Bucaramanga. Material Educativo.
- Cegarra, J. 1994. *Fraccionamiento de Fertilizantes Orgánicos y de sus Productos de Humificación*. Madrid, España: Universidad Autónoma.
- CEMPRE. 2014. *Residuos Sólidos Urbanos: Manual de Gestión Integral. Parte 2: Reciclaje de materia organica - Compostaje*. CEMPRE.
- CENCA, & AGUAECOSANPERU. 2009. *Una Guía para un sistema integral de saneamiento ecologico en areas periurbanas y rurales - EL ECODES*. Lima, Perú: ECODES.
- CNMA. 1999. *Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial*. Curtiembre. En C. N.-R. Metropolitana, *Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial*. Curtiembre (pág. 75). Santiago, Chile.

- Cordova, M., & A., C. 2006. Estudio de Factibilidad Técnico - Económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales .
- CPTS. 2003. Guia Tecnica de Produccion Mas Limpia para Curtiembres. Bolivia.
- CYTED XVII. 2001. Agua Potable para Comunidades Rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- 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.
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). 2006. Manual de Difusión Técnica N° 01. Gestión de los Residuos Peligrosos en el Perú. Proyecto “Fortalecimiento de Capacidades para la Evaluación de sistemas de Tratamiento de Residuos Peligrosos”, Perú.
- Ebert, F.F. 1999. Saneamiento Ecologico. Mexico: Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Ekinci, K.; Keener, H.M.; Elwell, D.L. 2004. Effects of aeration strategies on the composting process: Part I. Experimental studies. Trans ASAE. 47(5):1697-1708.
- Environmental Protection Agency (EPA), E. d. 2005. Sanitario Ecológico Seco - Separador. Mexico.
- 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.
- Gotaas, HB; OMS. 1956. Composting Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes (World Health Organization ed.). California, USA: University of California, Berkeley.

- Granados, C. M. 2009. Sanitario Ecológicos Secos como elemento de regularización de asentamientos humanos. Tesis de para obtención de Ingeniero Industrial. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Guerrero-Ortiz, P. L.; Quintero-Lizaola, R.; Espinoza-Hernández, V.; Benedicto-Valdés, GS.; Sánchez-Colin, MJ. 2012. Respiración de CO₂ Como indicador de la Actividad Microbiana en Abonos Orgánicos de Lupinus. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- HELIANTHUS SAC. 2013. Manual Practico para la Producción de Cuero hasta Wet Blue para el Pequeño Productor. Lima, Perú: HELIANTHUS SAC, INNOVATE PERU, UNALM.
- Horvath, A. 2009. Solubility of structurally complicated materials: 3. Hair. Scientific World Journal, 27.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. 2017. Censo Nacional XII de Población y VII de Vivienda. Perú
- INS. 2003. Manual de Procedimientos de Laboratorio para el Diagnóstico de los Parásitos Intestinales del Hombre. Lima, Perú: Instituto Nacional de Salud. Serie de Normas Técnicas N° 37.
- Jönsson, H., Richert, S. A., Vinneras, B., & Salomon, E. 2004. Lineamientos para el uso de la orina y heces en la Producción de Cultivos (Vols. Reporte 2004-2). Estocolmo, Suecia: Serie de Publicaciones ECOSANRES.
- Kalil P., S. P. 2007. Seguimiento del Proceso de Humificación en Compost Inoculado. Bogota, Colombia: PUJ - FC.
- Márquez, B. P.; Díaz, B. M. J.; Cabrera, C. F. 2007. Factores que afectan al proceso de compostaje. Capítulo 4.
- Michelsen, D.L.; Gideon, J.A.; Griffith, G.P.; Pace, J.E.; Kutat, H.L. 1975. Removal of Soluble Mercury From Waste Water By Complexing Techniques. En D. L. Michelsen, J. A. Gideon,

