

**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**



**DISEÑO DE UN MODELO DINÁMICO DE SISTEMAS APLICADO A LA  
CADENA DE VALOR PARA EL MANEJO DE DESECHOS ORGÁNICOS  
LOMBRICULTURA**

**JOHN ALEXANDER BUITRAGO PÉREZ**

Propuesta de opción de grado para optar por el título de ingeniero industrial

Director  
**Álvaro Chávez Porras**  
Ing. Industrial

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ  
2012**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	6
1. OBJETIVOS	7
1.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
2. JUSTIFICACION	8
3. MISIÓN	8
4. VISIÓN	8
5. MARCO TEORICO	9
5.1. O QUE É COMPOSTAGEM?	9
5.2. QUAL A IMPORTÂNCIA DE FAZER A COMPOSTAGEM	9
5.3. O QUE PODE SER COMPOSTADO?	10
5.4. O QUE NÃO DEVE SER COMPOSTADO	12
5.5. QUAIS AS FASES DA COMPOSTAGEM?	12
5.6. QUAIS OS FATORES QUE INFLUENCIAM NA COMPOSTAGEM?	13
5.6.1. Microorganismos.	13
5.6.2. Temperatura.	13
5.6.3. Umidade.	13
5.6.4. Aeração.	14
5.6.6. Relação C/N.	14
5.6.7. PH.	14
5.7. COMO MONTAR A LEIRA OU A PILHA?	15
5.8. QUAL O TEMPO DA COMPOSTAGEM?	16
5.9. COMO PROCEDER DURANTE O PROCESSO?	16
5.10. QUANDO O COMPOSTO ESTÁ PRONTO?	16
5.11. ONDE APLICAR O COMPOSTO?	16
5.12. QUAIS AS VANTAGENS DA COMPOSTAGEM?	17
6. DEFINIÇÃO Y CONCEPTO DE VARIABLES	18
7. DIAGRAMA CAUSAL DEL COMPOSTAJE	21

8.	DIAGRAMA FORRESTER	22
9.	ANÁLISIS DE GRAFICAS Y TABLAS.	26
9.1.	GRAFICA Y TABLA DE PRODUCCION.	26
9.2.	GRAFICA Y TABLA DE VENTAS	26
9.3.	GRAFICA Y TABLA DE INVENTARIOS.	27
9.4.	GRAFICAS Y TABLAS DEL NIVEL DE MAQUINARIA.	28
9.5.	GRAFICAS Y TABLAS DEL NIVEL DE TRABAJADORES.	28
9.6.	GRAFICAS Y TABLAS DEL NIVEL DE UTILIDAD.	29
10.	ARTICULO REVISTA	30
10.1.	ARTICULO REVISTA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL	30
10.2.	ARTICULO REVISTA GESTION Y PRODUCCION	48
10.3.	REVISTA GESTIÓN INTEGRAL EN INGENIERÍA NEOGRANADINA	73
11.	CONCLUSIONES	88
	BIBLIOGRAFÍA	89
	ANEXOS	91

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo da matéria orgânica	10
Figura 2. Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto	11
Figura 3. Que não deve ser compostado	12
Figura 4. Leira de compostagem, Parque socioambiental de Canabrava	15
Figura 5. Recomendações de uso do composto orgânico.	17
Figura 6. Población mundial total por países agrupados según el ingreso	19
Figura 7. Diagrama causal compostaje	21
Figura. 8 Nivel de producción de vermicompostaje	22
Figura 9 Nivel de ventas.	23
Figura 10 Nivel de inventarios	23
Figura 11 Nivel de maquinaria	24
Figura 12 Nivel de trabajadores	25
Figura 13 Nivel de utilidad.	25
Figura 14. Producción vermicompostaje.	26
Figura 15. Venta de vermicompostaje.	27
Figura 16. Inventarios vermicompostaje.	27
Figura 17. Maquinaria vermicompostaje.	28
Figura 18. Trabajadores vermicompostaje.	28
Figura 19. Utilidad vermicompostaje.	29

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Capacidad TracTurn 3.7	24
Tabla 2. Producción vermicompostaje.	26
Tabla 3. Venta de vermicompostaje	27
Tabla 4. Inventario vermicompostaje	27
Tabla 5. Utilidad vermicompostaje.	29

## INTRODUCCIÓN

Aunque el compostaje actualmente no es una de las actividades más realizadas en el tratamiento de desechos orgánicos, si viene siendo una de las formas más eficaces para mitigar el impacto ambiental. Por medio de la utilización de diferentes microorganismos es capaz de transformar ese desecho en un fertilizante orgánico, el cual puede ser utilizado en diferentes ambientes como jardinería, reforestación, usos agrícolas, entre otros. Se han realizado diferentes tipos de estudios, para mejorar la calidad del fertilizante, en estos estudios se han creado varios métodos eficaces, así mismo se han descubiertos diferentes formas de aceleración del proceso de compostaje como es el uso de lombrices en los desechos (vermicompostaje).

Debido a esto se ha presentado la conformación de pequeñas y grandes empresas dedicadas al tratamiento de desechos orgánicos por medio del compostaje; centrándonos en este punto, se ha analizado el proceso del compostaje de una forma científica, en la cual se ha identificado sus propiedades, características, los diferentes requisitos que se necesitan para realizar este proceso, y otros aspectos importantes que determinan el manejo del compostaje comercialmente. Por medio de un estudio detallado de este proceso, y con el uso de una herramienta de ingeniería industrial como la dinámica de sistemas, se pretende simular de proceso productivo del compostaje. En la cual se analizan una serie de variables las cuales son claves en el proceso de producción y comercialización del compost, como el terreno, los costos de jornales, maquinaria, la calidad del humus, demanda nacional e internacional, la tasa de crecimiento del mercado, entre otras. Este tipo de variables son analizadas y relacionadas de forma matemática y como resultado podemos determinar el posible comportamiento de la empresa durante el tiempo, es decir nos muestra los posibles costos a obtener, los jornales necesarios en cada periodo de producción, la posible producción a manejar en un determinado periodo de tiempo, entre otras.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1.OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo Dinámico de Sistemas que relacione las variables más importantes de la cadena de valor de lombricultura y permita pronosticar la producción de abono orgánico para un periodo determinado en condiciones normales.

### 1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y analizar las variables endógenas y exógenas durante el proceso de lombricultura.
- Diseñar el modelo dinámico de sistemas para el proceso de lombricultura en el manejo de desechos orgánicos.
- Analizar los comportamientos obtenidos del modelo dinámico de sistemas para desarrollar proyecciones en un periodo determinado.

## 2. JUSTIFICACION

Actualmente Brasil es uno de los países de Latinoamérica que ha tomado conciencia de la importancia que tiene el tratamiento adecuado de los desechos orgánicos para mitigar el impacto ambiental, por tal razón han mejorado notablemente su infraestructura, tecnología y maquinaria para la realización de estos procesos. Teniendo en cuenta esto se tomo como punto de referencia para la realización de este proyecto.

## 3. MISIÓN

Lograr una simulación lo más cercana a la realidad del proceso de compostaje, mostrándolo como un proceso eficaz y enfatizado a las necesidades del cliente, obteniendo un humus de calidad y con un proceso de optimización único.

## 4. VISIÓN

A final de semestre, terminar el proyecto enfatizado a la simulación de la cadena de valor de vermicompostaje cumpliendo las normas y restricciones dadas por la dinámica de sistemas.

## 5. MARCO TEORICO

A continuación se establecerá información crucial para el desarrollo del modelo dinámico de sistema. En la cual se explica que es compostaje, consideraciones especiales en este proceso, algunos aspectos económicos, entre otros.

### 5.1. O QUE É COMPOSTAGEM?

É a produção do composto (adubo) orgânico formado por matéria orgânica (MO) humidificada, obtida a partir da transformação (descomposição biológica) de restos orgânicos (sobras de culturas, frutas, verduras, dejetos de animais, etc.) pela ação microbiana do solo (CAVALCANTI. C. 2003).

No final da decomposição, o composto apresenta estrutura fofa, cheiro agradável, temperatura ambiente, PH próximo de sete, livre de agentes atogênicos e de sementes de ervas daninhas (CAVALCANTI. C. 2003).

### 5.2. QUAL A IMPORTÂNCIA DE FAZER A COMPOSTAGEM

O Brasil produz 241.614 toneladas de lixo por dia, onde 76% são depositados a céu aberto, em lixões, 13% são depositados em aterros controlados, 10% em usinas de reciclagem e 0,1% são incinerados. Do total do lixo urbano, 60% são formados por resíduos orgânicos que podem se transformar em excelentes fontes de nutrientes para as plantas (GOMES A. 2005).

A compostagem é um processo que pode ser utilizado para transformar diferentes tipos de resíduos orgânicos em adubo que, quando adicionado ao solo, melhora as suas características físicas, físico-químicas e biológicas. Conseqüentemente se observa maior eficiência dos adubos minerais aplicados às plantas, proporcionando mais vida ao solo, que apresenta produção por mais tempo e com mais qualidade. Portanto, a redução do uso de fertilizantes químicos na agricultura, a proteção que a matéria orgânica proporciona ao solo contra a degradação e a redução do lixo depositado em aterros sanitários pelo uso dos resíduos orgânicos para compostagem, contribuem para melhoria das condições ambientais e da saúde da população. A técnica da compostagem foi desenvolvida com a finalidade de acelerar com qualidade a estabilização (também conhecida como humificação) da matéria orgânica. Na natureza a humificação ocorre sem prazo definido, dependendo das condições ambientais e da qualidade dos resíduos orgânicos (GOMES A. 2005).

Figura 1. Ciclo da matéria orgânica



Fuente: seixal, 2010.

### 5.3. O QUE PODE SER COMPOSTADO?

É necessário o lixo doméstico orgânico, que é rico em nitrogênio (N), um nutriente importante para que o processo bioquímico da compostagem aconteça, e restos de capim ou qualquer outro material rico em carbono (C), como palhadas de milho, de banana, folhas de jardim, restos de grama etc. Caso tenha disponibilidade de esterco de animais, como boi, galinha, porco etc., a sua utilização como fonte de microrganismos decompositores acelera a formação do composto. A proporção de C e N é quem regula a ação dos microrganismos para transformar o lixo em adubo, devendo a mistura de resíduos orgânicos ter uma relação C/N inicial em torno de 30, ou seja, os microrganismos precisam de 30 partes de carbono para cada parte de N consumida por eles. Na figura 2 é apresentada a composição de alguns materiais empregados no preparo do composto (GOMES A. 2005).

Figura 2. Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto (resultados em material seco a 110 °C).

MATERIAL	M.O. (g/kg)	C/N	C (g/kg)*	N (g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	K <sub>2</sub> O (g/kg)
Abacaxi (fibras)	714,1	44/1	396,0	9,0	-	4,6
Arroz (cascas)	850,0	63/1	472,5	7,5	1,5	5,3
Arroz (palhas)	543,4	39/1	304,2	7,8	5,8	4,1
Bagaço de cana	585,0	22/1	327,8	14,9	2,8	9,9
Bagaço de laranja	225,1	18/1	127,8	7,1	1,8	4,1
Banana (talos e cachos)	852,8	61/1	469,7	7,7	1,5	5,3
Banana (folhas)	889,9	19/1	490,2	25,8	1,9	-
Borra de café (solúvel)	867,9	25/1	477,5	19,1	1,7	0,2
Cacau (películas)	911,0	16/1	518,4	32,4	14,5	37,4
Cacau (cascas do fruto)	886,8	38/1	486,4	12,8	4,1	25,4
Capim-colonião	910,3	27/1	504,9	18,7	5,3	-
Capim-gordura-catingueiro	923,8	81/1	510,3	6,3	1,7	-
Capim-guiné	887,5	33/1	491,7	14,9	3,4	-
Capim-jaraguá	905,1	64/1	505,6	7,9	2,7	-
Capim-limão (cidreira)	915,2	62/1	508,4	8,2	2,7	-
Capim-milhão roxo	916,0	36/1	504,0	14,0	3,2	-
Capim-mimoso	936,9	79/1	521,4	6,6	2,6	-
Capim-pé-de-galinha	869,9	41/1	479,7	11,7	5,1	-
Capim-de-rhodes gigante	894,8	37/1	503,2	13,6	6,3	-
Cápsulas de mamona	943,3	44/1	519,2	11,8	2,9	18,1
Casca semente de algodão	959,8	78/1	530,4	6,8	0,6	12,0
Crotalaria juncea	914,2	26/1	507,0	19,5	4,0	13,1
Esterco de carneiro	564,9	15/1	319,5	21,3	12,8	26,7
Esterco de cocheira	458,8	18/1	252,0	14,0	5,2	17,4
Esterco de gado	621,1	18/1	345,6	19,2	10,1	16,2
Esterco de galinha	540,0	10/1	304,0	30,4	47,0	18,9
Esterco de porco	462,8	10/1	254,0	25,4	49,3	23,5
Feijão guandu	959,0	29/1	524,9	18,1	5,9	11,4
Feijão de porco	885,4	19/1	484,5	25,5	5,0	24,1
Feijoeiro (palhas)	946,8	32/1	521,6	16,3	2,9	19,4
Fumo (resíduos)	709,2	18/1	390,6	21,7	5,1	27,8
Grama batatais	908,0	36/1	500,4	13,9	3,6	-
Grama seca	905,5	31/1	502,2	16,2	6,7	-
Lab Lab	884,6	11/1	501,6	45,6	20,8	-
Mandioca (folhas)	916,4	12/1	522,0	43,5	7,2	-
Mandioca (ramas)	952,6	40/1	524,0	13,1	3,5	-
Mandioca (cascas raíz)	589,4	96/1	326,4	3,4	3,0	4,4
Mamona (cápsulas)	946,0	53/1	625,4	11,8	3,0	18,1
Milho (palhas)	967,5	112/1	537,6	4,8	3,8	16,4
Milho (sabugos)	452,0	101/1	525,2	5,2	1,9	9,0
Mucuna preta	906,8	22/1	492,8	22,4	5,8	29,7
Palha de café	999,9	31/1	511,5	16,5	1,8	18,9
Palha de feijão	946,8	32/1	521,6	16,3	2,9	19,4
Polpa de sisal	673,7	27/1	372,6	13,8	4,7	8,8
Serrapilheira	306,8	17/1	163,2	9,6	0,8	1,9
Serragem de madeira	934,5	865/1	519,0	0,6	0,1	0,1
Torta de babaçu	953,5	14/1	518,0	37,0	19,5	10,9
Torta de coco	945,9	12/1	524,4	43,7	18,8	31,4
Torta de usina de açúcar	787,8	20/1	438,0	21,9	23,2	12,3
Turfa	398,9	57/1	222,3	3,9	0,1	3,2

M.O. – matéria orgânica; C/N – relação carbono-nitrogênio

Fuente: Adaptado de Kiehl (1981 e 1985).

\*o teor de C (g/kg) foi calculado com base na relação C/N e teores de N informados pelo autor.

#### 5.4. O QUE NÃO DEVE SER COMPOSTADO

Materiais não putrescíveis ou de difícil decomposição, e outros por razões de higiene ou por conterem substâncias poluentes. Exemplos:

- ✚ Carne, peixe, gordura e queijo (podem atrair roedores);
- ✚ Plantas doentes e ervas daninhas;
- ✚ Vidro, metais e plásticos;
- ✚ Couro, borracha e tecidos;
- ✚ Verniz, restos de tinta, óleos, todo tipo de produtos químicos e restos de produtos de limpeza;
- ✚ Cinzas de cigarro, de madeira e de carvão, inclusive de churrasco, saco e conteúdo de aspirador de pó (valores elevados de metais e poluentes orgânicos);
- ✚ Fezes de animais domésticos, papel higiênico e fraldas (por poderem apresentar microorganismos patogênicos, que causam doenças).

Figura 3. Que não deve ser compostado



Fuente: sectam 2003

#### 5.5. QUAIS AS FASES DA COMPOSTAGEM?

O processo da compostagem é dividido em três fases:

**1ª Fase:** Conhecida como fase termofílica ou fase da decomposição, pois nela ocorre a decomposição da matéria orgânica facilmente degradável. A temperatura

pode chegar naturalmente a 65-70°C. Com esta temperatura por um período de 15 dias é possível eliminar os microorganismos patogênicos (FUNASA, 2009).

Kiehl (1985) ressalta que o metabolismo dos microorganismos é exotérmico, e na fermentação aeróbia, principalmente, desenvolve-se um natural e rápido aquecimento da massa com a multiplicação da população microbiana, produzindo temperaturas acima de 70°C (MARAGNO. E.).

**2ª Fase:** É a fase de maturação, nela estão presentes as bactérias, actinomicetos e fungos. A temperatura fica no intervalo de 45-30°C, e o tempo pode variar de dois a quatro meses (FUNASA, 2009).

**3ª Fase:** Nesta fase, celulose e lignina, componentes de difícil degradação, são transformadas em substâncias húmicas, pode aparecer no composto a presença de minhocas. O aspecto do composto é próximo a de terra vegetal. O intervalo da temperatura diminui para 25-30°C (GAMA. F.; FUNASA, 2009).

## 5.6. QUAIS OS FATORES QUE INFLUENCIAM NA COMPOSTAGEM?

Os fatores que influenciam na compostagem são:

**5.6.1. Microorganismos.** Os microorganismos necessários para a degradação da matéria orgânica estão contidos em quantidade suficiente no lixo domiciliar. Controlando a umidade e a aeração estes microorganismos multiplicam-se e distribuem-se pela massa de lixo. Os principais microorganismos responsáveis pelo processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos (CAVALCANTI. C. 2003).

**5.6.2. Temperatura.** O controle da temperatura é fundamental para garantir a higienização (destruição térmica dos microorganismos patogênicos) da massa e a identificação das fases da compostagem. Temperaturas acima de 65°C retardam a ação da atividade dos microorganismos aumentando o período de compostagem. A temperatura ótima para o processo deve estar na faixa de 55°C (CAVALCANTI. C. 2003).

**5.6.3. Umidade.** A umidade é importantíssima para a compostagem. Para a formação do composto a forma ideal é procurar o equilíbrio água-ar, para tanto é necessário manter o teor de umidade na faixa de 55%. Teores abaixo de 40% inibem a atividade biológica e teores acima de 65% ocasionam a ocupação dos espaços vazios pela água dificultando a aeração da massa. Sempre que o composto apresentar um aspecto seco é necessário regá-lo. Para verificar o teor de umidade aperta-se com a mão uma porção do composto. Se a água existente escoar sob a forma de gotas, a umidade do composto é adequada, se escoar em fio há umidade excessiva (CAVALCANTI. C. 2003; GAMA. F.).

5.6.4. **Aeração.** No processo de compostagem aeróbio é necessária a presença de oxigênio para o metabolismo dos microorganismos. A umidade, temperatura e granulometria são fatores que influenciam na demanda de oxigênio. A ausência de oxigênio na matéria orgânica torna o processo anaeróbio, provocando a geração de odores desagradáveis. Recomenda-se que as leiras (material disposto para compostar) sejam revolvidas ou reviradas no 3º, 10º, 40º e 50º dia após a sua formação (CAVALCANTI. C. 2003).

5.6.5. **Granulometria.** Quanto menor for o tamanho da partícula maior será a superfície de exposição ao oxigênio acelerando o processo de compostagem. Entretanto, partículas exageradamente pequenas promovem a compactação da massa dificultando a aeração e causando problemas de anaerobiose, ou seja de 1-5 cm (JIEHL,1985; CAVALCANTI. C. 2003; (GAMA. F.).

5.6.6. **Relação C/N.** Pereira Neto (1996), os microorganismos necessitam da presença de macro e micro nutrientes para o exercício de suas atividades metabólicas. Dentre os nutrientes utilizados pelos microrganismos, dois são de extrema importância, quais sejam: o carbono e o nitrogênio, cuja concentração e disponibilidade biológica de ambos afetam o desenvolvimento do processo (MARAGNO. E.).

O carbono é fonte básica de energia para as atividades vitais dos microrganismos e, na falta do nitrogênio não ocorre a reprodução celular dos mesmos. Em geral, os resíduos palhosos, como os vegetais secos, são fontes de carbono. Os legumes frescos e os resíduos fecais se caracterizam por serem fontes de nitrogênio. O excesso de carbono leva a um aumento do período de compostagem, neste caso, o nitrogênio necessário é obtido das células mortas dos microorganismos (MARAGNO. E.).

A relação carbono/nitrogênio (C/N) da matéria-prima a ser compostada é um importante fator para a velocidade do processo. A relação C/N considerada ideal para iniciar o processo está na faixa de 30/1 Kiehl (2002), Pereira Neto (1986) e Zhu (2005). Se a relação não for esta significa que o tempo de compostagem será maior, relações acima de 40/1 tornam o processo lento. Quando a relação for muito baixa é necessário introduzir materiais ricos em carbono para corrigir a relação (CAVALCANTI. C. 2003; MARAGNO. E.).

5.6.7. **PH.** A compostagem aeróbia provoca o aumento do PH. Inicialmente, devido aos resíduos orgânicos de reações ácidas, o PH fica entre cinco e seis (meio ácido). No decorrer do processo em função das reações existentes (ácidos orgânicos reagindo com as bases liberadas pela matéria orgânica) o PH da massa é elevado para valores maiores que oito (meio alcalino) (CAVALCANTI. C. 2003).

A reação da matéria orgânica vegetal ou animal, é geralmente ácida. Iniciando-se a decomposição, ocorre uma fase fitotóxica pela formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido do que o da própria matéria prima original. Entretanto, esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina.

Com a compostagem há formação de ácidos húmicos que também reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, passando pelo pH 7 (neutro) e alcançando pH superior a 8 (básico), enquanto contiver nitrogênio amoniacal (MARAGNO. E.).

#### 5.7. COMO MONTAR A LEIRA OU A PILHA?

A montagem da leira deve ser feita em pátios de compostagem, de preferência com solo impermeabilizado, para evitar-se a infiltração de líquidos. A área escolhida deve apresentar: pouca declividade; proteção de vento e insolação direta; ser de fácil acesso, permitindo o reviramento da mistura e a passagem de veículos para transporte de material; e ter água disponível para regar as medas (pilhas).

É importante que o terreno utilizado tenha um declive de dois a três por cento facilitando a remoção da água da chuva e evitando encharcar a base das leiras, o que causaria odores desagradáveis. Entre uma leira e outra deve haver um espaço que facilite o escoamento da água das chuvas e os reviramentos.

As dimensões ideais para as leiras estão entre 2,5 a 3,5 metros de largura e em torno de 1,5 a 1,8 metros de altura. É importante verificar as dimensões do pátio e a quantidade de material disponível. Recomenda-se iniciar a montagem das leiras ou pilhas colocando uma camada de 10 cm de altura de podas ou galhos de árvores picados. É importante não formar camadas com um único tipo de material (CAVALCANTI. C. 2003; FUNASA, 2009).

Figura 4. Leira de compostagem, Parque socioambiental de Canabrava – Salvador, BA



Fuente: manual FUNSA, 2009

## 5.8. QUAL O TEMPO DA COMPOSTAGEM?

O tempo para decompor a matéria orgânica depende de diversos fatores. Quanto maior for o controle, mais rápido será o processo. Se as necessidades nutricionais da pilha ou leira forem satisfatórias, os materiais adicionados de pequenas dimensões, mantida a umidade adequada e a pilha revolvida todas as semanas, sabe-se, pela prática, que o composto será bioestabilizado no período de 30 a 60 dias, e um curado entre 90 a 120 dias (FUNASA, 2009).

## 5.9. COMO PROCEDER DURANTE O PROCESSO?

Primeiramente, todo o material deve ser picado e quanto menor e mais diversificado for melhor será a decomposição realizada pelos microorganismos. Em seguida, deve ser realizada a mistura do material, o ideal é misturar a parcela úmida com a parcela seca, material pobre em nitrogênio com material rico em nitrogênio. Recomendase não juntar quantidades grandes de um único material.

Na construção da leira ou pilha recomenda-se alternar as camadas em lixo de cozinha e lixo de jardim, pois a decomposição da matéria orgânica putrescível contribui para a compactação do material dificultando a aeração. É fundamental realizar o revolvimento da leira ou pilha para a aeração do material (FUNASA, 2009).

## 5.10. QUANDO O COMPOSTO ESTÁ PRONTO?

O composto pronto é solto, possui cor escura e cheiro de terra. Quando esfregar o composto pronto nas mãos elas não se sujam (FUNASA, 2009).

A compostagem leva de 9 a 16 semanas, dependendo do material orgânico utilizado, das condições ambientais (no verão é mais rápido) e do cuidado no revolvimento constante e uniforme da leira. O composto está pronto quando após o revolvimento da leira a temperatura não mais aumentar. O material humificado (composto) se apresentará com cor marrom escura (Fig. 3), cheiro de bolor, homogêneo, sem restos vegetais e com relação C/N entre 10 e 15 (GOMES A. 2005).

## 5.11. ONDE APLICAR O COMPOSTO?

O produto final da compostagem é chamado de composto ou fertilizante orgânico, ele contém alto teor de matéria orgânica estabilizada ou humificada. Utiliza-se o composto no solo, como corretivo orgânico, principalmente em solos pobres em matéria orgânica como os argilosos e arenosos. O fertilizante orgânico pode ser usado no jardim, em hortas, em árvores frutíferas. O ideal é utilizar o composto depois de peneirado com o auxílio de peneira com diâmetros de 1-2 cm. A aplicação do composto deve ser sobre o solo e não enterrá-lo em camadas profundas (FUNASA, 2009).

O composto orgânico pode ser utilizado em todos os cultivos e plantas. Na figura 5 são indicadas algumas dosagens para cultivos diversos em chácaras e jardins. Para cultivos comerciais, as dosagens a serem utilizadas devem ser baseadas na exigência da cultura e no teor de nutrientes do composto.

Figura 5. Recomendações de uso do composto orgânico.

