



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN
CON LA COLECTIVIDAD**

**MAESTRIA EN ENERGÍAS RENOVABLES
I PROMOCIÓN**

**TESIS DE GRADO MAESTRIA EN ENERGÍAS RENOVABLES
I PROMOCIÓN**

**TEMA: “SANITARIO SECO COMPOSTERO: ANÁLISIS INVESTIGATIVO DEL
CICLO DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL HUMANA
APLICADA EN UN CLIMA MESOTÉRMICO SEMIHÚMEDO”**

AUTOR: ING. ENDARA MALDONADO CHRISTIAN FERNANDO

DIRECTOR: ING. MSC. CORAL CARRILLO KATTY VERÓNICA

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

La suscrita Ing. Katty Verónica Coral Carrillo MSc., con cedula de identidad No.1709054058, en calidad de Director de Tesis de la Maestría en Energías Renovables,

CERTIFICA

Que el presente proyecto de grado que lleva como título, **“SANITARIO SECO COMPOSTERO: ANÁLISIS INVESTIGATIVO DEL CICLO DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL HUMANA APLICADA EN UN CLIMA MESOTÉRMICO SEMIHÚMEDO”** realizado por el Ingeniero Christian Fernando Endara Maldonado, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 171590693-7, como requisito para la obtención del título de Magíster en Energías Renovables, Primera Promoción de la ESPE, fue desarrollada bajo mi dirección y asesoría. La misma que cumple con los requerimientos científicos, tecnológicos y académicos, razón por la cual autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí, 02 de julio de 2015



ING. KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO Msc.

DIRECTORA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

CHRISTIAN FERNANDO ENDARA MALDONADO

DECLARA QUE:

El proyecto de posgrado denominado “**SANITARIO SECO COMPOSTERO: ANÁLISIS INVESTIGATIVO DEL CICLO DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL HUMANA APLICADA EN UN CLIMA MESOTÉRMICO SEMIHÚMEDO**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 02 de julio de 2015

A handwritten signature in blue ink that reads "CHRISTIAN F ENDARA." The signature is written over a horizontal line.

ING. CHRISTIAN FERNANDO ENDARA MALDONADO

AUTOR

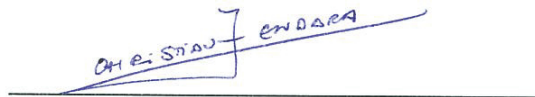
AUTORIZACIÓN

Yo,

CHRISTIAN FERNANDO ENDARA MALDONADO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el trabajo titulado **“SANITARIO SECO COMPOSTERO: ANÁLISIS INVESTIGATIVO DEL CICLO DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL HUMANA APLICADA EN UN CLIMA MESOTÉRMICO SEMIHÚMEDO”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 02 de julio de 2015

A handwritten signature in blue ink, reading "CHRISTIAN FERNANDO ENDARA", written over a horizontal line.

ING. CHRISTIAN FERNANDO ENDARA MALDONADO

AUTOR

AGRADECIMIENTO

Este proyecto investigativo no pudo haberse desarrollado sin la guía y voluntad de mi Dios, que me ha permitido enfocar mis estudios en un tema que puede generar soluciones a muchas personas y contribuir a la protección del medio ambiente, por eso mi agradecimiento a Él.

A toda mi familia; esposa, hija, padres, hermanas y abuelos, que han sido el sustento y mi inspiración para lograr este objetivo.

A la ESPE y sus docentes que me impartieron sus conocimientos para crecer profesionalmente pero sobre todo inculcando valores humanos en mí, en especial a mi tutora por su apoyo y confianza en este proyecto.

A Douglas McMeekin, Director de Yachana Foundation, por haberme enseñado a innovar e investigar en temas sencillos, pero con grandes soluciones sociales y a la empresa Ambiente Creativo donde se adquirió el inodoro con separador de orina, base principal de este estudio.

Christian Endara

07, 2015

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Definición del problema.....	4
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Alcance	7
1.6. Justificación e importancia	8

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1. Nutrientes de la Excreta Humana	11
2.1.1. Composición de los nutrientes en la orina y disponibilidad para las plantas.....	12
2.1.2. Composición de los nutrientes en las heces y disponibilidad para las plantas.....	14
2.1.2.1. Macronutrientes en la excreta humana	15
2.1.2.2. Contenido de Metales Pesados y Sustancias Tóxicas en la excreta.....	18

2.2. Tecnologías utilizadas para la recolección y tratamiento de las excretas humanas.....	21
2.2.1. Sistemas Técnicos Convencionales	23
2.2.1.1. Sistemas de Alcantarillado Sanitario	24
2.2.1.2. Fosas Sépticas	27
2.2.1.3. Letrinas sanitarias y Unidades Sanitarias Integrales	28
2.2.2. Sistemas de Saneamiento Ecológico	29
2.2.2.1. Sistemas sanitarios basados en la deshidratación.....	29
2.2.2.2. Sistemas sanitarios basados en la descomposición.....	35
2.3. Proceso de Compostaje Aerobio.....	40
2.3.1. Sistemas de compostaje.....	42
2.3.1.1. Sistemas abiertos	42
2.3.1.2. Sistemas cerrados.....	46
2.3.2. Características de los residuos a compostar.	49
2.3.2.1. Residuos inorgánicos:	49
2.3.2.2. Residuos orgánicos	49
2.3.3. Factores de análisis en el proceso	50
2.3.3.1. Etapas del Compostaje	50
2.3.3.2. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N).....	53
2.3.3.3. Humedad.....	54
2.3.3.4. El Potencial Hidrógeno (pH)	54
2.3.3.5. La aireación.....	54
2.4. Características técnicas de la Composta.....	55

CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Sanitario ecológico seco compostero.....	57
3.1.1. Instalación del sistema.....	57
3.1.2. Capacitación para el correcto aprovechamiento.....	58
3.1.3. Procedimientos.	59
3.1.3.1. Procedimientos en uso de equipo.....	59
3.1.3.2. Procedimiento toma de muestras	61
3.1.3.3. Procedimiento de seguridad industrial y salud ocupacional.....	63

3.2. Experimentación e Investigación del proceso de transformación de la biomasa	64
3.2.1. Análisis y caracterización de la biomasa en la etapa de Activación.....	65
3.2.2. Análisis y caracterización de la biomasa en la etapa de Calentamiento	66
3.2.3. Análisis y caracterización de la biomasa en la etapa de Enfriamiento	67
3.2.4. Análisis y caracterización de la biomasa en la etapa de Maduración .	67
3.3. Tratamiento Estadístico de los resultados	68
3.4. Investigación comparativa entre el producto final del proceso con sistemas tradicionales.....	70

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Evaluación del proceso de compostaje por etapas.....	73
4.2. Evaluación de la composta final.....	77
4.3. Normalización del proceso.....	83
4.3.1. Aspectos Cuantitativos.....	83
4.3.2. Aspectos Cualitativos.....	84

CAPITULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Análisis costo – beneficio.....	85
5.2. Análisis Económico Financiero	89

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones	91
6.2. Recomendaciones	94

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
---------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de flujo y descarga tradicional de aguas servidas.	3
Figura 2 Saneamiento ecológico considerado como un ciclo cerrado	10
Figura 3 Sistemas de recolección de excreta humana a través de la historia.	22
Figura 4 Sistema de alcantarillado sanitario	25
Figura 5 Pozo Séptico.	27
Figura 6 Unidades Sanitarias Integrales	28
Figura 7 Sanitario vietnamita, cuenta con dos cámaras de 80x80x50cm y con una losa para desviar la orina a un recipiente recolector.	30
Figura 8 Sanitario seco con doble cámara en América Central y México (LASF)	31
Figura 9 Sanitario LASF utilizado en México.	32
Figura 10 Sistema WMEkologen ES con canalización de orina en un tanque de almacenamiento subterráneo	33
Figura 11 Sanitario de una cámara con calentador solar y empujador.....	34
Figura 12 Sanitario con doble cámara y calentadores solares	34
Figura 13 Baño ClivusMultrum instalado en el sótano de una casa en Suecia.....	36
Figura 14 Sanitario composta carrusel de Noruega.....	37
Figura 15 Sanitario con doble cámara y calentadores solares.	38
Figura 16 Sanitario Kiribati con desviación de orina	38
Figura 17 Sanitario con doble cámara y calentadores solares	39
Figura 18 Sanitario con doble cámara en Kerala-India.....	40
Figura 19 Clasificación general de sistemas de compostaje	42
Figura 20 Pilas estáticas con aireación pasiva.	43

Figura 21 Pilas estáticas con aireación activa	44
Figura 22 Pala cargadora volteando pila de compost.....	45
Figura 23 Planta de biometanización.....	47
Figura 24 Evolución de la temperatura durante un proceso de compostaje.	53
Figura 25 Diagrama para la acumulación de composta.....	61
Figura 26 Matriz FODA Inodoro Seco Compostero	70
Figura 27 pH durante el proceso de compostaje.	73
Figura 28 Humedad durante el proceso de compostaje	74
Figura 29 Ceniza durante el proceso de compostaje.....	75
Figura 30 Evolución de ensayos microbiológicos	76
Figura 31 Nitrógeno Total durante el proceso de compostaje.	79
Figura 32 Comportamiento de nutrientes durante el proceso de compostaje (P, K, Ca, Mg).....	80
Figura 33 Comportamiento de nutrientes durante el proceso de compostaje (Mn, Fe, Cu, B, Zn).....	80
Figura 34 Ensayos microbiológicos realizados a las muestras en distintos tiempo de retención.	82
Figura 35 Gráfica comparativa del consumo de agua en m3 entre un baño seco compostero y baño tradicional de descarga.....	88
Figura 36 Gráfica comparativa del consumo anual en USD entre un baño seco compostero y baño tradicional de descarga.	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales componentes inorgánicos y orgánicos presentes en la orina humana.....	14
Tabla 2 Nuevos valores propuestos para la masa de nutrientes excretados en Suecia.	16
Tabla 3 Concentraciones de metales pesados (Cobre, Zinc, Níquel, Plomo, y Cadmio) en orina, heces, en la mezcla (orina+heces) y en los residuos de cocina separados, comparados con el estiércol de aves de corral.....	18
Tabla 4 Descripción de la Figura 3 Sistemas de recolección de excreta humana a través de la historia.....	23
Tabla 5 Análisis comparativo de sistemas de compostaje.....	48
Tabla 6 Parámetros de estabilidad del Compost	55
Tabla 7 Procedimiento para el uso de sanitario seco compostero	60
Tabla 8 Laboratorios acreditados por la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, donde se realizaron los análisis de las muestras.....	62
Tabla 9 Equipo EPP necesario para realizar el muestreo	63
Tabla 10 Ensayos Físico – Químicos	64
Tabla 11 Ensayos Microbiológicos	65
Tabla 12 Procesamiento de Ensayos Físico-Químico.	69
Tabla 13 Procesamiento de Ensayos Microbiológicos.....	69
Tabla 14 Evaluación de los nutrientes durante el proceso de compostaje.	78
Tabla 15 Extracción de nutrientes por cultivo (kg/ha)	81
Tabla 16 Evaluación de los patógenos durante el proceso de compostaje.	83

Tabla 17 Aspectos cualitativos del proceso	84
Tabla 18 Consumo comparativo de consumo de agua entre sanitario seco compostero y baño de descarga tradicional.....	86
Tabla 19 Consumo anual de agua en un baño seco compostero en m ³	87
Tabla 20 Consumo anual de agua en un baño tradicional de descarga en m ³	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo No.1	Autorización para la construcción de Sanitario Seco Compostero
Anexo No. 2	Respaldo Fotográfico
Anexo No. 3	Planos constructivos
Anexo No.4	Tríptico Baño Seco Ecológico
Anexo No. 5	Resultados de Laboratorio
Anexo No.6	Costo de implementación del proyecto

RESUMEN

El desarrollo de este proyecto investigativo evalúa el proceso de renovación y aprovechamiento de la biomasa residual humana, a 2.510 m.s.n.m, zona climática Mesotérmica Semihúmeda. Presenta una alternativa no convencional que obtiene composta libre de patógenos a partir de la excreta humana, disminuye el consumo de agua y favorece a la conservación del medio ambiente al trabajar en un ciclo cerrado de la naturaleza. La valoración del proceso de transformación de la biomasa humana se realiza a través de ensayos Físico-Químicos y Microbiológicos; permite evaluar el proceso de compostaje por cuatro etapas: Activación (Mesolítico), Calentamiento (Termofílico), Enfriamiento y Maduración y conocer la cantidad de nutrientes y poblaciones microbianas de la composta obtenida. El desarrollo de este estudio presenta una alternativa sustentable y sostenible dentro de los marcos: social, ambiental y económico; cuyo producto final (composta), con adecuado control, entrega nutrientes a la tierra haciéndola más fértil, favoreciendo la obtención de productos con mejor calidad y sin componentes químicos artificiales.

PALABRAS CLAVES:

- **SANITARIO SECO COMPOSTERO**
- **BIOMASA RESIDUAL HUMANA**
- **ETAPAS DEL COMPOSTAJE**
- **NUTRIENTES DE LA EXCRETA HUMANA**
- **COMPOSTA.**

ABSTRACT

The development of this research project evaluates the process of renewal and utilization of human waste biomass 2.510 meters above sea level, semi-humid mesothermal climate zone. This project presents an unconventional choice to get free compost pathogens from human waste, which reduces water consumption and promotes the environment conservation by working in a closed cycle of nature. The assessment of this transformation process of human biomass is carried out through physical-chemical and microbiological tests. Indeed, it evaluates the composting process through four stages: Activation (Mesolithic), Heating (Thermophilic), Cooling and Maturation; and it also reveals the amount of nutrients and microbial populations of the compost obtained. The development of this research presents a sustainable alternative within social, environmental and economic framework; which final product called compost, through an adequate control, nourishes the earth, making it more fertile and helps obtain better quality products with better quality and no artificial chemicals.

KEYWORDS:

- **DRY TOILET COMPOST**
- **HUMAN WASTE BIOMASS**
- **STAGES OF COMPOSTING**
- **HUMAN EXCRETAL NUTRIENTS**
- **COMPOST.**

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

La implementación del Sanitario Seco Compostero y el análisis investigativo del ciclo de transformación de la biomasa residual humana, consiste en desarrollar una alternativa para el tratamiento y aprovechamiento adecuado de las excretas humanas; fomentando satisfacer las necesidades de saneamiento de una manera responsable e inofensiva al medio ambiente.

El baño seco implementado en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, consta de una cabina, lavamanos, urinario y lo principal un inodoro separador de orina con taladro, tapia y tubería de ventilación; es importante mencionar que el inodoro es un prototipo desarrollado por Ambiente Creativo. Adicional cuenta con un humedal artificial para el tratamiento natural de la orina y aguas producto del uso del lavamanos.

El uso del baño seco compostero, marca una nueva tendencia en los siguientes aspectos:

1. Transformación y aprovechamiento de la biomasa residual humana en compostaje.
2. Ahorro y no contaminación del agua, que por lo general es potable o tratada.
3. Conservación del medio ambiente al trabajar en un ciclo cerrado de la naturaleza.

Esto se logra y desarrolla solo cuando el “usuario” se encuentra totalmente concientizado y comprometido en sumar sus esfuerzos para adaptarse a esta tecnología, para beneficio del planeta y sus futuras generaciones. De la misma manera la investigación y mejoramiento de estos sistemas debe estar enfocado a brindar el adecuado confort a los usuarios.

La cabina y humedal, implementados en el presente estudio investigativo, fue construido de tal manera que pueda servir para difusión y réplicas del sistema.

Ventajas de un baño seco

- Ahorra agua.
- Cuidado del ambiente.
- Produce abono.
- Es económico para construir y mantener.
- Puede construirse fácilmente con mano de obra y materiales locales.
- Es un sanitario limpio y sin malos olores.

Desventajas de un baño seco

- Requiere mantenimiento periódico.
- Requiere mantenimiento periódicamente de las cámaras de compostaje.
- Requiere una mezcla para cubrir los excrementos.

1.2. Antecedentes

Las tradicionales y actuales soluciones tecnológicas desarrolladas para el tratamiento y recolección de excretas humanas, se basan en el criterio de enviar a la mayor distancia posible los desechos, es decir separar al productor (hombre) y los desechos generados (excreta).

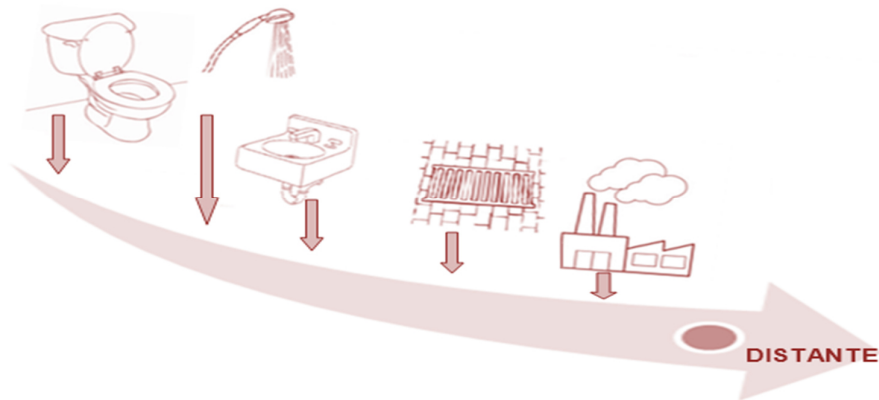


Figura 1 Sistema de flujo y descarga tradicional de aguas servidas.
Fuente: (Jenkins, 2005)

La acción de enviar los desechos lo más lejos posible y a la vez librarse de esa responsabilidad, se la puede apreciar fácilmente en cada una de las ciudades donde vivimos y con las técnicas utilizadas por los Municipios para la eliminación y disposición de las aguas servidas; además de la ubicación de los botaderos de basura. De acuerdo con (Gallardo V. y Hecke F., 2002), Estas prácticas no son otra cosa que: “maneras de crear distancia entre nuestros sentidos y nuestros desechos”.

Para el desarrollo de este proyecto se analizan los factores preponderantes, que marcan las costumbres y tradiciones en la actividad de recolección de orina y excreta humana como son: ubicación geográfica, nivel

cultural, condición socio-económica y adaptación a nuevas experiencias ecológicas que no afecten el confort y calidad del servicio.

El Gobierno Nacional, Gobiernos Seccionales y otras Organizaciones Privadas enfocadas en la Salud, han encaminado esfuerzos en difundir lo peligroso que resulta contaminar suelos y aguas con excretas humanas y utilizar estas aguas para irrigación de cultivos. Lamentablemente no se han entregado soluciones concretas que permitan el aprovechamiento de un sistema de Saneamiento Ecológico combinado con buenas prácticas de higiene.