- G. P. griffith, J. E. Pace, & H. Kutat, Removal of Soluble Mercury From Waste Water By Complexing Techniques. Virginia, EE. UU.: Virginia Waster resources Research Center.
- Miglio, T. R., & Spittler, H. H. 2010. Saneamiento Ecológico (ECOSAN) como Instrumento para ahorrar agua en el Transporte de Excretas. Lima, Perú: Red de Saneamiento Sostenible.
- MINAGRI. 2012. Diagnostico de la Industria de Primera y Segunda Transformacion y de la Cadena Productiva en Pucallpa. Ucayali, Loreto, Perú: Ministerio de Agricultura, direccion General Forestal y de Fauna Silvestre.
- MEF. 2017. Evaluación de diseño y Ejecución de Presupuesto de: Gestión Integral de los Residuos Sólidos. Segundo Informe Final.
- Ministerio de Salud – Presidencia de la Nación. Dirección Nacional de Determinantes de la Salud. 2017. Directrices Sanitarias para Baños Secos. Boletín Oficial de la República Argentina.
- Morales, I. 2003. Factibilidad Técnico economica de instalar una planta de compost para el tratamiento de residuos organicos industriales en la zona sur de Santiago. Memoria Ingeniero Industrial. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Faculata de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Moscoso, C.C. 2011. Estudio de Opciones de Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana. Consultoria Externa para Lima Water.Pag. 90. Lima, Perú.
- Neyra V.P. 2016. Reactividad del Compost de Residuos de Parques y Jardines del Distrito de La Molina - Lima. Tingo María, Perú: UNAS.
- Norma Oficial Chilena (NCh2880.c2003). 2003. Compost - Clasificacion y requisitos. En Proyecto de Norma Técnica Chilena (pág. 27). Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización .
- Norma Mexicana (NMX-AA-180-SCFI-2018). 2018. Que Establece los Métodos y Procedimientos para el Tratamiento Aerobio de la Fracción Orgánica de los Residuos

solidos Urbanos y de Manejo especial, así como la Información Comercial y de sus Parámetros de Calidad de los Productos finales. Declaratoria de Vigencia. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Gobernación.

Norma Ambiental para el Distrito Federal (NADF-020-AMBT-2011). 2011. Que Establece los Requerimientos Mínimos para la Producción de Composta a Partir de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos, Agrícolas, Pecuarios y Forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la Composta Producida y/o distribuida en el Distrito Federal. 2012. Gaceta Oficial del Distrito Federal. México.

O'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, 167 - 170.

OMS. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Francia: World Health Organization .

(Ö-NORM)S2023. 2014. Norma Austriaca (Ö-NORM) S 2023: "Metodos de Ensayo y control de Calidad del Compost". En E. Binner, Compostaje de Residuos Organicos (págs. Sección 8, pag 1 - 23). Austria: Universidad ABF - BOKU.

(Ö-NORM)S2200. 2014. Metodologías de Laboratorio. En E. Binner, Compostaje de Residuos Sólidos (págs. Capítulo 8, página 3). Austria: ABF - BOKU.

Palomino, A. C. 2016. Aprovechamiento de los pelos de vacuno del proceso de pelambre de las curtiembres en la remoción de plomo de un efluente. Lima, Perú: UNALM.

Pasache, J., & 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.

Pérez Díaz, Noarys; Orea Igarza, Uvaldo; Cordero Machado, Elena. 2004. Compostaje Vs Residuos Orgánicos. Pinar del Río, Cuba: Universidad De Pinar del Río.

- Picado, J., & Anasco, A. 2005. Preparación y Uso de Abonos Orgánicos Sólidos y Líquidos. San José, Costa Rica: CEDECO.
- Prado G. B., X. 2017. Tratamiento de los Residuos Sólidos Generados en Sanitarios Ecológicos Mediante El Uso de Microorganismos Eficientes en un Proceso de Compostaje. Lima, Perú: Tesis para grado de Magister - UNALM.
- Richard, T. 1993. Municipal Solid Waste Composting: Biological Processing. Ithaca, Nueva York, EE.UU.: Cornell University.
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. 2013. Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago, Chile: FAO.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI. 2014. Evaluación de Calidad del Aire en Lima Metropolitana. Lima, Perú: SENAMHI.
- Sepúlveda V., L. A., & Alvarado T., J. A. 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 de l Valle de Aburrá, Colombia: Primera edición. Registro ISBN: 978-958-8513-69-0.
- Sistema Español de Inventario de Emisiones: Metodologías de estimación de Emisiones. 2019. Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España
- Soliva, M., López, M., & Huerta, Ó. 2008. Pasado, Presente y Futuro del Compost. II Conferencia Internacional sobre Eco-Biología del Suelo y el Compost. Tenerife, España.
- Soto, G., & Muñoz, C. 2002. Consideraciones Teóricas y Prácticas sobre el Compost y su empleo en agricultura orgánica. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología, 123 - 129.
- Stenström y Schönning. 2004. Guidelines for the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems. ECOSANRES, 44.