Agricultura	Quantidade do composto	
	Plantio	Cobertura
Abacaxizeiro	3 a 4 L/cova	1 a 2 L/pé semestre
Abóbora e pepino	2 a 3 L/cova	
Açaizeiro para fruto	5 a 8 L/cova	5 a 7 L/pé semestre
Coqueiro	8 a 10 L/cova	8 a 10 L/pé semestre
Hortaliças de folhas largas	10 a 20 L/m <sup>2</sup>	
Melanciaira	3 a 5 L/cova	
Mamoeiro	6 a 8 L/cova	8 a 10 L/pé anual
Maracujazeiro	4 a 5 L/cova	5 a 7 L/pé semestre
Outras fruteiras	6 a 8 L/cova	3 a 5 L/pé semestre
Pimentãozeiro e pimenteira-de-cheiro	3 a 5 L/cova	1 a 2 L/pé na frutificação
Pimenteira-do-reino	8 a 10 L/cova	6 a 8 L/pé anual
<b>Jardinagem</b>		
Arbustos	3 a 5 L/cova	2 a 3 L/pé semestre
Gramados	5 a 8 L/ m <sup>2</sup>	2 a 3 L/ m <sup>2</sup> semestre
Plantas interiores	4 a 5 L/ m <sup>2</sup>	2 a 3 L/ m <sup>2</sup> semestre
<b>Vaso</b>		
Vaso pequeno (1 litro)	0,2 a 0,3L/vaso	0,1 a 0,2 L/vaso semestre
Vaso médio (2,5 litros)	0,4 a 0,6 L/vaso	0,2 a 0,3 L/vaso semestre
Vaso grande (5 litros)	0,8 a 1,2 L/vaso	0,2 a 0,3 L/vaso semestre

Fuente: Teixeira, 2002.

## 5.12. QUAIS AS VANTAGENS DA COMPOSTAGEM?

As principais vantagens de se fazer a compostagem são:

- ✚ O composto ajuda a melhorar as características de solos, como a sua estrutura;
- ✚ Os solos enriquecidos com o composto são menos afetados pela erosão;
- ✚ O uso de composto eleva a quantidade de nutrientes desse solo, reduzindo a utilização de fertilizantes químicos;
- ✚ A compostagem dos resíduos diminui consideravelmente o volume de resíduos encaminhado para os aterros sanitários;
- ✚ Não requer grande conhecimento técnico ou equipamentos. Todo o processo pode ser realizado manualmente;
- ✚ O material fornecido pela compostagem é rico em nutrientes melhorando o desenvolvimento de plantas;
- ✚ O composto auxilia o solo retendo a umidade e os nutrientes,

✚ atuando como una esponja.

## 6. DEFINICIÓN Y CONCEPTO DE VARIABLES

Dentro de la producción de compostaje encontramos un gran número de variables que influyen para está, desde ambientales hasta financieros, a continuación se presentan en forma general las variables que inciden con una breve explicación.

✚ Desechos orgánicos

Los desechos orgánicos son una de las bases principales para el compostaje, ya que estos son la materia prima que posteriormente se transformara en humus (producto final).

✚ Microorganismos

Entre los microorganismos más destacados para la producción de compostaje encontramos las bacterias, hongos y actinomicetos, los cuales son los que transforman los desechos orgánicos en humus.

✚ Temperatura

Es una de las variables más influyentes de la calidad del humus ya que puede garantizar la destrucción de microorganismos patógenos, esta temperatura por lo general suele llegar aproximadamente de 65°C a 70°C, la cual es situada en la fase termofílica. La temperatura también nos determina el momento en que los microorganismos empiezan a realizar un proceso de compostaje, esta temperatura puede variar entre 25°C a 45°C.

✚ Fase termofílica

En esta fase también conocida como la fase de descomposición de la materia orgánica fácilmente degradable, la temperatura puede llegar a 70°C en la cual se elimina una gran cantidad de organismos patógenos.

✚ Humus

Es el producto final obtenido de todo el proceso de compostaje, el cual sirve como un abono orgánico o fertilizante natural para jardinería o para cultivos de alimentos, la utilización de este fertilizante depende de la categoría a la que pertenece el humus, la cual depende de la cantidad de microorganismos patógenos que contenga.

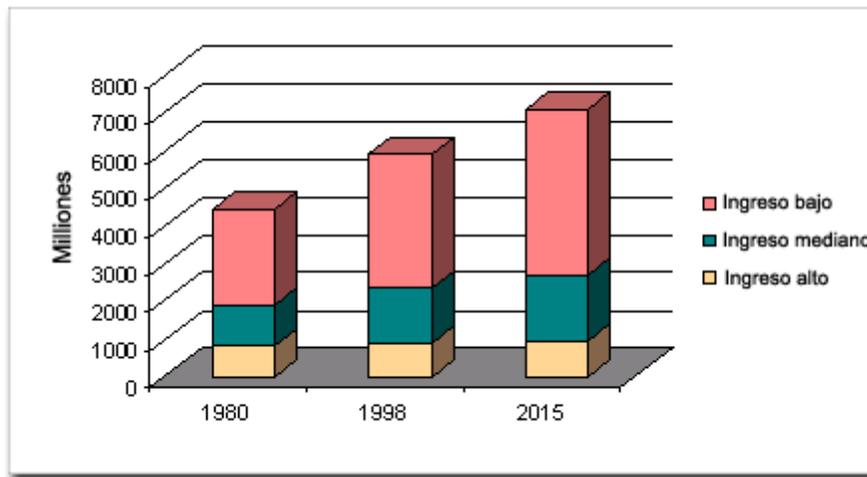
#### ✚ Larvas

Estas aceleran el proceso de compostaje, tienen una influencia media en este proceso, por lo que si se desarrollan totalmente pueden llegar a transformarse en moscas.

#### ✚ Población

Se tiene en cuenta que la población en general de los diferentes países sigue creciendo en una pequeña proporción, según el banco mundial como se observa en la figura 6. Se determina que con una mejor calidad de vida hay un aumento de población.

Figura 6. Población mundial total por países agrupados según el ingreso, 1980, 1998, 2015



Fuente: Banco mundial, 2012.

#### ✚ Terreno

Es el espacio donde se realiza el proceso de producción de compostaje.

#### ✚ Distancia

Es la distancia que debe ser recorrida por las maquinas para revolver los desechos, también puede ser la distancia que existe entre el lugar de origen de la materia prima y la planta de tratamiento de residuos orgánicos.

#### ✚ Equipos

Son todos los equipamientos que se tiene para realizar el proceso, computadores, termómetros, medidor de PH, entre otros.

### Transporte

Son los costos que conllevan todas las movilizaciones que se tiene en el proceso productivo.

### Jornales

Es la cantidad de trabajadores que se necesitan en el proceso de producción teniendo en cuenta que un jornal es la cantidad de dinero que se le paga a un trabajador por cada día de trabajo.

### Control de concentración de C/N

Es uno de los parámetros más influyentes en el proceso ya que si no se encuentra en la proporción adecuada no habrá actividad microbiana, esta proporción debe ser de 30/1. Ya que el carbono proporciona energía a los microorganismos para realizar su función y el nitrógeno permite que los microorganismos se reproduzcan.

### Control de humedad y oxígeno

Se debe tener un equilibrio adecuado de agua-aire ya que esto permite que los microorganismos estén en un ambiente propicio para el compostaje. La humedad debe estar en un rango de 55%. Si es menor de 40% inhiben las actividades biológicas y si esta encima de un 65% dificulta la capacidad de aeración de la masa.

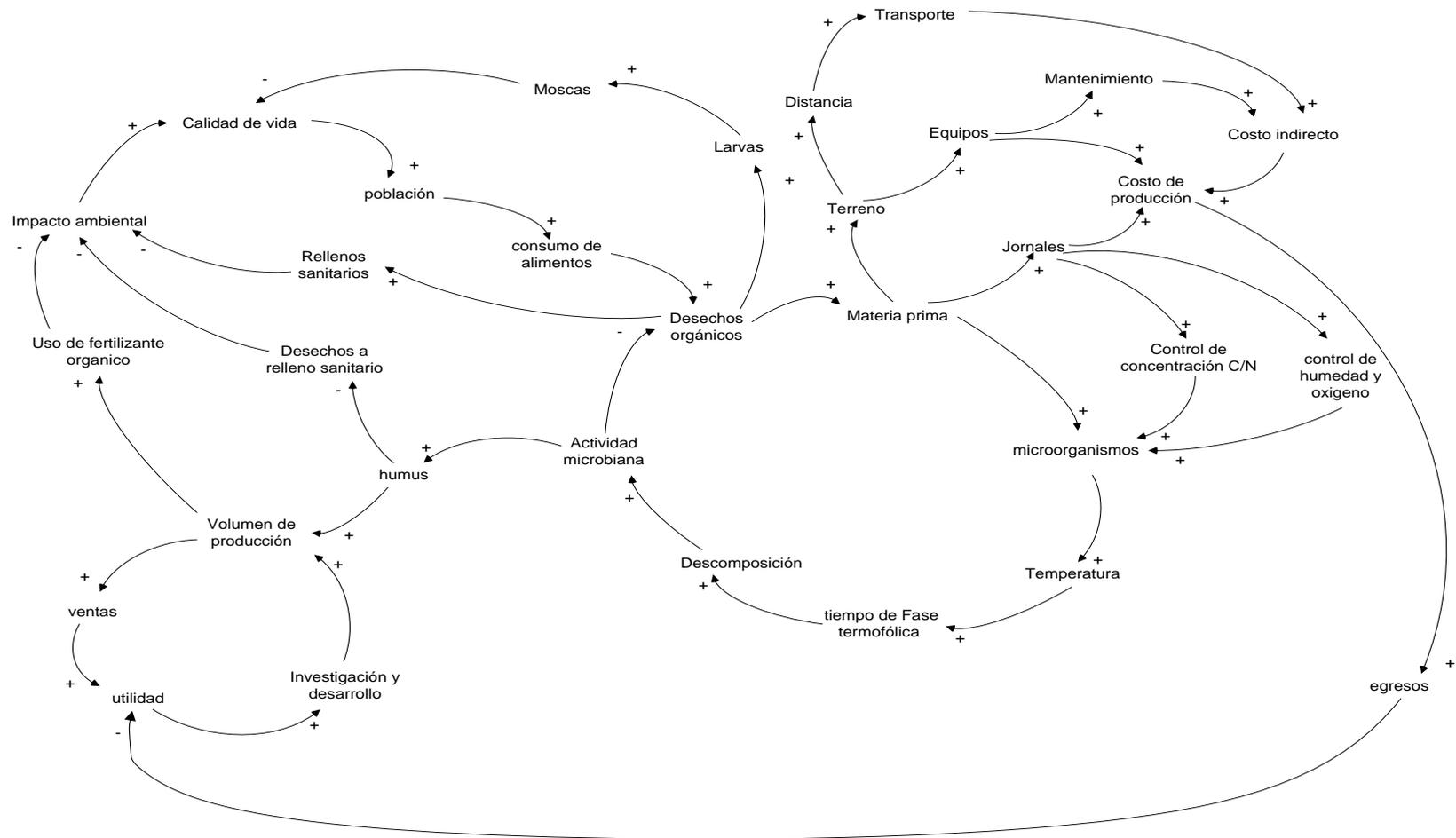
En el proceso de aeróbico es necesaria la presencia de aire para el metabolismo de los microorganismos, la humedad, la temperatura y granulometría son factores que afectan la presencia de oxígeno, la falta de oxígeno en la materia orgánica torna el proceso anaeróbico. Provocando la generación de olores desagradables; el cual es un problema de impacto ambiental.

### PH

Esto influye mucho en la calidad del producto final ya que definirá donde puede ser usado el abono orgánico.

## 7. DIAGRAMA CAUSAL DEL COMPOSTAJE

A continuación se observa el diagrama causal del compostaje.  
 Figura 7. Diagrama causal compostaje

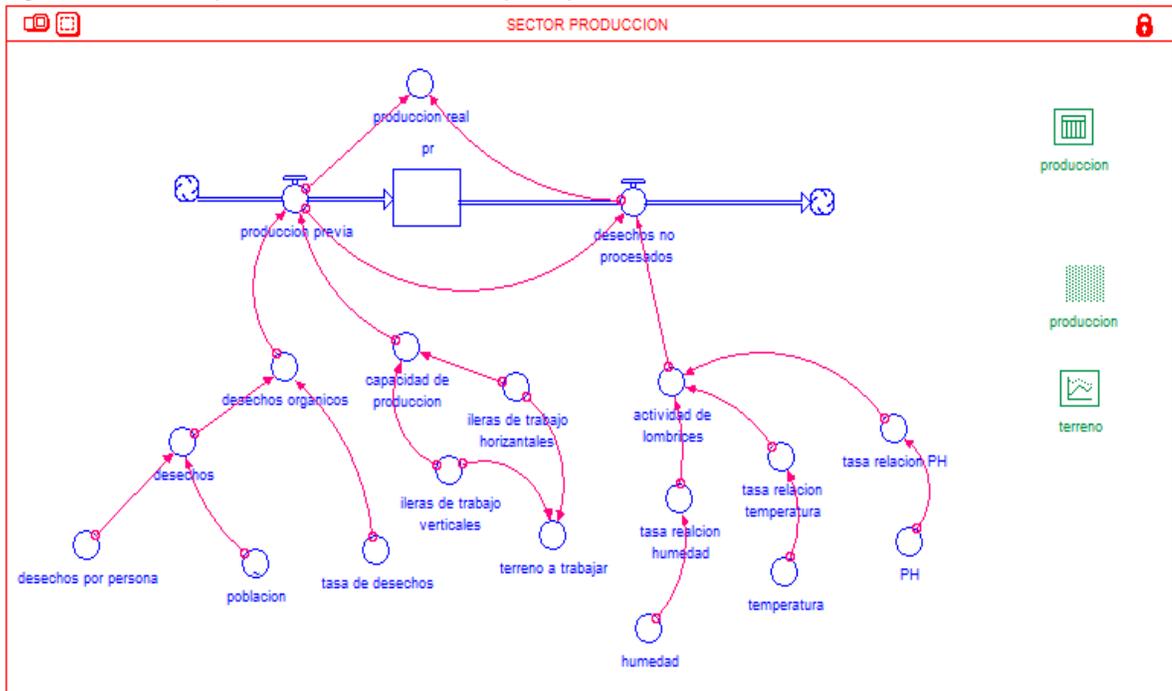


Fuente: John Buitrago 2012

## 8. DIAGRAMA FORRESTER

En las siguientes figuras está diseñado el modelo forrester por niveles en los cuales encontramos 5 como son producción, ventas, mano de obra, maquinaria y utilidad. Estos niveles fueron diseñados usando como base el diagrama causal de compostaje ya que todo el proceso es muy similar al de vermicompostaje.

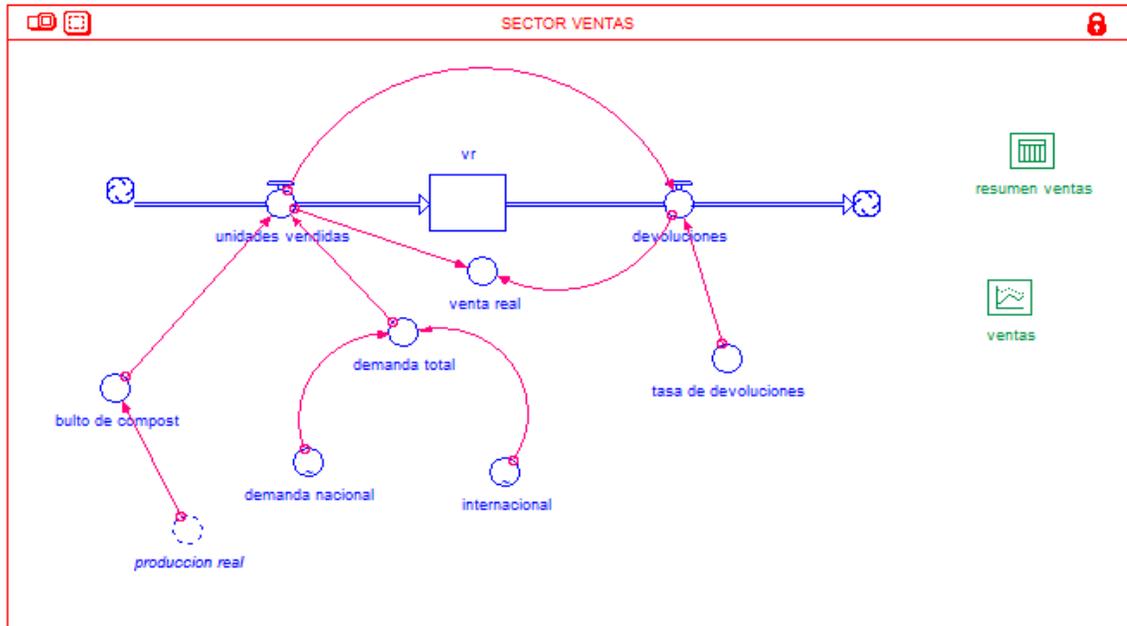
Figura. 8 Nivel de producción de vermicompostaje



Fuente: John Buitrago, 2012

Las variables que afectan el sistema de producción en este método son en su mayoría diferentes en comparación al compostaje como es el caso de la relación de humedad donde la relación óptima debe estar dentro de un rango de 80%-95% (MARTÍNEZ C. 1996, EDINETE DE OLIVEIRA, 2008) y menores a 70% escasa actividad, la temperatura óptima para el vermicompostaje debe estar en el rango de 14-27°C si la temperatura es menor a 0°C o mayor a 42°C es letal para la lombriz (DOMÍNGUEZ J, 1997, EDINETE DE OLIVEIRA, 2008); el PH es otra variable que interviene en el proceso el material a procesar debe estar dentro de un rango de PH de 5 y 9 (MARTÍNEZ C. 1996; BOLLO E. 1999). Por último observamos que la oxigenación no es una variable influyente ya que las lombrices oxigenan constante mente el material orgánico y la relación nitrógeno carbono tampoco es influyente así como se observa en la figura 8.

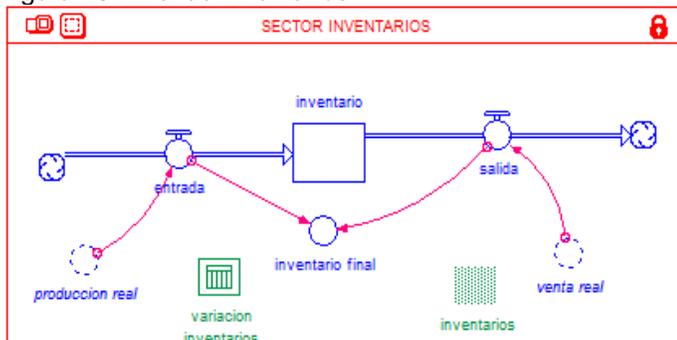
Figura 9 Nivel de ventas.



Fuente: John Buitrago, 2012

Dentro del sector de ventas se estableció que de la producción dada en kilos, se tendrá una presentación para la venta por medio de bolsas de 5 kilos de humus, la demanda nacional se considero inicialmente como 20.000 bolsas /mes y un incremento del 5% y una demanda internacional de 3.000 bolsas/mes con un incremento del 2%, también se determina una tasa de devoluciones la cual puede varía según la política que tenga la empresa, para este caso se manejo que de las ventas totales un 5 por ciento es devuelto porque el producto final pudo llegar en malas condiciones o porque el empaque sufrió algún tipo de maltrato y se contaminao el producto. De la misma manera se considera que la demanda nacional e internacional puede variar dependiendo de la situación actual que tenga la empresa, esta demanda se puede manejar como un dato constante al pasar el tiempo o por el contrario se puede variar en el tiempo. En la figura 9 observamos las relaciones antes mencionadas en el diagrama forrester.

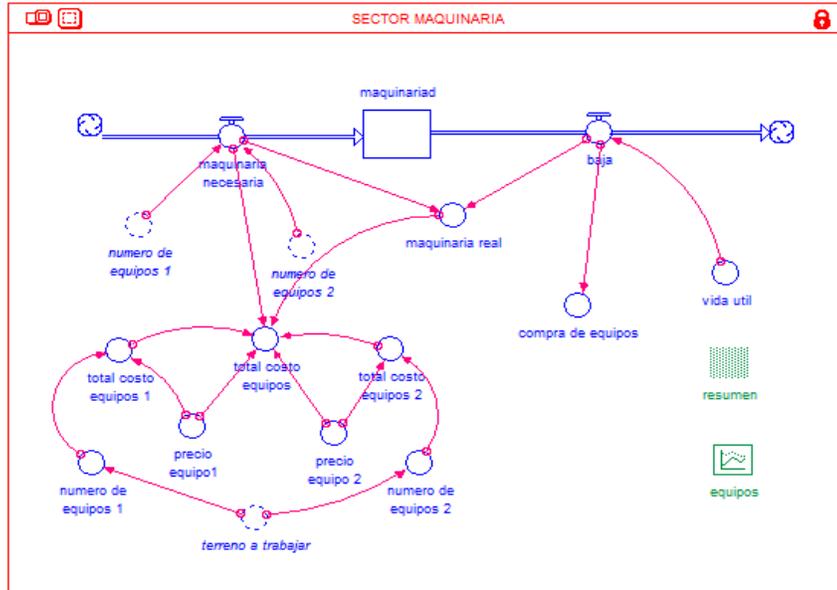
Figura 10 Nivel de inventarios



Fuente: John Buitrago, 2012

Se toma como base un inventario inicial el cual es la producción real la cual está dada en bolsas de 5 kilos, a continuación en las salidas del nivel se tienen las ventas realizadas en el primer periodo, es decir un mes, como resultado se obtiene el inventario para los tres periodos siguientes en los cuales no se tendrá un producto final. Como se ve en la figura 10 se encuentra el modelo en stella del nivel de inventarios.

Figura 11 Nivel de maquinaria



Fuente: John Buitrago, 2012

Tabla 1. Capacidad TracTurn 3.7

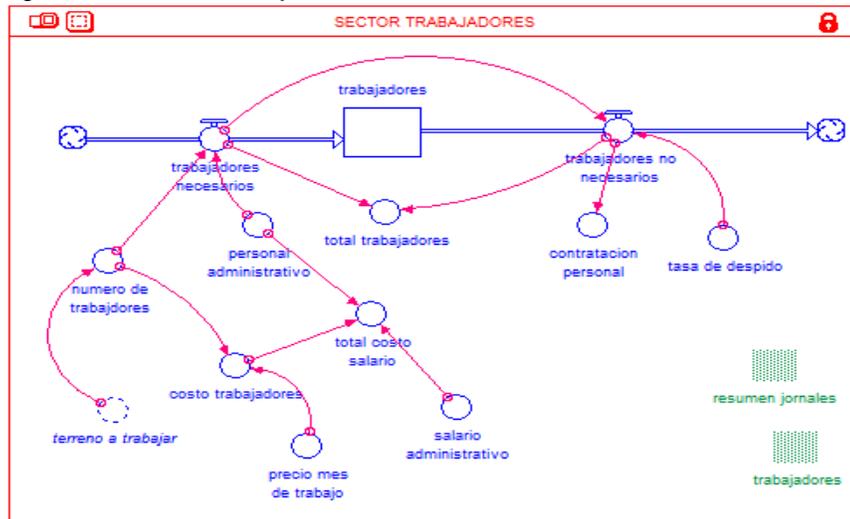
Technical dates			
Working width	3,7 m		
Working height	2,3 m	Transport dimensions	
Turning quantity	1.000-2.000 m <sup>3</sup> /h	Width	2,915 m
Tractor power	Ab 250 hp	Length	5,2
Turning speed	50-1.000 m/h	height	Machine height =2,62 m+ trailer height (provided by the costumer)
Weight	Ca 6.000 kg (whiout tractor)		

Fuente: compost system, 2012.

La principal variable que determina la cantidad de maquinaria es el terreno a trabajar, ya que a medida que aumenta el terreno la cantidad de maquinaria también aumenta, para este estudio se considero la utilización de dos maquinas en el proceso, una de ellas es un tractor revolvedor y otro es un mini tractor los cuales son vitales para grandes terrenos, el numero de maquinas depende de la capacidad que tenga la misma en la tabla 1 observamos la capacidad instalada que tiene el tractor revolvedor. También se tiene en cuenta el costo de cada máquina, una vida útil la cual está considerada a 10 años a modo de ejemplo ya que contablemente se maneja así, pero la empresa puede variar este valor al que

se tenga como política. En la figura 11 se observa el diagrama forrester del nivel de maquinaria (CATERPILLAR INC, 2008; CASE CONSTRUCTION, 2012).

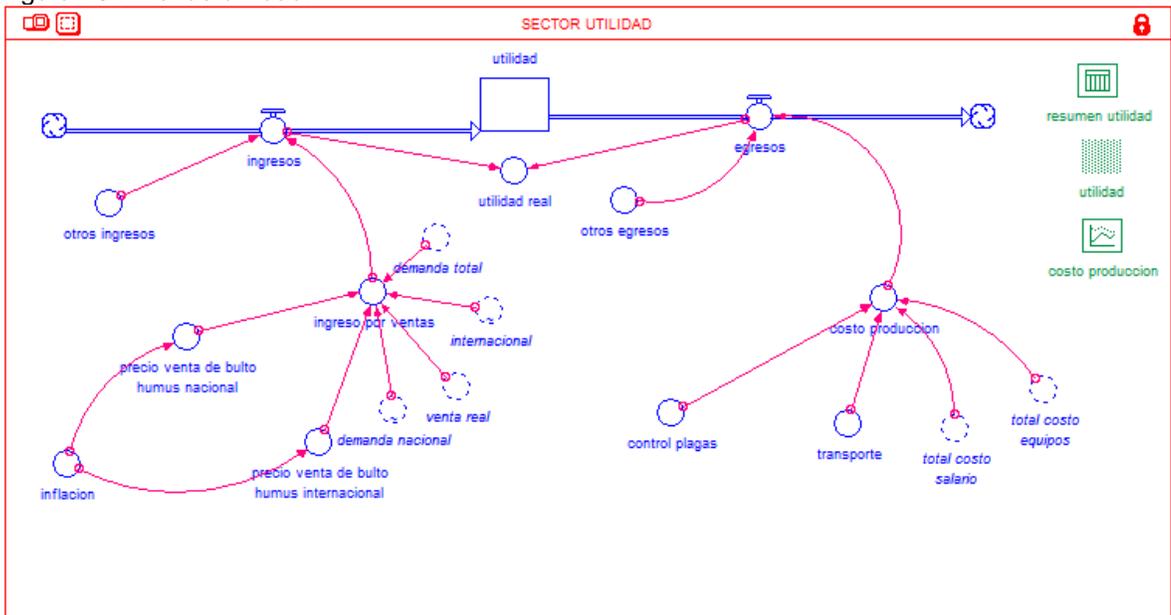
Figura 12 Nivel de trabajadores



Fuente: John Buitrago, 2012.