1.3. Definición del problema

(Pérez, 2011), sostiene que en el Ecuador, el agua se desperdicia entre el 30% y 40% tanto en zonas urbanas como en las rurales, a pesar de que todavía hay zonas que sufren de escasez en el suministro de la misma. Si bien la Organización Mundial de la Salud (OMS) sostiene que una persona necesita unos 150 litros de agua diarios para satisfacer sus necesidades básicas, en Quito la cifra casi se duplica: cada individuo consume cerca de 240 litros diarios, 90 litros en exceso.

Las principales causas del desperdicio de agua, generadas diariamente por los ciudadanos son: (0.25%) en alimentación, (8%) lavado de utensilios de cocina, (8%) limpieza de vivienda y jardines, (15%) lavado en ropa, (30%) en aseo personal y un (35%) en inodoro, información obtenida del Museo del Agua (Yakú) Quito-Ecuador.

Los métodos utilizados en la actualidad para recolectar los desechos de las necesidades fisiológicas humanas, varían según las condiciones culturales y económicas de las personas, sobresaliendo los sistemas de agua corriente que ocupan un inodoro con desagüe, letrinas, entre otros; pero finalmente el problema se conjuga en los residuos generados.

Desde el enfoque como usuario de inodoros con sistema de drenaje y agua corriente, el problema de residuos se resuelve con el simple hecho de jalar una cadena o aplastar un botón, pero lo único que se logra es transferir el problema a otro lugar. Estos lugares generalmente son plantas de tratamiento, en el caso de grandes ciudades y pozos sépticos en poblaciones rurales.

Si bien las plantas de tratamiento y depuración de aguas negras entregan “agua tratada”, la misma todavía tiene cierto grado de contaminación y es vertida en los ríos, lagos y mares contaminando el agua de donde nos abastecemos para satisfacer nuestras necesidades futuras. Cabe mencionar el elevado costo de instalación y operación de las mismas.

Con relación a los pozos o fosas sépticas, hay que tener en claro que son sistemas primarios que colectan aguas negras, y las transforma en aguas grises, de manera que debe estar precedido de un sistema terciario para tratar las aguas grises, actividad que normalmente no se realiza. Adicional a este problema, las fosas sépticas en su mayoría son construidas sin un estudio técnico que garantice su funcionamiento, derivando consigo otros problemas como: el descargar al medio un agua residual sin

tratamiento, contaminación del manto freático, y de los pozos de extracción de agua, malos olores, entre otros.

En zonas rurales y marginales, donde no se cuenta con sistema de alcantarillado, el sistema utilizado para la disposición de excretas son las letrinas; sistema que mantiene los residuos en el mismo lugar, más no contribuye en nada al adecuado tratamiento de los mismos, por el contrario, a mediano y largo plazo se convierte en fuente de producción de agentes patógenos y nitratos contaminando aguas subterráneas y el suelo.

El aprovechamiento de la biomasa residual humana puede ser tratada mediante un ciclo renovable cerrado, a través de la utilización de sanitarios secos composteros, sin la necesidad que intervenga el agua en un ciclo adicional,(Rizzardini, 2010) menciona: “Al agua lo que es del agua, a la tierra lo de la tierra”. Esto no solo contribuye al uso del recurso hídrico sino que evita su contaminación y la del medioambiente. Además de entregar nutrientes a la tierra haciéndola más fértil, favoreciendo a la obtención de productos con mejor calidad y sin componentes químicos artificiales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Investigar el ciclo de transformación y aprovechamiento de la biomasa residual humana en un clima mesodérmico semihúmedo, empleando un sanitario seco compostero que funcione en un ciclo cerrado sin intervención de agua natural.

1.4.2. Objetivos específicos

- Instalar un inodoro seco compostero, sobre los 2.500 m.s.n.m., con modificaciones a una instalación tradicional, que permita monitorear los factores físicos y químicos del ciclo renovable de la transformación de la biomasa residual humana.
- Desarrollar un manual de uso del baño seco compostero, el cual será difundido a un grupo de personas entre estudiantes y trabajadores de la Carrera de Energía y Mecánica, quienes serán los proveedores de la biomasa para el análisis.
- Realizar un estudio específico del comportamiento del ciclo de transformación de la biomasa residual humana hasta obtener composta de calidad y datos cuantitativos y cualitativos del proceso para una zona climática donde se pueden realizar réplicas del modelo.

1.5. Alcance

El presente proyecto presenta la valoración del proceso de transformación de la biomasa residual humana receptada en un sanitario seco compostero, en el clima Mesotérmico del Valle de los Chillos.

Adicional se entrega a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE un baño seco instalado, el mismo que cuenta con la cabina, inodoro separador de orina, taladro, tapia y tubería de ventilación; así como de un humedal artificial para el tratamiento de aguas grises, para que sirva de difusión, aprendizaje y nuevas investigaciones del aprovechamiento de la biomasa residual humana.

1.6. Justificación e importancia

Los residuos orgánicos ocupan en el mundo un lugar prioritario desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, de los cuales entre el 30% y el 65% provienen de los residuos domiciliarios (D. Sztern, M. Pravia, 1999), por lo tanto el estudio del aprovechamiento de la biomasa producida por las excretas y orines humanas y su transformación en composta se convierte en una alternativa duradera en el tiempo, por ser renovable.

El uso desmedido del inodoro conectado a un drenaje, dejó de ser el gran invento del pasado (solución) y se convirtió en la puerta para la contaminación ambiental. Es importante señalar las comodidades y confort que brinda este tipo de sistema y sobre todo que las personas se encuentran habituadas a su uso. El cambiar a otra alternativa, como los baños secos crea una sensación de retraso en el tiempo; sin embargo, el reto está en determinar el equilibrio entre la tecnología-ecología que puede convertirse en una solución, al no utilizar agua para transportar los residuos y sobre todo con un adecuado manejo aprovechar la biomasa residual como composta.

En el plano cuantitativo, si una vivienda adopta o sustituye el inodoro de agua corriente por uno seco, el consumo de agua “no” reduce significativamente, pero si se cambiaran todos los inodoros de una población el cambio sería muy evidente en muchos aspectos como es la reducción del consumo de agua, por ende menor costo y gasto de energía para su transporte y para bajar los costos de operación de las plantas de tratamiento de aguas negras, las que encaminarían sus esfuerzos para depurar aguas grises e industriales.

La biomasa en la naturaleza tiene un ciclo y en este ciclo todo lo orgánico se desintegra y regresa a la tierra con propiedades mejoradas, esto permite aprovechar los residuos y no verlos como una fuente de mal olor y foco de infecciones e insectos, en resumen se debe visualizar al “Saneamiento Ecológico” como un sistema cerrado, donde la excreta humana es considerada como un recurso renovable, que debe ser saneada antes de su recuperación y uso.

La investigación se basó en cuatro aspectos fundamentales:

1. Convertir la excreta humana en material seguro, libre de patógenos
2. Prevenir la contaminación ambiental.
3. Usar en la agricultura los productos seguros provenientes de la excreta humana saneada.
4. Avalar una tecnología que sea amigable con el ambiente y asequible al mercado ecuatoriano.

CICLO CERRADO DE LA EXCRETA HUMANA



Figura 2 Saneamiento ecológico considerado como un ciclo cerrado
Realizado por: Endara Ch. **Fuente:** (S. Esrey, J. Gough, D. Rapaport, R. Sawyer, M. Simpson-Hébert, J. Vargas, 1999)

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

La excreta humana según (Martín, 2004): “es el conjunto de los desechos de la nutrición expulsados fuera del organismo, esto conlleva: heces, orina y otros”. Analizado en términos sanitarios (Saneamiento Ambiental, 2000) menciona que: “es el lugar donde se arrojan las deposiciones humanas con el fin de almacenarlas y aislarlas para así evitar que las bacterias patógenas que contienen puedan causar enfermedades”.

La investigación del Sanitario Seco Compostero, servirá para validar una alternativa comfortable, higiénica, sencilla y económica que permita el aprovechamiento de la biomasa residual humana y su transformación en abono orgánico (composta).

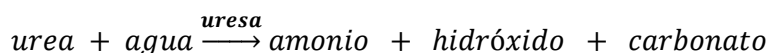
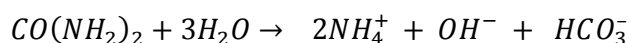
2.1. Nutrientes de la Excreta Humana

Como mencionan los autores (Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004), la orina y las heces son fertilizantes completos de alta calidad con bajo contenido de contaminantes, como metales pesados. La orina es rica en nitrógeno, mientras que las heces son ricas en fósforo, potasio y materia orgánica.

El presente estudio dará énfasis al análisis de la calidad del abono orgánico obtenido, puesto que la composta obtenida depende no solo del proceso de transformación sino también de la nutrición y estado de salud de cada persona.

2.1.1. Composición de los nutrientes en la orina y disponibilidad para las plantas.

Realizando un recorrido del proceso de obtención de orina humana, se identifica que la misma ha sido filtrada por los riñones por lo que únicamente contiene sustancias de bajo peso molecular. Al momento de ser evacuada la orina por el ser humano, presentan un pH ácido de alrededor de 6, en estudios realizados por (Lentner, 1981) y publicado en (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004), indica que puede variar entre 4.5 y 8.2; dentro del estudio el autor informa que alrededor del 75% y 90% del Nitrógeno es excretado como urea y el porcentaje remanente en su mayoría como amonio y creatinina. Según los autores (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004), la presencia de ureasa, que no es otra cosa que una enzima que se acumula en el sistema de tuberías de la orina, genera que la urea sea rápidamente degradada a amonio y dióxido de carbono (Ecuación 1) y los iones de hidróxido producidos e incrementan el pH alrededor de 9 a 9,3.

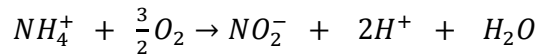


Ecuación 1

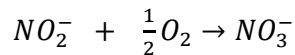
Fuente: (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004)

Del proceso de transformación de la Urea se desprende el Amonio, que es un fertilizante de Nitrógeno de muy buenas características y que puede ser aplicado directamente a las plantas. El Amonio aplicado en los suelos de

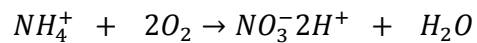
cultivo es transformado en Nitrato (Ecuaciones 2a 4). Mientras mayor sea la actividad microbiana del suelo menor será el tiempo de transformación, esto se debe que en la actividad intervienen los microbios.



Nitrosomonas **Ecuación 2**



Nitrobacter **Ecuación 3**



Transformación Acumulativa **Ecuación 4**

Fuente: (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004)

El uso de fertilizantes químicos comparados con los componentes de la orina humana no presenta variaciones como lo demuestran los estudios y experimentos realizados por los autores (Kirchmann & Pettersson, 1995) y (Richert Stintzing, Rodhe, & Akerhielm, 2001); publicado en (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004)

Entre los elementos analizados, presentes en la orina humana y los usados en los fertilizantes químicos están: el Nitrógeno (N) en forma de urea o amonio, Fósforo (P) inorgánico en forma de iones de fosfato, Potasio (K) en forma de iones y el Azufre (S) como iones libres de sulfato.

Tabla 1
Principales componentes inorgánicos y orgánicos presentes en la orina humana

COMPONENTES INORGÁNICOS		COMPONENTES ORGÁNICOS	
Potasio	2-4 g.	Urea	20-30 g.
Ácido sulfúrico	2-3 g.	Creatinina	08-1.2 g.
Ácido fosfórico	2-3 g.	Ácido úrico	0.6-0.8 g.
Amoniaco	0.5-1 g.		

Fuente: (Universidad de Chile, 2014)

2.1.2. Composición de los nutrientes en las heces y disponibilidad para las plantas.

Una vez eliminada la excreta del cuerpo humano, esta no puede ser utilizada directamente como abono, es necesario manejarla y tratarla de acuerdo lineamientos de higiene; como lo menciona (Schönning & Stenström, 2004)

En la publicación realizada por EcoSanRes (Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004), según estudios realizados por (Garrow, 1993) y (Becker, 1994); la acumulación de los nutrientes, producto de la alimentación, se desarrolla entre los 2 y 17 años y aproximadamente es de 2% de Nitrógeno, 6% de Fósforo y 0.6% Potasio y terminan una vez que el esqueleto y los músculos alcanzan su talla completa.

Esto nos indica que la cantidad de nutrientes consumidos es casi igual a los nutrientes excretados y por lo tanto si se desea calcular la cantidad de nutrientes que contiene una excreta sería necesario conocer la ingesta de alimentos.

2.1.2.1. Macronutrientes en la excreta humana

Los macronutrientes presentes en las excretas humanas son difíciles de cuantificar y calcular, tienen estrecha relación con la alimentación de las personas que generan la excreta. Según estudios efectuados por (González, 2012) las personas con régimen carnívoro excretan de 50 a 100 g por día; con régimen vegetariano de 250 a 400 g por día y con régimen mixto de 100 a 200 g por día; se puede obtener un promedio de eliminación fecal de aproximadamente 200 g por día.

La cantidad de nutrientes excretados es proporcional a los nutrientes consumidos, esto tiene algunas implicaciones importantes, ya que la ingesta de alimentos varía según las regiones y costumbres de las poblaciones lo cual hace que varíen las cantidades de nutrientes de las excretas y así las necesidades de nutrientes requeridos para la fertilización del suelo, aseveración realizada por (Schönning & Stenström, 2004). Para poder efectuar varios estudios se utiliza el método estadístico desarrollado por (Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004), en Suecia, a partir de la información de suministro de alimentos disponibles en varios países elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, es la uno de los pocos estudios que se ha realizado de mediciones de las cantidades y la composición de la excreta humana.

Tabla 2
Nuevos valores propuestos para la masa de nutrientes excretados en Suecia

Parámetro	Unidad	Orina	Heces	Papel Higiénico	Aguas Negras (orina+heces)
Masa húmeda	kg/persona año	550	51	8.9	610
Masa seca	kg/persona año	21	11	8.5	40.5
Nitrógeno	g/persona año	4000	550		4550
Fósforo	g/persona año	365	183		548

Fuente: (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004)

De los estudios realizados por los autores (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004), que desarrollaron las ecuaciones 5 y 6 que se presentan a continuación, se basan en la estimación de la excreción media de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) y de los datos estadísticos publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (Latham, 1997).

$$N = 0.13 \times \text{Proteína total de los alimentos}$$

Ecuación 5

$$P = 0.011 \times (\text{Proteína total de los alimentos} + \text{Proteína vegetal de los alimentos})$$

Ecuación 6

Fuente: (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004)

(Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004), explican que para utilizar las ecuaciones 2.5 y 2.6 descritas es necesario trabajar con las mismas unidades de medida del Nitrógeno (N) y Fósforo (P) de las

proteínas de los alimentos, adicional se puede apreciar claramente que existe una correlación positiva entre los contenidos de proteína y el Fósforo en los productos alimenticios.

Una parte de los nutrientes que contiene la fracción fecal son solubles en agua y otra parte de nutrientes que están combinados en partículas grandes insolubles en agua. Sin embargo los autores: (Berger, 1960), (Guyton, 1992), (Silva & Williams, 1997); aseguran que el 50% del Nitrógeno y la mayoría de Potasio encontrado en las heces fecales son solubles en agua; citado en (Schönning & Stenström, 2004)

A diferencia de los nutrientes que contienen la orina que son fácilmente aprovechados por las plantas, los nutrientes de las heces fecales es más baja y lenta, esto sucede a que el Fósforo y Nitrógeno que lo componen proviene de materia no digerida y la misma debe ser degradada en el suelo para ser aprovechadas por las plantas. Otros componentes que también están disponibles para el aprovechamiento de las plantas es el Fosfato de Calcio (al igual que los fertilizantes químicos) y el Potasio (en forma iónico).

En definitiva el Nitrógeno, es el único elemento que tiene menor disponibilidad comparado con los fertilizantes químicos o la orina. Sin embargo como lo menciona (Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004) las altas concentraciones de Fósforo, Potasio y materia orgánica que contiene la materia fecal pueden ocasionar un incremento sustancial en la producción, mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención del agua y la capacidad de amortiguamiento; se convierte en una fuente de energía de los microorganismos del suelo.

2.1.2.2. Contenido de Metales Pesados y Sustancias Tóxicas en la excreta

Si bien el contenido de metales pesados en la excreta es mayor que los encontrados en la orina, en ambos casos el contenido de metales pesados y otras sustancias contaminantes como los residuos de plaguicidas es muy bajo.

Los autores (Jönsson, Stenström, & Sundin, 1997), (Johansson, Jönsson, Höglund, Stintzing, & Rodhe, 2001), (Vinnerås, 2002) y (H. Palmquist, 2004), coinciden e indican que el motivo por el cual la orina presenta menos metales pesados es debido a que la orina ha sido filtrada previamente por los riñones, a diferencia que de las heces que básicamente son materiales no metabolizados; sin embargo este contenido es muy bajo como lo explican (Silva & Williams, 1997), citados en (Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004).

Tabla 3

Concentraciones de metales pesados (Cobre, Zinc, Níquel, Plomo, y Cadmio) en orina, heces, en la mezcla (orina+heces) y en los residuos de cocina separados, comparados con el estiércol de aves de corral.

ESTUDIO DE SEPA (1999)							
	Unidad	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Orina	µg/Kg pH	67	30	7	5	1	0
Heces	µg/Kg pH	6667	65000	122	450	122	62
Mezcla (orina+heces)	µg/Kg pH	716	6420	18	49	13	7
Residuos de cocina	µg/Kg pH	6837	8717	1706	1025	3425	34
Ganado orgánico FYM	µg/Kg pH	5220	26640	684	630	184	23
ESTUDIO DE Vinnerås (2002)							
	Unidad	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Orina	mg/Kg P	101	45	10	7	2	1
Heces	mg/Kg P	2186	21312	40	148	40	20
Mezcla (orina+heces)	mg/Kg P	797	7146	20	54	15	7
Residuos de cocina	mg/Kg P	5279	6731	1317	791	2644	26
Ganado orgánico FYM	mg/Kg P	3537	18049	463	427	124	16

Fuente: (Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004)

En las publicaciones de (Saneamiento Ambiental, 2000) y (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004), mencionan que una gran proporción de las hormonas producidas en nuestros cuerpos y de los productos farmacéuticos que consumimos son excretadas con la orina, sin embargo es razonable creer que el riesgo de efectos negativos en la cantidad y la calidad de los cultivos es insignificante. Todos los mamíferos producen hormonas y durante el curso de la evolución, estas han sido excretadas en los ambientes terrestres. Es así, que la vegetación y los microbios del suelo están adaptados a ellas, y pueden degradarlas. Además, la cantidad de hormonas presentes en el estiércol de los animales domésticos es por mucho mayor a la cantidad encontrada en la orina humana. Así, aunque las valoraciones teóricas basadas en pruebas con peces han indicado un riesgo de ecotoxicidad del estradiol (Arnbjerg-Nielsen, Hansen, J. Kjølholt, & Stuer-Lauridsen, 2004) al aplicar la orina, los experimentos de fertilizantes y la historia evolutiva demuestran que no existe un riesgo real (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004).