- Stoffell, P.J. Y Kahn, B.A. 2005. Utilización del Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, Barcelona. 26 pp.
- Tard et al. 2006. Propuesta de un Programa de Producción más Limpia para la Curtiembre. Lima, Perú: UNALM.
- Tinoco, G. O.; Armijo, C. J. 2019. Gestión y Producción Más Limpia: Un Paradigma Vigente. Perú.
- Tirado, G. WE. 2015. Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un sistema Integral para el Tratamiento y Aprovechamiento del Potencial Energético y Fertilizante de las Excretas Humanas y Animales en una Vivienda Rural. Tesis de grado Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Colombia.
- Trejo, C. W. 2012. Poblacion, Saca y Producción de Pieles y Cueros para el año 2012, seun Principales Especies a Nivel Nacional. Lima, Perú: UNALM.
- Vásquez, S. C. 2013. Saneamiento Innovador en Lima. Lima, Perú : II Simposion de Residuos Sólidos en Perú .
- Vásquez-Aguilar, M. M. 2007. Fundamentos de la determinación de parámetros cinéticos para microorganismos de interés en tratamiento térmico de alimentos. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, 1 - 14.
- Vega Z., L., Tellez M., L., Nieto A., C., Césare C., M. F., Vega Z., N., Vargas P., R., & Visitación F., L. 2014. Aplicación de residuos sólidos hidrolizados del proceso de pelambre enzimatico como fuente de aminoácidos libres en el crecimiento de plántulas de maíz. Revista Ingenieria de la USIL, 22 - 33.
- Winblad, U., Simpson-Hébert, M., & Sawyer, R. 2009. Saneamiento Ecologico Manejo Sustentable de Residuo Humanos y Domésticos . Estocolmo, Suecia: Pax México.

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

Acciona Business as Unusual. 2019. Consultado el 13 de junio del 2018. Disponible en:
<https://www.acciona.com/es/sostenibilidad/medio-ambiente/economia-circular/>

Baños Secos Portátiles: Saneamiento básico para poblaciones vulnerables. Consultado el 13 de junio del 2018. Disponible en:
https://construccionyvivienda.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=336:saneamiento-basico-para-poblaciones-vulnerables

Ellen MacArthur Foundation EMF. 2019. Economía Circular en Ciudades: Guía de Proyecto. Consultado el 13 de junio del 2018. Disponible en:
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Ekonomi%CC%81a-Circular-en-Ciudades-Gui%CC%81a-de-Proyecto.pdf>

FORBES. 2015. Revisado el 13 diciembre de 2017. Disponible en:
<https://www.forbes.com/pictures/gkhd45gd/isabel-medem-29/#6b6d4a0b1f14>

FORBES. Noviembre de 2015. Emprendedores Sociales. Revisado el 02 de Febrero de 2016, de FORBES 30 UNDER 30. Disponible en:
<http://www.forbes.com/30-under-30-2015/#/social-entrepreneurs>

Instituto Peruano de Competitividad (IPC). 2015. Entrevista a Isabel Medem, CEO de X-runner y ganadora del premio MIT Technology Review: Innovadores menores de 35 (Perú). Realizado 12 enero del 2015. Disponible en:
<http://inspercom.org/index.php/entrevista-a-isabel-medem-ceo-de-x-runner-y-ganadora-del-premio-mit-technology-review-innovadores-menores-de-35-peru/>

X-Runner. 2016. xrunner. Revisado el 13 de setiembre de 2017. Disponible en:
<http://xrunner-venture.org/es/contacto/>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: FICHAS TÉCNICAS