Dentro del nivel de trabajadores se considero el número de trabajadores dentro de la planta el cual varia por el tamaño del terreno, también se considero los trabajadores administrativos que va tener la empresa los cuales no van variar por el tamaño del terreno así como se observa en la figura 12.

Figura 13 Nivel de utilidad.



Fuente: John Buitrago, 2012

Dentro de este nivel se tomo como base las ventas realizadas en cada periodo y el precio del humus a nivel nacional e internacional, estos precio se ven afectados

por la inflación del país el cual varía cada año, en este caso se maneja la inflación del año 2010 para Brasil que fue del 5.0% según el Banco Mundial. También se tuvo en cuenta la variable de otros ingresos que son todos los ingresos que no son de la razón de ser de la empresa. En las salidas del nivel solo se maneja los costos de producción, dentro de estos costos está incluido el costo de mano de obra, costo maquinaria, transporte y control de plagas. También se manejan otros egresos los cuales son egresos que no provienen de la razón de ser de la empresa, para este caso se consideró un valor de 0. En la figura 13. Se observa el diagrama forrester del nivel de utilidad.

## 9. ANÁLISIS DE GRAFICAS Y TABLAS.

A continuación se realiza un análisis de las graficas y tablas de cada nivel.

### 9.1. GRAFICA Y TABLA DE PRODUCCION.

En la producción de vermicompostaje se observa que la producción es más rápida debido a que las lombrices aceleran el proceso de transformación del material orgánico así como se observa en la figura 14, pero también es notable que la cantidad de material procesado es menor en comparación al compostaje como se observa en la tabla 2, ya que el terreno que se trabajó para el vermicompostaje fueron camas de  $1,5 \times 0,4 \times 100$  metros y en el compostaje se manejan pilas triangulares de 4,5 metros de ancho, 100 metros de largo y 2,5 metros de altura.

Figura 14. Producción vermicompostaje.

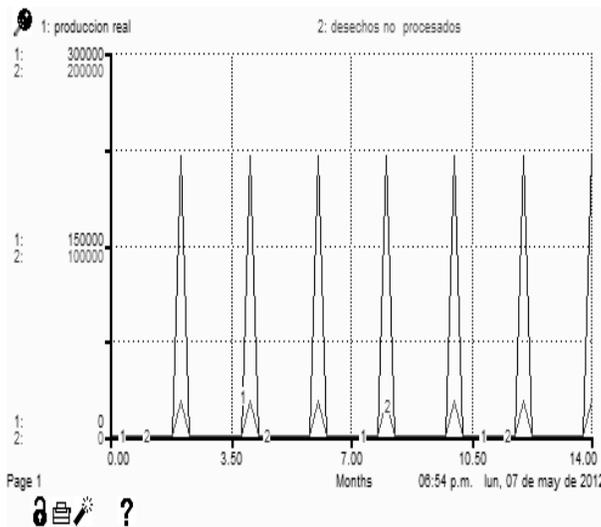


Tabla 2 Producción vermicompostaje.

Meses	Producción real (kg)	Producción previa (kg)	Desechos no procesados (kg)
0	0	0	0
1	0	0	0
2	220.408.90	238.710.00	18.301.10
3	0	0	0
4	220.408.90	238.710.00	18.301.10
5	0	0	0
6	220.408.90	238.710.00	18.301.10
7	0	0	0
8	220.408.90	238.710.00	18.301.10
9	0	0	0
10	220.408.90	238.710.00	18.301.10
11	0	0	0
12	220.408.90	238.710.00	18.301.10
13	0	0	0

Fuente: John Buitrago, 2012.

Fuente: John Buitrago, 2012.

### 9.2. GRAFICA Y TABLA DE VENTAS

En el vermicompostaje las ventas del periodo son realizadas cada 2 meses debido a la producción como se observa en la figura 15. También es notable que la

demanda sigue siendo la misma y por tal razón aunque el compostaje produce una mayor cantidad de humus no se vende totalmente, ya que la demanda es satisfecha en su totalidad. Se maneja el mismo valor para la tasa de devoluciones del 5% así como se observa en la tabla 3.

Figura 15. Venta de vermicompostaje.

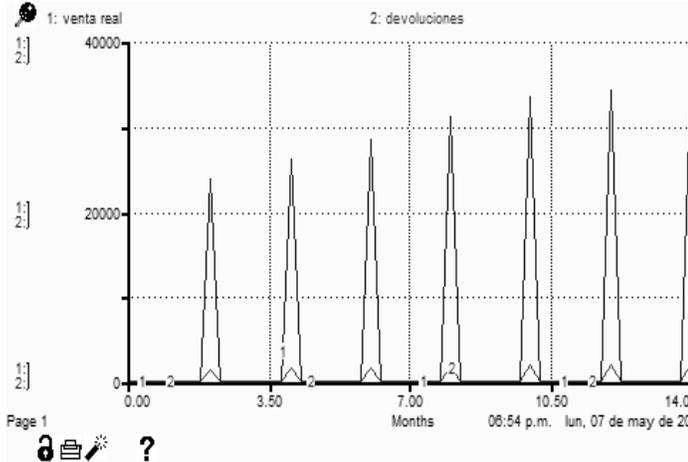


Tabla 3. Venta de vermicompostaje

meses	Unidades vendidas	devoluciones	Venta real
0	0	0	0
1	0	0	0
2	25.136.14	1.256.81	23.879.34
3	0	0	0
4	27.485.00	1.374.25	26.110.75
5	0	0	0
6	30.067.57	1.503.38	28.564.19
7	0	0	0
8	32.908.14	1.645.41	31.262.74
9	0	0	0
10	35.265.86	1.763.29	33.502.56
11	0	0	0
12	36.145.00	1.807.25	33.502.56

Fuente: John Buitrago, 2012.

Fuente: John Buitrago, 2012.

### 9.3. GRAFICA Y TABLA DE INVENTARIOS.

Como se observa en la figura 16 el inventario se tiene cada 2 meses pero en menor cantidad que el compostaje así como se observa en la tabla 4, también es evidente que estos inventarios van disminuyendo debido al aumento de demanda, en este caso se debe aumentar la cantidad de inventario al considerar el producto terminado que no fue vendido pero que si se produjo para satisfacer la demanda.

Figura 16. Inventarios vermicompostaje.

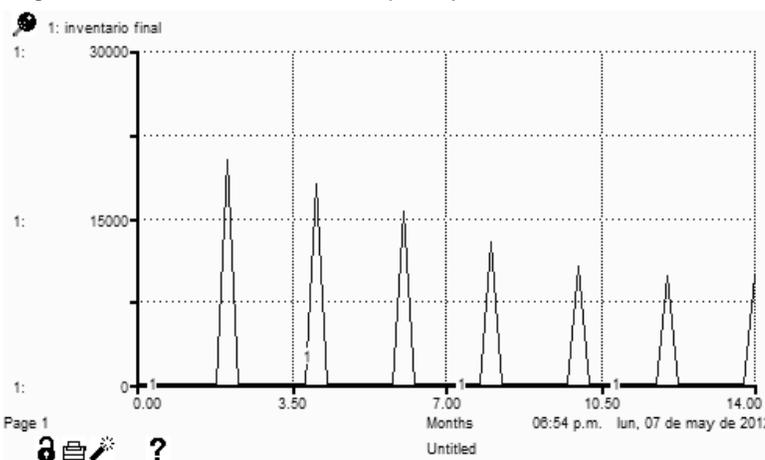


Tabla 4. Inventario vermicompostaje

Meses	Inventario final
0	0
1	0
2	20.202.44
3	0
4	17.971.03
5	0
6	15.517.59
7	0
8	12.819.04
9	0
10	10.579.22
11	0

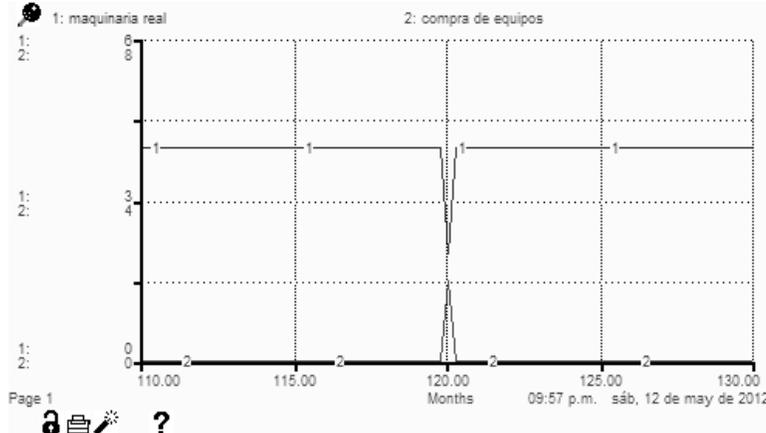
Fuente: John Buitrago, 2012.

Fuente: John Buitrago, 2012.

#### 9.4. GRAFICAS Y TABLAS DEL NIVEL DE MAQUINARIA.

La maquinaria utilizada en vermicompostaje es un minitractor y una retroexcavadora pequeña los cuales son usados para acomodar las camas de material orgánico, el comportamiento que tuvo es el mismo que en el compostaje así como se observa en la figura 17, ya que el numero de maquinas fue el mismo, y se maneja como política de la empresa cambiar cada 10 años la maquinaria.

Figura 17. Maquinaria vermicompostaje.

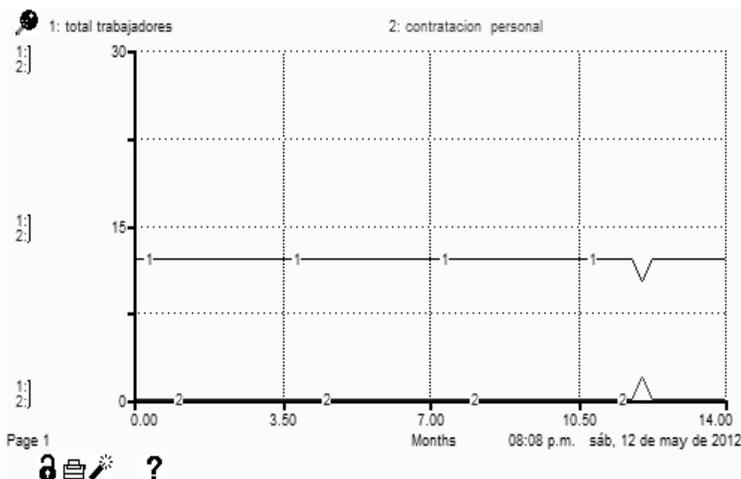


Fuente: John Buitrago, 2012.

#### 9.5. GRAFICAS Y TABLAS DEL NIVEL DE TRABAJADORES.

Con una cantidad de terreno dado de 13946 metros cuadrados se necesitan 12 trabajadores, y se maneja una tasa de despido del 10%, ya que se tienen que considerar que el empleado no cumpla con las funciones dadas o por el contrario que el mismo operario decida renunciar. Este porcentaje cada empresa la puede cambiar según la política que manejen; en este caso 2 empleados son despedidos cada 1 años así como se observa en la figura 18.

Figura 18. Trabajadores vermicompostaje.

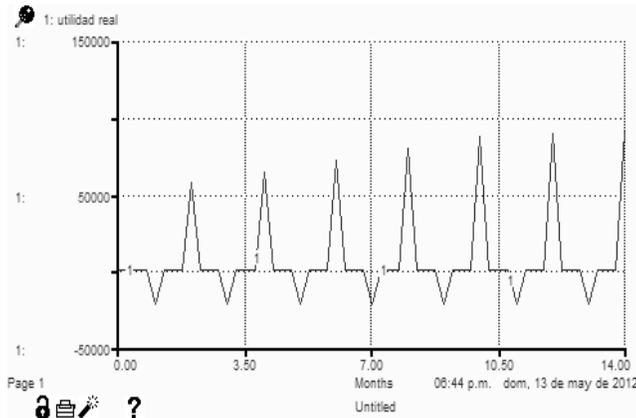


Fuente: John Buitrago, 2012.

## 9.6. GRAFICAS Y TABLAS DEL NIVEL DE UTILIDAD.

En comparacion con el modelo de compostaje notamos que el ciclo de espera de produccion es menor por tal razon se tiene una utilidad en el mes dos siendo casi la misma que el compostaje. Esto se debe por que la demanda es la misma para ambos modelos y la produccion de las dos logra satisfacer plenamente la demanda, asi como se observa en la figura 19 y en la tabla 5.

Figura 19. Utilidad vermicompostaje.



Fuente: John Buitrago, 2012.

Tabla 5. Utilidad vermicompostaje.

Meses	ingresos	egresos	Utilidad real
0	0	0	0
1	0	5.550.00	-5.550.00
2	79.284.22	5.550.00	73.734.22
3	0	5.550.00	-5.550.00
4	86.305.14	5.550.00	80.755.14
5	0	5.550.00	-5.550.00
6	94.010.80	5.550.00	88.460.80
7	0	5.550.00	-5.550.00
8	102.474.50	5.550.00	96.924.50
9	0	5.550.00	-5.550.00
10	109.536.52	5.550.00	103.986.52
11	0	5.550.00	-5.550.00
12	112.292.41	5.550.00	106.742.41

Fuente: John Buitrago, 2012.

## 10. ARTICULO REVISTA

A continuación se muestran los tres artículos que se realizaron en el proceso de investigación, teniendo en cuenta que los dos primeros artículos están siendo evaluados por dos revistas brasileras, revista ingeniería sanitaria y ambiental el cual es identificado con el **ISSN 1413-4152** y la revista de gestión y producción identificado con el **ISSN 0104-530X**. Y el último artículo pertenece a la revista Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina Vol 3 No 2 cuyo **ISSN** es **2145-5759**.

### 10.1. ARTICULO REVISTA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Diseño de un modelo dinámico de sistemas de la cadena de valor para el compostaje y vermicompostaje.

Designing a systems dynamic model of the value supply chain management for composting and vermicomposting.

(1) John Alexander Buitrago Pérez, (2) Érico Kunde Corrêa, (3) Álvaro Chávez Porras,  
(3) Isaac Huertas Forero.

(1) Estudiante de ingeniería industrial Universidad Militar Nueva Granada  
johnbui89@gmail.com.

(2) Profesor. Adjunta - Engenharia Sanitária e Ambiental Universidade Federal de Pelotas  
ericojundecorreio@yahoo.com.br

(3) tutor de investigación Universidad Militar Nueva Granada  
Álvaro.chavez@unimilitar.edu.co, Isaac.huertas@unimilitar.edu.co

Universidad Federal de Pelotas, Campus Universitário, s/n° Caixa Postal 354, CEP 96010-900, Pelotas, RS, johnbui89@gmail.com

### Resumen

Este trabajo tiene como fin el estudio de la cadena de valor del proceso de compostaje. Por tal razón se desarrollado el diseño de un Modelo Dinámico de Sistema que permita establecer las variables incidentes dentro de la producción, maquinaria a usar, cantidad de trabajadores, ventas, inventarios y utilidad. Inicialmente se encuentra un diagrama causal el cual muestra las variables más influyentes dentro del sistema de compostaje, mostrando las relaciones entre ellas. A continuación se encuentra una descripción de las variables mostrando la importancia dentro del modelo y algunas restricciones dentro del sistema. Por último se encuentra el modelo dinámico de sistemas en Stella (software), con los resultados y su respectiva conclusión. Este modelo es de gran ayuda para la industria ya que permite determinar la utilidad por ventas aproximada, o el análisis de algún tipo de problema presente dentro del proceso, bajo condiciones normales producción tales como el terreno, oxígeno, PH, temperatura, humedad, número de jornales, número de equipos, entre otras. La intención es que esto sea implementado por los empresarios y comercializadores de

humus. Como consecuencia ellos van a colaborar con la sustentabilidad ambiental, aumentando la vida útil de los rellenos sanitarios y economizando recursos e energía.

**Palabras claves:** tratamiento, sistema dinámico, residuos sólidos.

### **Abstract**

The objective of this work was to study the chain value of the composting process. For this purpose, it was developed a design of a Dynamic System Model that allows establishing the incident variables in the production, such as machinery to use, amount of workers, sales, inventories and utility. Initially it is done a causal diagram, which shows the most influential variables within the composting system and also the relationship between them. Next, it is done a description of the variables showing the importance within the model and some restrictions within the system. Finally, it is done the dynamic system in Stella model with the results and their respective conclusion. This model is helpful for the industry because it allows to determinate the utility by sales, or examines some kind of problem among the process, under normal land conditions, oxygen, PH, temperature, plagues, humidity, number of wages, and number of equipment, among others. The intention is to be implemented by businessmen and fertilizer marketers, since they would be able to make a profit. As a consequence, they will contribute to environmental sustainability, increasing the life cycle of the sanitary fillings and saving resources and energy.

**Key-words:** composting, system dynamic, supply chain management.

### **Introducción**

El constante proceso evolutivo de los medios de producción y El aumento poblacional y El creciente generan una gran cantidad y diversidad de residuos, los cuales sin la debida inversión en infraestructura, tratamientos y proyectos socioambientales pueden representar un impacto negativo en La calidad de vida. Por lo tanto ES necesario una mejor administración y control de esos residuos, considerando principios de reducción, reutilización y reciclaje (PEREIRA NETO, 2007).

En Brasil, los residuos sólidos urbanos –RSU están constituidos en su mayoría por materiales que no cierran su ciclo de vida útil en el proceso productivo –papeles, metales, plásticos, vidrio y materiales orgánicos (IBGE, 2010). Estos, cuando son destinados a los rellenos sanitarios, terminan siendo un desperdicio de recursos, ocupando de forma acelerada el espacio físico de esas obras de ingeniería. La política social de los residuos sólidos (2010), estipula que los residuos pueden ser destinados a los rellenos sanitarios, los cuales representan el 16% del total de residuos sólidos urbanos generados en el 2008 (IBGE, 2010). De igual manera se destaca que el 50% de los residuos sólidos urbanos pertenece a la materia orgánica donde solo el 4% son tratados de forma adecuada en el año 2010 (CEMPRE 2010).

Una de las contribuciones para mejorar ese escenario, es el compostaje, el cual a través de un proceso de técnicas simples y de bajo costo, se caracteriza como una alternativa para reintegrar ese material a la naturaleza. La descomposición de la materia, por medio de

microorganismos en condiciones favorables, como bacterias, hongos y actinomicetos, transforma la materia prima en un abono de buena calidad agronómica. Siendo un producto que puede ser utilizado en el mercado agrícola, de reforestación, jardinería, entre otros (KIEHL, 2004).

Se han realizado diferentes tipos de estudios, para mejorar la calidad del fertilizante, en estos estudios se han creado varios métodos eficaces, así mismo se han descubiertos diferentes formas de aceleración del proceso de compostaje como es el uso de lombrices en los desechos (vermicompostaje) (Martínez 1996, Domínguez 1997, Bollo 1999). En el manejo de estos métodos se observa un diferencias en las variables que afectan el proceso de transformación del desecho orgánico, como es el caso del PH, temperatura, humedad, concentración de oxígeno y de nutrientes, entre otras. Estas variables tienen una influencia directa en el control de vectores y procesos anaeróbicos, en El tiempo de obtención del composto humificado y también en la calidad del mismo. (MARAGNO et al, 2005).

Debido a esto se ha presentado la conformación de pequeñas y grandes empresas dedicadas al tratamiento de desechos orgánicos por medio del compostaje; centrándonos en este punto, se ha analizado el proceso del compostaje de una forma científica, en la cual se ha identificado sus propiedades, características, los diferentes requisitos que se necesitan para realizar este proceso, y otros aspectos importantes que determinan el manejo del compostaje comercialmente. Por medio de un estudio detallado de este proceso, y con el uso de una herramienta de ingeniería industrial como la dinámica de sistemas, se pretende simular de proceso productivo del compostaje. En la cual se analizan una serie de variables las cuales son claves en el proceso de producción y comercialización del humus, como el terreno, los costos de jornales, maquinaria, la calidad del humus, demanda nacional e internacional, la tasa de crecimiento del mercado, entre otras. Este tipo de variables son analizadas y relacionadas de forma matemática y como resultado podemos determinar el posible comportamiento de la empresa durante el tiempo, es decir nos muestra los posibles costos a obtener, los jornales necesarios en cada periodo de producción, la posible producción a manejar en un determinado periodo de tiempo, entre otras.

El objetivo de este artículo es Diseñar un modelo Dinámico de Sistemas que relacione las variables más importantes de la cadena de valor del compostaje y permita pronosticar la producción abono orgánico, cantidad de maquinarias necesarias, costos, ventas en un determinado periodo de tiempo, numero de trabajadores e inventarios, para un periodo determinado en condiciones normales. De esta manera no solo ayuda a pronosticar en un periodo de tiempo sino que puede identificar que variable es la que está afectando al sistema de forma negativa o positiva.

## **2. Modelo dinámico de sistemas para el tratamiento de desechos orgánicos por medio de compostaje**

Actualmente la población mundial en general, produce una gran cantidad de residuos urbanos, debido al aumento de población, también por el constante proceso evolutivo, entre otros factores; tomando como referencia Brasil, el cual tiene un alto crecimiento en el tratamiento de residuos orgánicos. Se analizo el sistema que utilizan para estos, con el fin de determinar las variables más influyentes que afecten el sistema, por tal motivo se realizo



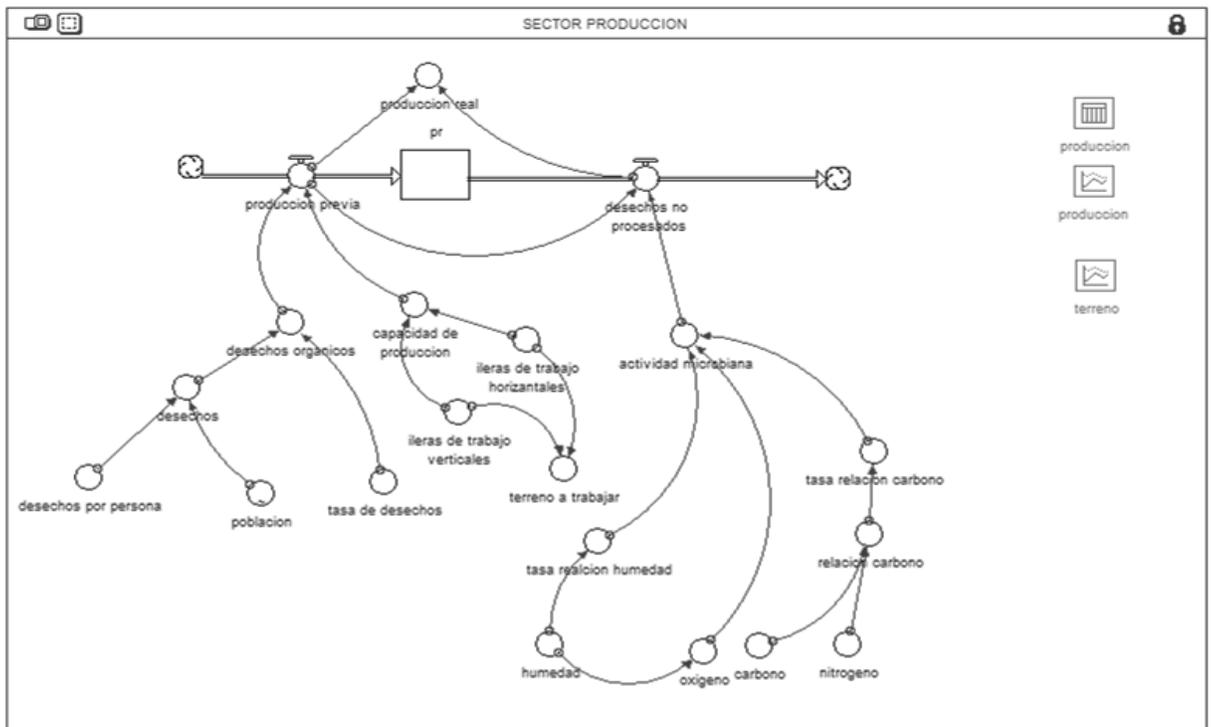


Figura 2. Nivel de producción de compostaje

## 2.2. Nivel de ventas

Dentro del sector de ventas se estableció que de la producción dada en kilos, se tendrá una presentación para la venta por medio de bolsas de 5 kilos de humus, la demanda nacional se considero inicialmente como 20.000 bolsas /mes y un incremento del 5% y una demanda internacional de 3.000 bolsas/mes con un incremento del 2%, también se determina una tasa de devoluciones la cual puede varía según la política que tenga la empresa, para este caso se manejo que de las ventas totales un 5 porciento es devuelto porque el producto final pudo llegar en malas condiciones o porque el empaque sufrió algún tipo de maltrato y se contamina el producto. De la misma manera se considera que la demanda nacional e internacional puede variar dependiendo de la situación actual que tenga la empresa, esta demanda se puede manejar como un dato constante al pasar el tiempo o por el contrario se puede variar en el tiempo. En la figura 3 observamos las relaciones antes mencionadas en el diagrama forrester.

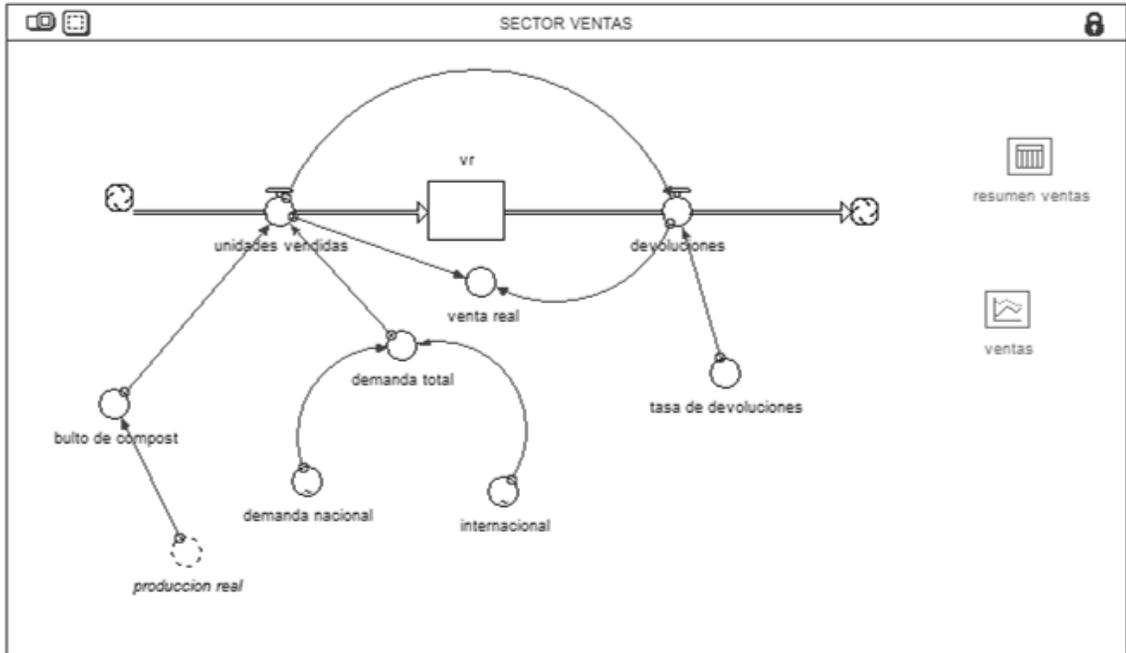


Figura 3. Nivel de ventas.