La gran mayoría de las sustancias farmacéuticas se derivan de la naturaleza, incluso si muchas de ellas son producidas sintéticamente, siendo encontradas y degradadas en los ambientes naturales con una actividad microbiana diversa. Esto ha sido verificado en las plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias, donde la degradación de sustancias farmacéuticas mejora cuando el tiempo de retención se prolongó de un número de horas a un número de días. La orina y los fertilizantes fecales son mezclados en la zona vegetal, que posee una comunidad microbiana tan

diversa y activa como la de las plantas de tratamiento de aguas residuales, y las sustancias son retenidas por meses en la capa vegetal. Esto significa que existe una cantidad suficiente de tiempo para que los microbios degraden cualquier sustancia farmacéutica y que los riesgos asociados a ello son reducidos. (Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004).

En lo concerniente a hormonas y sustancias farmacéuticas, parece ser mucho mejor reciclar la orina y las heces a la tierra cultivable que descargarlas en las aguas receptoras. Ya que, los sistemas acuáticos no han estado nunca antes expuestos a las hormonas de los mamíferos en grandes cantidades, no es sorprendente que el desarrollo del sexo de los peces y los reptiles se vea disturbado cuando ellos están expuestos a los efluentes de aguas residuales. Adicionalmente, el tiempo de retención de las aguas residuales en las plantas de tratamiento es muy corto para degradar las sustancias farmacéuticas y las aguas receptoras comúnmente están conectadas a las fuentes de agua. No es admirable que se haya detectado por décadas sustancias farmacéuticas, no sólo en las plantas de tratamiento, por ejemplo como lo menciona (Herberer, Schmidt-Bäumler, & Stan, 1998) en las aguas receptoras de Berlín se detectaron residuos de sustancias farmacéuticas y también en las aguas subterráneas, fuente de agua potable de esta ciudad.(Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004).

Existen muchos indicios de que el posible riesgo de las sustancias farmacéuticas en el sistema agrícola es pequeño y mucho más pequeño que los riesgos asociados con el sistema actual. (Jönsson, Stintzing, Vinnerås, & Salomon, 2004), indican que uno de estos indicios es que en muchos países

el consumo humano de productos farmacéuticos es menor comparado con el de los animales domésticos, ya que en muchos países la mayoría de alimentos comerciales contienen antibióticos, que han sido añadidos para estimular el crecimiento. Por otro lado el uso de productos farmacéuticos es pequeño comparado con la cantidad de plaguicidas (insecticidas, fungicidas, bactericidas y herbicidas) usados en la agricultura, que son tan activos biológicamente como las sustancias farmacéuticas.

2.2. Tecnologías utilizadas para la recolección y tratamiento de las excretas humanas.

La recolección y tratamiento de las excretas humanas ha generado diversas soluciones y a la vez problemas a través de la historia de la humanidad. Previo al estudio a realizarse en el prototipo de baño seco compostero diseñado en Ambiente Creativo, se realiza un recuento de las principales tecnologías utilizadas a través de la historia para la recolección de las excretas humanas.



Figura 3 Sistemas de recolección de excreta humana a través de la historia.

Fuente: Recopilación varias consultas en la Web

Tabla 4

Descripción de la Figura 3 Sistemas de recolección de excreta humana a través de la historia

No.	NOMBRE	INVENTOR	FECHA
1	Orinal	Roma	Siglo 2 a.C.
2	Letrinas públicas	Isla de Creta	Siglo 2 a.C.
3	Letrina y Letrina Higiénica	Francia (Carlos V ordena instalar en sus casas letrinas)	1375
4	Retrete	John Harrington	1589
5	Bramahwater closet	Joseph Bramah	1779
6	Retrete	Sacro Imperio Romano Germánico	1830
7	Fosa Séptica	Jean-BaptisteMouras	1865
8	Retrete	Henry Moule	1875
9	La Taza del Retrete	Escuela Mongee en Francia	1883
10	Retrete de porcelana	Tomas Turifed	1883
11	La Cisterna de Agua.	Thomas Crapper	1886
12	The Closet of the Century	George Jennings & Co.(Londres)	1900
13	Sistema de sifón	Joseph Bramah	1900
14	Ahorradores /Modelos	Varios	

Fuente: Referencia Figura 2.1

2.2.1. Sistemas Técnicos Convencionales

Los sistemas de recepción de excretas humanas que actualmente se utilizan, tanto en las zonas rurales como urbanas, han sido diseñados con el fin de prevenir y evitar las vías de transmisión que se generan en las excretas humanas ya sea por contacto directo o por vectores como insectos, ratas o por medio de la contaminación del agua hacia los alimentos.

Las soluciones desarrolladas hasta la presente fecha, para la disposición de excreta humanas han sido diseñadas tomando varios criterios que van desde el confort del usuario hasta la economía del mismo; pero todos enfocados deshacerse de la excreta utilizando agua para su descarga y sin importar las consecuencias generadas.

2.2.1.1. Sistemas de Alcantarillado Sanitario

El sistema de alcantarillado sanitario, recoge y trata las aguas usadas para reincorporadas al ambiente. El proceso en estos sistemas, normalmente se inicia usando agua potable proveniente de las plantas de tratamiento. Es en este momento cuando se inicia la contaminación del agua, la misma que sale por el desagüe transportando desperdicios hasta la red de alcantarillado sanitario. Las tuberías de alcantarillado las conducen hasta una planta de tratamiento, pozo séptico o es descargada directamente al ambiente en el peor de los escenarios.

En las plantas de tratamiento se encargan de devolver las características de pureza del agua para que regrese a la naturaleza, en los ríos y océanos, conservando la salud de los seres humanos y del ambiente. A su vez, los sólidos recuperados, tras ser estabilizados, sirven como fertilizante o relleno sanitario.



Figura 4 Sistema de alcantarillado sanitario
Fuente:(Fundación AVINA y CARE Internacional , 2013)

Las etapas en el tratamiento de aguas grises y negras, normalmente son:

- a) Recolección del afluente:** Es la llegada del agua contaminada a la planta de tratamiento, a través de la red de tuberías donde se encuentran estaciones de bombeo para impulsar el agua en su recorrido.
- b) Remoción de sólidos grandes y arenosos:** El fluido es cernido con el uso de rejillas, desarenador y trituradores que remueven sólidos grandes como la basura, además de eliminar la arenisca, que por ser abrasiva deteriora los equipos de tratamiento.
- c) Tratamiento:** El tratamiento dependerá de la capacidad de la planta, normalmente se lo divide en:

- **Tratamiento físico:** separa los sólidos del agua por sedimentación o por efecto de la gravedad. En este proceso los sólidos se asientan en el fondo de un tanque clarificador o sedimentador obteniéndose en la parte superior agua clara.
 - **Tratamiento biológico:** remueve y transforma químicamente por biodegradación aquellos sólidos no sedimentados y que permanecen disueltos en el agua. Los convierte en sustancias simples no degradables e inodoras.
 - **Tratamiento avanzado:** es un método sofisticado y costoso que remueve sustancias como los nitritos y nitratos. Estos compuestos nitrogenados deben ser removidos en casos especiales según lo establezca el permiso de descarga de la planta. Por lo que su implantación no es requisito general en todos los tratamientos.
- d) Desinfección:** El agua clara recibe desinfección con cloro, haciéndola compatible con el agua de los ríos y océanos.
- e) Descarga del efluente:** El agua desinfectada se re-oxigena para conservar la vida acuática, su calidad y se reincorpora al ambiente. El efluente es el agua tratada que produce la planta y cuyos parámetros de calidad están estipulados por las autoridades competentes.
- f) Estabilización de los lodos:** Los sólidos recuperados son llamados lodos o cieno. Ellos son estabilizados mediante

biodegradación con bacterias que convirtiéndolos en materia inerte y simple pierden su mal olor y peligrosidad. También son secados al sol o con máquinas para reducir su volumen y servir como relleno sanitario para los vertederos.

2.2.1.2. Fosas Sépticas

Es utilizado para el tratamiento de aguas residuales producidas por familias que no se encuentran conectadas al sistema de alcantarillado y por lo general son zonas residenciales poco pobladas.

Su funcionamiento depende de: un tanque sedimentador y de terrenos donde se infiltre el agua. Es un sistema que utiliza la capacidad que tiene el suelo para absorber.(Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)

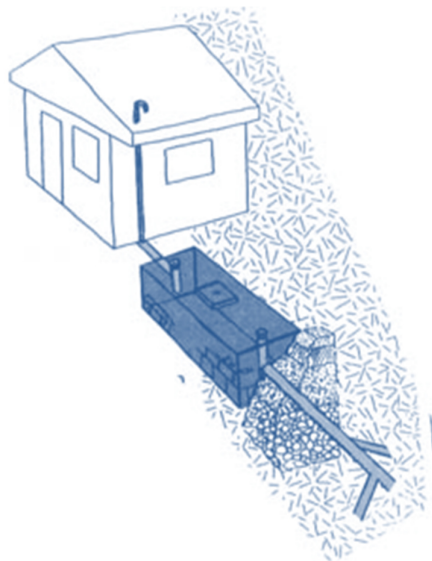


Figura 5 Pozo Séptico
Fuente: (Mendonça, 1997)

El material sedimentado (los sólidos) forma en el fondo del depósito una capa de lodos o fango, degradado biológicamente con el tiempo y que debe extraerse periódicamente.

Para tener un adecuado uso de este sistema de tratamiento se deben realizar pruebas de infiltración y conocer la capacidad de absorción del suelo para evitar la contaminación de aguas subterráneas.

2.2.1.3. Letrinas sanitarias y Unidades Sanitarias Integrales

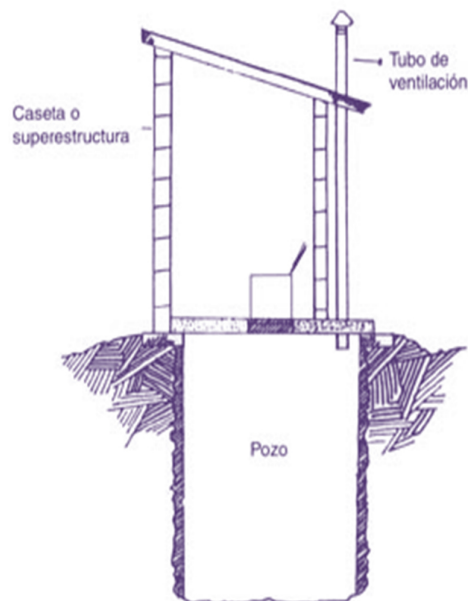


Figura 6 Unidades Sanitarias Integrales
Fuente: (Mendonça, 1997)

Constituyen soluciones para el manejo y la disposición final de excretas, sobre todo en el sector rural, en donde las viviendas están ubicadas de forma dispersa y la distancia entre estas es considerable.

Existen varios tipos de unidades sanitarias (letrinas y USIs), que podrían ser implementadas en determinada localidad dependiendo del nivel de demanda de la población, la condición económica, la disponibilidad de agua, el tipo de suelo, la existencia de materiales en la zona, las costumbres, entre otras. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)

Durante el uso de estos dispositivos es necesario mantener un estricto control para no contaminar la superficie del terreno, las aguas superficiales, las aguas subterráneas y de pozos.

2.2.2. Sistemas de Saneamiento Ecológico

Los sistemas de saneamiento ecológico son una tecnología que se encuentra en desarrollo; por el potencial que brindan para prevenir enfermedades, proteger el medio ambiente y conservar el agua.

Para analizar los tipos de Sistemas de Saneamiento Ecológico, se toma el criterio de (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999); cuyos autores subdividen los sistemas de acuerdo al proceso que utilizan para eliminar patógenos: por deshidratación o por descomposición.

2.2.2.1. Sistemas sanitarios basados en la deshidratación

El principio fundamental de un sanitario seco es deshidratar (eliminar el agua) del contenido que cae en la cámara de tratamiento; esto se logra con calor, ventilación y la adición de material secante. En la publicación

“Saneamiento Ecológico”(Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999) menciona que se debe eliminar al menos el 25% de la humedad lo más pronto posible para conseguir la aceleración en la eliminación de patógenos, malos olores y moscas.

Para lograr una mejor eficiencia en la deshidratación de las heces, se utilizan los separadores de orina; como su nombre lo indica tiene la función de desviar la orina para ser almacenada, utilizada y/o tratada en otro sistema.

Entre las principales variedades de sistemas sanitarios basados en la deshidratación se puede observar los siguientes:

2.2.2.1.1. Sanitario seco con doble cámara

Conocido también como baño seco de Vietnam, este sistema fue desarrollado en el año de 1956 para evitar la contaminación de los cultivos de arroz que eran fertilizados con excreta fresca. Se añade ceniza luego del uso del sanitario.

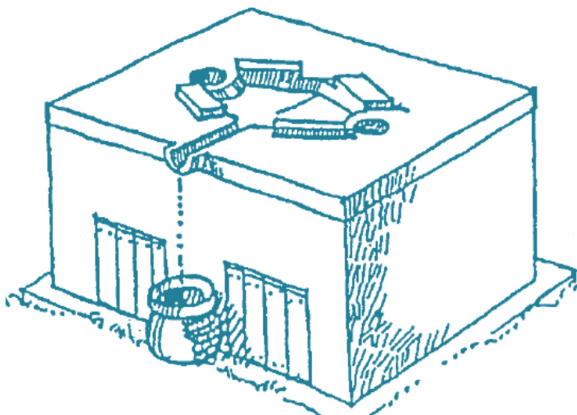


Figura 7 Sanitario vietnamita, cuenta con dos cámaras de 80x80x50 cm y con una losa para desviar la orina a un recipiente recolector

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 21

2.2.2.1.2. Sanitario seco con doble cámara en América Central y México (LASF):

Es introducido en Honduras en 1978; es una versión modificada del Baño Vietnam en la cual la orina no es usada como fertilizante y es depositada en un pozo de absorción directamente al suelo. El usuario después de usar el sistema, deposita material secante (ceniza, tierra o mezcla de aserrín con cal).

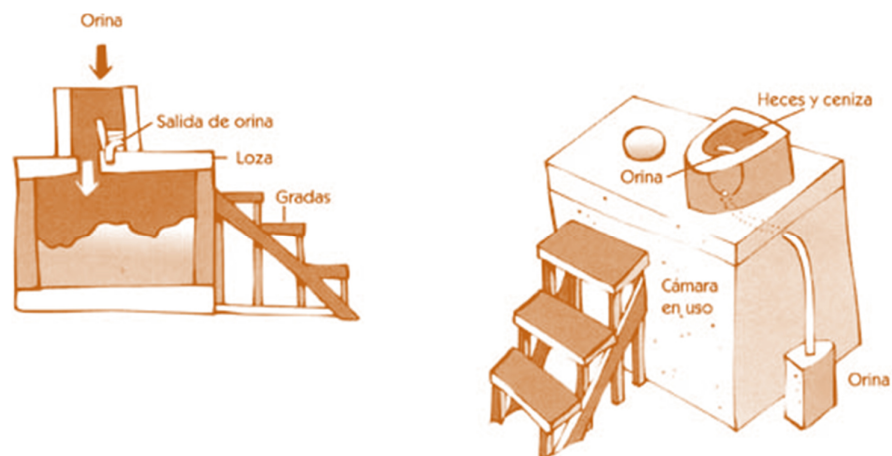


Figura 8 Sanitario seco con doble cámara en América Central y México (LASF)
Fuente:(Organización Panamericana de la Salud (OPS) - Banco Mundial, 2000)

Este modelo también es usado en México (Cuernavaca) con ciertas variaciones que han permitido el uso dentro de casas o cuartos de baño, que si bien encarecen el precio de construcción brindan un mejor confort a los usuarios. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)



Figura 9 Sanitario LASF utilizado en México

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 25

2.2.2.1.3. Sanitario Seco WMEkologen

Desarrollado en la década de 1980 en Estocolmo Suecia, por MatsWolgast, el sistema se basa en un proceso de deshidratación de excreta que incluye un dispositivo para desviar y almacenar la orina. Adicional cuenta con un extractor de aire el cual expulsa cualquier olor a través de un tubo de ventilación.

Las heces y el papel higiénico usados son almacenados en un dispositivo plástico que es llenado de acuerdo al uso familiar (aproximadamente entre dos y tres meses) luego de lo cual es remplazado por un recipiente vacío. Este material es guardado por un periodo de seis meses; luego de este tiempo el contenido puede procesarse en un recipiente ventilado para composta, para lograr la descomposición total del papel higiénico. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999).

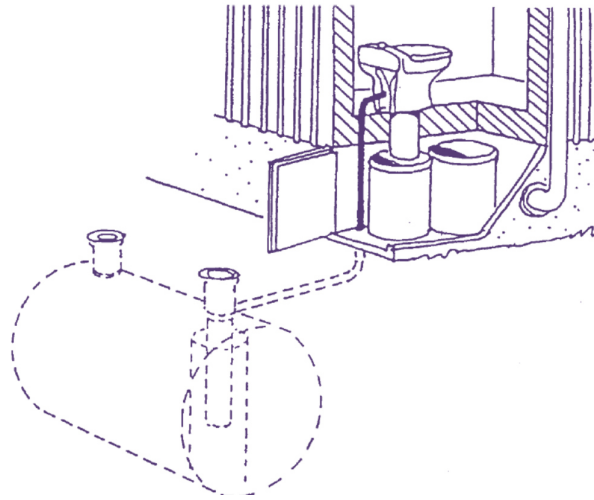


Figura 10 Sistema WMEkologen ES con canalización de orina en un tanque de almacenamiento subterráneo

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 26

2.2.2.1.4. Sanitario de una cámara con calentador solar

Desarrollado a finales de los años 90 en El Salvador añade un calentador solar al modelo LASF (Sanitario seco con doble cámara en América Central y México) para mejorar la deshidratación de la excreta. Adicional se ha realizado algunos modelos con “empujador” para remover en el interior de la cámara. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999).

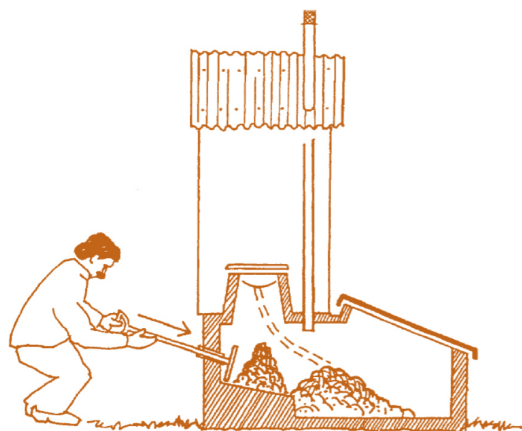


Figura 11 Sanitario de una cámara con calentador solar y empujador.

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 26.