Ficha Técnica TANDESCAL BASE

	
TANDESCAL® BASE Desencalante de ação profunda	
Denominação Química	Composto sinérgico a base de sais de hidrólise ácida e ácidos de ação complexante de cálcio.
Aspecto	Pó branco homogêneo.
pH (1:10)	Aprox. 2,5
Campo de Aplicação	Na desencalagem de todo tipo de peles.
Propriedades	<p>Tandescal® BASE é um desencalante em pó que contém sais de hidrólise ácida e ácidos complexantes de cálcio com propriedades não inchantes.</p> <p>É isento de sulfato de amônia, isso permite a redução da oferta de desencalante pela metade da oferta normal. O que representa uma redução significativa de custo.</p> <p>É recomendada a utilização de Tandescal® BASE combinado com o sulfato de amônia, evitando-se assim a redução acentuada do pH.</p> <p>Em desencalagem com CO₂, Tandescal® BASE pode ser aplicado na concentração de 0,2 – 0,4% juntamente com o sulfato de amônia. Isso acelera o atravessamento no corte, diminuindo de forma significativa o tempo do processo e agindo como agente de segurança, principalmente para couros grossos.</p> <p>Devido à sua composição, solubiliza a cal quimicamente ligada ao colágeno, que é responsável pelo aspecto vítreo do couro.</p>
Aplicação	Recomendamos o uso de 0,8 a 3% de Tandescal® BASE , só ou combinados com outros agentes desencalantes.
Estabilidade de estocagem:	Evite-se a umidade e exposição excessiva ao sol. O ideal é armazenar em local limpo e arejado com temperatura entre 20 – 35° C.
Precauções:	Recomenda-se o uso de luvas e óculos de segurança durante o seu manuseio. Ocorrendo contato acidental com a epiderme ou mucosas, enxaguar as partes afetadas com bastante água.
<small>As informações e recomendações dos nossos produtos são meramente orientativas. Compreendem o nosso atual estágio de conhecimento das características dos mesmos. Não são, portanto, uma garantia formal, visto que os resultados obtidos serão dependentes das condições técnicas, bem como dos sistemas de aplicação. Sugerimos caso por caso, testes prévios em laboratório.</small>	
<small>Av. Fagundes de Oliveira, 1200 Vila São José – Diadema – SP – Brasil CEP 09950-300 Fone: (55)(11) 4072-5000 / 4071-3011 Fax: (55)(11) 4071-1780 - E-mail: tanquimica@uel.com.br Site: www.tanquimica.com.br</small>	