### 2.3. Nivel de inventarios

Se toma como base un inventario inicial el cual es la producción real la cual está dada en bolsas de 5 kilos, a continuación en las salidas del nivel se tienen las ventas realizadas en el primer periodo, es decir un mes, como resultado se obtiene el inventario para los tres periodos siguientes en los cuales no se tendrá un producto final. Como se ve en la figura 4 se encuentra el modelo en stella del nivel de inventarios.

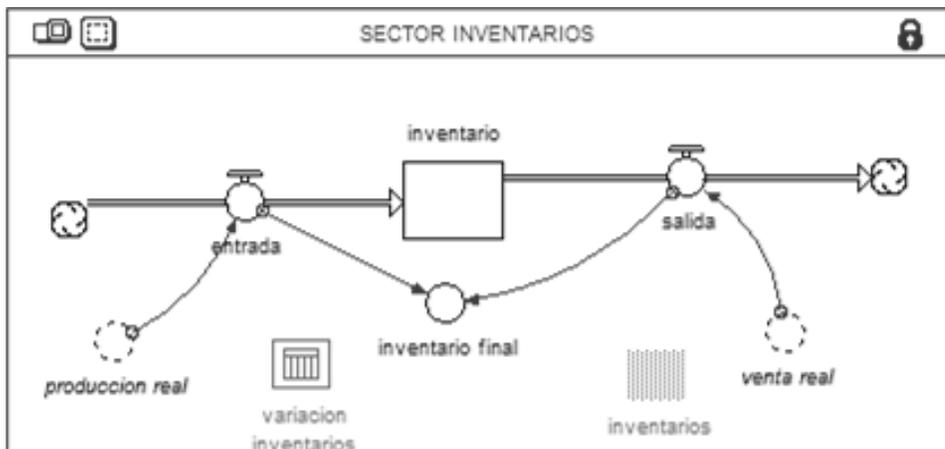


Figura 4. Nivel de inventarios

## 2.4. Nivel de maquinaria

La principal variable que determina la cantidad de maquinaria es el terreno a trabajar, ya que a medida que aumenta el terreno la cantidad de maquinaria también aumenta, para este estudio se considero la utilización de dos maquinas en el proceso, una de ellas es un tractor revolvedor y otro es un mini tractor los cuales son vitales para grandes terrenos, el numero de maquinas depende de la capacidad que tenga la misma en la tabla 1 observamos la capacidad instalada que tiene el tractor revolvedor. También se tiene en cuenta el costo de cada máquina, una vida útil la cual está considerada a 10 años a modo de ejemplo ya que contablemente se maneja así, pero la empresa puede variar este valor al que se tenga como política. En la figura 5 se observa el diagrama forrester del nivel de maquinaria (CATERPILLAR INC, 2008; CASE CONSTRUCTION, 2012).

Tabla 1. Capacidad TracTurn 3.7

Technical dates			
Working width	3,7 m		
Working height	2,3 m	Transport dimensions	
		Width	2,915 m
Turning quantity	1.000-2.000 m <sup>3</sup> /h	Length	5,2
Tractor power	Ab 250 hp	height	Machine height =2,62 m+ trailer height (provided by the costumer)
Turning speed	50-1.000 m/h		
weight	Ca 6.000 kg (whiout tractor)		

Fuente: compost system

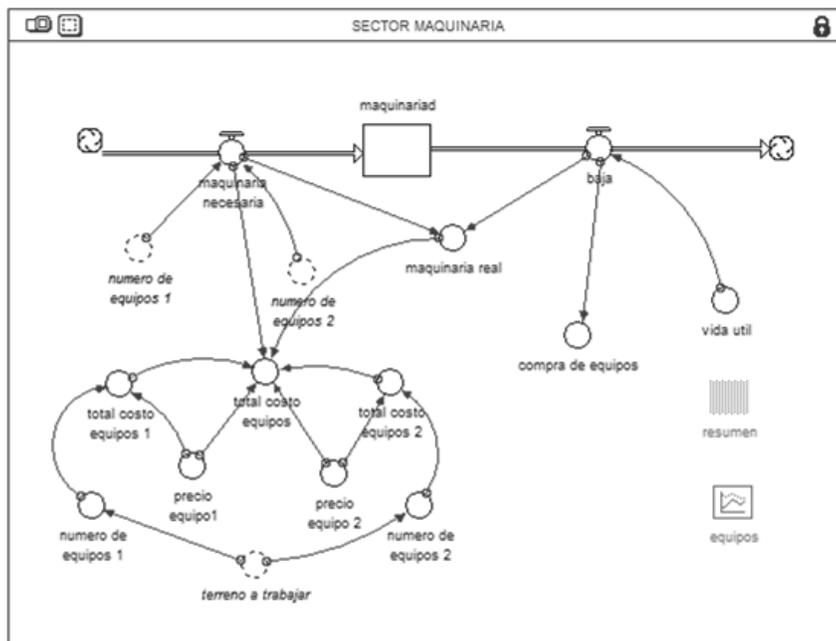
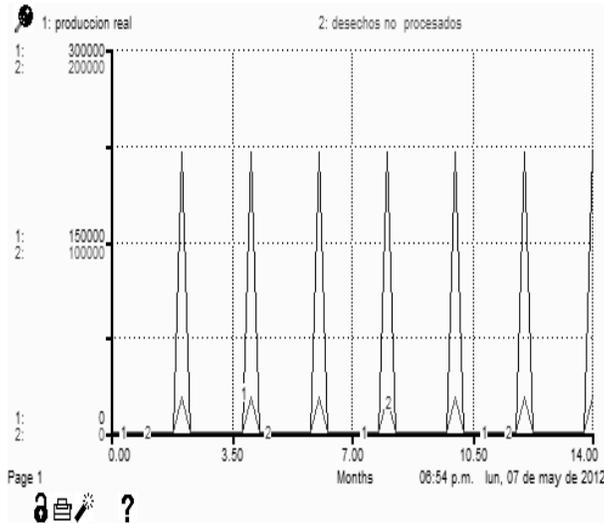


Figura 5. Nivel de maquinaria









Grafica 9. Producción compostaje

Meses	Desechos no procesados (kg)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	101.451.47
5	0
6	0
7	0
8	101.451.47
9	0
10	0
11	0
12	101.451.47
13	0

tabla 2. Producción compostaje

En la producción de vermicompostaje se observa que la producción es más rápida debido a que las lombrices aceleran el proceso de transformación del material orgánico así como se observa en la figura 10, pero también es notable que la cantidad de material procesado es menor en comparación al compostaje como se observa en la tabla 3, ya que el terreno que se trabajó para el vermicompost fueron camas de  $1,5 \times 0,4 \times 100$  metros y en el compostaje se manejan pilas triangulares de 4,5 metros de ancho, 100 metros de largo y 2,5 metros de altura.

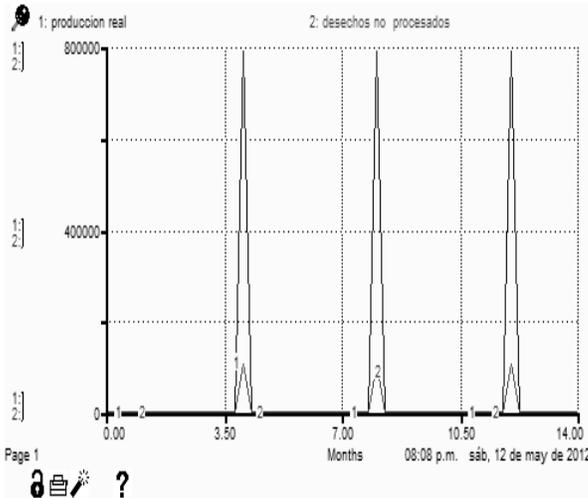


Figura 10. Producción vermicompostaje.

Meses	Producción real (kg)	Producción previa (kg)	Desechos no procesados (kg)
0	0	0	0
1	0	0	0
2	220.408.90	238.710.00	18.301.10
3	0	0	0
4	220.408.90	238.710.00	18.301.10
5	0	0	0
6	220.408.90	238.710.00	18.301.10
7	0	0	0
8	220.408.90	238.710.00	18.301.10
9	0	0	0
10	220.408.90	238.710.00	18.301.10
11	0	0	0
12	220.408.90	238.710.00	18.301.10
13	0	0	0

Tabla 3. Producción vermicompostaje

## 4.2. Graficas y tablas del nivel de ventas.

La demanda es una variable que define la cantidad de material vendido, si la producción es mayor que la demanda solo se venderá la demanda pero si es el caso contrario si la producción es menor a la demanda solo se podrá vender la producción, en la figura 11 se observa que la producción satisface la demanda para los 4 meses siguientes que no hay producción de humus considerando que se venden en bolsas de 5 kilos de humus. Las ventas van aumentando cada cuatro meses esto se debe a que la demanda nacional e internacional también van aumentando, también se observa una pequeña cantidad de devoluciones que es el 5% de las ventas así como se muestra en la tabla 4.

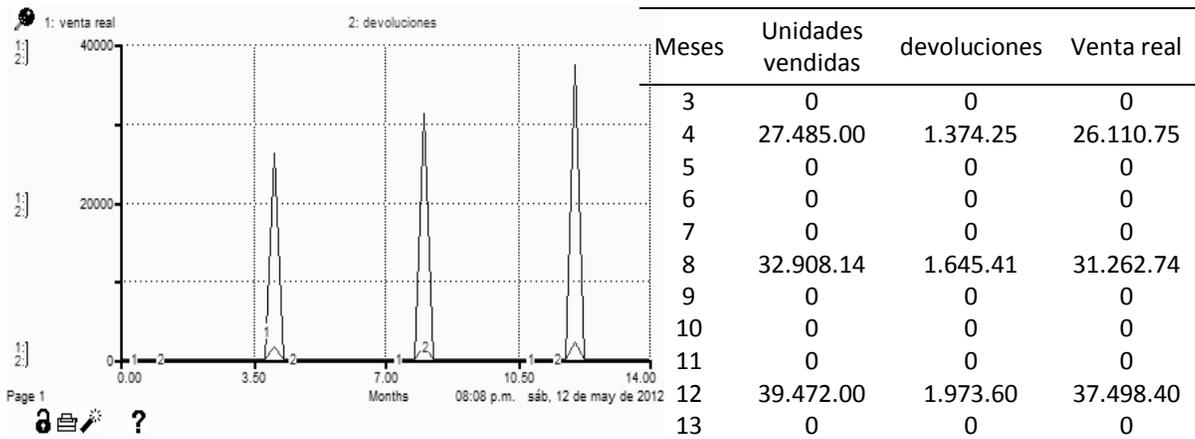


Figura 11. Ventas de compostaje.

Tabla 4. Ventas de compostaje.

En el vermicompostaje las ventas del periodo son realizadas cada 2 meses debido a la producción como se observa en la figura 12. También es notable que la demanda sigue siendo la misma y por tal razón aunque el compostaje produce una mayor cantidad de humus no se vende totalmente, ya que la demanda es satisfecha en su totalidad. Se maneja el mismo valor para la tasa de devoluciones del 5% así como se observa en la tabla 5.

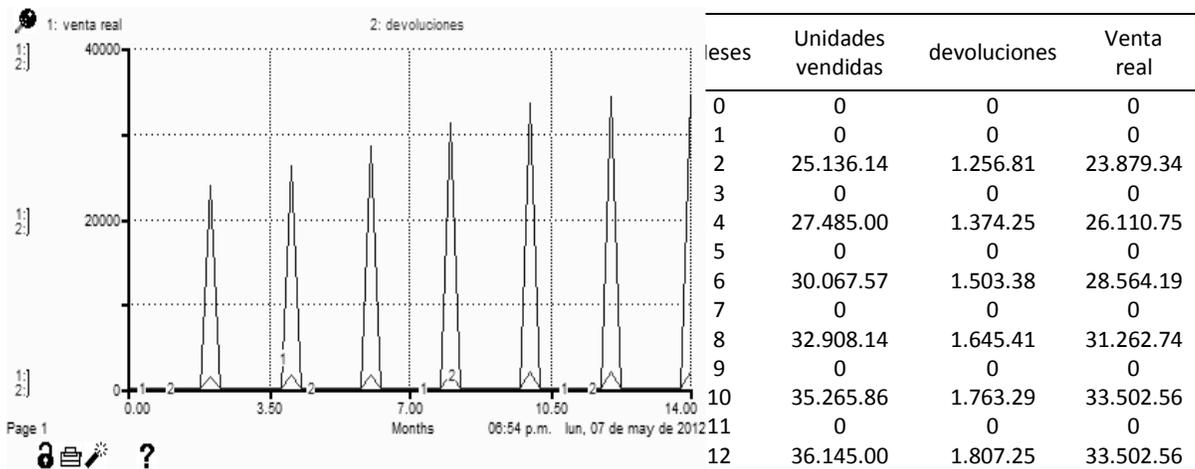
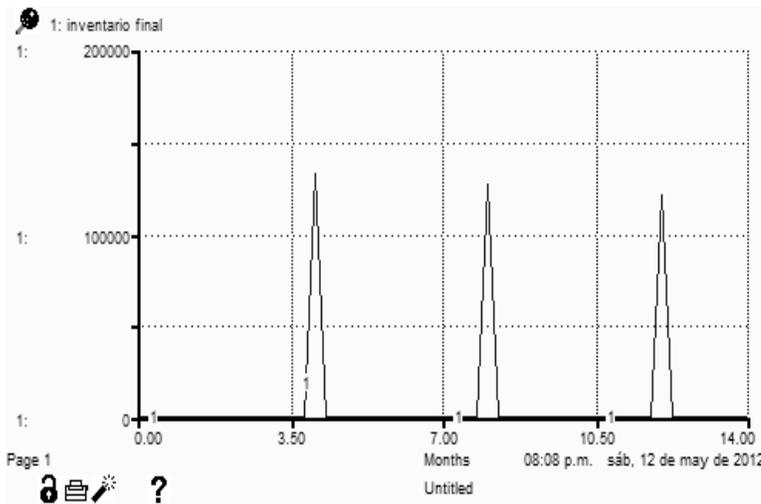


Figura 12. Venta de vermicompostaje.

Tabla 5. Venta de vermicompostaje

### 4.3. Graficas y tablas del nivel de inventarios.

Los inventarios se manejan como la cantidad de producto terminado que no fue vendido en el primer periodo de ventas es decir la producción final en bolsas de 5 kilos menos la cantidad de bolsas vendidas en el primer mes como se aprecia en la figura 13, esto estipula la cantidad de producto terminado que puede venderse para los próximos 3 meses en los cuales no hay una producción de humus. Aun así el modelo no simula las ventas de este inventario, pero si se realiza el cálculo se obtendrá que los inventarios son capaces de cubrir la demanda durante esos periodos como se aprecia en la tabla 6. Es por esa razón que los inventarios son tan altos en un principio.

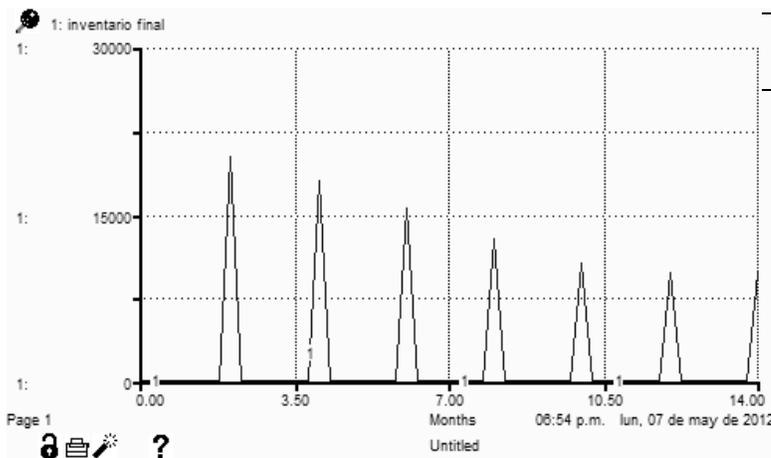


Meses	Inventario final
0	0
1	0
2	0
3	0
4	132.630.96
5	0
6	0
7	0
8	127.478.97
9	0
10	0
11	0
12	121.243.31
13	0

Figura 13. Inventarios de compostaje.

Tabla 6. Inventario de compostaje

Como se observa en la figura 14 el inventario se tiene cada 2 meses pero en menor cantidad que el compostaje así como se observa en la tabla 7, también es evidente que estos inventarios van disminuyendo debido al aumento de demanda, en este caso se debe aumentar la cantidad de inventario al considerar el producto terminado que no fue vendido pero que si se produjo para satisfacer la demanda.



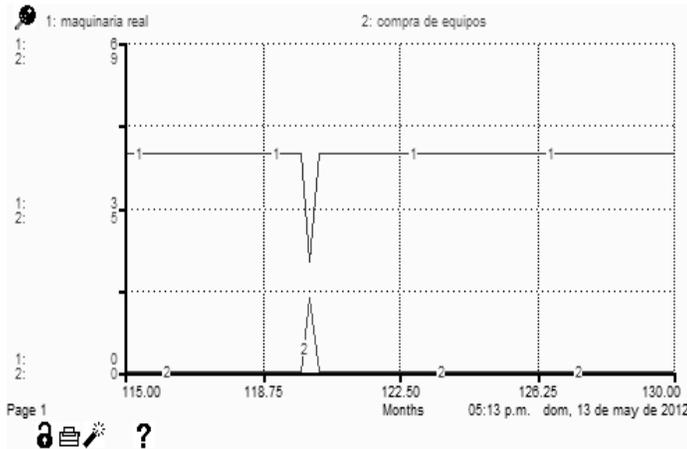
Meses	Inventario final
0	0
1	0
2	20.202.44
3	0
4	17.971.03
5	0
6	15.517.59
7	0
8	12.819.04
9	0
10	10.579.22
11	0

Figura 14. Inventarios vermicompostaje.

Tabla 7. Inventario vermicompostaje

#### 4.4. Graficas y tablas del nivel de maquinaria.

Durante los 10 primeros años se mantuvo la maquinaria constante pero en el año 10 (mes 120) se realiza la baja de las dos maquinas que se están considerando tal como se muestra en la figura 15, para efectuar en ese mismo periodo la compra de las mismas para reemplazar las maquina que se dieron como baja, como se observa en la tabla 8.



Meses	Maquinaria necesaria	baja	Maquinaria real
118.50	4	0	4
118.75	4	0	4
119.00	4	0	4
119.25	4	0	4
119.50	4	0	4
119.75	4	0	4
120.00	4	2	2
120.25	4	0	4
120.50	4	0	4
120.75	4	0	4
121.00	4	0	4
121.25	4	0	4

Figura 15. Maquinaria compostaje.

Tabla 8. Maquinaria compostaje

La maquinaria utilizada en vermicompostaje es un minitractor y una retroexcavadora pequeña los cuales son usados para acomodar las camas de material orgánico, el comportamiento que tuvo es el mismo que en el compostaje así como se observa en la figura 16, ya que el numero de maquinas fue el mismo, y se maneja como política de la empresa cambiar cada 10 años la maquinaria.

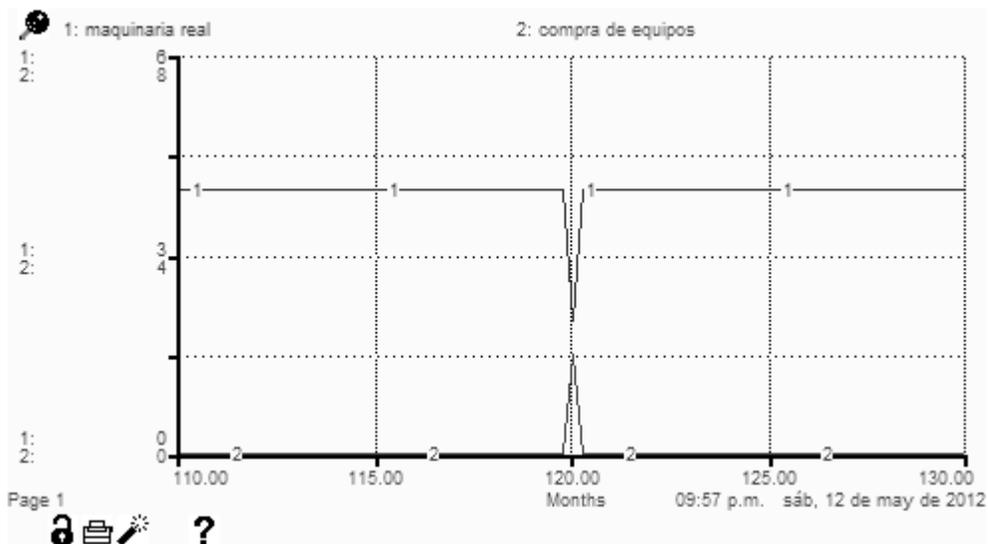


Figura 16. Maquinaria vermicompostaje.

#### 4.5. Graficas y tablas del nivel de trabajadores.

Para el compostaje y con una cantidad de terreno dado de 17213 metros cuadrados se necesitan 18 trabajadores, y se maneja una tasa de despido del 10%, ya que se tienen que considerar que el empleado no cumpla con las funciones dadas o por el contrario que el mismo operario decida renunciar. Este porcentaje cada empresa la puede cambiar según la política que manejen; en este caso 2 empleados son despedidos cada 1 años así como se observa en la figura 17. Mientras tanto en vermicompostaje se necesita una menor cantidad de empelados así como se observa en la figura 18, debido a la cantidad de material manejado en menor y el vermicompostaje no precisa de un control tan riguroso como el compostaje.

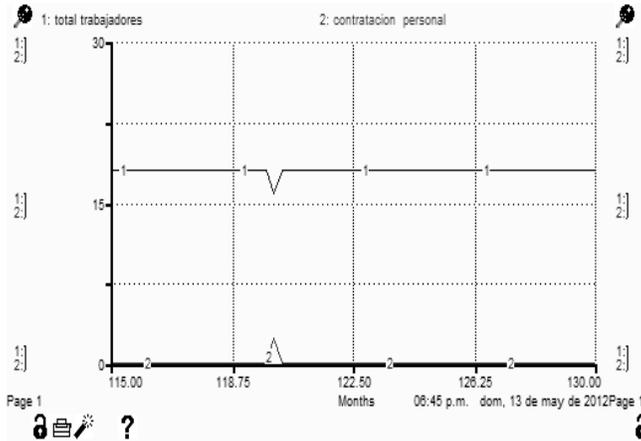


Figura 17. Trabajadores compostaje.

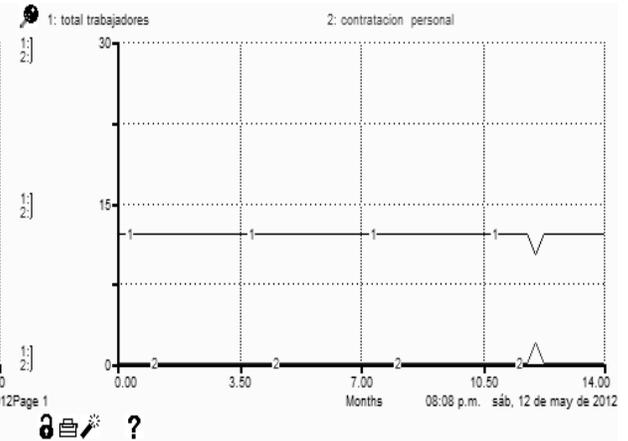


Figura 18. Trabajadores vermicompostaje.

#### 4.6. graficas y tablas del nivel de utilidad.

Como se menciona anteriormente el nivel de utilidad contempla los ingresos por ventas y otros ingresos, en los egresos solo se manejan algunos de los costos de produccion, y otros egresos, ya que la finalidad del modelo no es una estructura de costos sino una vista general del sistema. Como se observa en la figura 19, no se ve una utilidad en los tres primeros meses sino por el contrario una perdida debido a que en estos primeros meses se tienen gasto de mano de obra, transporte, entre otros; mientras se tiene la primera produccion de humus para venderla. En el cuarto mes los ingresos superan los egresos en alta medida suficiente para suficiente para soportar los egresos de los tres meses siquientes como se presenta en la tabla 9. Tambien es claro que hay un aumento considerado de la utilidad a traves del tiempo, se debe al aumento de ventas que se tiene actualmente.

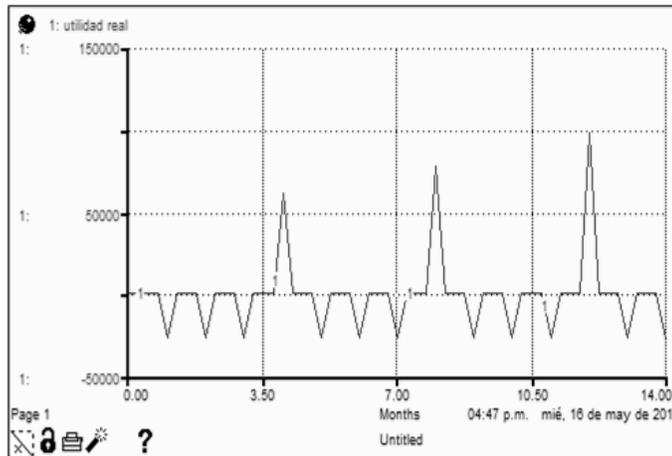


Figura 19. Utilidad compostaje.