2.2.2.1.5. Sanitarios con doble cámara y calentadores solares

Desarrollado en 1985 en la Provincia de Cotopaxi – Ecuador, utiliza un bastidor de madera recubierto de una lámina de acero galvanizado pintado de color negro, la misma que absorbe la energía solar y contribuye al proceso de deshidratación. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)

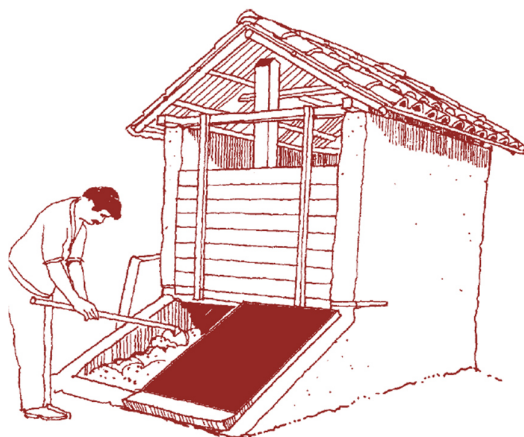


Figura 12 Sanitario con doble cámara y calentadores solares

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 26

2.2.2.2. Sistemas sanitarios basados en la descomposición

Los sanitarios basados en la descomposición utilizan el proceso biológico de la composta para su funcionamiento, el mismo que está sujeto a condiciones controladas por las bacterias, los gusanos y otro tipo de organismos que descomponen las excretas y sustancias orgánicas para producir humus.

El sanitario compostero recolecta la excreta humana y otros materiales orgánicos en una cámara de tratamiento donde los microorganismos del suelo se encargan de descomponer los sólidos. Existen factores que deben ser controlados para garantizar el proceso de compostaje, entre los principales como lo menciona las investigaciones de la (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999) están la temperatura y la circulación de aire. Si se mantiene las condiciones adecuadas el producto final “humus” es un excelente acondicionador de suelos, libre de patógenos humanos.

“El sanitario compostero tiene que mantener las condiciones aeróbicas: circular suficiente oxígeno en el material acumulado, la cámara de composta debe tener de 50 a 60% de humedad, debe alcanzarse una relación carbón nitrógeno (C:N) de 15:1 a 30:1, y la temperatura debe estar por encima de 15°C”.(Fundación AVINA y CARE Internacional , 2013)

Las bacterias, hongos, lombrices y otros organismos contribuyen a la descomposición de las heces y otros materiales en el sanitario de composta. Todos ellos juegan un papel importante para mezclar, airear y descomponer

el contenido del material apilado en la cámara de tratamiento: su actividad es positiva y hay que mantenerla. El uso de separadores de orina no son muy provechosos en estos sistemas cuando se colocan lombrices de tierra en el sanitario puesto que necesitan de buena humedad para su supervivencia necesitan de gran cantidad de humedad.

2.2.2.2.1. Sanitario de composta ClivisMultrum

Desarrollado en Suecia a mediados de los años 90's, ha sufrido algunas variaciones y mejoras hasta la presente fecha. Este sistema no solo procesa las heces fecales y papel higiénico, sino que adicionalmente descompone material orgánico de cocina. Estos dispositivos necesitan que se coloque una base de composta rica en humus previo a su primer uso, el objetivo de esta capa es absorber líquidos y proporcionar los microbios para la oxidación de la orina. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)

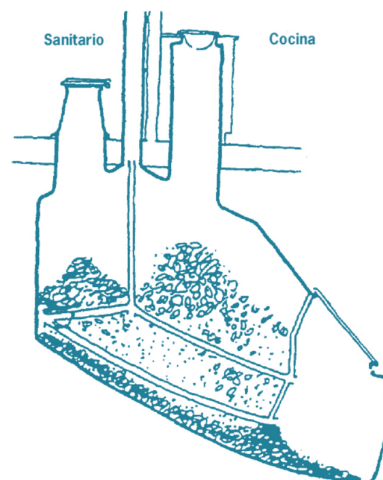


Figura 13 Baño ClivusMultrum instalado en el sótano de una casa en Suecia
Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 34

2.2.2.2. Sanitario Composta Carrusel

Desarrollado en Noruega por Miljø Vera, este tipo de sanitario ha sido replicado en varios países como: Estados Unidos, Suecia, Australia, Nueva Zelanda e islas de países del Pacífico Sur. Normalmente tiene una capacidad de llenado para un año, al cumplirse este tiempo sale el material de la primera cámara y se continua con el proceso; cuenta con un sistema de drenaje de líquidos. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)

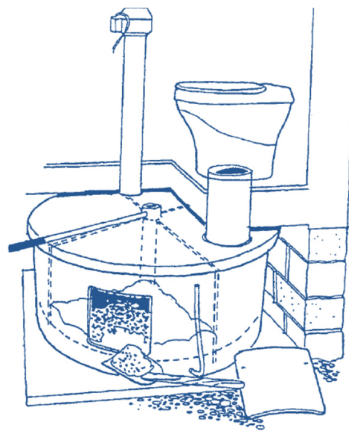


Figura 14 Sanitario composta carrusel de Noruega.

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 37

2.2.2.2.3. Sanitario Sirdo Seco con calentador solar

Desarrollado en Tanzania en 1.975 y posteriormente desarrollado en México, cuenta con dos modalidades de trabajo, la húmeda para el manejo de aguas negras y/o jabonosas y la seca para el compostaje de desechos orgánicos sólidos y materia fecal humana. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999).

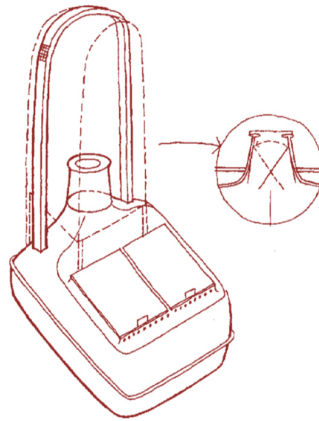


Figura 15 Sanitario con doble cámara y calentadores solares.

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 38

2.2.2.2.4. Sanitarios con recipiente portátil

Conocido también como recipiente portátil de Kiribati, en honor al país donde fue desarrollado el sistema, cuenta con una cámara móvil removible la cual tiene un sistema de piso falso para almacenar y desviar la parte líquida, adicional cuenta con tubería de ventilación. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)

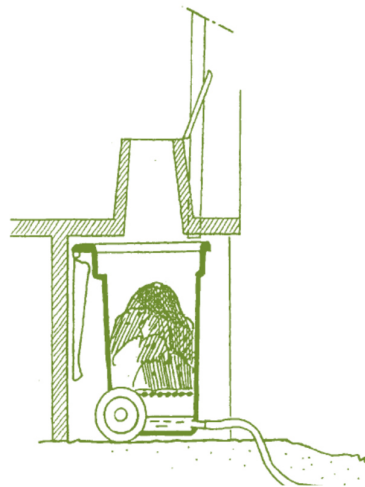


Figura 16 Sanitario Kiribati con desviación de orina

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 39

2.2.2.2.5. Sanitario CCD en el Pacífico Sur

Desarrollado en el Centre for Clean Development CCD (Centro para el desarrollo limpio) hace énfasis en la cero descarga más que en la separación y reciclado de la orina. En el interior de la cámara de recepción consta de una malla de pescar suspendida en el aire, sobre la cual se coloca hoja de palma con el fin de separar los desechos sólidos de los líquidos. En 1992, Greenpeace desarrollo mejoras a este sistema para el aprovechamiento de los residuos líquidos en un invernadero y cama de evapo-transpiración. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)

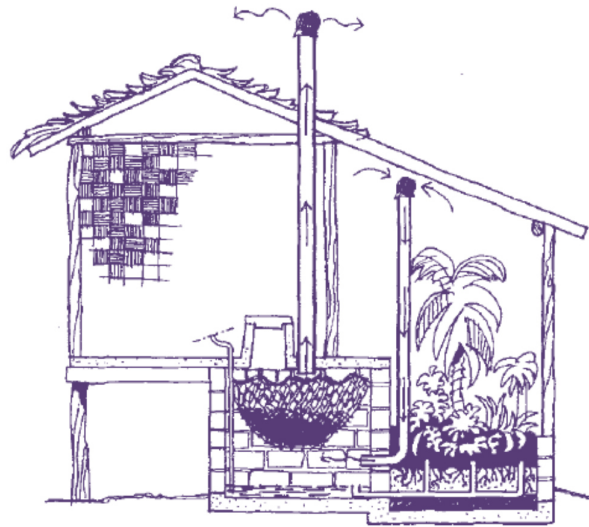


Figura 17 Sanitario con doble cámara y calentadores solares

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 41

2.2.2.2.6. Sanitario con doble cámara de la India

Este proyecto tiene una aplicación adicional que se adapta a la cultura de la India, en la cual se acostumbra realizar el lavado anal después de la defecación. Por las condiciones climáticas, específicamente de la humedad, se trabaja con adición de ceniza luego del uso y la base de la cámara inicialmente debe tener un piso falso de paja lo que proporciona una base rica en carbón. (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999)

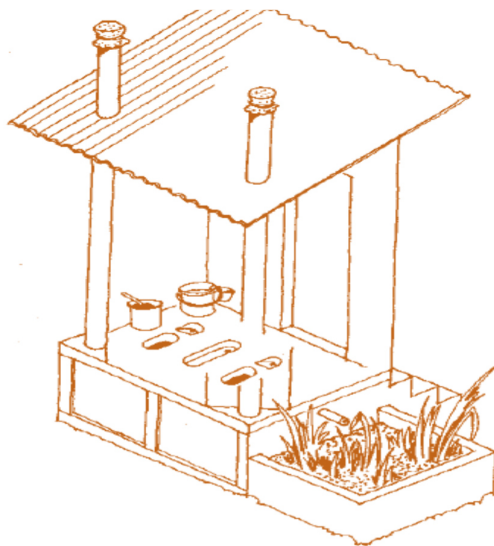


Figura 18 Sanitario con doble cámara en Kerala-India

Fuente: (Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México, 1999), página 43

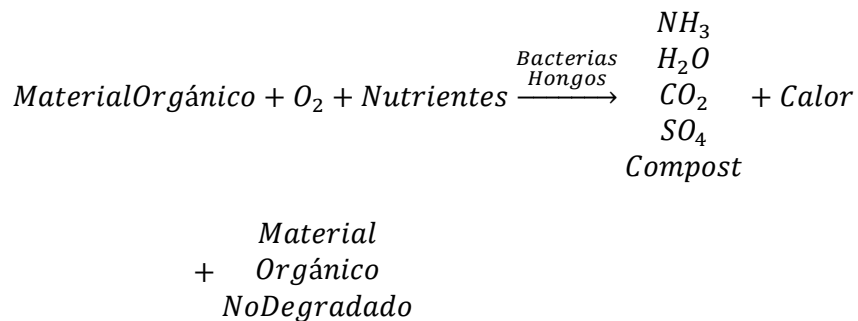
2.3. Proceso de Compostaje Aerobio

El compostaje es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable; para el presente estudio excrementos humanos; permitiendo obtener "compost" que es un nutriente para el suelo que mejora su estructura, ayuda a reducir

su erosión y mejora la absorción de líquido y nutrientes por parte de las plantas.

(Ibarra, 2011), en su obra “Introducción a la problemática y estudio del ambiente”, define el compostaje aeróbico como la transformación bioquímica de los residuos sólidos orgánicos en un material similar al humus, señalando un periodo aproximado de ocho meses para lograr este proceso en presencia de oxígeno y por la acción de organismos como las bacterias y los hongos que se alimentan de los materiales a transformar. Dentro de sus análisis se determina que el compostaje aeróbico es una tecnología sencilla y útil para tratar los desechos orgánicos alcanzando, según sea su contenido de nutrientes, poder ser un buen acondicionador de suelos.

La fórmula general del proceso de digestión aeróbica es la siguiente:



Ecuación 7
Fuente: (Ibarra, 2011)

2.3.1. Sistemas de compostaje

Existen numerosos sistemas para llevar a cabo el proceso compostaje en especial analizándolo desde el punto de vista en la etapa de maduración, tomando los criterios de (De Bertoldi, Vallini, & Pera, 1985) y (Haug, 1993) enunciados en (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2010), se presentan las siguientes clasificaciones que permiten identificar los sistemas de compostaje.

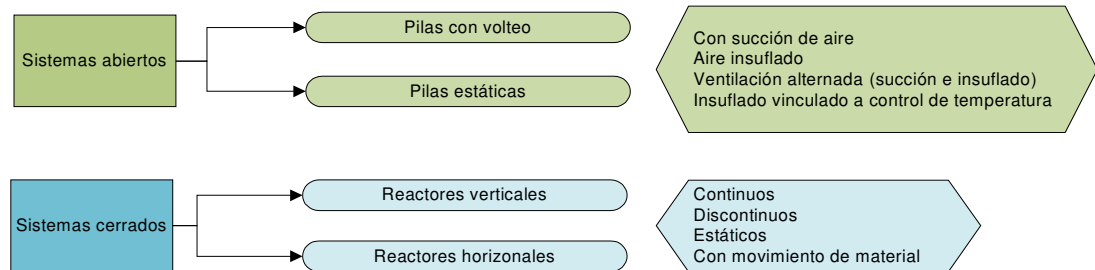


Figura 19 Clasificación general de sistemas de compostaje
Fuente:(Bueno, Díaz, & Cabrera, 2010)

2.3.1.1. Sistemas abiertos

Pilas estáticas: La tecnología para el compostaje en pilas es relativamente simple, el más económico y el más utilizado. Los materiales se amontonan sobre el suelo o pavimento, sin comprimirlos en exceso, siendo muy importante la forma y medida de la pila.

Dentro de este grupo se encuentran las pilas estáticas con aireación pasiva, un sistema muy apropiado técnicamente y con muchas ventajas en costo-beneficio, comparado con los sistemas de aireación forzada o con las pilas de volteo. Este sistema utiliza la ventilación natural de la pila a través

de convección natural, es decir el aire caliente que sube desde el centro de la pila, crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados. El compostaje en pilas simples es un proceso muy versátil y con escasas complicaciones. Se ha usado con éxito para compostar estiércol, restos de poda, fangos y residuos sólidos urbanos. El proceso logra buenos resultados de una amplia variedad de residuos orgánicos y funciona satisfactoriamente mientras se mantienen las condiciones aerobias y el contenido de humedad. (Alvarez, 2003)



Figura 20 Pilas estáticas con aireación pasiva
Fuente:(Alvarez, 2003)

El otro grupo de pilas estáticas son con aireación forzada, estos sistema permiten tener un mayor control de la concentración de oxígeno y mantenerla en un intervalo apropiado (15-20 %) para favorecer la actividad metabólica de los microorganismos aerobios que desarrollan el proceso. Para realizar el aporte de oxígeno se utiliza por varias vías, succión o insuflado (soplado) así como las variantes que incluyen a los dos tipos. El aporte de oxígeno puede realizarse de forma continua, a intervalos o ligados a un termostato que, llegada una determinada temperatura

aproximadamente de 60°C, acciona el mecanismo de inyección de aire hasta que la temperatura desciende hasta el valor deseado.(Alvarez, 2003)

Una vez que se constituye la pila, no se toca, en general, hasta que la etapa activa de compostaje sea completa.



Figura 21 Pilas estáticas con aireación activa
Fuente: (Alvarez, 2003)

Pilas con volteo: Esta técnica de compostaje se caracteriza por el hecho de que la pila se remueve periódicamente para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 o 10 °C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado. (Alvarez, 2003)

La frecuencia del volteo depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que deseamos realizar el proceso, siendo habitual realizar un volteo cada 6 - 10 días, por lo general es necesario llevar controles

automáticos de temperatura, humedad y oxígeno para determinar el momento óptimo para efectuar el volteo.(Alvarez, 2003)

Es muy usual que los volteos se lleven a cabo con una simple pala cargadora, recogiendo y soltando del material para posteriormente reconstruir la pila o usar maquinaria específica para realizar esta labor y conseguir un mezclado homogéneo en la mezcla del compost maximizando su eficiencia. (Alvarez, 2003)



Figura 22 Pala cargadora volteando pila de compost
Fuente:(Alvarez, 2003)

En los dos tipos de pilas estáticas con y sin volteos cobra gran importancia el tamaño de las pilas, por un lado para permitir una correcta aireación y por otro para que no haya excesivas pérdidas de calor.

En los estudios realizados por (Haug, 1993), citados por (Alvarez, 2003), establece un modelo matemático que permite calcular la altura crítica de una pila, teniendo en cuenta un contenido mínimo de la fracción de poros rellenos de aire de un 30%.

$$Z_{crt} = \frac{E \cdot d_s}{g} \ln \left[\frac{\gamma \cdot \gamma_l \cdot (1 - \theta_{gmin})}{[d_s \cdot \gamma_l + (1 - d_s) \cdot \gamma_s] \cdot \rho_\mu} \right]$$

Ecuación 8

Dónde:

$E = \text{resistencia a la deformación} [L^2 T^{-2}]$

$\rho_\mu = \text{densidad aparente inicial} [ML^{-3}]$

$d_s = \text{contenido gravimétrico de materia seca} [MM^{-1}]$

$\theta_{gmin} = \text{fracción mínima de poros rellenos de aire} [L^3 L^{-3}]$

$\gamma_l, \gamma_s = \text{densidad real de las fracciones líquida y sólida} [ML^{-3}]$

Fuente: (Haug, 1993) citado por (Alvarez, 2003)

2.3.1.2. Sistemas cerrados

Estos sistemas permiten un mejor control de los distintos parámetros del proceso en la mayor parte de los casos, así como un menor tiempo de residencia y la posibilidad de realizar un proceso continuo. Se caracterizan por llevar a cabo el compostaje en reactores cerrados, siendo el principal inconveniente que generan el elevado coste de inversión de las instalaciones.

(Alvarez, 2003), menciona que su principal división se da entre reactores de flujo horizontal y vertical. Los reactores de flujo vertical suelen tener alturas superiores a los 4 m. Y pueden ser continuos o discontinuos. Los reactores discontinuos contienen, a diferentes alturas pilas de 2-3 m con un

sistema de aireación forzada o volteo hacia pisos inferiores. Su principal inconveniente es el elevado costo de construcción, no obstante aunque la inversión inicial es más elevada que en el sistema de pilas estáticas, tiene una baja relación costo por unidad de volumen de trabajo.

Los reactores de flujo horizontal se dividen entre aquellos que poseen un depósito rotatorio, los que poseen un depósito de geometría variable con un dispositivo de agitación o los que no poseen un sistema de agitación y permanecen estáticos.