Ficha Técnica TANPLEX FLA



TANPLEX® FLA

Complexante de cálcio isento de nitrogênio

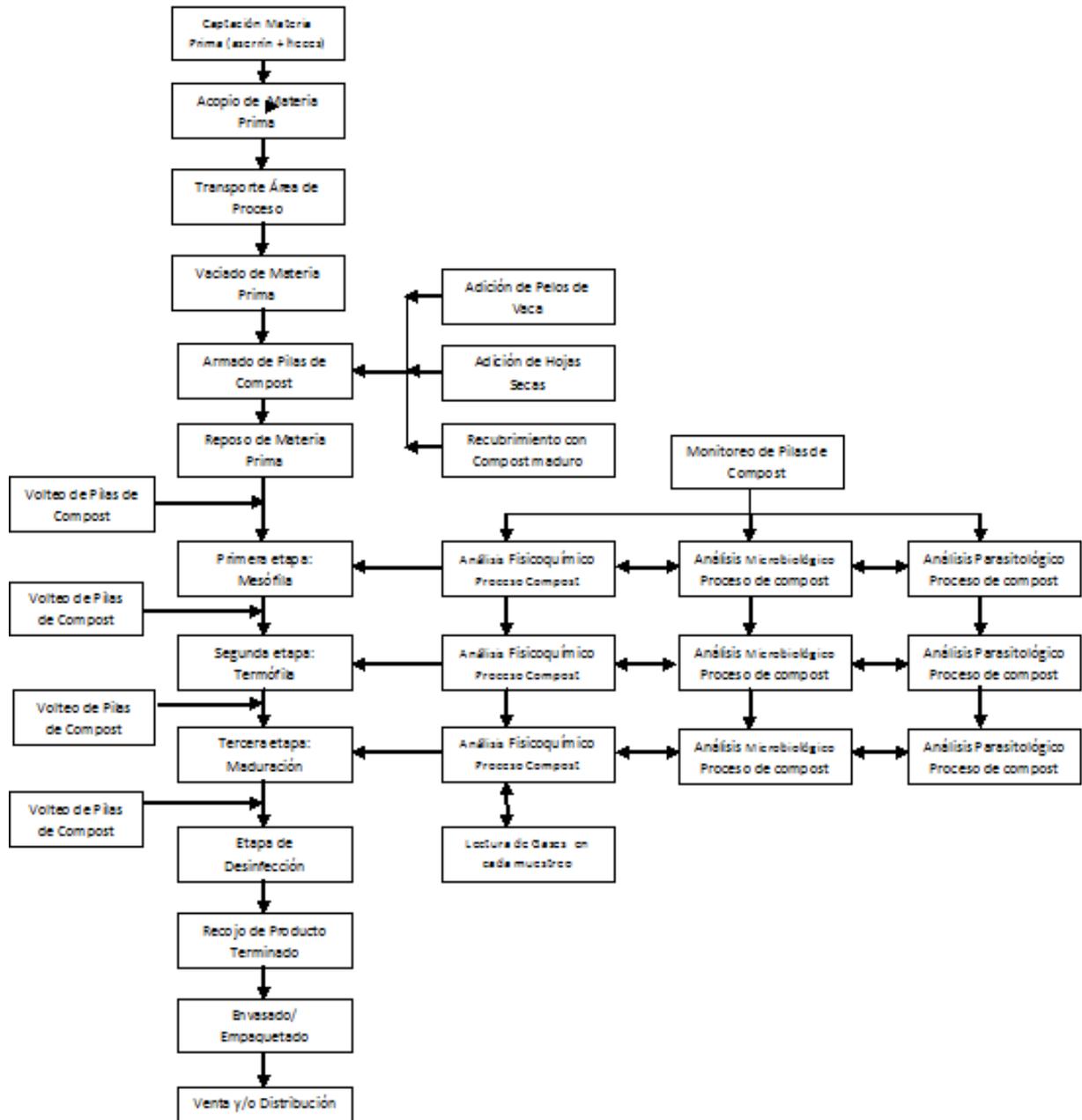
Denominação Química	Complexante de cálcio isento de nitrogênio.
Aspecto	Líquido amarelado.
pH (1:10)	Aprox. 1.5
Campo de Aplicação	Na desengalagem e complexação de cromo em curtimentos.
Propriedades	<p>Tanplex® FLA é um complexante de cálcio. Indicado para a desengalagem, onde se faz necessário desengalagem com baixo teor de nitrogênio, em função de odor e ou tratamento de efluente.</p> <p>A combinação de distintos complexantes de cálcio do Tanplex® FLA permite uma desengalagem profunda e rápida.</p>
Aplicação	<p>Aplica-se diluído 1:3 em água, dividido em 2 ou 3 adições.</p> <p>Recomenda-se o uso nas seguintes proporções:</p> <ul style="list-style-type: none">• Na desengalagem de 2,0 – 3,5% sobre o peso tripa, dependendo da combinação de desengalantes e da espessura dos couros.• No curtimento de 1,5 – 2,5% sobre o peso tripa como complexante de cromo em curtimentos sem píquel.• Em aplicações com baixo teor de nitrogênio se faz necessário o uso de no mínimo 0,5% de Sulfato de Amônio.
Estabilidade de estocagem	Evite-se a umidade e exposição excessiva ao sol. O ideal é armazenar em local limpo e arejado com temperatura entre 20 – 35° C.
Precauções	Recomenda-se o uso de luvas e óculos de segurança durante o seu manuseio. Ocorrendo contato acidental com a epiderme ou mucosas, enxaguar as partes afetadas com bastante água.

As informações e recomendações dos nossos produtos são meramente orientativas. Compreendem o nosso atual estágio de conhecimento das características dos mesmos. Não são, portanto, uma garantia formal, visto que os resultados obtidos serão dependentes das condições técnicas, bem como dos sistemas de aplicação. Sugerimos caso por caso, testes prévios em laboratório.

Av. Fagundes de Oliveira, 1200 Via São José – Diadema – SP – Brasil CEP 09950-300
Fone: (55)(11) 4072-5000 / 4071-3011 Fax: (55)(11) 4071-1780 - E-mail: tanquimica@uol.com.br Site: www.tanquimica.com.br