Meses	ingresos	egresos	Utilidad real
0	0	0	0
1	0	6.750.00	-6.750.00
2	0	6.750.00	-6.750.00
3	0	6.750.00	-6.750.00
4	88.582.99	6.750.00	81.832.99
5	0	6.750.00	-6.750.00
6	0	6.750.00	-6.750.00
7	0	6.750.00	-6.750.00
8	105.179.11	6.750.00	98.429.11
9	0	6.750.00	-6.750.00
10	0	6.750.00	-6.750.00
11	0	6.750.00	-6.750.00
12	125.212.19	6.750.00	118.462.19

Tabla 9. Utilidad compostaje.

En comparacion con el modelo de compostaje notamos que el ciclo de espera de produccion es menor por tal razon se tiene una utilidad en el mes dos siendo casi la misma que el compostaje. Esto se debe por que la demanda es la misma para ambos modelos y la produccion de las dos logra satisfacer plenamente la demanda, asi como se observa en la figura 20 y en la tabla 10.

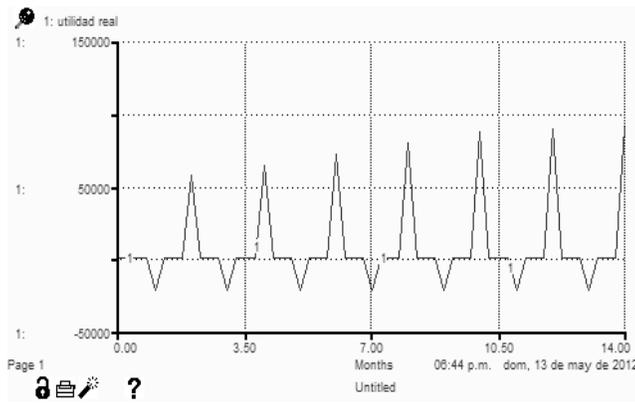


Figura 20. Utilidad vermicompostaje.

Meses	ingresos	egresos	Utilidad real
0	0	0	0
1	0	5.550.00	-5.550.00
2	79.284.22	5.550.00	73.734.22
3	0	5.550.00	-5.550.00
4	86.305.14	5.550.00	80.755.14
5	0	5.550.00	-5.550.00
6	94.010.80	5.550.00	88.460.80
7	0	5.550.00	-5.550.00
8	102.474.50	5.550.00	96.924.50
9	0	5.550.00	-5.550.00
10	109.536.52	5.550.00	103.986.52
11	0	5.550.00	-5.550.00
12	112.292.41	5.550.00	106.742.41

Tabla 10. Utilidad vermicompostaje.

## 5. conclusiones

El analisis del sistema de compostaje por medio del diagrama causal relacionano acertadamente las variables mas influyentes y despues de una clasificacion adecuada, se diseño el diagrama forrester el cual simula de forma aproximada la cadena de valor de compostaje y lombricultura.

El modelo forrester no solo funciona como una herramienta de simulacion sino tambien funciona como una herramienta de toma de desiciones o de control dentro del sistema de compostaje o lombricultura.

En este caso se concluye que una empresa de lombricultura o vermicompostaje puede satisfacer la demanda de la misma manera que el compostaje, obteniendo la misma utilidad. Siendo esta ultima un poco más costosa y produciendo una mayor cantidad de humus sin utilizar, generando sobreproduccion, estos resultados se basan con los datos dados inicialmente. En el programa.

## Referencias

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - **ABRELPE**. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2010. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 10 Nov. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ARLENE GOMES. Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico Cruz das Almas, BA Dezembro, 2005. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - **ABRELPE**. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2010. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 10 Nov. 2011.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde, **Resíduos sólidos e a saúde da comunidade: Informações técnicas sobre a inter-relação Saúde, Meio Ambiente e Resíduos Sólidos**. Brasília: Funasa, 2009. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br>>. Acesso em: 15 Nov. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Lei Nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: IBGE, 2010

BOLLO E. 1999. Lombricultura: una alternativa de reciclaje. Quito. Soboc Grafic. 149 p.

CLAUDIO CAVALCANTI. Compostagem: produção de adubo a partir de resíduos orgânicos / Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Belém: SECTAM, 2003.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **Fichas Técnicas**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/>>. Acesso em: 25 maio 2012.

CATERPILLAR INC. Catalogo de retroexcavadoras. 2008. disponible en **www.cat.com**

CASE CONSTRUCTION. Catalogo CCE-W20-E01. Disponible en [www.casece.com](http://www.casece.com)

DOMÍNGUEZ J., EDWARDS E., SUBLER S. 1997. A comparision of vermicomposting and composting. BioCycle 38(4):57-59.

EDINETE MARIA DE OLIVEIRA. Influência das minhocas sobre as características químicas de composto, vermicomposto e solo. 2008.

ELIANE MARAGNO; DAIANE TROMBIN. O uso da serragem no processo de minicompostagem

KIEHL, E. J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Piracicaba: 4ª ed. 2004. 173p.

LIENINE LUIZ ZAGHI JUNIOR. Carbon-to-nitrogen ratios for *Agaricus brasiliensis* on the axenic method. 2010

MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, vol.12, n.4, p.355-360, out./dec. 2007.

MARTÍNEZ C. 1996. Potencial de la lombricultura: elementos básicos para su desarrollo. A. Carballo; S. Bravo (eds). Texcoco, MX. 140 p.

M. Sc FLORISVALDO GAMA DE SOUZA. Reciclagem de resíduos sólidos orgânicos

PEREIRA NETO, J. T. **Manual da Compostagem: Processo de Baixo Custo**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 81p.

WORLD BANK, Tasa de crecimiento de población en Latinoamérica disponible en <[www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org)>

## 10.2. ARTICULO REVISTA GESTION Y PRODUCCION

### Modelo dinámico de sistemas de para el compostaje y vermicompostaje.

#### Systems dynamic model for composting and vermicomposting.

(2) John Alexander Buitrago Pérez, (2) Lucas Lourenço Castiglioni Guidoni (3) Érico Kunde Corrêa, (4) Álvaro Chávez Porras, (4) Isaac Huertas Forero.

(4) Estudiante de ingeniería industrial Universidad Militar Nueva Granada  
johnbui89@gmail.com.

(5) Estudiante de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Pelotas.  
lucaslcg@gmail.com

(6) Profesor. Adjunto - Engenharia Sanitária e Ambiental Universidade Federal de Pelotas  
ericojundecorreio@yahoo.com.br

(7) tutor de investigación Universidad Militar Nueva Granada  
Álvaro.chavez@unimilitar.edu.co, Isaac.huertas@unimilitar.edu.co

Universidad Federal de Pelotas, Campus Universitário, s/n° Caixa Postal 354, CEP 96010-900, Pelotas, RS, johnbui89@gmail.com

#### **Resumen**

Foi desenvolvido o desenho de um Modelo Dinâmico de Sistema que permita estabelecer as variáveis incidentes dentro da produção, maquinaria a usar, quantidade de trabalhadores, vendas, inventários e utilidade. Inicialmente encontra-se um diagrama causal o qual mostra as variáveis mais influentes dentro do sistema de compostagem, mostrando as relações entre elas. A continuação encontra-se uma descrição das variáveis mostrando a importância dentro do modelo e algumas restrições dentro do sistema. Por último encontra-se o modelo dinâmico de sistemas em Stella (software), com os resultados e sua respectiva conclusão. Este modelo é de muita ajuda para a indústria já que permite determinar o lucro por vendas aproximado, ou as análises de algum tipo de problema presente dentro do processo, baixo condições normais produção tales como o terreno, oxigeno, PH, temperatura, umidade, número de trabalhadores, número de maquinas, entre outras. A intenção é que este seja implementado por os empresários y comercializadores de húmus. Como conseqüência eles

vai a colaborar com a sustentabilidade ambiental, aumentando a vida útil dos aterros sanitários e economizando recursos e energia.

**Palabras claves:** tratamiento, sistema dinámico, residuos sólidos, valorización, sustentabilidad.

### **Abstract**

It was developed a design of a Dynamic System Model that allows establishing the incident variables in the production, such as machinery to use, amount of workers, sales, inventories and utility. Initially it is done a causal diagram, which shows the most influential variables within the composting system and also the relationship between them. Next, it is done a description of the variables showing the importance within the model and some restrictions within the system. Finally, it is done the dynamic system in Stella model with the results and their respective conclusion. This model is helpful for the industry because it allows to determinate the utility by sales, or examines some kind of problem among the process, under normal land conditions, oxygen, PH, temperature, plagues, humidity, number of wages, and number of equipment, among others. The intention is to be implemented by businessmen and fertilizer marketers, since they would be able to make a profit. As a consequence, they will contribute to environmental sustainability, increasing the life cycle of the sanitary fillings and saving resources and energy.

**Key-words:** composting, system dynamic, supply chain management.

### **Introducción**

En Brasil, los residuos sólidos urbanos –RSU están constituidos en su mayoría por materiales que no cierran su ciclo de vida útil en el proceso productivo –papeles, metales, plásticos, vidrio y materiales orgánicos (IBGE, 2010). Estos, cuando son destinados a los rellenos sanitarios, terminan siendo un desperdicio de recursos, ocupando de forma acelerada el espacio físico de esas obras de ingeniería. La política nacional de los residuos sólidos (2010), estipula que los residuos pueden ser destinados a los rellenos sanitarios, los cuales representan el 16% del total de residuos sólidos urbanos generados en el 2008 (IBGE, 2010). De igual manera se destaca que el 50% de los residuos sólidos urbanos pertenece a la materia orgánica donde solo el 4% son tratados de forma adecuada en el año 2010 (CEMPRE 2010).

Una de las contribuciones para mejorar ese escenario, es el compostaje, el cual a través de un proceso de técnicas simples y de bajo costo, se caracteriza como una alternativa para reintegrar ese material a la naturaleza. La descomposición de la materia, por medio de microorganismos en condiciones favorables, como bacterias, hongos y actinomicetos, transforma la materia prima en un abono de buena calidad agronómica. Siendo un producto que puede ser utilizado en el mercado agrícola, de reforestación, jardinería, entre otros (KIEHL, 2004).

Se han realizado diferentes tipos de estudios, para mejorar la calidad del fertilizante, en estos estudios se han creado varios métodos eficaces, así mismo se han descubiertos diferentes formas de aceleración del proceso de compostaje como es el uso de lombrices en los desechos (vermicompostaje) (Martínez 1996, Domínguez 1997, Bollo 1999). En el manejo de estos métodos se observa un diferencias en las variables que afectan el proceso de transformación del desecho orgánico, como es el caso del PH, temperatura, humedad, concentración de oxígeno y de nutrientes, entre otras. Estas variables tienen una influencia directa en el control de vectores y procesos anaeróbicos, en El tiempo de obtención del composto humificado y también en la calidad del mismo. (MARAGNO et al, 2005).

Debido a esto se ha presentado la conformación de pequeñas y grandes empresas dedicadas al tratamiento de desechos orgánicos por medio del compostaje; centrándonos en este punto, se ha analizado el proceso del compostaje de una forma científica, en la cual se ha identificado sus propiedades, características, los diferentes requisitos que se necesitan para realizar este proceso, y otros aspectos importantes que determinan el manejo del compostaje comercialmente. Por medio de un estudio detallado de este proceso, y con el uso de una herramienta de ingeniería industrial como la dinámica de sistemas, se pretende simular de proceso productivo del compostaje. En la cual se analizan una serie de variables las cuales son claves en el proceso de producción y comercialización del humus, como el terreno, los costos de jornales, maquinaria, la calidad del humus, demanda nacional e internacional, la tasa de crecimiento del mercado, entre otras. Este tipo de variables son analizadas y relacionadas de forma matemática y como resultado podemos determinar el

posible comportamiento de la empresa durante el tiempo, es decir nos muestra los posibles costos a obtener, los jornales necesarios en cada periodo de producción, la posible producción a manejar en un determinado periodo de tiempo, entre otras.

El objetivo de este artículo es Diseñar un modelo Dinámico de Sistemas que relacione las variables más importantes de la cadena de valor del compostaje y permita pronosticar la producción abono orgánico, cantidad de maquinarias necesarias, costos, ventas en un determinado periodo de tiempo, numero de trabajadores e inventarios, para un periodo determinado en condiciones normales. De esta manera no solo ayudar a pronosticar en un periodo de tiempo sino también que puede identificar que variable son las que están afectando al sistema. Este modelo es utiliza datos de Brasil como datos entrada para el modelo.

## **2. Modelo dinámico de sistemas para el tratamiento de desechos orgánicos por medio de compostaje**

Actualmente la población mundial en general, produce una gran cantidad de residuos urbanos, debido al aumento de población, también por el constante proceso evolutivo, entre otros factores; tomando como referencia Brasil, el cual tiene un alto crecimiento en el tratamiento de residuos orgánicos. Se analizo el sistema que utilizan para estos, con el fin de determinar las variables más influyentes que afecten el sistema, por tal motivo se realizo un diagrama causal en el cual se muestran una serie de variables que interactúan entre sí, dando como resultado unos ciclos (bucles), los cuales muestran el comportamiento causa efecto que hay dentro del sistema tal como se muestra en la figura 1.



También se tiene en cuenta el tamaño del terreno el cual varía según el número de hileras verticales y horizontales a manejar, eso nos determina la capacidad de producción que tiene la empresa.

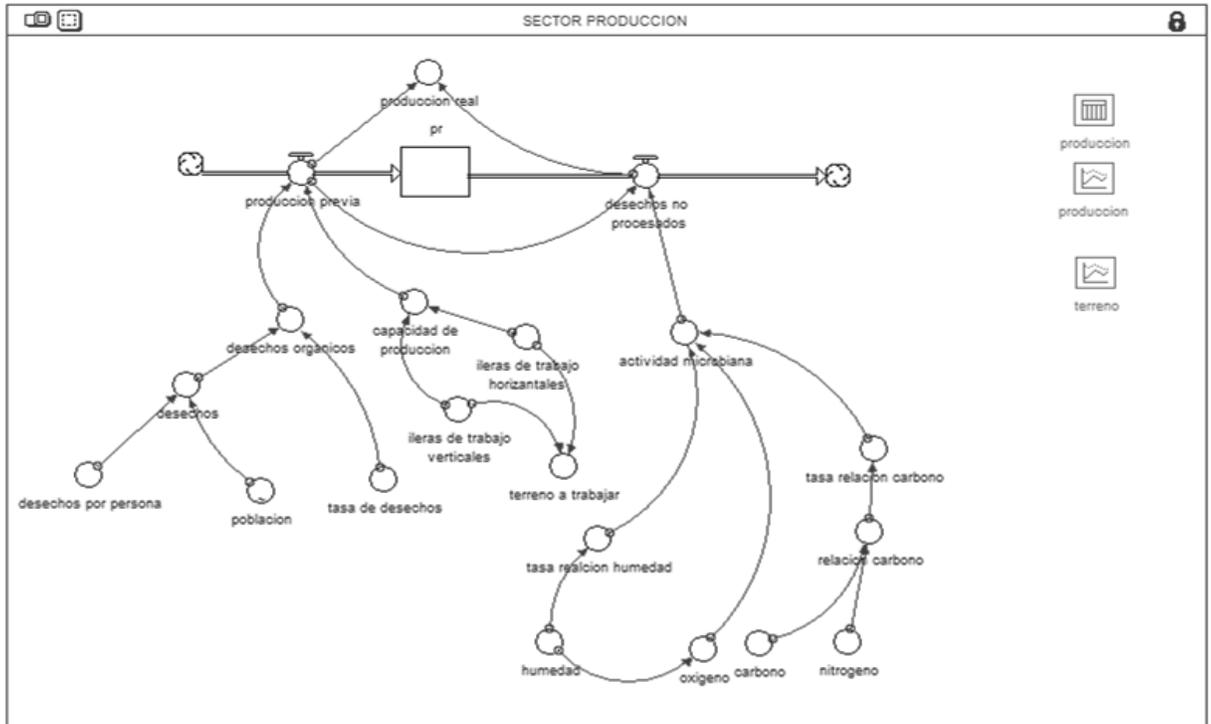


Figura 2. Nivel de producción de compostaje

## 2.2. Nivel de ventas

Dentro del sector de ventas se estableció que de la producción dada en kilos, se tendrá una presentación para la venta por medio de bolsas de 5 kilos de humus, la demanda nacional se considero inicialmente como 20.000 bolsas /mes y un incremento del 5% y una demanda internacional de 3.000 bolsas/mes con un incremento del 2%, también se determina una tasa de devoluciones la cual puede varía según la política que tenga la empresa, para este caso se manejo que de las ventas totales un 5 porciento es devuelto porque el producto final pudo llegar en malas condiciones o porque el empaque sufrió algún tipo de maltrato y se contaminao el producto. De la misma manera se considera que la demanda nacional e internacional puede variar dependiendo de la situación actual que tenga la empresa, esta demanda se puede manejar como un dato constante al pasar el tiempo o por el contrario se puede variar en el tiempo. En la figura 3 observamos las relaciones antes mencionadas en el diagrama forrester.

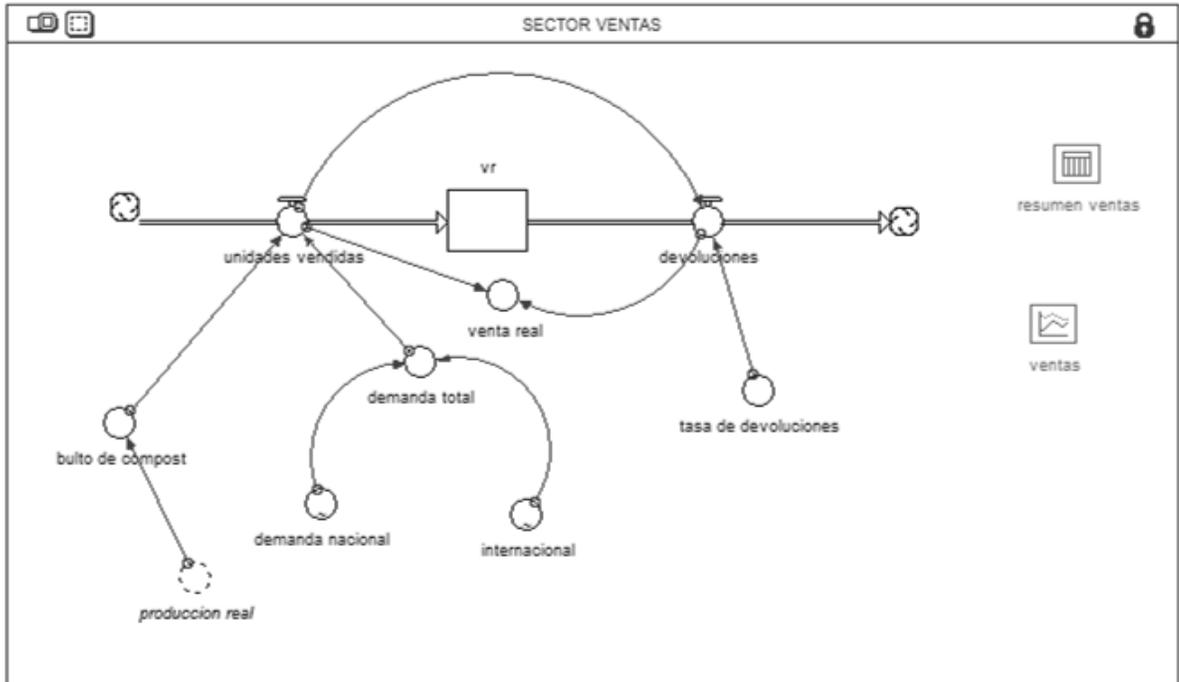


Figura 3. Nivel de ventas.

### 2.3. Nivel de inventarios

Se toma como base un inventario inicial el cual es la producción real la cual está dada en bolsas de 5 kilos, a continuación en las salidas del nivel se tienen las ventas realizadas en el primer periodo, es decir un mes, como resultado se obtiene el inventario para los tres periodos siguientes en los cuales no se tendrá un producto final. Como se ve en la figura 4 se encuentra el modelo en stella del nivel de inventarios.



Figura 4. Nivel de inventarios

## 2.4. Nivel de maquinaria

Las principales variables que determinan la cantidad de maquinaria son: el terreno a trabajar, ya que a medida que aumenta el terreno y la cantidad de material orgánico la cantidad de maquinaria también aumenta, para este estudio se considero la utilización de dos maquinas en el proceso, una de ellas es un tractor revolvedor y otro es un mini tractor los cuales son vitales para grandes terrenos, el numero de maquinas depende de la capacidad que tenga la misma en la tabla 1 observamos la capacidad instalada que tiene el tractor revolvedor. También se tiene en cuenta el costo de cada máquina, una vida útil la cual está considerada a 10 años a modo de ejemplo ya que contablemente se maneja así, pero la empresa puede variar este valor al que se tenga como política. En la figura 5 se observa el diagrama forrester del nivel de maquinaria (CATERPILLAR INC, 2008; CASE CONSTRUCTION, 2012).

Tabla 1. Capacidad TracTurn 3.7

Ficha técnica			
Trabajo de ancho	3,7 m	Traba de alto	2,3 m
		Dimensiones de transporte	
Calidad de revolvimiento	1.000-2.000 m <sup>3</sup> /h	Ancho	2,915 m
Poder del tractor	Ab 250 hp	largo	5,2
Velocidad de trabajo	50-1.000 m/h	alto	Altura maq.=2,62 m+ altura remolque
Peso max.	Ca 6.000 kg (sin tractor)		

Fuente: compost system

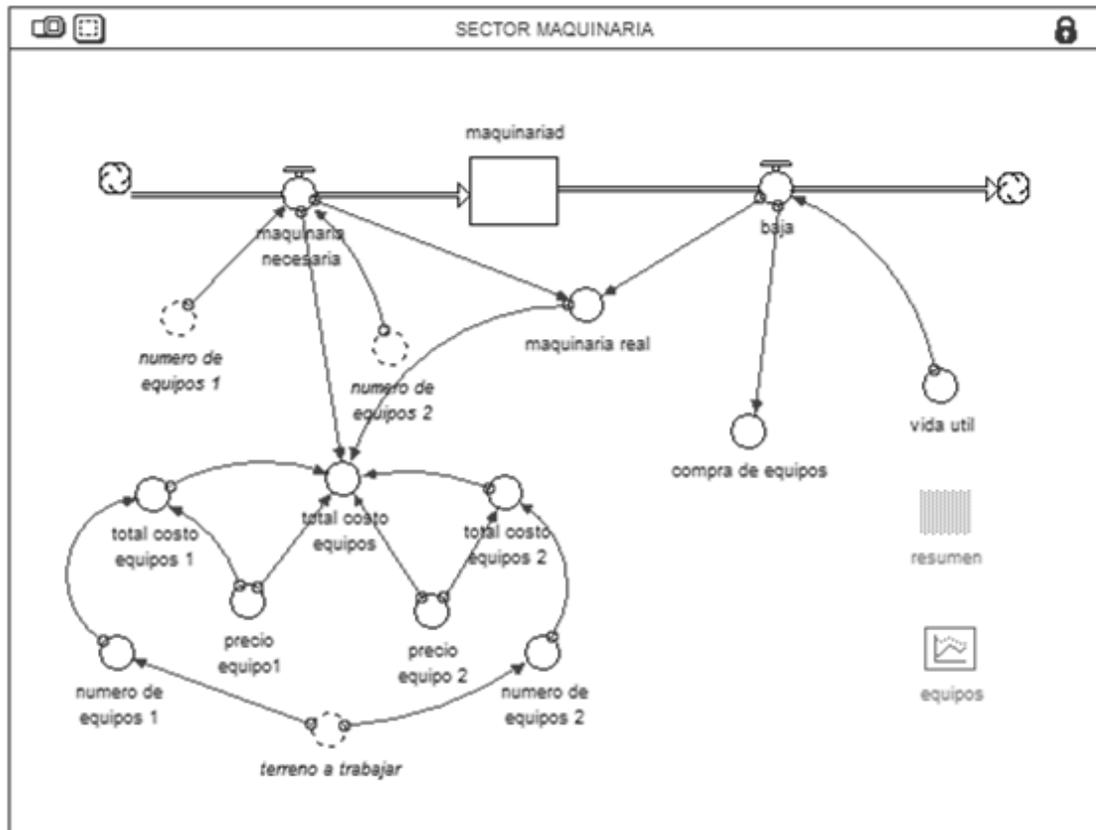


Figura 5. Nivel de maquinaria

## 2.5. Nivel de trabajadores

Dentro del nivel de trabajadores se considero el número de trabajadores dentro de la planta el cual varia por el tamaño del terreno, también se considero los trabajadores administrativos que va tener la empresa los cuales no van variar por el tamaño del terreno así como se observa en la figura 6.

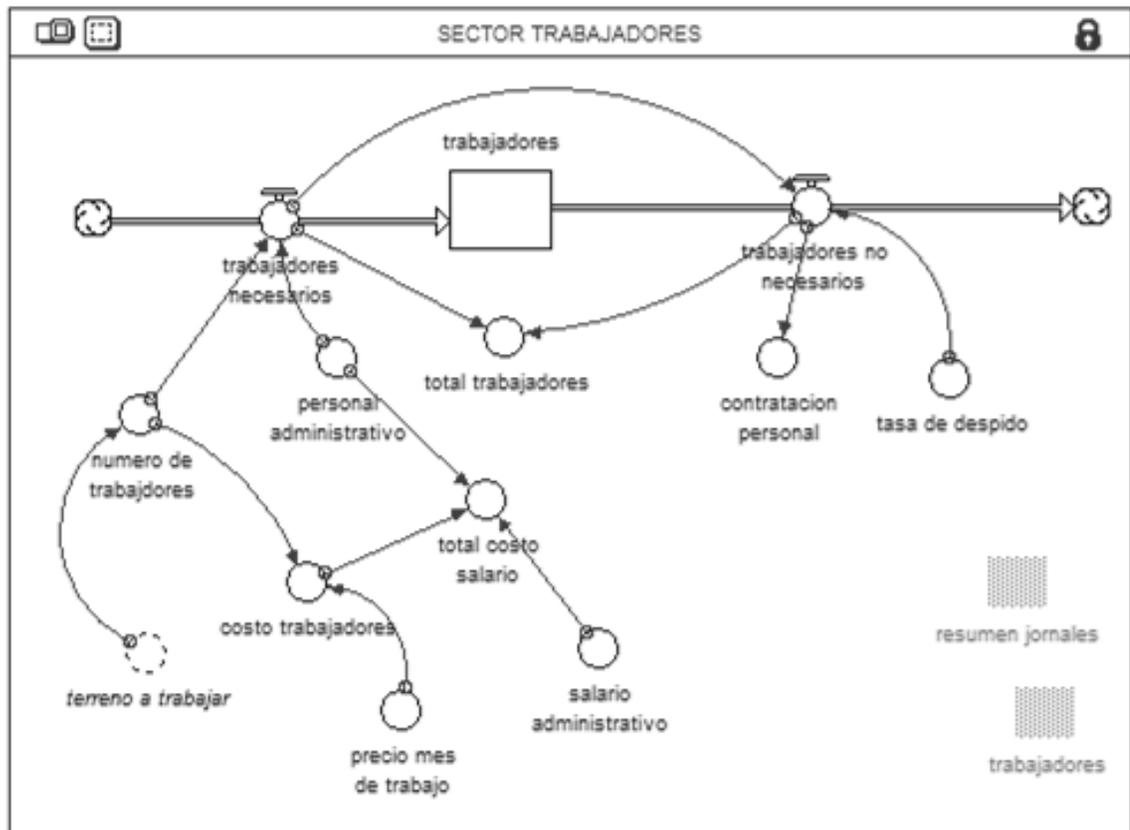


Figura 6. Nivel de trabajadores

## 2.6. Nivel de utilidad

Dentro de este nivel se tomo como base las ventas realizadas en cada periodo y el precio del humus a nivel nacional e internacional, estos precio se ven afectados por la inflación del país el cual varia cada año, en este caso se manejo la inflación del año 2010 para Brasil que fue del 5.0% según el Banco Mundial. También se tuvo en cuenta la variable de otros ingresos que son todos los ingresos que no son de la razón de ser de la empresa. En las salidas del nivel solo se manejo los costos de producción, dentro de estos costos está incluido el costo de mano de obra, costo maquinaria, transporte y control de plagas. También se manejan otros egresos los cuales son egresos que no provienen de la razón de ser de la empresa, para este caso se considero un valor de 0. En la figura 7. Se observa el diagrama forrester del nivel de utilidad.