Figura 23 Planta de biometanización
Fuente: (Gujarro Castro, 2010)

Tabla 5
Análisis comparativo de sistemas de compostaje

Criterios	Sistemas Abiertos		Sistemas Cerrados	
	Pilas con volteo	Pilas con aireación forzada	Reactor sin agitación del producto	Reactor con retorno a la agitación del producto
Costo de inversión	Bajo	Bajo a pequeña escala	Elevado	Elevado
Costo de funcionamiento	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
Superficie requerida	Importante	Media	Pequeña, salvo en la maduración	Pequeña, salvo en la maduración
Control de la aireación	Inexistente	Total	Total	Total
Factores que pueden ser controlados	Frecuencia de volteos, reciclaje y aporte de material estructurante.	Aireación y aporte de agente estructurante	Aireación, reciclaje y aporte de agente estructurante	Aireación, reciclaje aporte de agente estructurante y tiempo de agitación
Sensibilidad a una mayor o menor deshidratación del material	Muy sensible	Menos sensible	Menos sensible	Menos sensible
Necesidad de maduración complementaria	Depende del clima	Necesaria	Generalmente necesaria	A veces necesaria
Sensibilidad al clima	Sensible	Poco sensible	Poco sensible	Poco sensible
Posibilidad de reciclaje	A considerar en cada caso	Bueno	Bueno	Bueno
Control de olores	Difícil, los olores pueden llegar lejos en determinados casos	Difícil, sobre todo con materiales con humedad alta	Bueno, con funcionamiento normal	Bueno, con funcionamiento normal
Dificultades constatadas	Olor, disminución de la temperatura con mal tiempo	Malas mezclas, zonas frías anaeróbicas	Problemas de compactación, caminos preferenciales de aireación	Sistemas un poco complejos
Adaptación a las variaciones de producción y sequedad de los materiales	Buena adaptabilidad	Buena adaptabilidad	Baja adaptabilidad	Baja adaptabilidad
Capacidad de tratamiento	0.5 – 5 T/día	0.5 – 100 T/día	> 3 T/día	> 3 T/día

Fuente: (Alvarez, 2003)

2.3.2. Características de los residuos a compostar.

La clasificación de los residuos, se la puede realizar tomando varios enfoques y consideraciones. Para la investigación y estudio, SANITARIO SECO COMPOSTERO: ANÁLISIS INVESTIGATIVO DEL CICLO DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL HUMANA APLICADA EN UN CLIMA MESOTÉRMICO SEMIHÚMEDO; es pertinente analizar la clasificación basada en la naturaleza química de los materiales emisores y aquellas actividades que generan residuos con neto predominio de materiales orgánicos.

2.3.2.1. Residuos inorgánicos:

Incluye todos aquellos residuos de origen mineral, sustancias y compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales, plásticos, vidrios, etc. Desechos provenientes de agro-tóxicos, agroquímicos, fitosanitarios y agro-veterinarios, son en su mayoría de origen sintético y con un gran efecto residual.

2.3.2.2. Residuos orgánicos

Se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el "ciclo vital".

Dentro de este grupo encontramos la excreta humana, que es el conjunto de los desperdicios generalmente sólidos o líquidos producto final del proceso de la digestión. Las heces son los restos de los alimentos no absorbidos por el aparato digestivo (como fibras y otros componentes que no son útiles para el organismo), y también células del epitelio intestinal que se descaman en el proceso de absorción de nutrientes, microorganismos, y otras sustancias que no logran atravesar el epitelio intestinal.

2.3.3. Factores de análisis en el proceso

El compostaje como lo indican (D. Sztern, M. Pravia, 1999) es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias y hongos. Partiendo de esta premisa, todos aquellos factores que pueden limitar su desarrollo serán limitantes también del propio proceso. Para conseguir que esta transformación se realice en condiciones controladas (aeróbicas y termólas) hace falta una serie de requisitos, que no son otros que los que necesitan los microorganismos para vivir y desarrollar la actividad descomposición.

2.3.3.1. Etapas del Compostaje

Tomando en cuenta como factor determinante la temperatura el compostaje puede dividirse en cuatro etapas. (Ver Figura 24 página 53)

Activación (Mesolítico). La biomasa está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como

consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el Potencial Hidrógeno (pH). En esta etapa la relación C/N es de especial importancia ya que el carbono aportara la energía a los microorganismos y el nitrógeno es esencial para la síntesis de nuevas moléculas, por ello la relación debe estar entorno 30, si superamos esta proporción la actividad biológica disminuye, mientras que proporciones superiores de N provocan el agotamiento rápido del oxígeno, y la pérdida del exceso en forma de amoníaco, tóxico para la población bacteriana o por lixiviados.(Organización Panamericana de la Salud (OPS) - Banco Mundial, 2000)

- **Calentamiento (Termofílico).** Cuando se alcanza una temperatura de 40[°C], los microorganismos termófilos actúan transformando el Nitrógeno en Amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60[°C] los hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. (Irastorza, 2014)

Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

- **Enfriamiento.** Cuando la temperatura es menor de 60[°C], reaparecen los hongos termófilos que reinviden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40[°C] los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.(Irastorza, 2014)

- **Maduración.** Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.

(Irastorza, 2014) menciona que la temperatura y pH se estabilizan, si el pH es ácido nos indica que el compost no está aún maduro, los actinomicetos adquieren especial importancia en la formación ácidos húmicos y son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos, mientras que los macro-organismos tales como nemátodos, rotíferos, escarabajos, lombrices etc., incrementan su actividad desempeñando la función de remover, excavar, moler, masticar y en general romper físicamente los materiales incrementando el área superficial de estos para permitir el acceso de los microorganismos. El color del producto final debe ser negro o marrón oscuro y su olor a tierra de bosque, además ya no debemos reconocer los residuos iniciales.

Algunos compostadores poseen sistema de volteo. Este ayuda a mantener la concentración de oxígeno, porosidad, temperatura y humedad uniforme en toda la pila de residuos ya que, los materiales próximos a la superficie tienden a recibir mayor aporte de oxígeno pero alcanzan menos temperatura mientras que los materiales del interior poseen menor porosidad debido a la presión de los materiales que les rodean y alcanzan mayor temperatura y humedad.(Organización Panamericana de la Salud (OPS) - Banco Mundial, 2000)

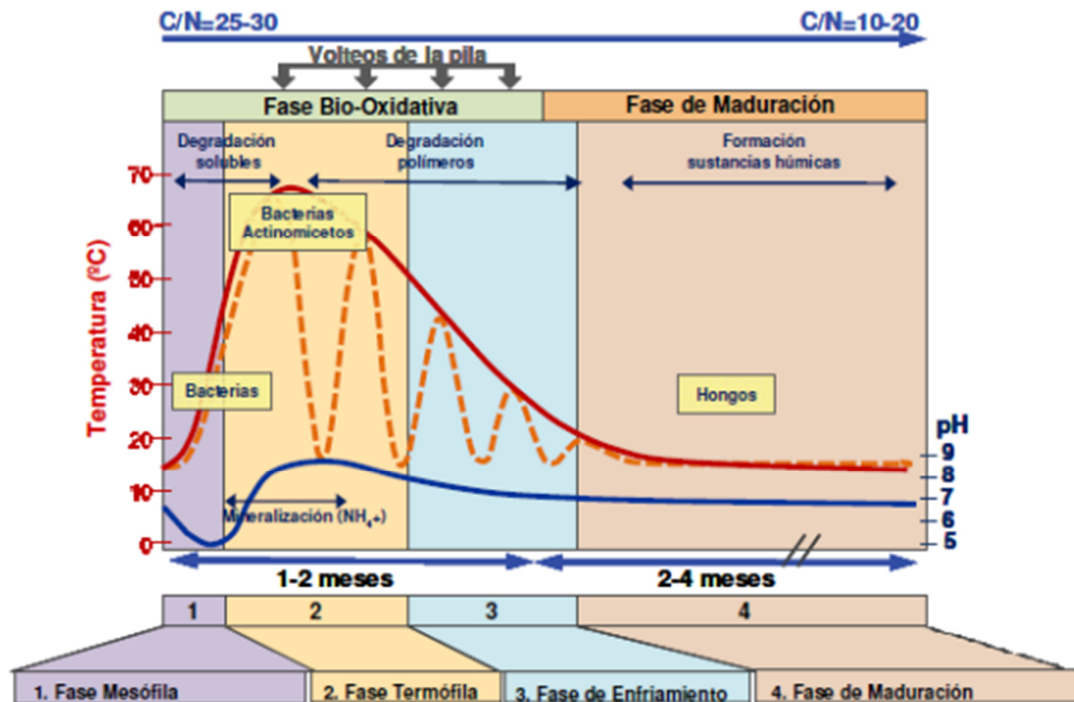


Figura 24 Evolución de la temperatura durante un proceso de compostaje
Fuente:(Mariasg, 2013)

2.3.3.2. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

(Sztern & Pravia, 1999), afirman que el carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en

carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero.

2.3.3.3. Humedad

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60%(Esrey, Gough, Rapaport, Sawyer, Simpson-Hébert, & Vargas, 1999). Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas.

2.3.3.4. El Potencial Hidrógeno (pH)

(S. Esrey, J. Gough, D. Rapaport, R. Sawyer, M. Simpson-Hébert, J. Vargas, 1999), expresan que el pH; influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia de pH entre 6- 7,5.

2.3.3.5. La aireación

El compostaje es un proceso aeróbico, siendo esencial la presencia de oxígeno. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material,

textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada. (S. Esrey, J. Gough, D. Rapaport, R. Sawyer, M. Simpson-Hébert, J. Vargas, 1999)

2.4. Características técnicas de la Composta

La composta también conocida por su denominación en inglés “compost”, es el abono orgánico producto del proceso de compostaje. Para comprobar que el proceso sea el adecuado, el compostaje debe cumplir algunos parámetros que se presentan en la Tabla 6

Tabla 6
Parámetros de estabilidad del Compost

ALGUNOS PARÁMETROS DE LA ESTABILIDAD DEL COMPOSTA			
Temperatura	Estable	COD	<700 mg/g (peso seco)
Color	Marrón oscuro-negro ceniza	ATP (trifosfato de adenosina o adenosín)	Decreciendo a estable
Olor	Sin olor desagradable	CEC	>60 meq/100 libre de ceniza
pH	Alcalino (anaeróbico, 55°C)	Actividad de enzimas hidrosolubles	Incrementándose estable
C/N	>=20	Polisacáridos	<30-50 mg glúcidos/g peso seco
# de termófilos	Decreciente a estable	Reducción de azúcares	35%
Respiración	0<10 mg/g compost	Germinación	<8
Medida	0<7.5 mg/g compost	Nemmatodes	Ausentes

Fuente: (Sztern & Pravia, 1999)

CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Sanitario ecológico seco compostero.

3.1.1. Instalación del sistema

Con fecha 14 de febrero de 2013, se recibe la autorización para la construcción del Sanitario Seco Compostero en el terreno frente al Laboratorio de Fluidos, por parte del Director del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (Anexo No.1 “Autorización para la construcción de Sanitario Seco Compostero”).

El área efectiva de la cabina de baño es de 2.36 m² que corresponden a 1.46 m de ancho por 1.62 m de largo y se encuentra dentro de la Norma INEN 323 1978-01 “Coordinación modular de la construcción instalaciones y locales sanitarios”. Adicionalmente el sanitario ecológico es construido con fines demostrativos e investigativos, pero a la vez cumple con características para satisfacer las necesidades de confort que brinda una cabina de baño tradicional.

El principal componente del baño seco compostero es un inodoro, modelo de Ambiente Creativo, el mismo que cuenta con un separador de orina, sistema mecánico manual para alimentación de materia seca y activación de taladro para disposición de materia orgánica y tubería de ventilación. Dentro de los equipos incluidos para satisfacer las necesidades

de confort se añade: un urinario y lavamanos; cuyas descargas están conectadas a un humedal artificial para tratamiento de aguas grises.

El humedal artificial con plantas absorberdoras es construido bajo los criterios del Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas, (Carro, 2006).

En el Anexo No. 2 “Respaldo Fotográfico” y Anexo No. 3 “Planos constructivos”, se puede visualizar el proceso de construcción y uso de la batería sanitaria y humedal artificial construidos.

3.1.2. Capacitación para el correcto aprovechamiento.

La implementación de una nueva tecnología implica romper paradigmas y costumbres a las cuales se encuentra acostumbrada una sociedad determinada. Específicamente el uso de un baño seco compostero, necesita de una fuerte difusión y concientización en tres aspectos:

- **Beneficios al entorno:** el usuario debe conocer las ventajas y contribuciones de este sistema al ambiente.
- **Confort:** el baño seco compostero es diseñado para satisfacer y cumplir con las necesidades de confort que brinda un baño tradicional.
- **Uso:** el usurario debe conocer y familiarizarse con el correcto uso del sistema, en caso de no realizarlo afectaría directamente a los anteriores puntos analizados que son: beneficios al entorno y confort.

Para conseguir este objetivo se desarrolló un tríptico explicativo (Ver Anexo No.4 “Tríptico Baño Seco Ecológico”), se capacita a personal de mantenimiento de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; quienes serán los usuarios que utilizarán el sistema, se coloca señalética informativa y de difusión en el interior de la cabina del baño. Toda esta información tiene su respaldo fotográfico en el Anexo No. 2 “Respaldo Fotográfico”.









3.1.3. Procedimientos.

3.1.3.1. Procedimientos en uso de equipo

El Sanitario Seco Compostero no presenta variaciones significativas en la “operación” comparado con un baño tradicional con descarga de agua, sin embargo se presenta un procedimiento didáctico para que los usuarios puedan utilizar el sistema sin complicaciones. (Ver Tabla 7, página 60)

Es importante mencionar que esta información es colocada como señalética informativa dentro de la cabina del baño.

Tabla 7
Procedimiento para el uso de sanitario seco compostero

PASOS	GRÁFICA	ACTIVIDAD
1		Sentarse en la taza de tal manera que la orina caiga en separador ubicado adelante y las excretas caigan atrás
2		Depositar el papel higiénico que ocupaste en el compartimiento trasero de la taza
3		Bajar el pedal para que caiga el aserrín y el taladro gire automáticamente.
4		Tapar el inodoro.
5		Lavarse las manos
6		Hombres en caso de orinar, utilizar el urinario y repetir el paso (5)
PROCEDIMIENTOS ADICIONALES		
A		Mujeres en caso de orinar, utilizar el compartimiento delantero de la taza y repetir los pasos desde el numeral (2)
B		Luego de usar el separador de orina colocar una taza de agua para evitar que se acumule sarro y mal olor

3.1.3.2. Procedimiento toma de muestras

La acumulación de la biomasa (composta) en el sistema se da siguiendo los siguientes pasos:

- a) Uso del inodoro con separador de orina
- b) Mezcla de la biomasa residual humana con material seco (aserrín)
- c) Transporte a través de taladro (inicio de la retención)
- d) Recolección de materia seca (recipiente plástico posterior).

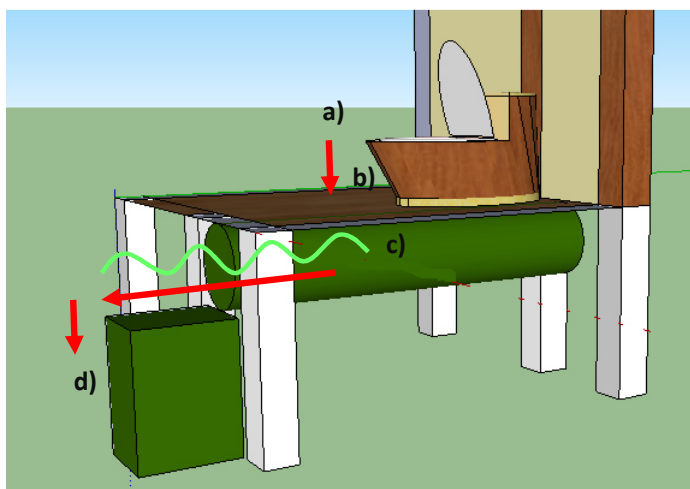


Figura 25 Diagrama para la acumulación de composta

Una vez acumulada la composta, se analiza el ciclo de transformación de la biomasa residual humana, para el presente estudio investigativo se tomaron tres muestras tomando en cuenta el uso del sistema y la cantidad de material recolectado. El procedimiento utilizado se basa en los lineamientos de la Norma NTE INEN 220:98 “Fertilizantes o Abonos. Muestreo”.

1. Cada muestra analizada es de 950 a 1000 gramos, la misma que es colocada en fundas herméticas (zip-lock)
2. Las muestras son etiquetadas con los siguientes datos:
 - Lugar del muestreo.
 - Fecha del muestreo.
 - Temperatura de la materia antes de la recolección.
 - Código de la muestra.
 - Nombre del responsable
3. Las muestras son entregadas inmediatamente para su análisis en los siguientes laboratorios:

Tabla 8
Laboratorios acreditados por la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, donde se realizaron los análisis de las muestras. (Ver Anexo No. 5 “Resultados de Laboratorio”)

Ítem	Fecha	Tiempo retención	Nombre del Laboratorio
		[días]	
1	15/11/2013	181	INIAP Estación Experimental Santa Catalina de suelos, plantas y aguas
2	27/03/2014	313	Seidlaboratory Cía. Ltda.
3	17/07/2014	425	Seidlaboratory Cía. Ltda.

El tiempo de entrega de resultados es de diez a quince días calendario, los ensayos practicados son: Análisis Físico-Químico y Análisis Microbiológicos.

3.1.3.3. Procedimiento de seguridad industrial y salud ocupacional.

El usuario que ocupa el sanitario seco compostero no requiere de ninguna protección, solamente debe seguir los procedimientos detallados en el numeral 3.1.3.1, normas de higiene para el proceso de proceso biológico de eliminación de las heces y una limpieza del espacio físico (cabina) como cualquier baño tradicional.

Sin embargo para el proceso de recolección de muestras se recomienda usar el equipo de protección personal (EPP) detallado en la Tabla 9.

Tabla 9
Equipo EPP necesario para realizar el muestreo

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL REQUERIDOS PARA TOMA DE MUESTRAS				
EPP				
	PROTECCIÓN VISUAL	PROTECCIÓN PARA MANOS	PROTECCIÓN RESPIRATORIA	ROPA PROTECTORA DE TRABAJO
REQUIERE	✓	✓	✓	✓
DETALLE	Lentes de plástico frente a proyecciones con y sin protección lateral	Guantes de uso general, impermeables frente a soluciones acuosas y muestras biológicas	Mascarilla para polvo, partículas y gérmenes, y anti-olor	Delantales impermeables o de tela

3.2. Experimentación e Investigación del proceso de transformación de la biomasa

Para realizar la investigación del proceso de transformación de la biomasa residual humana mediante la utilización del baño seco compostero, se utiliza los servicios de los siguientes laboratorios acreditados por la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente:

- INIAP Estación Experimental Santa Catalina de suelos, plantas y aguas.
- Seidlaboratory Cía. Ltda.

Los ensayos, métodos y normas utilizadas son las descritas en la Tabla 10 “Ensayos Físico – Químicos” y Tabla 11 “Ensayos Microbiológicos”.