ANEXO 2: DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACION

DIAGRAMA DE FASES – COMPOST DE EXCRETAS HUMANAS



ANEXO 3: RESULTADOS DE LECTURA DE GASES

Resultados de Lectura de Dióxido de Carbono en Tratamientos de compostaje

Tabla Registro de Lectura de Producción de Gas CO₂

	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
Tiempo	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semanas	6 semana	8 semanas	12 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	4.65	2.8	0.7	0.5	2.03	1.53	1.5	0.6	2	0.8
	4.6	3	0.9	0.6	2	1.5	1.9	0.9	2	1.4
	4.7	3.1	0.8	0.7	2.01	1.45	1.7	0.8	1.9	1.6
XRA	4.5	0.10	0.1	2	2.5	2.1	1.8	2.2	3	1.3
	2	0.40	0.1	1.9	3.2	1.3	1.8	1.3	4.1	1.4
	2.1	0.4	0.1	1.9	2.9	1.7	1.7	2.3	3	3.8
XRB	0.3	1.5	0.1	2	2.7	3.4	1.8	0.6	2	1.5
	0.4	2.1	0.1	2	2.5	2.4	3.4	0.9	1.8	1.4
	0.4	1.2	0	3.1	2.5	3.3	3.4	0.5	2.6	1.6

Tabla Registro de Lectura de Producción de Oxígeno

	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
Tiempo	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semanas	6 semana	8 semanas	12 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	18.7	19.3	20.5	20.8	20	20.1	19.9	20.6	19.6	19.9
	16.3	17.4	20	19.1	19.5	19.7	18.8	20.4	19.7	19.4
	21.1	21.2	21	22.5	20.5	19.9	21	20.4	19.5	19.2
XRA	19	20.80	20.5	19.5	19.5	19.5	19.7	18.9	17.6	19.8
	18.3	20.80	20.5	19.7	19	20	19.6	19.6	16.6	19.8
	19.9	20.8	20.4	19.5	19.2	19.9	19.7	19.4	17.6	18.1
XRB	20.4	19.8	20.2	19.5	19	18.5	19.5	19.8	19.2	19.5
	20.3	19.3	19.8	19.5	18.9	19.2	18.6	19	19.4	18.8
	20.3	19.7	20.2	18.8	19.1	18.5	18.6	19.4	18.8	20.2

ANEXO 4: REGISTRO DE VALORES DE TEMPERATURA EN TRATAMIENTO DE COMPOSTAJE

Tabla Resultados de Lecturas de valores de Temperatura por Unidades de Compostaje

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
	1 semana s	2 semana s	3 semana s	4 semana s	5 semana a	7 semana s	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	43	36	39	40	40	33	58.8	53.6	48.3	36
	42	40	43	42	42	33	55.3	53.2	48.1	36
	40	42	43	40	39	37	55.8	44	47.7	35
XRA	48.5	56	52.1	52.7	56.4	54.9	53.1	51.9	49	40
	45.8	59	61.5	56.7	60.1	58.6	51.3	51.7	49.5	40.5
	43.6	57	60	55.8	59.3	57.9	50.6	50-6	50	40
XRB	55.3	54.5	51	62.4	60.5	58.5	50.8	50.4	48.3	37
	59.6	60.7	61.3	64.4	59.7	61.5	52.8	50.2	48.4	36
	66.4	64.4	63.3	64.1	62	60.3	54.4	50	47.7	37.5

Tabla: Valores Promedio de Temperatura por Unidades de Compostaje

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
	1 semanas	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Código	t1 (°C)	t2 (°C)	t3 (°C)	t4 (°C)	t5 (°C)	t6 (°C)	t7 (°C)	t8 (°C)	t9 (°C)	t10 (°C)
XR	41.7	39.3	41.7	40.7	40.3	34.3	56.6	50.3	48.0	35.7
XRA	46.0	57.3	57.9	55.1	58.6	57.1	51.7	51.8	49.5	40.2
XRB	60.4	59.9	58.5	63.6	60.7	60.1	52.7	50.2	48.1	36.8

ANEXO 5: RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LABORATORIO

Registro de valores de Análisis Carbono/ Nitrógeno (% en Materia Seca)

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170	
	1 semanas	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas	
Etapas	Mesofila	Termofila						Enfriamiento			
Codig o	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	
XR	29.1	41.2	36.5	33.4	34.1	28.8	30.5	27.6	22.9	16	
	27	41	35.7	32.5	39.2	30.4	30.6	29.2	24.3	14.9	
XRA	21.8	21.7	26.6	18.2	17.7	23.6	16	14.2	17.3	19.4	
	23.3	22.9	25.7	18	19.4	21.2	16.5	16.9	18.4	15.8	
XRB	38.6	22.2	30.3	19.7	25.5	28.8	20.4	21.9	19.4	13.5	
	34.7	23.7	30.4	20.9	25.9	28.2	21	22.2	19.2	15.9	