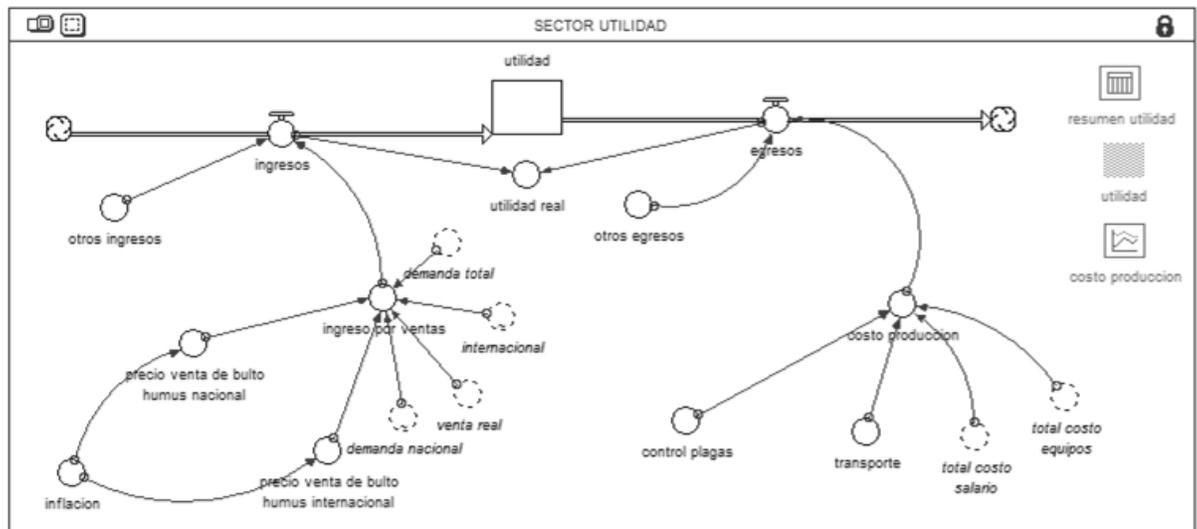


Figura 7. Nivel de utilidad.

### 3. Modelo dinámico de sistemas para el tratamiento de desechos orgánicos por medio de vermicompostaje.

Este modelo toma como base la estructura del compostaje, es decir maneja los mismos niveles como es el nivel de ventas, inventarios, maquinaria, trabajadores, utilidad y producción. Pero considerando las diferencias que estos dos métodos tienen, como es el nivel de producción donde se nota un cambio notable en las variables auxiliares que se usaron como se verá más adelante. Para los demás niveles se maneja las mismas variables pero con algunos cambios en los valores manejados como el número de trabajadores por área, o el número de máquinas por terreno.

#### 3.1. Nivel de producción de vermicompostaje

Las variables que afectan el sistema de producción en este método son en su mayoría diferentes en comparación al compostaje como es el caso de la relación de humedad donde la relación óptima debe estar dentro de un rango de 60%-85% (MARTÍNEZ C. 1996, EDINETE DE OLIVEIRA, 2008) y menores a 55% escasa actividad, la temperatura óptima para el vermicompostaje debe estar en el rango de 14-27°C si la temperatura es menor a 0°C o mayor a 42°C es letal para la lombriz (DOMÍNGUEZ J, 1997, EDINETE DE OLIVEIRA, 2008); el PH es otra variable que interviene en el proceso el material a procesar debe estar dentro de un rango de PH de 5 y 9 (MARTÍNEZ C. 1996; BOLLO E.

1999). Por último observamos que la oxigenación no es una variable influyente ya que las lombrices oxigenan constante mente el material orgánico y la relación nitrógeno carbono tampoco es influyente así como se observa en la figura 8.

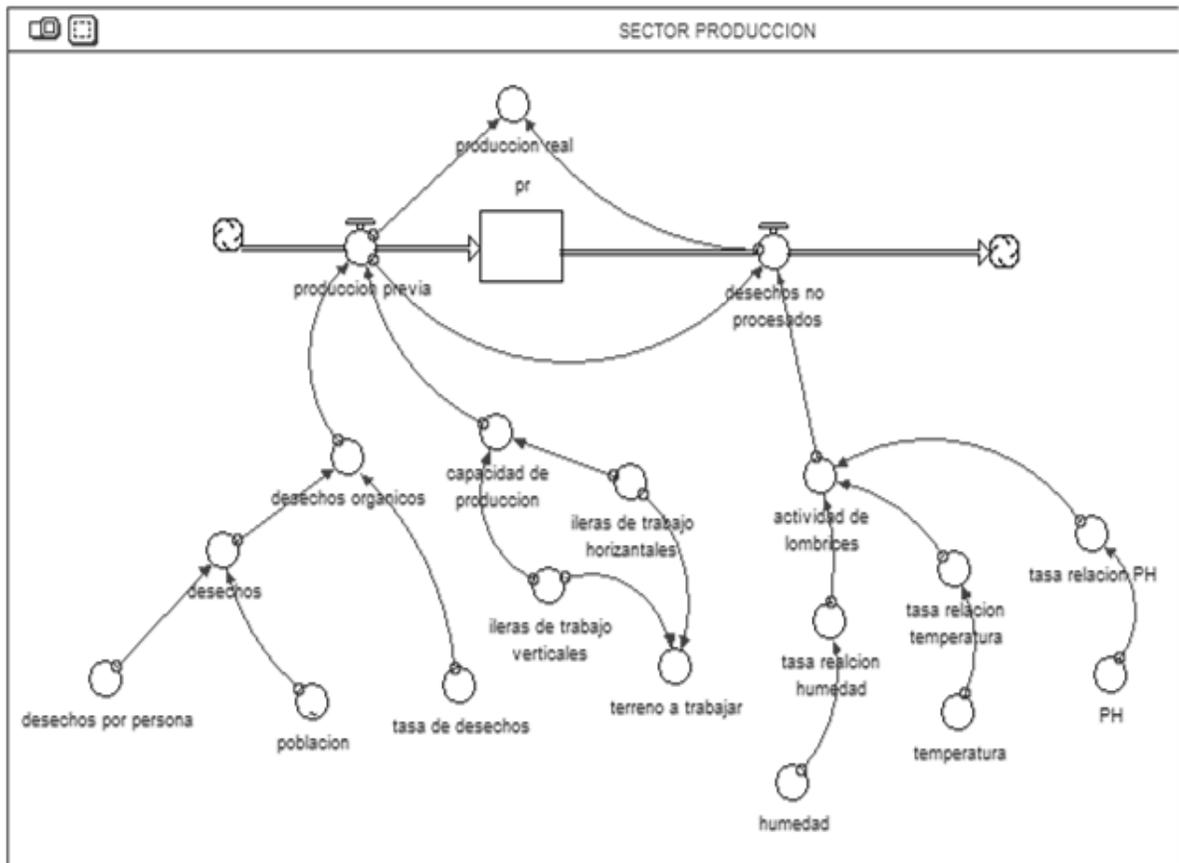


Figura 8. Nivel de producción de vermicompostaje

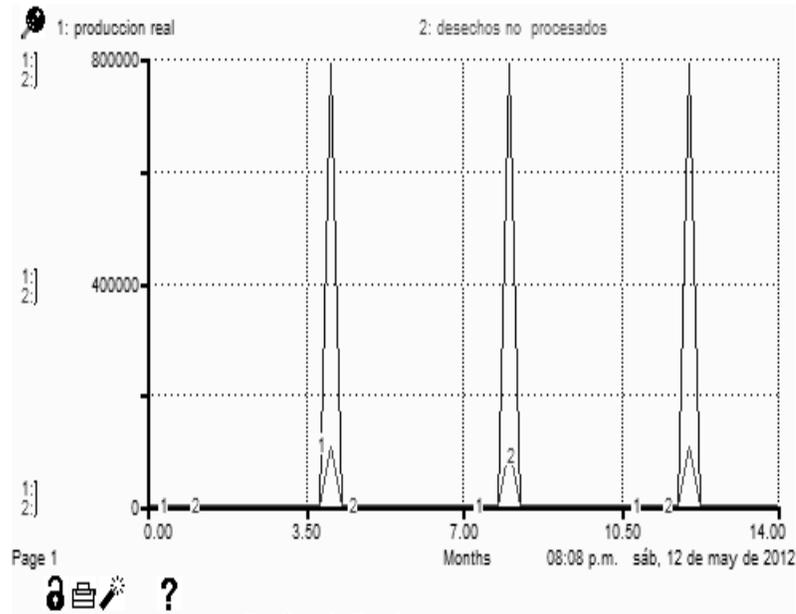
#### 4. resultados y discusión.

Los resultados arrojados por el modelo se analizaron con base a la estructura realizada y por los métodos de producción propuestos. Es decir cada nivel se comparara con el método de compostaje y vermicompostaje.

##### 4.1. Graficas y tablas de nivel de producción.

En la figura 9 se observa que la producción es realizada cada 4 meses en compostaje este periodo se determino así porque el tiempo en que los microorganismos procesan el material es aproximadamente 3 meses. Para que se asegure que la mayor parte del material se ha descompuesto se estipulo que la empresa cada 4 meses recogía la producción la cual está dada en kilos como se observa en la tabla 2. También se observa que de la producción total

una pequeña parte no fue procesada, esto se debe a la interacción de las variables no fue suficiente para procesar todo el material orgánico.



Grafica 9. Producción compostaje

Meses	Desechos no procesados (kg)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	101.451.47
5	0
6	0
7	0
8	101.451.47
9	0
10	0
11	0
12	101.451.47
13	0

Tabla 2. Producción compostaje

En la producción de vermicompostaje se observa que la producción es más rápida debido a que las lombrices aceleran el proceso de transformación del material orgánico así como se

observa en la figura 10, pero también es notable que la cantidad de material procesado es menor en comparación al compostaje como se observa en la tabla 3, ya que el terreno que se trabajó para el vermicompost fueron camas de  $1,5 \times 0,4 \times 100$  metros y en el compostaje se manejan pilas triangulares de 4,5 metros de ancho, 100 metros de largo y 2,5 metros de altura.

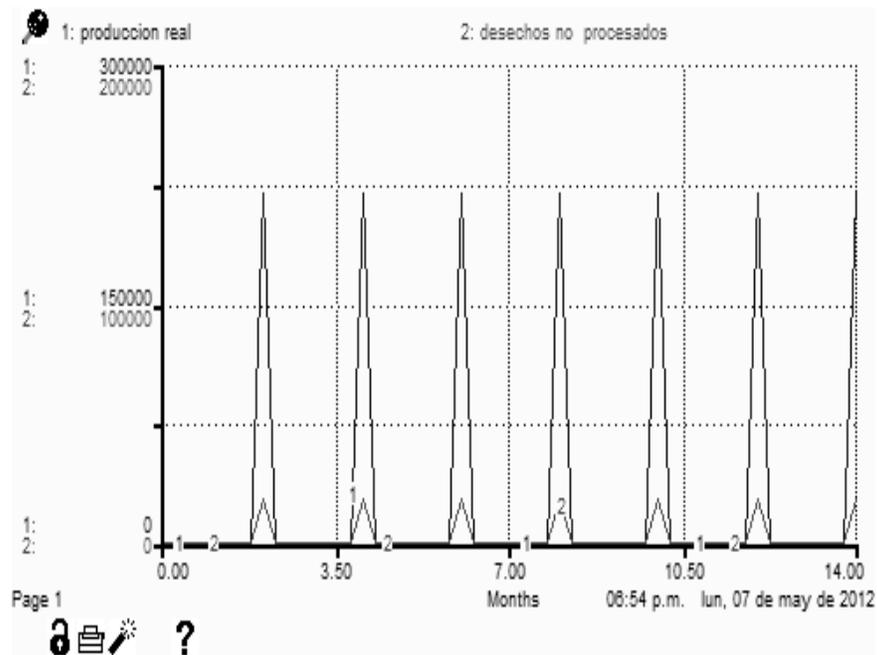


Figura 10. Producción vermicompostaje.

Meses	Producción real (kg)	Producción previa (kg)	Desechos no procesados (kg)
0	0	0	0
1	0	0	0
2	220.408.90	238.710.00	18.301.10
3	0	0	0
4	220.408.90	238.710.00	18.301.10
5	0	0	0
6	220.408.90	238.710.00	18.301.10
7	0	0	0
8	220.408.90	238.710.00	18.301.10
9	0	0	0
10	220.408.90	238.710.00	18.301.10
11	0	0	0
12	220.408.90	238.710.00	18.301.10
13	0	0	0

Tabla 3. Producción vermicompostaje

#### 4.2. Graficas y tablas del nivel de ventas.

La demanda es una variable que define la cantidad de material vendido, si la producción es mayor que la demanda solo se venderá la demanda pero si es el caso contrario si la producción es menor a la demanda solo se podrá vender la producción, en la figura 11 se observa que la producción satisface la demanda para los 4 meses siguientes que no hay producción de humus considerando que se venden en bolsas de 5 kilos de humus. Las ventas van aumentando cada cuatro meses esto se debe a que la demanda nacional e internacional también van aumentando, también se observa una pequeña cantidad de devoluciones que es el 5% de las ventas así como se muestra en la tabla 4.

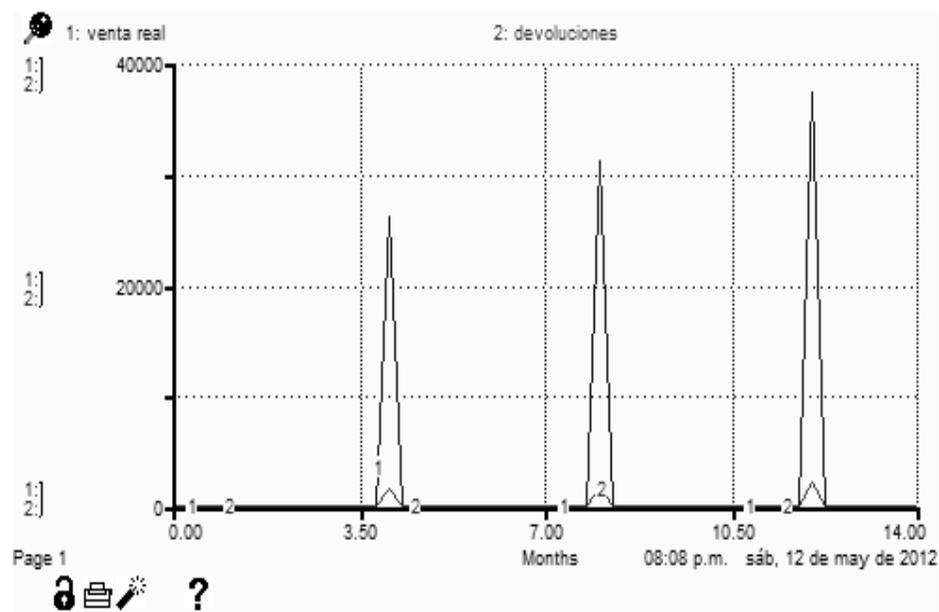


Figura 11. Ventas de compostaje.

Meses	Unidades vendidas	devoluciones	Venta real
3	0	0	0
4	27.485.00	1.374.25	26.110.75
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	32.908.14	1.645.41	31.262.74
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	39.472.00	1.973.60	37.498.40
13	0	0	0

Tabla 4. Ventas de compostaje.

En el vermicompostaje las ventas del periodo son realizadas cada 2 meses debido a la producción como se observa en la figura 12. También es notable que la demanda sigue siendo la misma y por tal razón aunque el compostaje produce una mayor cantidad de humus no se vende totalmente, ya que la demanda es satisfecha en su totalidad. Se maneja el mismo valor para la tasa de devoluciones del 5% así como se observa en la tabla 5.

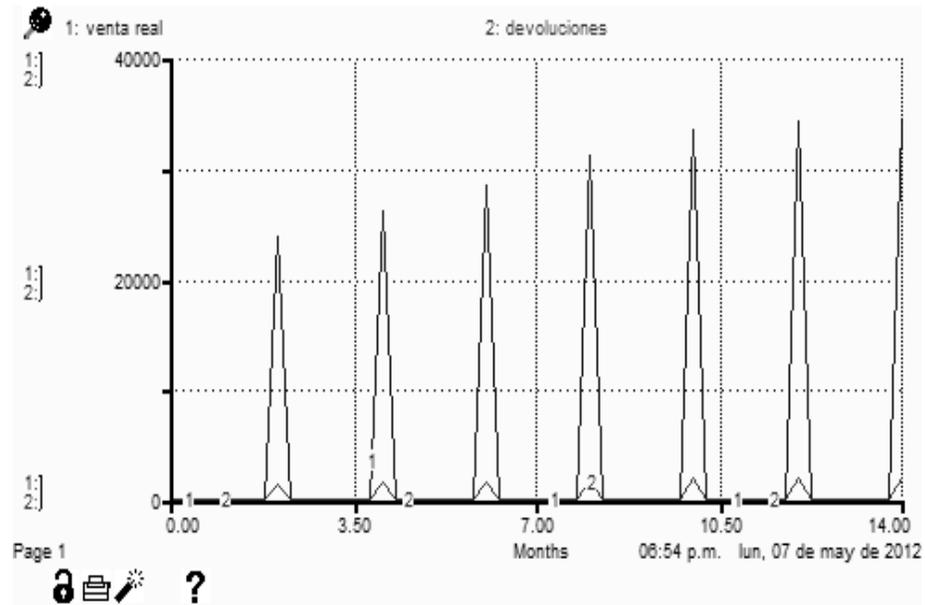


Figura 12. Venta de vermicompostaje.

Meses	Unidades vendidas	devoluciones	Venta real
0	0	0	0
1	0	0	0
2	25.136.14	1.256.81	23.879.34
3	0	0	0
4	27.485.00	1.374.25	26.110.75
5	0	0	0
6	30.067.57	1.503.38	28.564.19
7	0	0	0
8	32.908.14	1.645.41	31.262.74
9	0	0	0
10	35.265.86	1.763.29	33.502.56
11	0	0	0
12	36.145.00	1.807.25	33.502.56

Tabla 5. Venta de vermicompostaje

### 4.3. Graficas y tablas del nivel de inventarios.

Los inventarios se manejan como la cantidad de producto terminado que no fue vendido en el primer periodo de ventas es decir la producción final en bolsas de 5 kilos menos la cantidad de bolsas vendidas en el primer mes como se aprecia en la figura 13, esto estipula la cantidad de producto terminado que puede venderse para los próximos 3 meses en los cuales no hay una producción de humus. Aun así el modelo no simula las ventas de este inventario, pero si se realiza el cálculo se obtendrá que los inventarios son capaces de cubrir la demanda durante esos periodos como se aprecia en la tabla 6. Es por esa razón que los inventarios son tan altos en un principio.

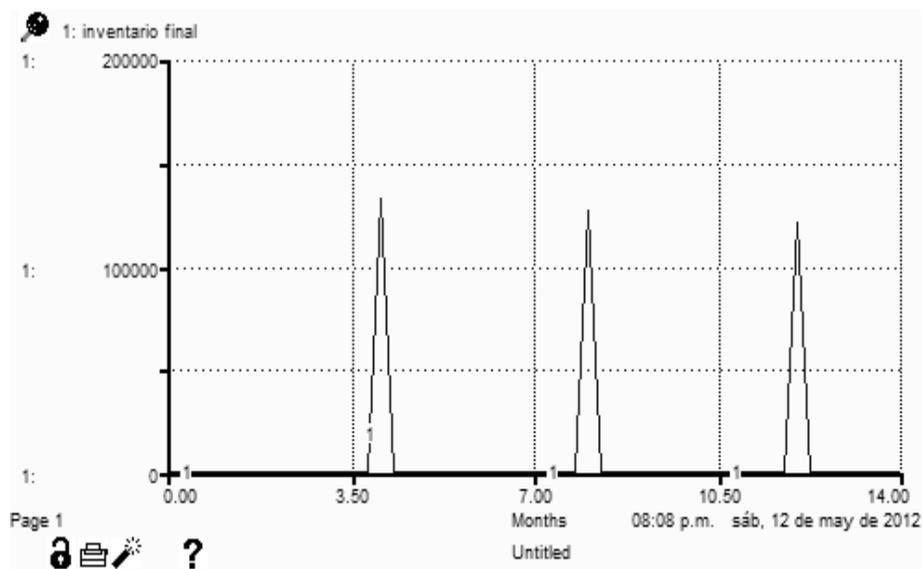


Figura 13. Inventarios de compostaje.

Meses	Inventario final
0	0
1	0
2	0
3	0
4	132.630.96
5	0
6	0
7	0
8	127.478.97
9	0
10	0
11	0
12	121.243.31
13	0

Tabla 6. Inventario de compostaje

Como se observa en la figura 14 el inventario se tiene cada 2 meses pero en menor cantidad que el compostaje así como se observa en la tabla 7, también es evidente que estos inventarios van disminuyendo debido al aumento de demanda, en este caso se debe aumentar la cantidad de inventario al considerar el producto terminado que no fue vendido pero que si se produjo para satisfacer la demanda.

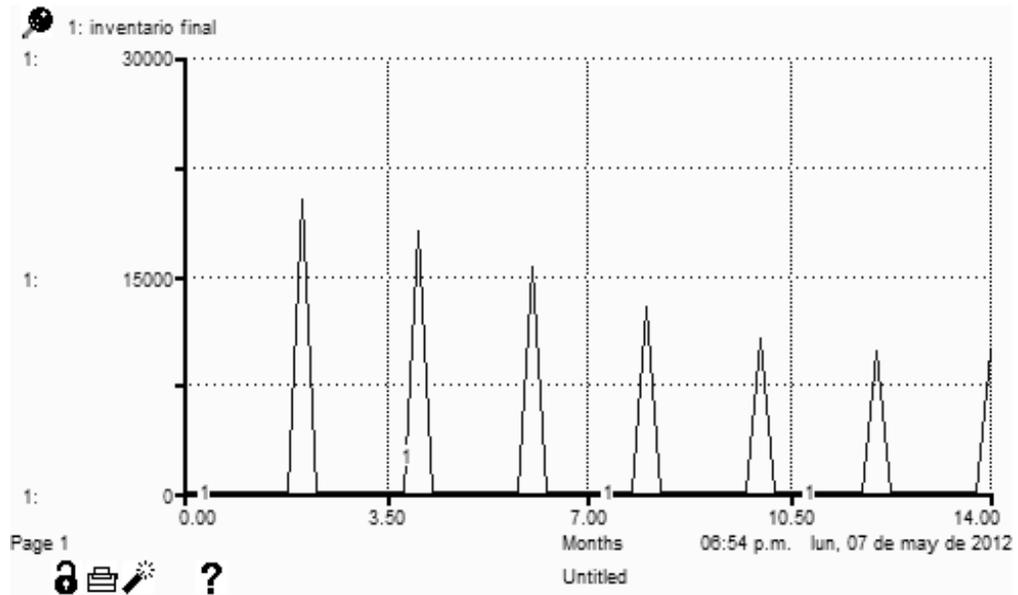


Figura 14. Inventarios vermicompostaje.

Meses	Inventario final
0	0
1	0
2	20.202.44
3	0
4	17.971.03
5	0
6	15.517.59
7	0
8	12.819.04
9	0
10	10.579.22
11	0

Tabla 7. Inventario vermicompostaje

#### 4.4. Graficas y tablas del nivel de maquinaria.

Durante los 10 primeros años se mantuvo la maquinaria constante pero en el año 10 (mes 120) se realiza la baja de las dos maquinas que se están considerando tal como se muestra en la figura 15, para efectuar en ese mismo periodo la compra de las mismas para reemplazar las maquina que se dieron como baja, como se observa en la tabla 8.

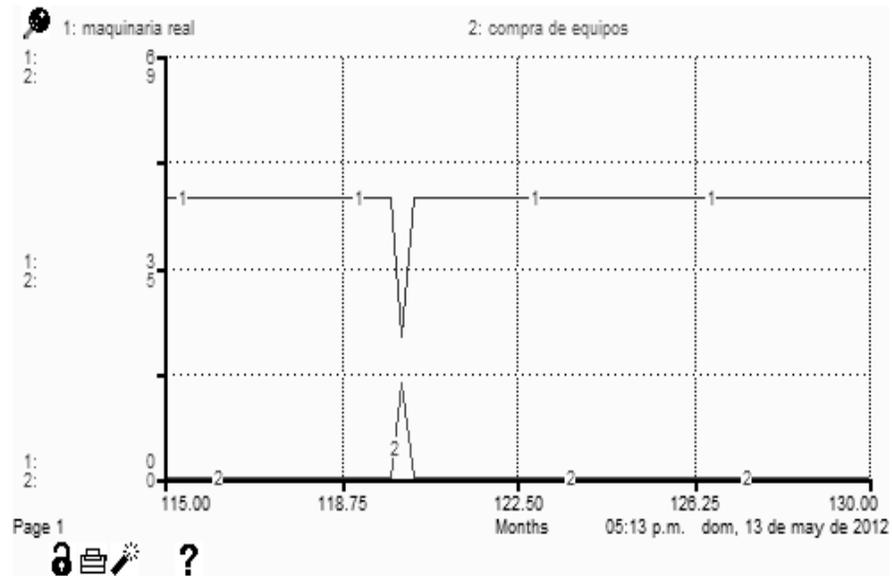


Figura 15. Maquinaria compostaje.