Tabla 10
Ensayos Físico – Químicos

ENSAYO	MÉTODO / EQUIPO	NORMA	INIAP	SEIDLABORATORY CÍA. LTDA.
pH	POTENCIÓMETRO	NTE-INEN ISO 10390	X	X
Conductividad Eléctrica	CONDUCTOMÉTRICO	NTE-INEN 209:1998	X	
Humedad	SEMM-FQ HUMEDAD	AOAC 934.01		X
Ceniza	SEMM-FQ CENIZA	AOAC 942.05		X
Nitrógeno Total	SEMIMICRO KJELDAHL	NTE-INEN 209:1998	X	X
Fósforo	ESPECTRO FOTOMÉTRICO	NTE-INEN 209:1998	X	X
Potasio	ESPECTRO FOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	NTE-INEN 209:1998	X	X
Calcio			X	X
Magnesio			X	X
Manganeso			X	X
Hierro		AOAC 999.11	X	X
Cobre		NTE-INEN 209:1998	X	X
Zinc			X	X
Boro		FOTOCOLORIMÉTRICO	APHA 3120 B	X
Materia Seca	GAVIMÉTRICO	NTE- INEN ISO 11465	X	
Materia Orgánica	PÉRDIDA POR CALCINACIÓN	NTE- INEN ISO 5515	X	

Tabla 11
Ensayos Microbiológicos

ENSAYO	NORMA	SEIDLABORATORY CÍA. LTDA.
Aerobios Totales	INEN 1529-5	X
Coliformes Totales	AOAC 991.14	X
Mohos Levaduras	INEN 1529-10	X
S. Aureus	AOAC 2003.08	X
E. Coli	AOAC 991.14	X
Salmonela 25g	AOAC 967 25.26.27 FDA/CF SAN BAM CAP V	X

3.2.1. Análisis y caracterización de la biomasa en la etapa de Activación

En esta etapa las bacterias de la composta combinan el carbono con el oxígeno para producir dióxido de carbono y energía. Una parte de la energía es usada por los microorganismos para su reproducción y crecimiento; el resto se libera en forma de calor. Cuando una pila de residuos orgánicos se empieza a someter al proceso de compostaje, las bacterias mesófilas proliferan, elevando la temperatura de la masa de composta, según (Jenkins, 2005) hasta los 44°C.

En esta etapa los factores a ser controlados con mayor importancia son pH y la relación Carbono Nitrógeno (C/N). El pH disminuye debido a la descomposición de lípidos y glúcido en ácidos pirúvicos y de proteínas en aminoácidos.

En esta etapa la relación C/N es de especial importancia ya que el carbono aportara la energía a los microorganismos y el nitrógeno es esencial para la síntesis de nuevas moléculas. Lo ideal para sistemas de compostaje

es alrededor de 30, sin embargo en el presente estudio investigativo este valor se encuentra completamente elevado debido a que se utiliza aserrín como material secante. Este valor puede mantenerse o ser corregido al final del proceso, dependiendo del uso final de la composta.

3.2.2. Análisis y caracterización de la biomasa en la etapa de Calentamiento

Al estar muy ligada con la fase de activación, no se encuentran delimitados claramente el inicio y fin de esta segunda fase del proceso, denominada fase de calentamiento. Esta etapa sucede muy rápida y puede ser sectorizada en partes puntuales del recipiente contenedor, y se presenta cuando los microorganismos termófilos están más activos y generan mucho calor. Autores como (Jenkins, 2005), (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004) coinciden que en esta etapa se puede alcanzar temperaturas desde 70°C en adelante y en muy corto tiempo. Sin embargo esta temperatura no es muy en común en pequeñas composta o de jardín.

En el presente estudio investigativo se pudo encontrar pequeñas cantidades de ceniza dispersas en el recipiente contenedor, lo que indica claramente la presencia de esta fase en el proceso de transformación de la biomasa residual humana.

3.2.3. Análisis y caracterización de la biomasa en la etapa de Enfriamiento

El “humanure - humabono”; término inventado por (Jenkins, 2005) durante sus estudios de aprovechamiento de la excreta humana para generación de composta; parecerá haber sido digerido en su totalidad, pero en realidad esto no ocurre como los señalan (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004), y es aquí cuando aparece la tercera etapa del proceso en la que los microorganismos que huyeron tras la llegada de los termófilos vuelven a la composta para digerir los materiales orgánicos más resistentes. Los hongos y otros organismos como las cochinillas también ayudan a digerir los materiales más gruesos y convertirlos en humus.

El desarrollo de este proceso es relativamente lento, puede durar varios meses, por tal motivo es necesario ir evaluando a través de ensayos Físico Químicos y Microbiológicos de laboratorio.

3.2.4. Análisis y caracterización de la biomasa en la etapa de Maduración

La etapa final del proceso de compostaje es la maduración, los autores (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004) la denominan como curación. Esta etapa puede ser la más larga y crítica del proceso de hacer composta, mientras más largo sea el tiempo de retención existirá mayor probabilidad que se destruyan los patógenos.

En los estudios realizados (Jenkins, 2005) señala que una composta inmadura o no curada puede producir sustancias llamadas fitotoxinas, las cuales son tóxicas para las plantas. También puede robarle oxígeno y nitrógeno a la tierra y puede contener niveles altos de ácidos orgánicos.

Durante este proceso es necesario seguir realizando los ensayos Físico Químicos, pero sobre todo los Microbiológicos, para determinar el avance o estancamiento del proceso.

La calidad final del compost dependerá de esta etapa; por eso las personas y/o instituciones que utilizan el compostaje como negocio deberán planificar espacio y tiempo de retención para esta etapa, para garantizar calidad la calidad del producto. Esto no es un problema que afecta cuando se realiza el compostaje para auto consumo, familiar o de jardín.

3.3. Tratamiento Estadístico de los resultados

Los resultados entregados por los laboratorios: INIAP – Estación Experimental Santa Catalina y Seidlaboratory Cía. Ltda., han sido procesados en las mismas unidades de acuerdo al tiempo de retención. Se presentan en la Tabla 12 “Procesamiento de Ensayos Físico-Químico” y Tabla 13 “Procesamiento de Ensayos Microbiológicos”. En el Anexo No.5 “Resultados de Laboratorio” podrán encontrarse los respectivos informes de los laboratorios que respaldan ésta información.

Tabla 12
Procesamiento de Ensayos Físico-Químico

Tiempo	Humedad	Ceniza	Nitrógeno Total	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	Zinc
[días]	%	%	%		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
181			0.11	4.59	20	80	210	50	1.84	19.88	0.41	0.36	0.44
313	27.84	1.47	0.38	7.00	85.58	81.50	352.30	60.14	1.35	6.07	0.39	1.53	2.03
425	17.31	3.86	0.34	7.45	59.33	0.80	227.00	93.12	7.77	5.75	0.35	0.38	1.06

Tabla 13
Procesamiento de Ensayos Microbiológicos

Tiempo	Aerobios Totales	Coliformes Totales	Mohos y Levaduras	S. aureus	E. coli	Salmonella 25g
[días]	[UFC/g]	[UFC/g]	[UFC/g]	[UFC/g]	[UFC/g]	[UFC/g]
313	1.4.E+08	61.0.E+06	7.8.E+04	5.8.E+03	2.9.E+07	0.E+00
425	3.1.E+08	5.0.E+05	2.8.E+05	5.0.E+05	1.0.E+05	0.E+00

3.4. Investigación comparativa entre el producto final del proceso con sistemas tradicionales

Las diferencias entre el sistema tradicional con descarga de agua y sistema de sanitario seco compostero son muy marcadas tanto en su principio de funcionamiento como en el resultado final. Estos dos sistemas son tan opuesto que las ventajas del uno pueden ser desventajas del otro y viceversa.



Figura 26 Matriz FODA Inodoro Seco Compostero

La diferencia entre los dos sistemas se analizará en los siguientes puntos:

- **Utilización de agua:** el sistema tradicional usa agua para la descarga, lo que genera las siguientes consecuencias: contaminación y uso excesivo del recurso.

El uso del agua dulce y potable es el principal problema que afronta la humanidad; por eficientes que sean los sistemas de tratamiento de agua, llegará un punto en que la dotación de agua por persona va a estar muy racionada y se tendrá que decidir en que ocuparlo; obviamente el principal uso será para consumo humano, riego y aseo personal; dejando en un segundo plano el uso del inodoro.

- **La comodidad:** Para el usuario siempre va a ser mejor el sistema ordinario porque no tiene que responsabilizarse por los residuos, en cambio en el baño seco siempre va a existir esa preocupación.
- **Número de usuarios:** Aparentemente el baño tradicional no tiene límite de usuarios a diferencia de un baño seco compostero; en el contexto global si lo tiene, pero la responsabilidad “ya no es del usuario” sino de las plantas depuradoras, las cuales tienen un límite o capacidad para tratar las aguas residuales.
- **El cambio:** Los mitos y creencias infundadas por los usuarios sobre los baños secos composteros, se basan principalmente en que los mismos

son sucios, dan mal olor, son fuente de contaminación y no brindan el confort necesario; sin embargo, no se analiza que esto puede ocurrir no solo en un baño seco compostero sino en un sistema tradicional, cuando no existe el mantenimiento adecuado. Es aquí la importancia de la difusión y capacitación de esta tecnología.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Evaluación del proceso de compostaje por etapas

El análisis de los resultados de los ensayos Físico – Químicos y Microbiológicos, permite evaluar el proceso de compostaje por etapas y determinar el paso de las mismas durante el proceso de transformación de la biomasa residual humana en la utilización del baño seco compostero.

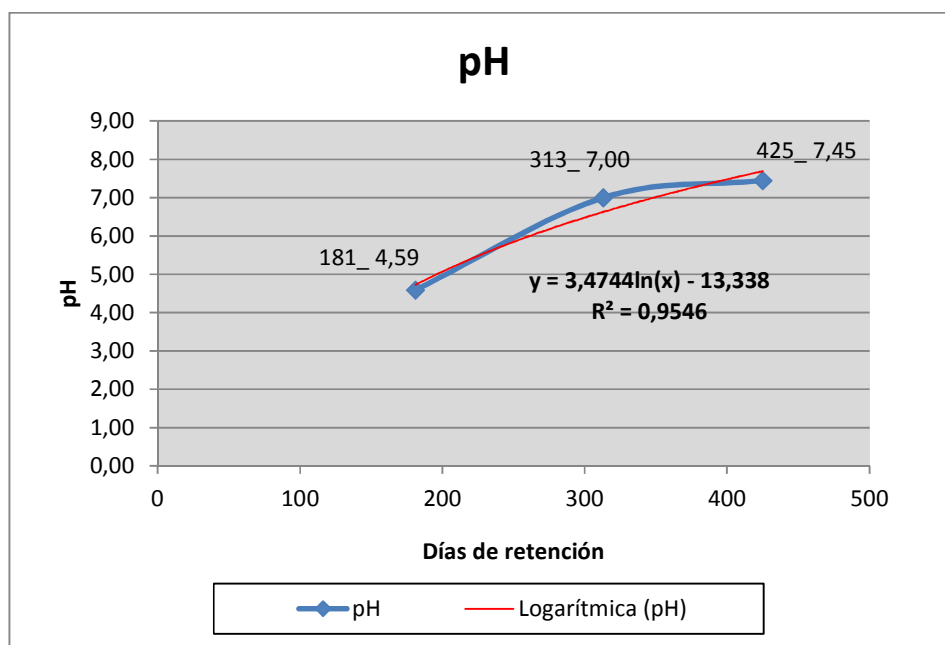


Figura 27 pH durante el proceso de compostaje

El pH es un valor que nos indica si un producto o material es ácido (pH inferior a 7), alcalino (pH superior a 7) o neutro (pH igual a 7) (Lenntech). En el proceso investigativo se determina que durante la etapa de activación el pH es ácido, debido a la descomposición de lípidos y glúcido en ácidos

pirúvicos y de proteínas en aminoácidos (Jönsson, Stintzing, Vinneräs, & Salomon, 2004); pero con el transcurso de las etapas de calentamiento, enfriamiento y maduración se consigue estabilizar a un valor neutro (pH 7).

Otro valor analizado es la conductividad eléctrica (CE), que indica la salinidad del compost, los autores (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2010) y (Jenkins, 2005) coinciden que este valor no debe ser muy superior a 2 [dS/m] para no provocar toxicidad a las plantas, en el análisis realizado en el laboratorio de INIAP a la muestra de compost se determinó un valor muy aceptable de 0.27 [dS/m].

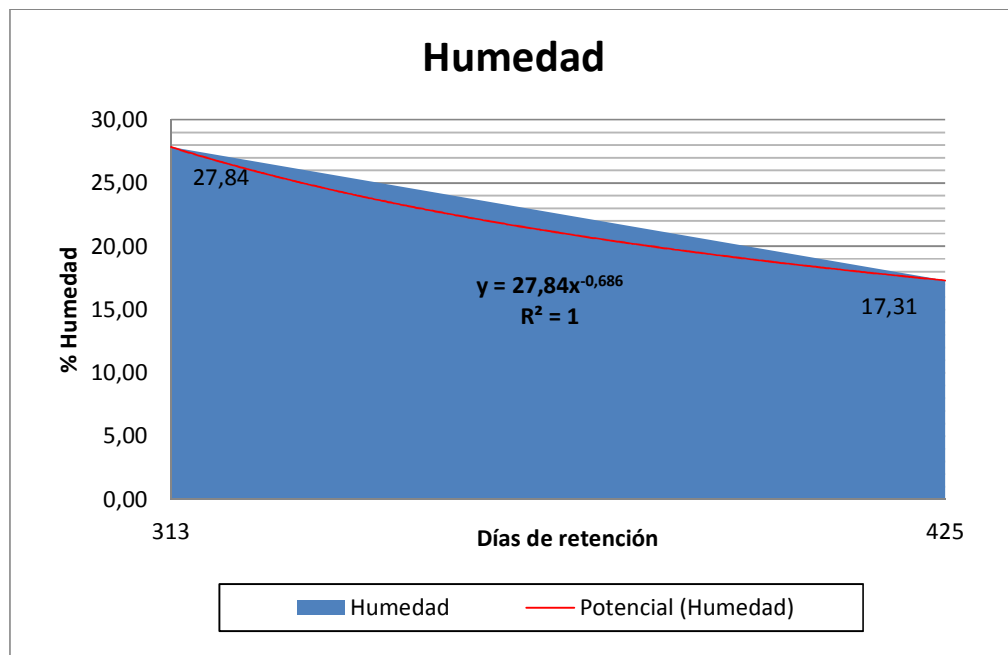


Figura 28 Humedad durante el proceso de compostaje

La humedad es un factor muy importante, el mismo que es controlado desde la utilización de un inodoro seco compostero con separador de orina, diseñado por Ambiente Creativo. En los análisis realizados se puede

observar el decrecimiento de la humedad durante el paso de la composta por las etapas de Calentamiento, Enfriamiento y Maduración. Los autores (Bueno, Díaz, & Cabrera, 2010) mencionan que la humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa, para que permita la circulación tanto del oxígeno, como la de otros gases producidos en la reacción.

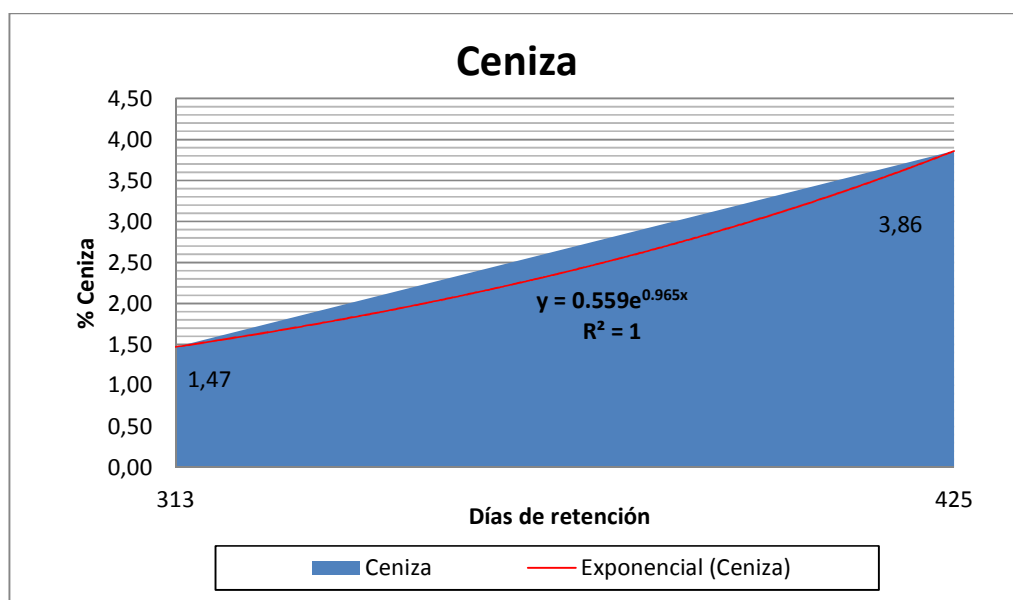


Figura 29 Ceniza durante el proceso de compostaje

La aparición y crecimiento de ceniza encontrada en las muestras de análisis, representan el paso de la composta por la etapa de activación y sobre todo por la etapa de calentamiento o termofílica. Según (Dalzell, 1991) este es un proceso de ignición que se debe evitar, debido a que se empobrece en extremo la sustancia orgánica (temperaturas superiores a los 70°C); sin embargo el alcanzar máximas temperaturas cuando se trabaja

con excreta humana, es lo ideal para garantizar la eliminación de agentes patógenos.

Durante el paso de la etapa de calentamiento la temperatura debe estar entre los 60°C y 70°C, como lo mencionan (Silva, López, & Valencia, 2011), debido que en ella la actividad de los hongos cesa y la descomposición es llevada a cabo por los actinomicetos y las cepas de bacterias que forman esporas. La velocidad de descomposición se modera y se alcanza el máximo de temperatura. En esta etapa se degradan ceras, proteínas, hemicelulosas y algo de lignina y celulosa.