Registro de valores de Análisis Nitrógeno amoniacal (% en Materia Seca)

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170	
	1 semanas	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas	
Etapas	Mesofila	Termofila						Enfriamiento			
Codig o	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	
XR	0.17	0.16	0.12	0.1	0.18	0.14	0.05	0.04	0.02	0.02	
	0.18	0.13	0.12	0.12	0.18	0.13	0.04	0.04	0.03	0.01	
XRA	0.32	0.22	0.21	0.15	0.31	0.21	0.07	0.07	0.01	0.02	
	0.3	0.24	0.22	0.13	0.32	0.22	0.06	0.06	0.03	0.02	
XRB	0.05	0.04	0.05	0.06	0.08	0.05	0.05	0.05	0.01	0.02	
	0.05	0.05	0.05	0.04	0.09	0.06	0.05	0.01	0.01	0.02	

Registro de valores de Análisis Perdidas por calcinación (% en Materia Seca)

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
	1 semanas	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Etapas	Mesofila	Termofila						Enfriamiento		
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	69.1	71.4	76	74.8	62.4	66.6	64.7	63.9	61.3	58.6
	69.5	72.7	72.6	75.7	65	69.2	65	69	61.9	58.7
XRA	81.2	66	79.3	72.4	74.7	77.3	65.7	62	63.8	57
	82	66.4	80.5	71.1	75.8	75.4	68.3	65.4	63.7	59.6
XRB	83	77.1	80.4	72.2	78.1	78.7	73.2	72.7	66.5	61.6
	80	77.1	79	75.7	78.2	78.3	74.7	71.5	67.1	62.8

Registro de valores de Análisis Carbono Orgánico Total (% en Materia Seca)

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
	1 semanas	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Etapas	Mesofila	Termofila						Enfriamiento		
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	40.1	41.4	44.1	43.4	36.2	38.6	37.5	37.1	35.6	34
	40.3	42.2	42.1	43.9	37.7	40.1	37.7	40	35.9	34
XRA	47.1	38.3	46	42	43.3	44.8	38.1	35.9	37	33.1
	47.6	38.5	46.7	41.2	44	43.8	39.6	38	36.9	34.6
XRB	48.1	44.7	46.6	41.8	45.3	45.6	42.4	42.2	38.6	35.7
	46.4	44.7	45.8	43.9	45.4	45.4	43.3	41.5	38.9	36.4

Registro de valores de Análisis Ceniza (% en Materia Seca)

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170	
	1 semanas	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas	
Etapas	Mesofila	Termofila							Enfriamiento		
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	
XR	30.4	28.3	23.6	24.9	37	32.8	30.9	35.7	38.5	41.2	
	30.1	26.9	27	23.9	34.5	30	30.7	30.5	37.3	41.1	
XRA	18.5	33.60	20.3	27.1	25.1	22.4	34	37.7	35.9	42.4	
	17.6	33.1	19.1	28.5	23.8	24.3	31	34.2	36	39.8	
XRB	16.6	22.4	19.2	27.1	21.6	21	26.5	27.1	33.2	38.1	
	20.3	22.4	20.7	24	21.4	21.8	24.9	28.2	32.6	36.9	

Registro de valores de Análisis Capacidad de Retención de Agua (%)

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170	
	1 semanas	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas	
Etapas	Mesofila	Termofila							Enfriamiento		
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	
XR	289.1	323.8	315.1	335.2	294.5	277.1	329.9	320.6	340.7	375	
XRA	187	191.8	255.5	208.5	305.6	277.4	218.6	293.6	135.5	208.6	
XRB	183.8	285	325.2	339.9	293.5	163.6	298	164.6	165	158.1	

Resultados de análisis para Parámetro: Potencial de Hidrogeno

Tiempo	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
	1 semana	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	8.2	8.34	8.37	8.1	7.95	7.47	5.95	5.88	7.03	6.77
	8.18	8.35	8.22	8	7.97	7.41	5.94	5.9	7.02	6.8
XRA	8.2	8.74	8.59	8.4	8.43	8.15	7.4	7.71	7.52	7.99
	8.18	8.76	8.58	8.22	8.44	8.13	7.57	7.67	7.46	7.96
XRB	8.77	8.25	8.53	8.31	8.12	8.09	8.01	7.22	7.58	7.57
	8.76	8.17	8.56	8.39	8.17	8.17	7.89	7.15	7.75	7.56