Meses	Maquinaria necesaria	baja	Maquinaria real
118.50	4	0	4
118.75	4	0	4
119.00	4	0	4
119.25	4	0	4
119.50	4	0	4
119.75	4	0	4
120.00	4	2	2
120.25	4	0	4
120.50	4	0	4
120.75	4	0	4
121.00	4	0	4
121.25	4	0	4

Tabla 8. Maquinaria compostaje

La maquinaria utilizada en vermicompostaje es un minitractor y una retroexcavadora pequeña los cuales son usados para acomodar las camas de material orgánico, el comportamiento que tuvo es el mismo que en el compostaje así como se observa en la

figura 16, ya que el numero de maquinas fue el mismo, y se maneja como política de la empresa cambiar cada 10 años la maquinaria.

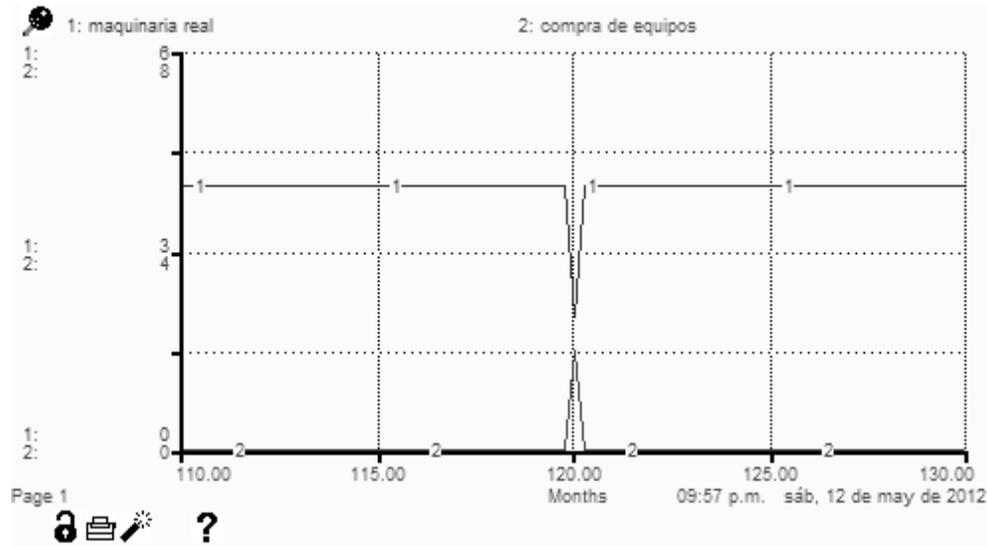
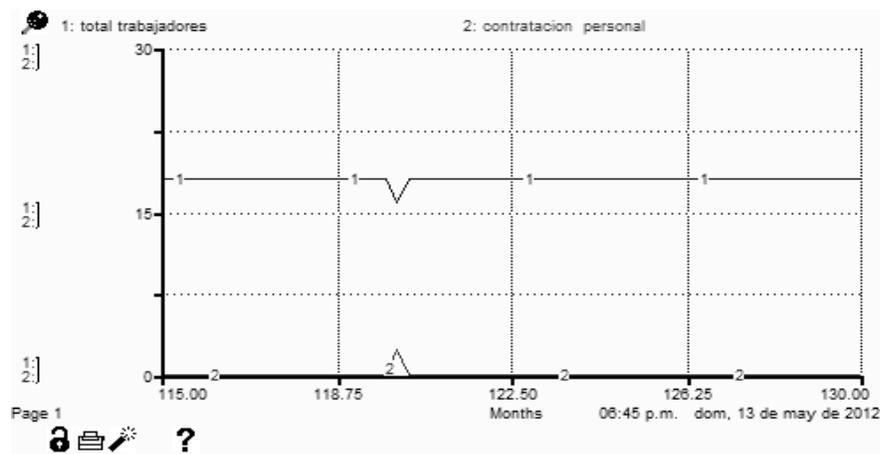


Figura 16. Maquinaria vermicompostaje.

#### 4.5. Graficas y tablas del nivel de trabajadores.

Para el compostaje y con una cantidad de terreno dado de 17213 metros cuadrados se necesitan 18 trabajadores, y se maneja una tasa de despido del 10%, ya que se tienen que considerar que el empleado no cumpla con las funciones dadas o por el contrario que el mismo operario decida renunciar. Este porcentaje cada empresa la puede cambiar según la política que manejen; en este caso 2 empleados son despedidos cada 1 años así como se observa en la figura 17. Mientras tanto en vermicompostaje se necesita una menor cantidad de empelados así como se observa en la figura 18, debido a la cantidad de material manejado en menor y el vermicompostaje no precisa de un control tan riguroso como el



compostaje.

Figura 17. Trabajadores compostaje.

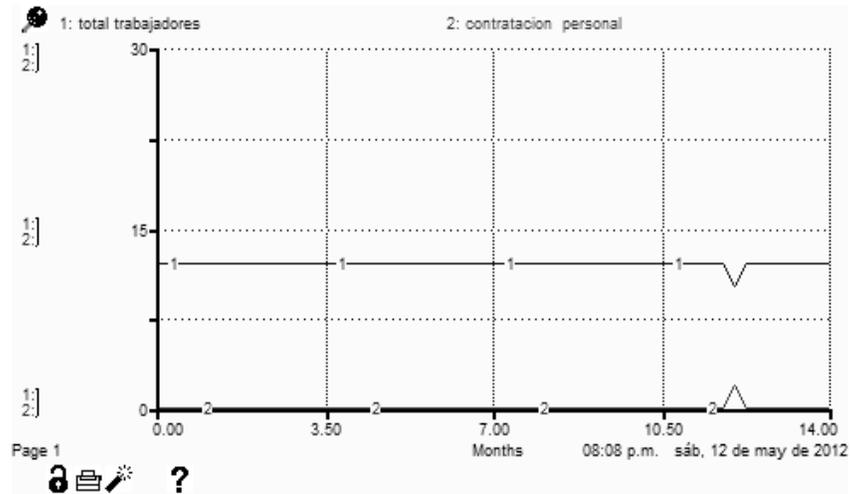


Figura 18. Trabajadores vermicompostaje.

#### 4.6. graficas y tablas del nivel de utilidad.

Como se menciona anteriormente el nivel de utilidad contempla los ingresos por ventas y otros ingresos, en los egresos solo se manejan algunos de los costos de produccion, y otros egresos, ya que la finalidad del modelo no es una estructura de costos sino una vista general del sistema. Como se observa en la figura 19, no se ve una utilidad en los tres primeros meses sino por el contrario una perdida debido a que en estos primeros meses se tienen gasto de mano de obra, transporte, entre otros; mientras se tiene la primera produccion de humus para venderla. En el cuarto mes los ingresos superan los egresos en alta medida suficiente para soportar los egresos de los tres meses siguientes como se presenta en la tabla 9. Tambien es claro que hay un aumento considerado de la utilidad atraves del tiempo, se debe al aumento de ventas que se tiene actualmente.

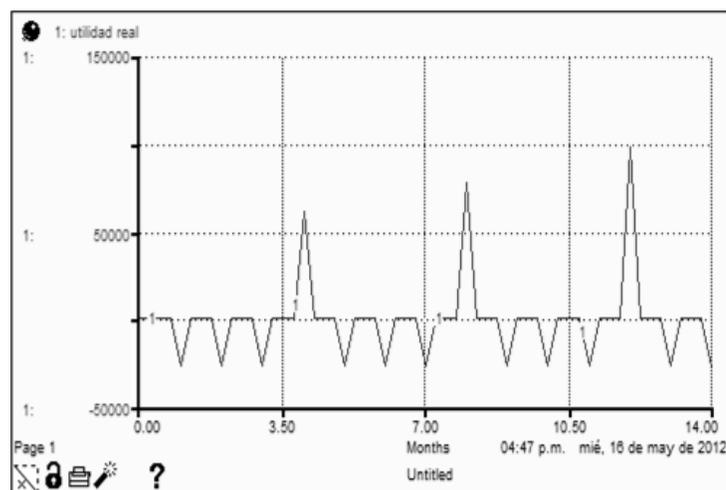


Figura 19. Utilidad compostaje.

Meses	ingresos	egresos	Utilidad real
0	0	0	0
1	0	6.750.00	-6.750.00
2	0	6.750.00	-6.750.00
3	0	6.750.00	-6.750.00
4	88.582.99	6.750.00	81.832.99
5	0	6.750.00	-6.750.00
6	0	6.750.00	-6.750.00
7	0	6.750.00	-6.750.00
8	105.179.11	6.750.00	98.429.11
9	0	6.750.00	-6.750.00
10	0	6.750.00	-6.750.00
11	0	6.750.00	-6.750.00
12	125.212.19	6.750.00	118.462.19

Tabla 9. Utilidad compostaje.

En comparacion con el modelo de compostaje notamos que el ciclo de espera de produccion es menor por tal razon se tiene una utilidad en el mes dos siendo casi la misma que el compostaje. Esto se debe por que la demanda es la misma para ambos modelos y la produccion de las dos logra satisfacer plenamente la demanda, asi como se observa en la figura 20 y en la tabla 10. Entonces los dos sistemas compostaje y vermicompostaje presentan un resultado de utilidad similar, como es visualizado en la figura 18 y 19 lo unico que varia es el ciclo ya que el vermicompostaje es mas corto comparado con el ciclo de compostaje.

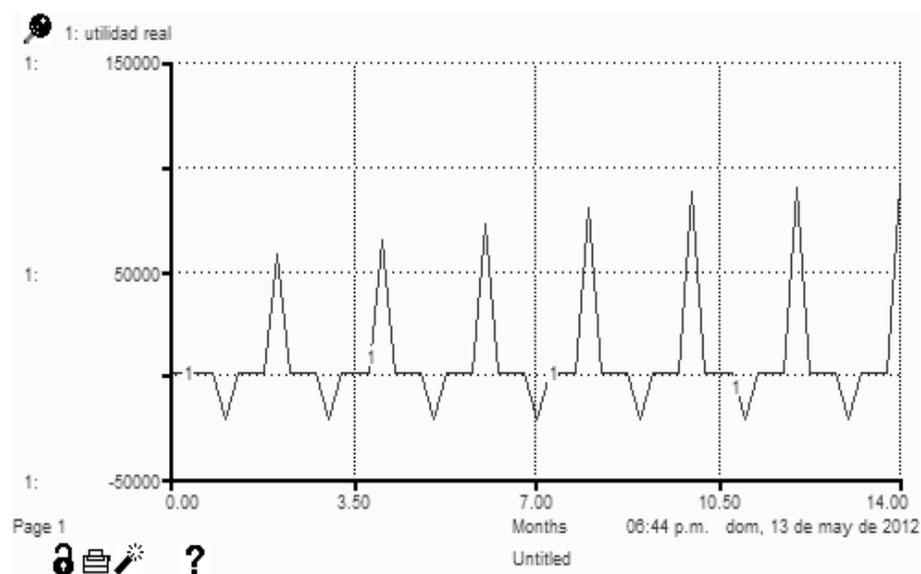


Figura 20. Utilidad vermicompostaje.

Meses	ingresos	egresos	Utilidad real
0	0	0	0
1	0	5.550.00	-5.550.00
2	79.284.22	5.550.00	73.734.22
3	0	5.550.00	-5.550.00
4	86.305.14	5.550.00	80.755.14
5	0	5.550.00	-5.550.00
6	94.010.80	5.550.00	88.460.80
7	0	5.550.00	-5.550.00
8	102.474.50	5.550.00	96.924.50
9	0	5.550.00	-5.550.00
10	109.536.52	5.550.00	103.986.52
11	0	5.550.00	-5.550.00
12	112.292.41	5.550.00	106.742.41

Tabla 10. Utilidad vermicompostaje.

El analisis del sistema de compostaje por medio del diagrama causal relacionano acertadamente las variables mas influyentes y despues de una clasificacion adecuada, se diseño el diagrama forrester el cual simula de forma aproximada la cadena de valor de compostaje y lombricultura.

El modelo forrester no solo funciona como una herramienta de simulacion sino tambien funciona como una herramienta de toma de desiciones o de control dentro del sistema de compostaje o lombricultura.

## 5. conclusiones

En este caso se concluye que una empresa de lombricultura o vermicompostaje puede satisfacer la demanda de la misma manera que el compostaje, obteniendo la misma utilidad. Siendo esta ultima un poco más costosa y produciendo una mayor cantidad de humus sin utilizar, generando sobreproduccion, estos resultados se basan con los datos dados inicialmente en el programa. Ademas de eso, estos modelos indican una oportunidad de generacion de empresa de lucratividad y principalmente sustentabilidad por aumentar la vida util de los rellenos sanitarios y permitir el reciclaje de nutrientes en la forma de abono organico.

## Referencias

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - **ABRELPE**. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2010. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 10 Nov. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ARLENE GOMES. Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico Cruz das Almas, BA Dezembro, 2005. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - **ABRELPE**. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2010. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 10 Nov. 2011.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde, **Resíduos sólidos e a saúde da comunidade: Informações técnicas sobre a inter-relação Saúde, Meio Ambiente e Resíduos Sólidos**. Brasília: Funasa, 2009. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br>>. Acesso em: 15 Nov. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Lei Nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: IBGE, 2010

BOLLO E. 1999. Lombricultura: una alternativa de reciclaje. Quito. Soboc Grafic. 149 p.

CLAUDIO CAVALCANTI. Compostagem: produção de adubo a partir de resíduos orgânicos / Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Belém: SECTAM, 2003.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **Fichas Técnicas**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 25 maio 2012.

CATERPILLAR INC. Catalogo de retroexcavadoras. 2008. disponible en **www.cat.com**

CASE CONSTRUCTION. Catalogo CCE-W20-E01. Disponible en [www.casece.com](http://www.casece.com)

DOMÍNGUEZ J., EDWARDS E., SUBLER S. 1997. A comparision of vermicomposting and composting. BioCycle 38(4):57-59.

- EDINETE MARIA DE OLIVEIRA. Influência das minhocas sobre as características químicas de composto, vermicomposto e solo. 2008.
- ELIANE MARAGNO; DAIANE TROMBIN. O uso da serragem no processo de minicompostagem
- KIEHL, E. J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Piracicaba: 4ª ed. 2004. 173p.
- LIENINE LUIZ ZAGHI JUNIOR. Carbon-to-nitrogen ratios for *Agaricus brasiliensis* on the axenic method. 2010
- MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA. E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, vol.12, n.4, p.355-360, out./dec. 2007.
- MARTÍNEZ C. 1996. Potencial de la lombricultura: elementos básicos para su desarrollo. A. Carballo; S. Bravo (eds). Texcoco, MX. 140 p.
- M. Sc FLORISVALDO GAMA DE SOUZA. Reciclagem de resíduos sólidos orgânicos
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual da Compostagem: Processo de Baixo Custo**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 81p.
- WORLD BANK, Tasa de crecimiento de población en Latinoamérica disponible en <[www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org)>

PRODUCCIÓN DE HUMUS A TRAVÉS DEL TRATAMIENTO DE  
BIOSÓLIDOS CON VERMICOMPOSTAJE, UNA MIRADA AL  
FUTURO  
PRODUCTION OF HUMUS THROUGH TREATMENT OF BIOSOLIDS  
WITH VERMICOMPOSTING, A LOOK TO THE FUTURE

Giset Natalia Montoya Moreno<sup>1</sup>,

John Alexander Buitrago<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial, Facultad de ingeniería, Auxiliar investigador Grupo TAYQUITE, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. [tayquite@unimilitar.edu.co](mailto:tayquite@unimilitar.edu.co), [u2901299@unimilitar.edu.co](mailto:u2901299@unimilitar.edu.co)

<sup>2</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial, Facultad de ingeniería, Auxiliar investigador grupo TAYQUITE, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. [tayquite@unimilitar.edu.co](mailto:tayquite@unimilitar.edu.co), [u2901329@unimilitar.edu.co](mailto:u2901329@unimilitar.edu.co)

**Resumen:** En este proyecto se realizó una investigación bibliográfica del estado del arte del vermicompostaje o lombricultura en Latinoamérica, específicamente en Colombia y Brasil con el objetivo de comparar el desarrollo de tratamiento de biosólidos con vermicompostaje. Los biosólidos se clasifican en A o B, de acuerdo a su composición química y biológica determinada por la EPA, la cual restringe su uso de acuerdo a los niveles de las diferentes sustancias que la componen, con el fin de evitar efectos nocivos. Para el tratamiento de biosólidos existen diferentes métodos de transformación, para convertir en un material útil, siendo de total beneficio para el suelo y el medio ambiente. Se pudo concluir que el vermicompostaje es una de las mejores alternativas y herramientas para el tratamiento de biosólidos a partir de una serie de fases que permite el aprovechamiento de esto.

**Palabras claves:** Vermicompostaje, Residuos Orgánicos, humus, biosólidos.

**Abstract:** This project conducted a literature search of vermicomposting or vermiculture status in Latin America, specifically Colombia and Brazil in order to compare the development of treatment of biosolids vermicomposting. Biosolids are classified as A or B, according to their chemical and biological composition determined by the EPA, which restricts their use according to the levels of different substances that compose it, to avoid adverse effects. For treatment of biosolids are different processing methods, for converting into a useful material, being of overall benefit to the ground and the environment. We concluded that vermicomposting is one of the best options and tools for the treatment of biosolids from a series of stages to exploiting this.

**Keywords:** Vermicomposting, Organic Waste, humus, biosolids.

### Introducción

La conservación del medio ambiente es una tendencia que se ha fortalecido no solo en Colombia si no a nivel mundial, con la generación de alternativas para la eliminación de residuos con el fin de reducir el impacto ambiental. Las aguas residuales presentan diferentes subproductos, dentro de los que podemos encontrar residuos sólidos, arenas y grasas, no obstante, en el proceso de tratamientos de estas aguas se obtienen residuos conocidos como lodos de depuración, los cuales presentan dificultades en su disposición final. Teniendo en cuenta su composición, se ha planteado la alternativa de usarlos como recuperadores de suelo, por lo cual se les da el nombre de

biosólidos (residuos del tratamiento de aguas que se considera como un material útil). Sin embargo, existen procesos que mejoran su condición físicoquímica y biológica como lo son: el proceso de vermicompostaje y compostaje. (1)

La problemática de los biosólidos depende en gran parte de la composición química que puedan tener, y la concentración de metales pesados y la presencia de microorganismos nocivos. (2) Esta técnica consiste en el proceso de cría y producción de lombrices el cual aprovecha los residuos orgánicos como sustrato y alimento para la lombriz, con el fin de producir abono y proteínas.

La producción de biosólidos a partir del tratamiento de aguas residuales en las diferentes plantas es una consecuencia al funcionamiento de la misma. En general los lodos o biosólidos son materiales orgánicos ricos en nutrientes óptimos para el medio ambiente, la sociedad, la economía y los reglamentos gubernamentales.

En este artículo se presenta una investigación bibliográfica del estado del vermicompostaje o lombricultura en Latinoamérica, específicamente en Colombia y en Brasil como alternativa para el tratamiento de biosólidos, concluyendo, que a pesar de las restricciones dadas por la agencia responsable del medio ambiente EPA, se pueden generar diversas alternativas a través de técnicas conocidas y la posibilidad de recuperarlo en un 100% convirtiéndolos en abono orgánico para la recuperación de suelos para la agricultura, entre otros. Los abonos orgánicos reemplazan los químicos, mejorando las condiciones de suelo sin causar la degradación del mismo.

#### REVISION DE LITERATURA

Según la EPA, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, los biosólidos son materiales orgánicos producidos a partir del tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden aportar beneficios al suelo, con el fin de abastecer de nutrientes y renovar la materia orgánica en el terreno. (3)

Los biosólidos se obtienen a partir de dos etapas mediante el proceso de depuración convencional: la decantación primaria, mediante la cual la gravedad separa las partículas que están suspendida en el agua y la decantación secundaria, en donde se separan del efluente los flóculos (grupos de materiales orgánicos) formado a partir un líquido existente en el reactor biológico, una parte de esto es recirculado para mantener la biomasa necesaria y el resto es extraído, como lodos secundarios. (4)

Existen diferentes procesos físicos usados para la separación, reducción de volumen y el peso de los biosólidos; proceso químico como la adición de químicos para transformar las características de los biosólidos; y proceso biológico, adición de biomasa para la estabilización de los biosólidos; proceso térmico, destrucción y detoxificación.

Tabla 1. Tratamiento de Biosólidos

<b>PROCESOS</b>		
<b>FISICOS</b>		<b>QUIMICOS</b>
<b>Espesamiento</b>	<b>Desaguado</b>	
Decantación	Filtración	Acondicionamiento
Flotación	Centrifugación	Neutralización
Centrifugación	Secado	Extracción
	Evaporación	Oxido- reducción
	Prensado	Estabilización
		Solidificación

Fuente del autor basado en NOSTRAND, V. 1990

El proceso físico en donde se logra el espesamiento y el desaguado de biosólidos: Espesamiento, se utiliza para reunir el contenido sólido a través de la eliminación en partes de fracción líquida, disminuyendo así su volumen, lo que conlleva a utilizar equipos de menor densidad, la operación es llevada a cabo a partir de la flotación, centrifugación y filtrado de banda por gravedad; proceso físico a partir de desaguado, reside en la exclusión de agua de lodo tanto como sea posible, es usada puesto que disminuye el costo de transporte, fácil manipulación, no genera olores. Basada en operaciones de filtración, centrifugación, secado, evaporación y prensado. La elección de alguno de los dos métodos depende de las características del lodo, del espacio disponible para la realización de dicha actividad.

En el proceso químico se adhieren elementos químicos a los lodos para generar estabilidad, se encuentran dos alternativas, la primera de ellas es el acondicionamiento químico el cual permite reducir la humedad del lodo entre 90-99% a un 65-85% según la naturaleza del sólido a tratar y como resultado de ello da una coagulación del sólido y la liberación del agua absorbida, entre los productos más utilizados se encuentran: cloruro férrico, la cal, la alúmina y polímeros orgánicos, los factores que afectan esta alternativa son sus propiedades (concentración de sólidos, edad, pH y alcalinidad), y el tipo de equipo que se utiliza en el mezclado y la deshidratación; la segunda alternativa es la estabilidad con cal, se usa con el fin de aumentar y mantener el pH 12 a partir de la adición de cal el beneficio de este método es que no se degrada la materia orgánica, no generan olores y se eliminan los microorganismos patógenos existentes.(5)

De acuerdo a la norma 40 CFR Part 503 de la EPA, los biosólidos se clasifican según el contenido de patógenos y el nivel de clases pesados en Clase A o Clase B. La primera se denomina biosólidos con calidad excepcional donde la densidad presentada en los coliformes fecales debe ser menor a 1000 NMP (numero más probable) g de sólido total o también la densidad de *Salmonella* sp. es menor a 3 NMP /4g de sólido total; los virus entéricos deben tener una densidad de menor o igual a 1UFC (Unidad formadora de colonia) /4g de sólido total y los huevos viables de helmintos deben ser menor a 1/ 4g de sólido total. Estos biosólidos no tienen ninguna restricción para su aplicación en cultivos agrícola y solo es necesario solicitar permiso para avalar la norma. La segunda clase debe tener una densidad de coliformes fecales inferior a  $2 \times 10^5$  NMP/ gramo de sólido total, esto se debe tener un tratamiento posterior para su estabilización y son los de mayor restricción para uso en suelos. (6) La tabla 2 muestra las características mencionadas.