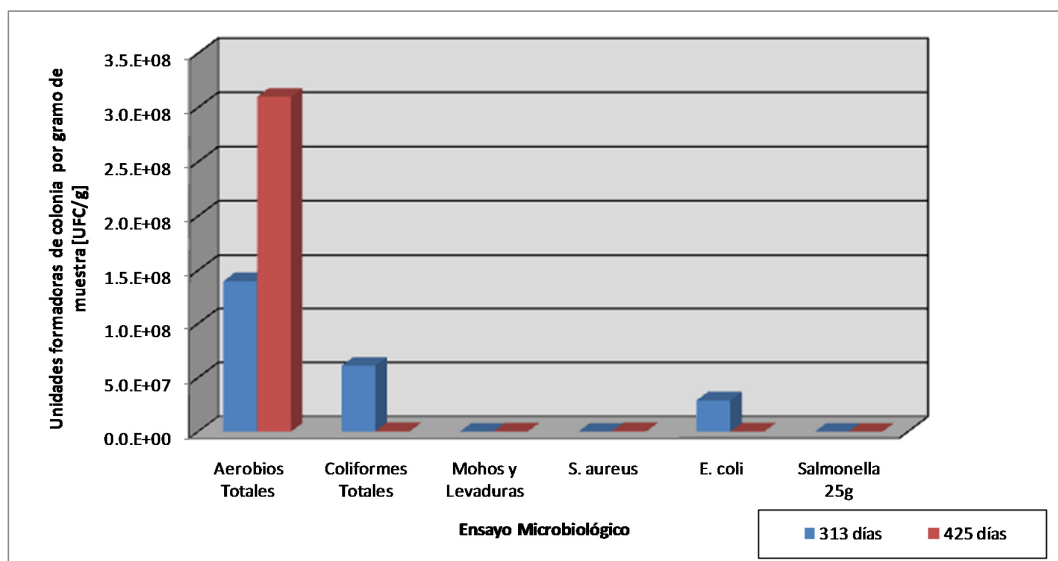


Figura 30 Evolución de ensayos microbiológicos

En el inodoro seco compostero implementado para realizar el presente estudio investigativo, se desarrolla un proceso aeróbico de baja temperatura, en este tipo de sistemas es necesario un tiempo de retención mínimo de tres meses, para que la composta pueda estar libre de cualquier patógeno, como lo menciona (Jenkins, 2005) basado en los estudios realizados por

(Feachem, 2000). Esta teoría se confirma en la investigación realizada, el material retenido durante 425 días, es analizado en los últimos 112 días y presenta una disminución sustancial de los patógenos, comprobando el paso de las etapas de calentamiento, enfriamiento y maduración.

4.2. Evaluación de la composta final

El evaluar la composta conlleva analizar los macro y micro nutrientes que el suelo necesita, esto genera un espectro tan amplio como los tipos de cultivos que existen; en otras palabras lo que es bueno para un cultivo no necesariamente sirve para otro. (Román, Martínez, & Pantoja, 2013), clasifican los elementos en macro-nutrientes en primarios: Nitrógeno, Fósforo y Potasio; y secundarios: al Magnesio, Azufre y Calcio. Y los micro-nutrientes: Hierro, Zinc, Manganeso, Boro, Cobre, Molibdeno y Cloro.

Los resultado de la evaluación de composta que se presentan, corresponden al proceso de transformación de la biomasa residual humana (recolectada en el inodoro seco compostero con separador de orina); duran 425 días de retención y presentan una alternativa de aprovechamiento de la biomasa residual humana, amigable con el ambiente.

Tabla 14
Evaluación de los nutrientes durante el proceso de compostaje

NUTRIENTES [mg/100g]	ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS EN DISTINTOS TIEMPO DE RETENCIÓN.		
	181 días	313 días	425 días
Nitrógeno Total [%]	0.11	0.38	0.34
Fósforo	20	85.58	59.33
Potasio	80	81.50	71.45
Calcio	210	352.30	227.00
Magnesio	50	60.14	93.12
Manganeso	1.84	1.35	7.77
Hierro	19.88	6.07	5.75
Cobre	0.41	0.39	0.35
Boro	0.36	1.53	0.38
Zinc	0.44	2.03	1.06

Los nutrientes encontrados en la composta indican el proceso de transformación de la biomasa, sin embargo, para tomar la decisión de aplicar la composta como fertilizante orgánico y/o aplicarlo en la nutrición integrada con fertilizantes minerales, se debe considerar la necesidad del cultivo en cuanto a fertilización y la necesidad de materia orgánica del suelo.

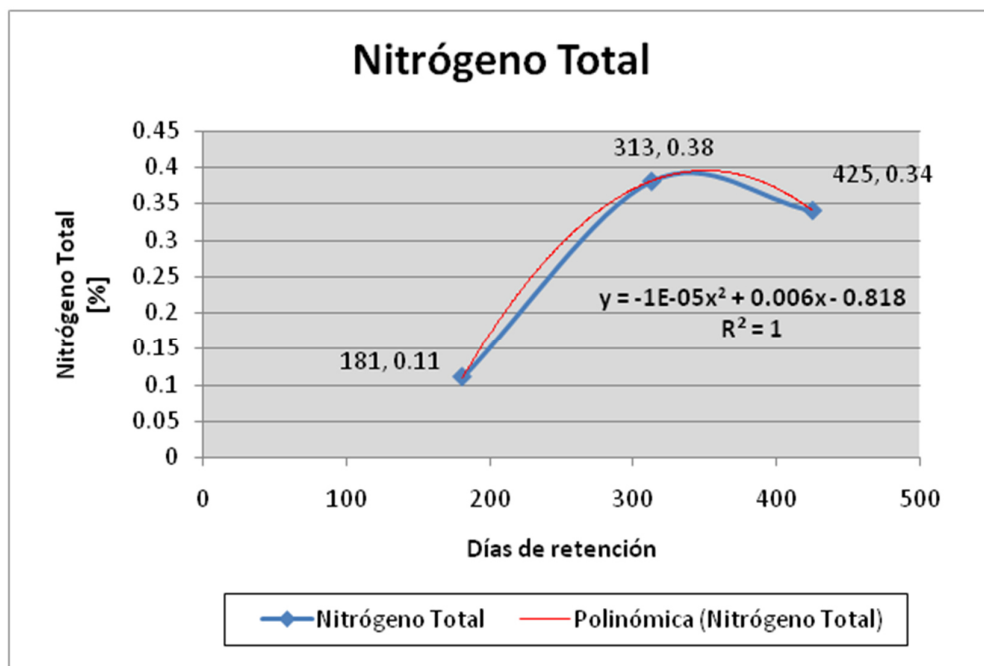


Figura 31 Nitrógeno Total durante el proceso de compostaje

La presencia de nutrientes en la composta es de gran importancia, puesto que brindan características muy particulares para favorecer las características y condiciones del suelo.

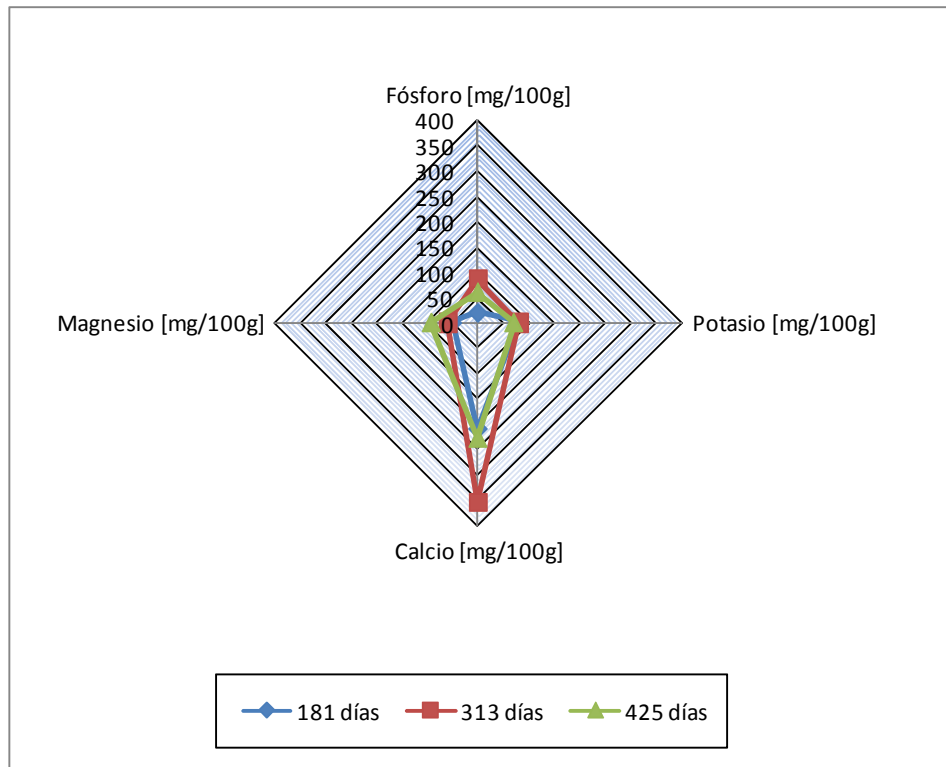


Figura 32 Comportamiento de nutrientes durante el proceso de compostaje (P, K, Ca, Mg)

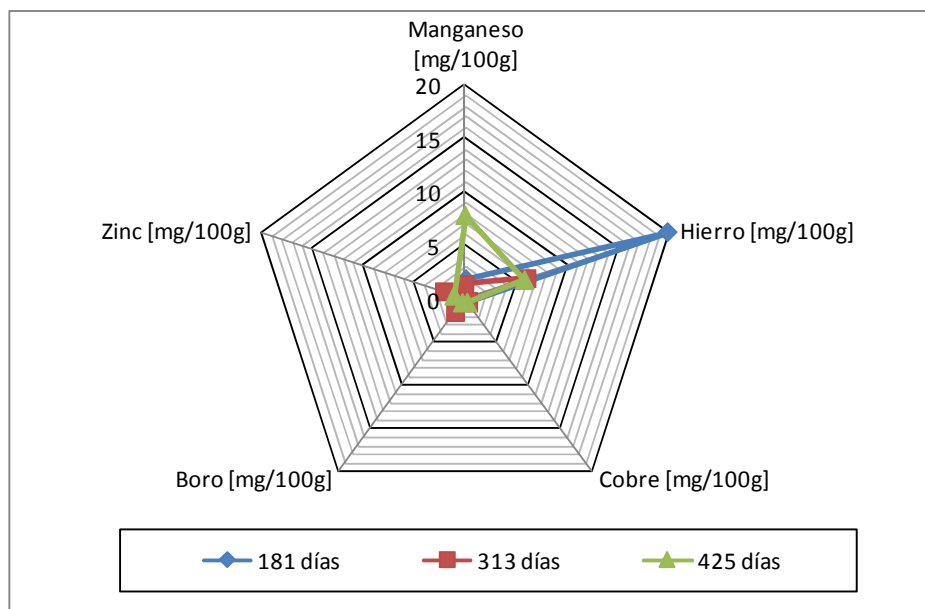


Figura 33 Comportamiento de nutrientes durante el proceso de compostaje (Mn, Fe, Cu, B, Zn).

- El Nitrógeno es un elemento principal para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Durante el proceso se elevó 0.11% hasta valores superiores al 0.3%.
- El Fósforo favorece en la transferencia de energía, por lo que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis.
- El Potasio aporta en la síntesis de carbohidratos y de proteínas, es decir contribuye en la estructura de la planta. El potasio mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad.

Cada cultivo necesita una cantidad específica de nutrientes y esta cantidad depende en parte del rendimiento esperado del cultivo, como se puede ver en la Tabla 15 Extracción de nutrientes por cultivo (kg/ha)

Tabla 15
Extracción de nutrientes por cultivo (kg/ha)

	Rendimiento	Nitrógeno	Fósforo		Potasio	
	Kg/ha	N	P₂O₅	P	K₂O	K
Arroz	3.000	50	26	11	80	66
	6.000	10	50	21	160	132
Trigo	3.000	72	27	11	65	54
	5.000	140	60	25	130	107
Maíz	3.000	72	36	15	54	45
	6.000	120	50	21	120	99
Papa	20.000	140	39	17	190	157
	40.000	175	80	34	310	256
Batata	15.000	70	20	8	110	91
	40.000	190	75	32	390	322
Yuca	25.000	161	39	17	136	112
	40.000	210	70	30	350	289
Caña de azúcar	50.000	60	50	21	150	124
	100.000	110	90	38	340	281
Cebolla	35.000	120	50	21	160	132
Tomate	40.000	60	30	13	124	124

Fuente: (Román, Martínez, & Pantoja, 2013)

La compost final producto de la investigación, proviene de la biomasa residual humana (excreta); por lo tanto debe someterse a un control estricto microbiológico. (Silva, López, & Valencia, 2011), mencionan que los requerimientos básicos que se debe exigir es ausencia de Salmonella y el límite máximo de coliformes fecales tiene que ser de: $10E+6$ UFC/ gr. Requerimientos que se cumplen en este proceso investigativo. Adicional afirman que la composta que se obtiene de este tipo de inodoros podría teóricamente compostarse otra vez y dejarse madurar por uno o dos años adicionales con el fin de destruir cualquier patógeno que permanezca en ella.

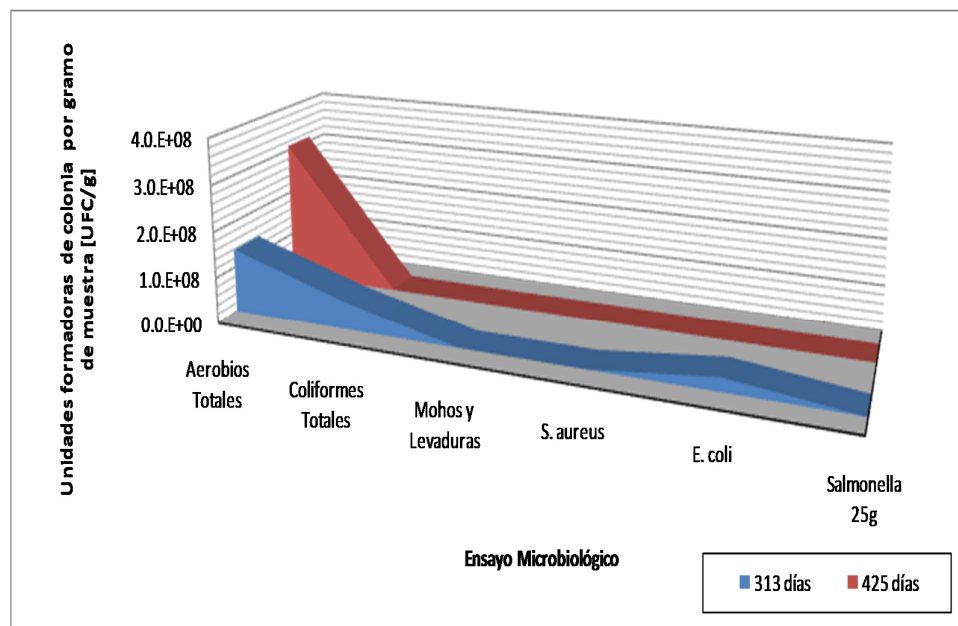


Figura 34 Ensayos microbiológicos realizados a las muestras en distintos tiempo de retención

Tabla 16
Evaluación de los patógenos durante el proceso de compostaje

Patógenos [UFC/g]	ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS EN DISTINTOS TIEMPO DE RETENCIÓN.	
	313 días	425 días
Aerobios Totales	1.4.E+08	3.1.E+08
Coliformes Totales	6.1.E+07	5.0.E+05
Mohos y Levaduras	7.8.E+04	2.8.E+05
S. aureus	5.8.E+03	5.0.E+05
E. coli	2.9.E+07	1.0.E+05
Salmonella 25g	0.0.E+00	0.0.E+00

4.3. Normalización del proceso

4.3.1. Aspectos Cuantitativos

La valoración cuantitativa de este proceso investigativo se ve reflejada en la valoración de la composta, el cual no es un concepto absoluto y depende de la disposición final que se le asigne. Autores como (Ansorena, Batalla, & Merino, 2011) definen como “la capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública”.

Por ejemplo: un compost que sería considerado inaceptable para cultivos comestibles, no presentaría ninguna limitación para rellenos, cultivos ornamentales, reforestación o para recuperación de suelos degradados por actividades industriales. Y de la misma forma un compost apto para cultivos comestibles no necesariamente es ideal para todas las plantaciones.

Para valorar la calidad del compost para una actividad determinada, es recomendable realizar pruebas de campo en proyectos productivos y bajo

condiciones específicas y no es recomendable generalizar su uso productivo. El compost obtenido del proceso de transformación de la excreta humana, producto de ésta investigación, contiene características físicas aceptables, elementos nutrientes y fertilizantes en cantidades relativamente bajas para cultivos comestibles y su nivel de patógenos es apto para no afectar la salud humana.

4.3.2. Aspectos Cualitativos

Los aspectos cualitativos del proceso se analizan en la Tabla 17, donde se detallan ventajas y desventajas de los principales aspectos analizados.

Tabla 17
Aspectos cualitativos del proceso

ASPECTOS ANALIZADOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Instalación	No es una instalación costosa y se la puede implementar in situ.	Es necesario readecuar el sitio en caso de existir un baño tradicional (el piso necesita estar elevado)
Descarga	No usa agua para descarga de heces fecales y mínima cantidad para evacuar orina	Necesita de material secante (para el proceso investigativo se usó aserrín)
Confort	Brinda las mismas comodidades que un baño tradicional.	Acostumbrarse al uso del separador de orina, en especial mujeres y niños/as
Mantenimiento	Debe ser frecuente, por tal motivo el baño se mantiene limpio.	El usuario debe acostumbrarse a realizar el mantenimiento periódico y control de acumulación de excreta.
Tipo de Ciclo	Es un ciclo cerrado	Hasta caracterizar el proceso es necesario realizar los ensayos en laboratorios.
Capacitación para uso	No es complicado su uso, pero requiere comprometimiento en el buen uso por parte de los usuarios. Igual que cualquier tipo de batería sanitaria.	Es necesario capacitar a los usuarios en el uso del sistema.

CAPITULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Análisis costo – beneficio

La construcción e implementación del sanitario seco compostero, es el punto medular del presente estudio investigativo, puesto que permite evaluar los valores técnicos de la biomasa residual humana y conocer vivencialmente el servicio y confort del uso del mismo.

El análisis para la construcción del baño seco compostero, partió de la idea de presentar un modelo utilizando materiales propio de comunidades rurales del Ecuador, lo más acercado a la realidad socio-económica y demostrando que se lo puede replicar en cualquier comunidad o población.

El costo de construcción de la cabina es de \$ 1,591.15 USD (Mil Quinientos Noventa y Uno con 15/100 Dólares Americanos) y como complemento a la investigación se realizó la construcción de un humedal artificial, por un valor de \$ 335.60 (Trescientos Treinta y Cinco con 60/100); para tratar de forma natural aguas grises (aguas jabonosas), producto del acarreo de orina y uso de lavamanos. El detalle de esta información se detalla en el Anexo No.6 “Costo de implementación del proyecto”

El costo del baño seco compostero comparado con una batería sanitaria de descarga agua, no presenta variaciones significativas en costo de fabricación; pero si tiene diferencia en su funcionamiento.

Para elaborar el análisis de operación del baño seco compostero y comparación con un sistema tradicional de descarga se partirá de las siguientes premisas:

1. El inodoro seco será analizado por el uso de cuatro personas,(Inec: Tamaño promedio del hogar ecuatoriano es de 3.9 personas, 2013), de las cuales se asumirá el 50% hombres y 50% mujeres (Población Ecuador, 2013).
2. El uso del inodoro para descarga de orina y/o descarga de excreta, no es una regla fija (Naturesan, 2008), para fines investigativos y comparativos se utilizará una referencia dos veces para descarga de orina y dos veces para descarga de excreta.
3. El consumo promedio de agua en las actividades de descarga y limpieza en un baño son las siguientes:

Tabla 18
Consumo comparativo de consumo de agua entre sanitario seco compostero y baño de descarga tradicional

CONSUMO DE AGUA DIARIO EN BAÑO SECO COMPOSTERO		
DETALLE	[l]	[m3]
Arrastre de orina baño seco	1	0.001
Lavado de manos	1.5	0.0015
Uso de urinario	3.5	0.0035
CONSUMO DE AGUA DIARIO EN BAÑO TRADICIONAL		
DETALLE	[l]	[m3]
Descarga de inodoro	7	0.007
Lavado de manos	1.5	0.0015

Fuente:(Conicyt, 2012)

Con los datos preliminares expuestos se presenta el consumo diario, mensual y anual de agua en un sanitario seco compostero y una batería normal de una familia de cuatro miembros: dos hombres y dos mujeres.