Resultados de Conductividad Eléctrica

	Día 7	Día 15	Día 21	Día 28	Día 35	Día 50	Día 80	Día 110	Día 140	Día 170
Tiempo	1 seman a	2 semanas	3 semanas	4 semanas	5 semana	7 semanas	11 semanas	16 semanas	20 semanas	24 semanas
Código	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
XR	2.7	2.15	2.1	1.88	2.41	2.49	2.38	2.35	2.16	2.41
	2.8	2.07	2.09	2.02	2.44	2.5	2.37	2.29	2.09	2.41
XRA	2.7	4.57	2.51	3.58	3.91	3.69	3.25	2.78	3.41	3.84
	2.8	4.11	2.77	3.52	4.02	3.7	3.17	2.99	3.45	3.44
XRB	2.68	3.3	2.88	3.26	3.06	3.52	3.14	3.1	2.36	3.07
	3.01	3.39	2.76	3.5	3.43	3.64	3.06	3.01	2.06	2.94

ANEXO 6: IMÁGENES TRABAJO EXPERIMENTAL

TRATAMIENTO PRELIMINAR DE PELOS DE VACUNO



Lavado de Pelos de vacuno para obtener un valor neutro de pH

INSTALACION DE UNIDADES DE COMPOSTAJE



Techado de Pilas de compost



Instalación de unidades de compostaje



Contenedor de material secante



Recojo de Material fecal



Recojo de material secante



Heces deshidratadas en bolsas biodegradables



Descarga de contenedores y formación de Unidades de compostaje





Recubrimiento de suelo y Techado de las unidades de compostaje

LECTURA DE GASES



Muestreo y Lectura de gases

EVALUACION DE PARAMETROS DE CAMPO



Medida de Valores de Temperatura



Vaciado e instalación de los tratamientos



Adición de insumos en instalación de tratamientos

EVALUCION DE PARAMETROS EN LABORATORIO



Lectura de conductividad eléctrica y valores de pH

Filtrado de muestras, Nitrógeno amoniacal



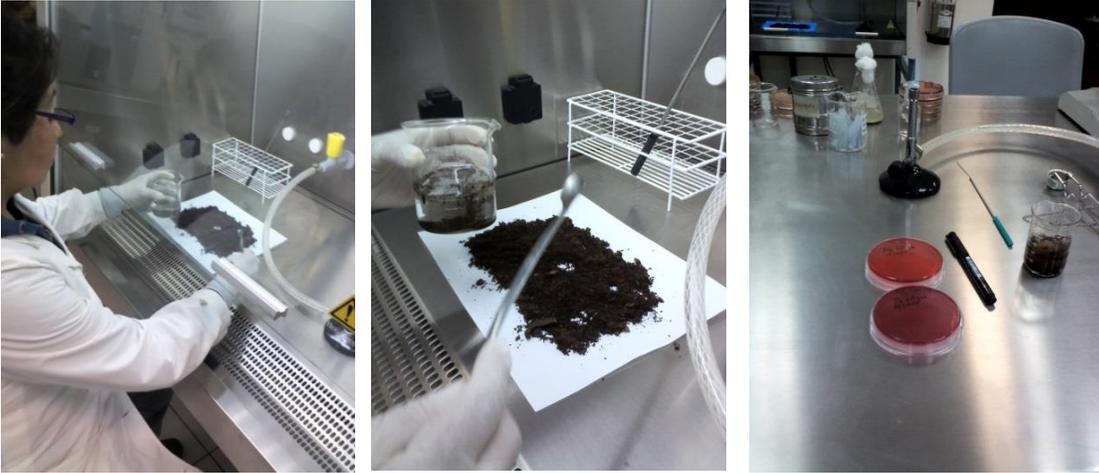
Digestión para evaluar Nitrógeno total

Nitrógeno Kjeldahl



Evaluación de densidad

ANALISIS BIOLÓGICOS



Preparación de muestras y Siembra en placas con medio de cultivo



Medio de cultivo Bacterias



Evaluación de Parásitos