Tabla 19
Consumo anual de agua en un baño seco compostero en m³

CONSUMO ANUAL DE AGUA EN UN BAÑO SECO COMPOSTERO					
Detalle	Consumo	# uso diario	Consumo Diario	Consumo Mes	Consumo Año
	[m3]	[u]	[m3]	[m3]	[m3]
Arrastre de orina baño seco	0.001	12	0.012	0.36	4.38
Lavado de manos	0.0015	16	0.024	0.72	8.76
Uso de urinario	0.0035	4	0.014	0.42	5.11
TOTALES			0.05	1.5	18.25

Tabla 20
Consumo anual de agua en un baño tradicional de descarga en m³

CONSUMO ANUAL DE AGUA EN UN BAÑO TRADICIONAL DE DESCARGA					
Detalle	Consumo	# uso diario	Consumo Diario	Consumo Mes	Consumo Año
	[m3]	[u]	[m3]	[m3]	[m3]
Descarga de inodoro	0.007	16	0.112	3.36	40.88
Lavado de manos	0.0015	16	0.024	0.72	8.76
TOTALES			0.136	4.08	49.64

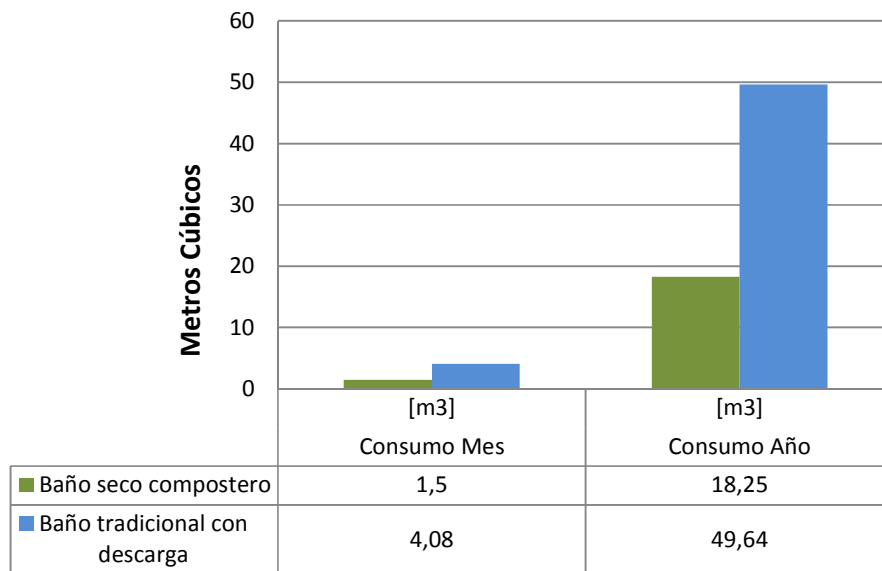


Figura 35 Gráfica comparativa del consumo de agua en m³ entre un baño seco compostero y baño tradicional de descarga.

De acuerdo a la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Quito el costo por metro cúbico promedio de agua es de \$0.49 USD (Quito, 2013)

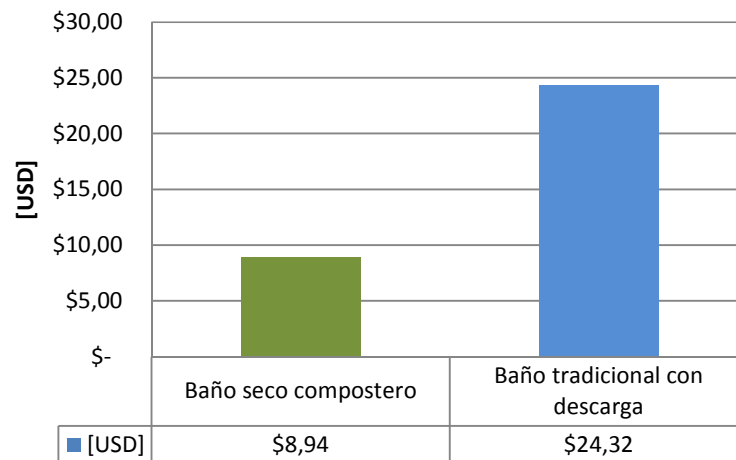


Figura 36 Gráfica comparativa del consumo anual en Dólares Americanos entre un baño seco compostero y baño tradicional de descarga

5.2. Análisis Económico Financiero

La implementación del Sanitario Seco Compostero y el Análisis Investigativo del ciclo de transformación de la biomasa residual humana nos demuestra que éste baño puede consumir 2.72 veces menos agua potable que un baño tradicional de descarga.

Llevando a un nivel mayor estas cifras, podemos determinar que dentro una población de 5000 habitantes (1200 familias), el ahorro en consumo de agua se estima en 37.668 m³, de acuerdo al siguiente razonamiento:

Baño seco compostero utiliza al año 18.25 m³ de agua
 Baño tradicional con descarga utiliza 49.64 m³ de agua
 El ahorro por baño es de 31.29 m³ de agua al año por familia.
 Analizando el universo de 1200 familias tenemos 37,668.00 m³ de ahorro.

Según el estudio publicado por (La Agenda Universitaria Ambiental, 2013), el consumo de agua necesario para vivir por persona se estima en 80 litros (0.08 m³) diarios. Es decir que con el ahorro anual de 37.668 m³ se garantizaría el consumo de agua de un año de 1.290 personas.

$0.08 \text{ m}^3 \times 365 \text{ días} = 29.20 \text{ m}^3$
 $37.668 / 29.20 = 1,290.00$

En términos económicos tenemos que el ahorro anual en dinero es de USD 18,457.00 para el ejemplo planteado (1,200.00 familias), siendo éste un análisis netamente referencial, pues la verdadera importancia del ahorro

de agua (líquido vital) se valora en el mejoramiento global del medio ambiente, su uso responsable economiza los bolsillos y sobre todo favorece a nuestro planeta y sus habitantes.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La implementación del sanitario seco compostero de 2.36 m² dentro de las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el Departamento de las Ciencias de la Energía Mecánica, ubicado en el valle de Los Chillos, en la ciudad de Sangolquí, a una altitud de 2.510 msnm., dentro de una zona climática Mesotérmica Semihúmeda, deja las siguientes conclusiones:

- El uso del inodoro con separador de orina diseñado por Ambiente Creativo, cumple eficientemente la función de separar la orina y la heces fecales. El contar con un sistema de descarga de material secante, a través de un mecanismo mecánico, favorece para que no exista diferencia significativa con los inodoros de descarga de agua y los usuarios mantengan el mismo confort.
- La difusión, sensibilización y el uso del baño seco, son aspectos muy importantes al introducir una tecnología diferente a la tradicional; para lo cual el diseño y elaboración del tríptico del Baño Seco Ecológico y colocación de señalética informativa en la cabina sirvieron para que los usuarios se familiaricen y ocupen correctamente el sistema.
- Para determinar las etapas de la transformación de la biomasa residual humana en composta fue necesario realizar tres ensayos Físico-Químicos y Microbiológicos, los mismos que se realizaron a los 181 días

de retención en la Estación Experimental Santa Catalina de suelos, plantas y aguas del INIAP, a los 313 días y 425 días de retención en el Laboratorio Seidlaboratory Cía. Ltda.

- En el proceso investigativo se determina que durante la etapa de activación el pH es ácido, debido a la descomposición de lípidos y glúcido en ácidos pirúvicos y de proteínas en aminoácidos; pero con el transcurso de las etapas calentamiento, enfriamiento y maduración se consigue estabilizar a un valor aproximado al neutro (pH 7).
- Otro factor analizado es la conductividad eléctrica (CE); que nos indica la salinidad del compost; alcanzó un valor de 0.27 [dS/m], este valor está por debajo de los 2 [dS/m], límite para no provocar toxicidad a las plantas.
- El decremento de la humedad en los 112 últimos días de la investigación de 27.84% a 17.31%, demuestran la transformación de la biomasa y su paso por las etapas de Calentamiento, Enfriamiento y Maduración. El eliminar la humedad de la masa de compostaje permite la circulación del oxígeno y otros gases producidos en la reacción.
- La aparición y crecimiento de ceniza encontrada en las muestras de análisis demuestran el paso de las composta por la Etapa de Activación y Calentamiento.

- La presencia de nutrientes en la composta después de los análisis Físico-Químicos, nos demuestra el proceso de transformación de la biomasa humana, sin embargo para tomar la decisión de aplicar la composta como fertilizante orgánico y/o aplicarlo en la nutrición integrada con fertilizantes minerales, se debe considerar la necesidad del cultivo en cuanto a fertilización y la necesidad de materia orgánica del suelo.
- Los análisis Microbiológicos realizados luego de la retención del material durante 425 días, en una zona climática Mesotérmica Semihúmeda, demuestran el paso del material por las etapas de calentamiento, enfriamiento y maduración con la eliminación de agentes patógenos. El compost obtenido del proceso de transformación de la excreta humana, contiene características físicas aceptables, elementos nutrientes y fertilizantes en cantidades relativamente bajas para cultivos comestibles y su nivel de patógenos apto para no afectar la salud humana, entre lo que resalta la ausencia de Salmonella y el límite máximo de coliformes fecales menor de $10E+6$ UFC/ g.
- El proceso investigativo valida que el Sanitario Seco Compostero es una alternativa confortable, higiénica, sencilla y económica que permite el aprovechamiento de la biomasa residual humana y su transformación en abono orgánico (composta), adicional demuestra que éste baño puede consumir 2.72 veces menos agua potable que un baño tradicional de descarga.

6.2. Recomendaciones

Luego de la investigación realizada, se recomienda lo siguiente:

- Producir composta través del proceso de transformación y uso de la biomasa residual (excreta) humana, ya que es una actividad con varios beneficios ambientales, económicos y sociales. Adicionalmente, entrega un aporte importante de nutrientes naturales al suelo y evita la utilización de fertilizantes químicos.
- El aprovechamiento de la biomasa residual humana, también conocida como “humabono”, no es un descubrimiento nuevo. Sin embargo no debemos olvidar que es un agente propenso para albergar patógenos, por lo que se recomienda realizar los análisis Microbiológicos necesarios en caso de ser implementado.
- En caso de no contar con pruebas Microbiológicas, la composta que se obtiene de este tipo de inodoros podría teóricamente compostarse otra vez y dejarse madurar por uno o dos años adicionales con el fin de destruir cualquier patógeno que permanezca en ella.
- Si bien la cabina de baño seco compostero, brinda características de confort a los usuarios; estas pueden ser mejoradas a través de nuevos diseños, que no solo mejore el confort sino la eficiencia del sistema. Entre las alternativas que se pueden implementar están: aprovechamiento de la energía solar para aumentar la temperatura en las

etapas de calentamiento y maduración; y, un sistema de almacenamiento mecánico para realizar el enfriamiento y maduración del compostaje, que evite en lo posible el contacto directo de la materia con el ser humano.

- El presente estudio investigativo abre las puertas para diseñar nuevos prototipos de inodoros con separadores de orina, como el desarrollado por Ambiente Creativo, que sirva tanto para zonas rurales como urbanas.

- Durante el proceso se investigó utilizando aserrín como material secante, elevando considerablemente la relación C/N. Se pueden realizar nuevos estudios probando otros materiales como es el caso de hojas secas, cal, ceniza, entre otros.

- Promover el uso de energías limpias y renovables en un ciclo cerrado de la naturaleza, nos permite incentivar el uso de abono orgánico y rechazar la utilización de fertilizantes artificiales (químicos), los mismos que han llevado a la reducción de la calidad y cantidad de la producción, y han sido los causantes de afecciones a la salud humana y animal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo Fundación Friedrich Ebert-México. (1999). *Saneamiento Ecológico*. México.
2. Alvarez, J. (2003). *Manual de compostaje para Agricultura Ecológica*. Recuperado el 2014, de http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/produccion-ecologica/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf.
3. Ansorena, J., Batalla, E., & Merino, D. (2011). *Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos*.
4. Arnbjerg-Nielsen, K., Hansen, L., J. Kjølholt, J., & Stuer-Lauridsen, F. (2004). *Risk assessment of local handling of human faeces with focus on pathogens and pharmaceuticals*.
5. Becker, W. (1994). *Dietary habits and intake of nutrition*.
6. Berger, E. Y. (1960). *Intestinal absorption and excretion*.
7. Bueno, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2010). *Factores que afectan al proceso de Compostaje*. Sevilla.
8. Carro, I. (2006). *SANEAMIENTO ECOLÓGICO. Reconstruyendo el ciclo de vida*.
9. Conicyt. (2012). *Datos sobre el consumo de agua*. Recuperado el 2015, de <http://graficas.explora.cl/otros/agua/consumo2.html>
10. D. Sztern, M. Pravia. (1999). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*.
11. De Bertoldi, M., Vallini, G., & Pera, A. (1985). *Technological Aspects of composting including*.
12. Esrey, S., Gough, J., Rapaport, D., Sawyer, R., Simpson-Hébert, M., & Vargas, J. (1999). *Saneamiento ecológico*.
13. Fundación AVINA y CARE Internacional . (2013). *Fortalecimiento de capacidades de Organizaciones Comunitarias Prestadoras de Servicios de Agua y Saneamiento (OCSAS) en América Latina. Modulo 6 Sistemas de saneamiento ambiental*.

14. Gallardo V. y Hecke F. (2002). *Unidades Sanitarias Secas: Una solución económica y ambientalmente sustentable para el saneamiento básico.*
15. Garrow, J. (1993). *Human nutrition and dietetics.*
16. González, I. (2012). <http://www.fisiogenomica.es/2012/02/heces-estudio-intestino.html>. Recuperado el 2014
17. Guijarro Castro, C. (2010). *Tratamiento mecánico biológico de residuos urbanos.* Recuperado el 2014, http://www.interempresas.net/Equipamiento_Municipal/Articulos/37735-Tratamiento-mecanico-biologico-de-residuos-urbanos.html
18. Guyton, A. (1992). *Human Physiology and Mechanisms of Disease.* Philadelphia.
19. H. Palmquist, H. J. (2004). *Urine, faeces, greywater, greywater and biodegradable solid waste as potential.*
20. Haug, R. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering.* Lewis Publishers. Boca Raton.
21. Herberer, T., Schmidt-Bäumleer, K., & Stan, H. (1998). *Occurrence and distribution of organic contaminants in aquatic system in Berlin.*Berlin.
22. Ibarra, Y. (2011). http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/ficha_tcnica.html. Recuperado el 2014
23. Inec: Tamaño promedio del hogar ecuatoriano es de 3.9 personas. (03 de Mayo de 2013). *La Hora* .
24. Irastorza, M. (2014). Recuperado el 2014, de http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/argentina/Documents/2014/Organicos/Seminario_Organico/Presentaciones/IRASTORZA.pdf
25. Jenkins, J. (2005). *Humanure Handbook.*
26. Johansson, M., Jönsson, H., Höglund, C., Stintzing, A. R., & Rodhe, L. (2001). *Urine separation – closing.*
27. Jönsson, H., Stenström, T., & Sundin, A. (1997). *Source separated urine Nutrient and heavy metal.*
28. Jönsson, H., Stintzing, R., Vinnerås, B., & Salomon, E. (2004). *Lineamiento para el Uso de la Orina y Heces en la Producción de Cultivos.*EcoSanRes.

29. Kirchmann, H., & Pettersson, S. (1995). *Human urine- Chemical composition and fertilizer*.
30. La Agenda Universitaria Ambiental. (2013). *Sabías cuanta agua consumimos todos los días*. Recuperado el Abril de 2015, de <http://www.agendaambiental.uadec.mx/v2/sabias-cuanta-agua-consumimos-todos-los-dias/>
31. Latham, M. (1997). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Roma: FAO Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.
32. Lenntech, B. (s.f.). *ph y alcalinidad*. Recuperado el 2014, de <http://www.lenntech.es/ph-y-alcaldinidad.htm>
33. Mariasg. (2013). *Agroterra*. Recuperado el 2014, de <http://www.agroterra.com/blog/descubrir/compostaje-de-restos-de-poda-un-valor-anadido-a-nuestro-trabajo/76812/>
34. Martín, A. (2004). <http://www.portalesmedicos.com>. Recuperado el 2013
35. Mendonça, S. (1997). *Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en agua y saneamiento*. Organización Panamericana de la Salud.
36. Natursan. (2008). *Con que frecuencia debemos ir al baño a evacuar al día y a la semana*. Recuperado el 2015, de <http://www.natursan.net/con-que-frecuencia-debemos-ir-al-bano-a-evacuar-al-dia-y-a-la-semana/>
37. Organización Panamericana de la Salud (OPS) - Banco Mundial. (2000). *Tecnologías Apropriadas en Agua Potable y Saneamiento Básico*.
38. Pérez, D. (2011). Desperdicio de agua va en aumento en Ecuador. *Diario HOY Ecuador*.
39. *Población Ecuador*. (2013). Recuperado el 2014, de <http://www.datosmacro.com/demografia/poblacion/ecuador>
40. Quito, M. D. (2013). *Pliego Tarifario Vigente*. Recuperado el Marzo de 2015, de <http://www.aguaquito.gob.ec/pliego-tarifario-vigente>
41. Richert Stintzing, A., Rodhe, L., & Akerhielm, H. (2001). *Human urine as fertilizer- plant*.
42. Rizzardini, M. (2010). *Baños secos: Gestión y aprovechamiento de residuos*.

43. Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.*
44. S. Esrey, J. Gough, D. Rapaport, R. Sawyer, M. Simpson-Hébert, J. Vargas. (1999). *Saneamiento Ecológico.*
45. Saneamiento Ambiental. (2000).
<http://saneamientoambiental.tripod.com/id5.html> . Recuperado el 2013
46. Schönning, C., & Stenström, A. (2004). *Guidelines on the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems.*
47. Silva, J. F., & Williams, R. (1997). *The Biological Chemistry of the Elements - The Inorganic.*
48. Silva, J. F., & Williams, R. (1997). *The Biological Chemistry of the Elements - The Inorganic.*
49. Silva, J., López, P., & Valencia, P. (2011). *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje.*
50. Sztern, D., & Pravia, M. (1999). *Manual para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales y Procedimientos.*
51. Universidad de Chile. (2014).
http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/steinera/parte05/01.html. Chile.
52. Vinnerås, B. (2002). *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine.*