Tabla 2. Valores límites por la EPA Norma CFR 40 parte 503 para biosólidos

Constituyentes	Concentración máxima (mg/kg)	Calidad microbiológica Tipo A*	Calidad microbiológica Tipo B**
Arsénico	75		
Cadmio	85		
Cobre	4300		
Plomo	840		
Mercurio	57		
Molibdeno	75		
Níquel	420		
Selenio	100		
Zinc	7500		
Microbiológico			
Coliformes fecales (UFC/g)		$< 10^3$	$< 2 \times 10^5$
<i>Salmonella</i> sp (UFC/g)		3/4	-
Huevos de helmintos/g		1/4	-

Fuente: EPA 2003

La clasificación según la concentración de materiales pesados, tiene en cuenta la máxima concentración de mg/kg de un contaminante inorgánico encontrado en el biosólidos que tendrá aplicaciones en suelo. Aquellos clasificados como Tipo A de calidad excepcional-EQ- poseen bajos niveles de contaminantes y no generan efectos negativos al medio ambiente; la concentración límite de contaminantes PC (Pollutant concentration) se refiere a la máxima concentración de

mg/kg de un contaminante inorgánico y pertenece a los biosólidos Tipo B, los cuales presentan bajos contaminantes y no representan amenaza a la salud pública, sin embargo, su uso debe restringirse en cultivos agrícolas. La carga acumulativa de contaminantes debe cumplir con los niveles establecidos, como se observa en la Tabla 3. (7)

Tabla 3 Límites de sustancias aplicables al suelo

Contaminante	Concentraciones máximas para biosólidos aplicados al terreno	Concentraciones límite para biosólidos <sup>1</sup> EQ y PC (mg/kg)	Cargas acumulativas para biosólidos CPLR (Kg/Ha)	Tasas anuales de aplicación de contaminante para lodos <sup>1</sup> (mg/kg) APLR (kg/ha/año)
Arsénico	75	41	41	2,0
Cadmio	85	39	39	1,9
Cromo <sup>2</sup>	3000	1200	3000	150
Cobre	4300	1500	1500	75
Plomo	840	300	300	15
Mercurio	57	17	17	0,85
Molibdeno <sup>3</sup>	75	-	-	-
Níquel	420	420	420	21
Selenio <sup>2</sup>	100	36	100	5,0
Cinc	7500	2800	2800	140
Aplicado a:	Todos los biosólidos que son aplicados al terreno	Biosólidos en volumen y empaçados	Biosólidos en volumen	Biosólidos empaçados <sup>4</sup>

Fuente: EPA 1995

Las ventajas de la aplicación de biosólidos en el suelo es una forma óptima de reciclaje, ya que estos biosólidos incorporan nutrientes y mejoran sus condiciones, favoreciendo el desarrollo de la vegetación, a su vez, disminuyendo la inversión de capital para la compra de insumos. (8) Aun que la inversión de capital es relativamente baja una de las desventajas es que se necesita de mano de obra para el trabajo en maquinaria, supervisión, entre otros. Los biosólidos no se pueden aplicar en climas con temperatura menor a 0°C. Los olores generados por los biosólidos son considerados como otra desventaja, ya que los entes de control y la población cercana puede presentar oposiciones, limitando, prohibiendo o evitando su uso. (9) Para este control la EPA ha creado control de olores para las entidades productoras de biosólidos a partir planes de mitigación de olores en el cual deben estar los lineamientos y las políticas para la documentación y la respuesta a quejas referentes a olores, los métodos son: el estabilizar y manejar bien los biosólidos, selección de campos alejados de la población, aplicación de materiales bien estabilizados, limpiar diariamente los tanques, camiones y quipos, minimización de almacenamiento de biosólidos entre otros. (10)

En Colombia actualmente se generan 274t/día de biosólidos (94 t base seca). El 97% de esto son generadas en tres plantas: el Salitre, Cañaveralejo y San Fernando. El control de biosólidos se fundamenta en análisis físicos, químicos y microbiológicos, tal como se observa en la tabla 4 donde se muestra los parámetros adoptados por cada una de las plantas nombradas. (11)

Tabla 4. Características físicas de las PTAR Colombia

Parámetro	Biosólidos PTAR El Salitre Datos Sep 2000 – Dic 2002	PTAR San Fernando (Medellín) Datos de 2003	PTAR Cañavalejo (Cali) Datos de 2003	PTAR Río Frío (Bucaramanga) Datos de 2003
Humedad (%)	67	68	66	29
Sequedad (%)	33	32	34	71
Producción Toneladas/día (Base húmeda)	130	80	60	2
Producción Toneladas/día (Base seca)	43	28	20	1.4

Fuente GIAN DAGUER 2003

En Colombia se tienen algunos antecedentes para el manejo de biosólidos como la resolución 822 de 1998 donde le da la definición del término “lodo biológico. La Resolución 1096 de 2000, da una definición del término “biosólido” pero no reglamenta su gestión. Asimismo, se está estudiando un borrador presentado en Marzo del 2003 por los operadores (BAS, EMCALI y EPPM) de las 3 plantas más grandes del país en donde indican una serie de regulaciones en las que están incluidas el énfasis en los usos benéficos del biosólido frente a las opciones de disposición, divulgación de una norma aplicable en un medio como el nuestro, en el cual no se cuenta con desarrollo normativo sobre el tema, entre otros. (12)

En Brasil se produce alrededor 228,41 t/día de residuos, el 25% de esto no tienen ningún tipo de control gubernamental. La composición según el servicio brasileiro de respuesta técnica (SBRT), es de: 52% residuos orgánicos, 28% papel, 6%plástico, 6%otro, 5% metal y 3%vidrio, siendo recuperable la mayor parte mediante el uso de técnicas como el compostaje para la obtención de abono orgánico. (13) Brasil tiene el 45% de biosólidos esta como relleno en tierra, el 5,6 % en la agricultura y el resto es indefinido. La región de Sao Paulo genera alrededor de 320 t/ d de biosólidos que envía a rellenos sanitarios provenientes de cinco plantas de tratamientos de aguas residuales-PTRAR- (Barueri, Suzano, Parque Novo Mundo, ABC y São Miguel), todas utilizan proceso de lodos activados, teniendo una capacidad de 52 m<sup>3</sup>/s correspondiente a 749 t/día. En la tabla 5 se presenta la producción de biosólidos y su proyección para el año 2015 en la Zona Metropolitana de São Paulo, operado por SABESP (14)

Tabla 5. Producción diaria de los biosólidos en la ETEs o PTAR de RMSP (Región Metropolitana de Sao Paulo) en toneladas por día.

Ano	ETE Barueri	ETE Suzano	ETE ABC	ETE São Miguel	ETE Parque Novo Mundo	Total Produção diária, base seca (t/d)
2000	133	14	47	23	78	295
2005	221	22	80	53	164	540
2010	286	32	103	71	219	711
2015	303	32	106	77	231	749

Fuente SABESP 1998

Brasil se rige por la norma 40 CFR Part 503 de la EPA, en donde se recomienda 11 procesos para el tratamiento de lodos y reducción de patógenos para transformarlos en Clase A o B. En la tabla 6 se analiza la concentración de patógenos en diversas PTAR de Brasil, en general los biosólidos producidos están clasificados en Clase B.

Tabla 6. Concentración de patógenos en Biosólidos producidos por las PTAR de Brasil

ETE	Concentração de patógenos			
	Coliformes fecais NMP/g	Salmonella sp NMP/4g	Helmintos Ovos viáveis/4g	Cistos de protozoários NMP/g
ETE Banerri (São Paulo – SP)	5,4	Ausente	1,25	Ausente
ETE Suzano (São Paulo – SP)	<3,0	Ausente	Presente em 50% das amostras	Presente em 25% das amostras
ETE ABC (São Paulo – SP)	3.520	N.D.	N.D.	N.D.
ETE Franca (Franca – SP)	760.000	3,1	3,6	0,2
ETE Belém (Curitiba – PR)	864.000	Presente em 17% das amostras	17,2	0,1
ETE Brasília (Brasília – DF)	1.000.000	N.D.	16	N.D.

Fuente CETESB 1998

#### IMPLEMENTACION DE SOLUCIONES

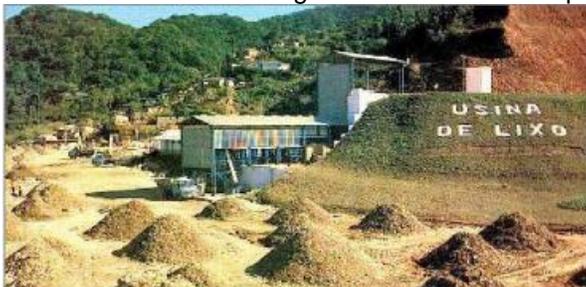
Para recuperar los residuos orgánicos se están implementando dos técnicas el compostaje y el vermicompostaje.

El Compostaje es un proceso de reciclaje de residuos orgánicos como restos de vegetales, animales y excrementos mediante el cual ésta es sometida a fermentación, controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas, útil para la agricultura conocida como compost.

Maneja 4 fases: la primera fase se denomina mesofílica, puesto que se caracteriza por la presencia de hongos y bacterias que están a temperatura ambiente, los cuales se multiplican y consumen los carbohidratos; la segunda fase se denomina termófila, ya que la temperatura se incrementa de 40 a 60°C, eliminando microorganismos nocivos e inicia la transformación del nitrógeno en amoníaco; la tercera fase corresponde al enfriamiento, donde la temperatura disminuye hasta igualar a temperatura ambiente, esto permite que los hongos termófilos realicen la degradación de la celulosa; y por último la fase de maduración con duración de 20 días donde se disminuye la actividad metabólicas.(15)

En la Figura 1 se puede observar una de fábrica de compostaje ubicadas en Brasil, en donde el porcentaje de materia orgánica es de 90%, el volumen de materia orgánica procesada es de 1,8 t/día, el porcentaje de compostaje producido es de 30% de residuos orgánicos y el volumen de compostaje producido es de 540 kg/día.

Figura 1. Fabrica de compostaje Brasil Petropolis, RJ



Fuente SANDOVAL. 2006

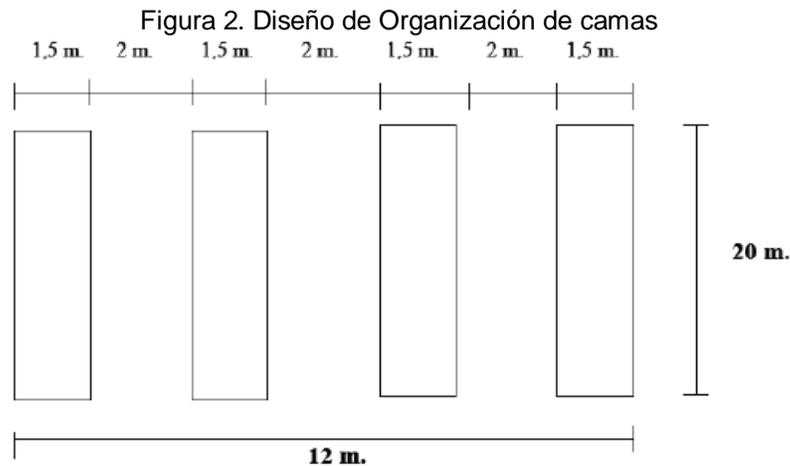
La segunda técnica manejada es el sistema de vermicompostaje o lombricultura, este, es un proceso que utiliza el uso de lombrices dirigido a convertir el material orgánico y los agregados de suelos (16) Se inicio en EEUU en la década de los 50, se extendió a Europa y finalmente hacia el resto del mundo. En el proceso se aplican diferentes normas y técnicas específicas para la producción, en esta de aconseja el uso de la especie Eisenia foetida. (17)

Aproximadamente en el mundo existen 8000 especies de lombrices, de las cuales solo se conoce un 50%, y muy pocas son utilizadas para actividades económicas como la especie Eisen foetida (lombriz roja californiana) siendo la más usada para el proceso de Vermicompostaje, debido a que tiene una capacidad extraordinaria de reproducción y permite al lombricultor amortizar el capital invertido en un plazo razonable. (18)

Se pueden usar diferentes sustratos para el desarrollo de la lombriz. El estiércol, ya que funciona como una fuente de microorganismos y promoviendo reducción en el tiempo de maduración del compostaje, favorecer la descomposición de los residuos (19). Además constituye una opción de bajo costo y accesible un ejemplo de esto es: Santo Angelo Agricultor brasilero comenta lo siguiente “suspendí el uso de abono químico, cuando vi que el humus, además de ser natural, presenta un costo menor de producción, porque la materia prima se da en abundancia” (20).

En Colombia al igual que en Brasil y otras partes del mundo se tienen estándares para el montaje de los sistemas de producción de humus siendo estos parámetros:

1. El sistema consiste en la construcción de camas, las cuales deben tener 1,5m por 20m, organizarlas dejando un espacio entre ellas entre 50cm a 2 m como se muestra en la figura 2.



Fuente DIAZ. E. 2002

2. Se pueden construir camas (en diversos materiales) los más utilizados son plástico, bloques de hormigos, ladrillos entre otros. En algunos casos se hace una estructura de madera con una cobertura de plástico, esta ayuda a mantener la humedad.

3. La altura 40 cm con el fin de permitir la aireación del sistema y la compactación del sustrato El objetivo es lograr que los individuos de E. foetida pueda desarrollarse y transformar los residuos en algunos casos se realizan cambios en la estructura para que los individuos pasen de una cama a otra cama a medida que consuma el alimento. En la tabla 7 se muestra la producción de E. foetida. (21)

La especie E. foetida o lombriz Roja Californiana es la mas utilizada en Colombia. La temperatura optima es de 25 °C, pero si esta temperatura fue precedida de un período de crecimiento normal a 25-28 °C durante un mes o más el desarrollo puede continuar a 32 °C. La temperatura crítica a la

cual se produce su muerte es de 33,3 °C, El contenido de humedad óptimo de estas especies es del 80-85%. (22)

En condiciones optimas su ciclo de vida es de 45 a 51 días, Los juveniles alcanzan la madurez en 21-30 días. Las cópulas ocurren cerca de la superficie y la puesta comienza en torno a las 48 h después de la cópula. La tasa de producción es de 0,35-0,5 capullos por día. La viabilidad de eclosión es del 72-82%, y el tiempo de incubación oscila entre 18 y 26 días. El número de descendientes por capullo varía entre 2,5- 3,8 dependiendo de la temperatura. La máxima esperanza de vida se sitúa en 4,5-5 años (Herlant-Meewis 1967).

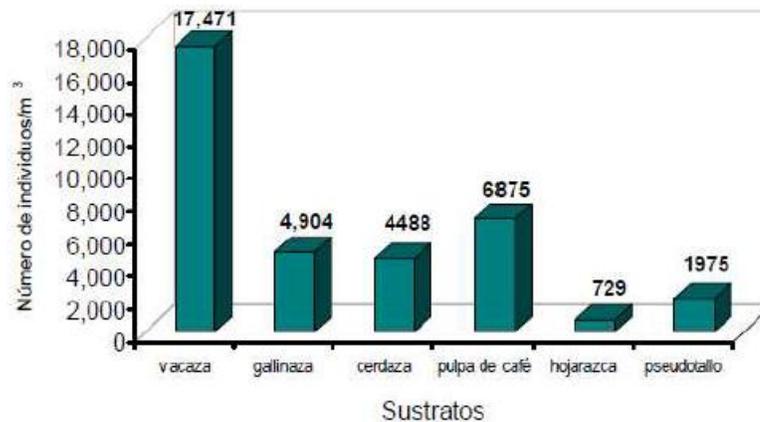
Tabla 7. Producción de la E. foetida

0 mes	a los 3 meses	a los 6 meses	a los 9 meses	a los 12 meses
población inicial de lombrices	1º generación	2º generación	3º generación	4º generación
1000	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000
lombrices 1kg	10	100	1.000	10.000
alimento 1kg/día	10	100	1.000	10.000
Lombricompuesto 0,6kg /día	6	60	600	6.000
proteína 0,04kg/día	0,4	4	40	400

Fuente DIAZ. E. 2002

El vermicompostaje se ha realizado con diferentes tipos de residuos orgánicos como lo son bovinaza, gallinaza, cerdaza, pulpa de café, hojarasca, pseudotallos.

Figura 3. Capacidad de reproductividad de E. Foetida en diferentes sustratos



Fuente: RODRIGUEZ. 1996

En la figura 3 se muestra como la vacaza, cerdaza y pseudotallo son sustratos de un nivel intermedio. La gallinaza pudo influir en el consumo de la lombriz por su alto contenido de aserrín lo que dificultó su consumo, el pseudotallo y la hojarasca al tener un alto contenido de fibra no son de consumo para la lombriz, entonces lo más recomendado para la lombriz, por lo cual se recomienda usar bovinaza ya que favorece el desarrollo de la especie. (23)

El procesamiento de residuos orgánicos en Colombia se realiza a partir de 3 métodos mostrados en la siguiente figura, arrojando como resultado que la técnica más utilizada es el compostaje con 54%

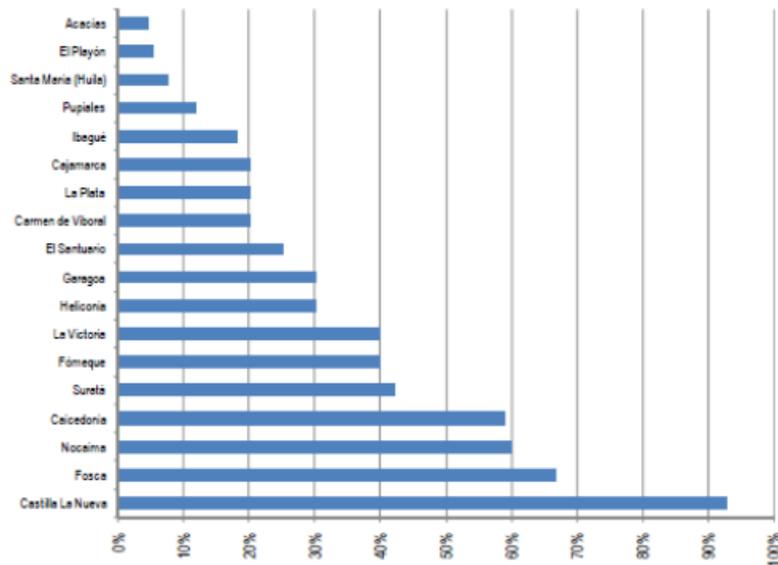
Figura 4. Métodos para el procesamiento de residuos orgánicos



Fuente: CORREAL, Magda. 2008.

El rendimiento de producción de humus (relación toneladas de orgánicos sometida a procesamiento a toneladas de producto obtenido) de las diferentes ciudades se encuentra en la figura 5:

Figura 5. Rendimiento de producción de Humus en algunas ciudades de Colombia

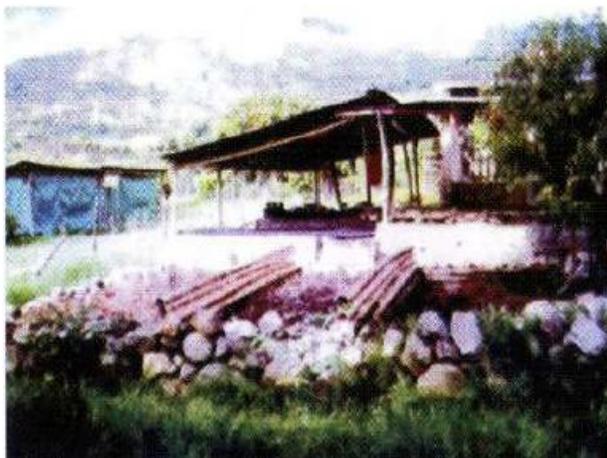


Fuente: CORREAL, Magda. 2008

Algunos antecedentes del proceso de vermicompostaje en Colombia correspondiente a CORPOICA sede en Palmira, Valle, donde se implementó la transformación de los residuos orgánicos aprovechando el potencial de la lombriz. En este proyecto se desarrollaron módulos bajo techo como se ve en la figura 6.

Utilizando madera y sobrantes de las fincas.

Figura 6. Fotos de Vermicompostaje

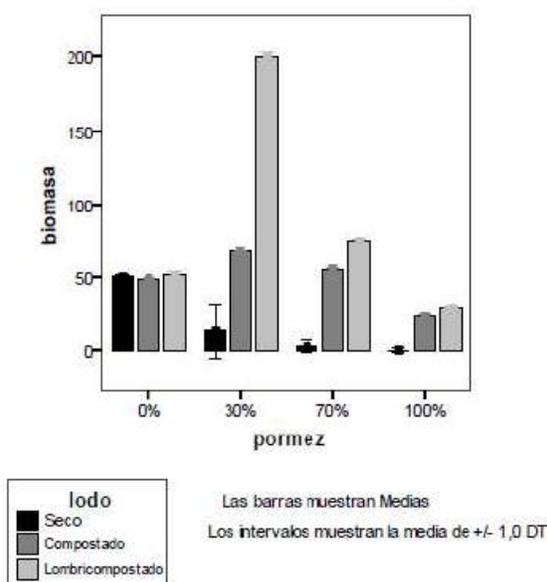


Fuente ACEVEDO, C. 2006.

También se han adelantado proyectos de producción y comercialización de productos obtenidos a partir de los vermicultivos en Duitama (Boyaca) correspondientes al estudio de factibilidad para la creación de microempresas, estudiando el mercado, el aspecto financiero y las diferentes técnicas utilizadas. (24)

Sin embargo en Pereira se han realizado investigaciones con el fin de formular un programa de manejo integral de biosólidos generados en la Residuales PTAR de la Universidad Tecnológica de Pereira, para convertirlos en un material útil que pueda ser usado dentro de las áreas verdes de la Universidad. Para cumplir con esto, se plantearon diferentes técnicas para el manejo de lodos como: secado, compostaje y lombricompostaje, evaluando la calidad de los materiales obtenidos mediante la realización de pruebas fisicoquímicas. Como se muestra en la Figura 7 el humus produjo una mayor biomasa; en la proporción 30% lombricompost, 70% suelo, se obtuvo el mayor rendimiento. Concluyendo que el humus fue el producto que mostró un mejor desempeño como mejorador de suelos, de acuerdo a características físicas, químicas y biológicas que le confieren alta estabilidad, baja toxicidad, ausencia de microorganismos patógenos y producción de biomasa. (25)

Figura 7. El lombricompost



Fuente GRAJALES, S. 2006.

En este orden se concluye que el humus es la mejor alternativa para el tratamiento de residuos orgánicos y que de acuerdo al análisis estadístico que se puede emplear es la mejor opción para condiciones de suelo de las áreas verdes y de jardines.

En la Universidad Militar Nueva Granada se adelantan proyectos para el manejo de residuos orgánicos, mediante el uso de un sistema de vermicompostaje, especialmente con el tratamiento de biosólidos producidos en la Universidad Militar Nueva Granada. La metodología que se ha llevado a cabo corresponde a evaluaciones físicas, químicas y biológicas durante el proceso de vermicompostaje. Obteniendo estabilizar el biosólido de tal manera que el humus que se obtuvo presenta condiciones similares al compost maduro, siendo apto para la germinación y favorecimiento en el desarrollo vegetal por la degradación de la materia orgánica, convirtiéndola en abono óptimo para la nutrición de las plantas.

Figura 8. Contenedor piloto de lombricultura de la UMNG



Fuente PORRAS, A. 2010

En Brasil esta técnica se implementa desde 1983 y el incremento de su uso ha sido de 50% aprox. en los últimos 5 años. Según Ángel Arthur Martínez en el año 2011, la lombricultura en la ciudad de Campinas, Sao Paulo es una industria lucrativa que proporciona una ganancia del 120% para las empresas o microempresas que trabajan en esta actividad; ya que es un sistema de fácil manejo, además las condiciones necesarias para el desarrollo de la lombriz son de fácil manejo; la materia prima utilizada son: restos de vegetales, estiércol de animales, residuos domiciliarios, el sistema de lombricultura es hecho a partir de bambú. (26)

Según la legislación federal sobre los fertilizantes en Brasil la ley 6934 de 13/07/81, informa que el producto de origen vegetal o animal que aplica al suelo de forma correcta, mejora las cualidades físicas, químicas y biológicas de suelo, aplicándose para el fortalecimiento de las plantas. Teniendo en cuenta que los insumos orgánicos se pueden producir a partir de: vermicompostaje. Se han realizado diferentes proyectos en Brasil con el fin de mejorar y llevar a cabo la legislación antes mencionada como:

El proyecto se desarrollo en Curitiba, PR conducida por el departamento de suelos e ingeniería agrícola de la Universidad Federal de Parana (UFPR), realizando dos diferentes experimentos con

las lombrices *Eisenia Andrei* y la *Eudrilus eugeniae* con el objetivo de seleccionar la mejor especie a implementar en un sistema evaluando su rendimiento para ser aplicado en las poblaciones aledañas a la Universidad, y generar un producto de calidad, en el cual se obtuvo la especie *E. andrei*, presento un mejor aprovechamiento de los residuos aumentando su biomasa en un 130% con altas tasas de remanencia (80%) mientras que la *E. eugeniae* presento un aprovechamiento de 50% y tasa de remanencia de 1 a 50% y perdiendo una biomasa del 90%. (27)

En la ciudad de Pelotas también se han implementado guías para la producción de humus en la agricultura familiar dando parámetros para la crianza de la lombriz, siendo el primer paso escoger la locación y la construcción de las camas a usar, las cuales varían en estructura al sistema tradicional como se muestra en la figura 9. Estas fueron construidas en un galpón reformado hecho con camas de ladrillo y piso de concreto conservando las medidas que se utilizan en el sistema tradicional. En la figura 10 se muestra un sistema de cultivo alterno, el cual se desarrolla dependiendo de la disponibilidad de herramientas realizando cambios en el medio, para este caso se usaron camas de 85cm de largo, 1.20m de longitud y 30 cm de altura utilizando 8 estacas de bambú con una longitud de 50 cm (los bordes deben estar biselados), 6 postes de bambú de 1m de largo aprox. y para el revestimiento 1.40 m de caña de bambú para ser utilizado en tierra.

Figura 9. Sistema de cultivo de lombrices en Pelotas, RS. Fuente Schiedeck, G. 2006.



Figura 10. Camas de lombricultura de Pelotas, RS



Fuente Schiedeck, G. 2006.

Otra de las variables a tener en cuenta es la alimentación y el manejo del sistema de camas. En esta región se usa el estiércol bovino, ya que es un sustrato fácil de obtener y económico, el proceso completo de obtención de humus dura 3 meses dependiendo de las condiciones climáticas que se tengan. (28)

Otro proyecto desarrollado en Seropedica, RJ plantea una técnica donde se usa el compostaje seguido de un proceso de vermicompostaje, esto como resultado de estrategias creadas por la población local para mejoramiento de la calidad del abono, como se muestran en la figura 11 y 12,

en donde se plantean camas con mallas de forma cilíndrica de 80 cm de altura y 70 cm de diámetro, la temperatura con la que inicia es de 60°C, se debe esperar a igualar la temperatura ambiente, y así luego de 30 días cuando se tiene un estado de descomposición inicial se lleve a cabo el vermicompostaje para la maduración del compuesto y la formación de humus. En el vermicompostaje además de la especie *E. Foetida*, se usan las especies *E. andrei* y la *E. Eugeniae* dependiendo del elevado contenido de materia orgánica. El uso del producto final es utilizado en todos los cultivos y plantas de la zona. (29)

Figura 11. Formas de apilar los residuos orgánicos en Seropedica, RS



Fuente Aquino, A. 2005.

Figura 12. Formas de apilar los residuos orgánicos en Seropedica, RS



Fuente Aquino, A. 2005.

Muchas de los avances del vermicompostaje son dados a conocer mediante artículos en prensa, para resaltar el trabajo de las poblaciones que los desarrollan y las adaptan a su estilo de vida. Uno de ellos es el artículo relacionado con “Minhocas nossas amigas” (lombrices nuestras amigas) correspondiente a un proyecto pionero de la estación de tratamientos de residuos en la Quinta de Mato, en donde se usan cerca de 5 millones de lombrices para digerir los residuos orgánicos, este proyecto tiene un valor de 18 millones de euros y se implemento para cumplir las metas de convertir 300 t/año en abono para el año 2016, y así pagar el 81% del crédito obtenido. (30)

## CONCLUSIÓN

Los principales países productores de biosólidos de América Latina son Chile, Brasil, Colombia, Argentina y Ecuador. Estos, cuentan con grandes explotaciones industriales de *E. Foetida*. Esta técnica permite el mejoramiento de la textura y estructura del suelo, sustituyendo la fertilización química, activando los procesos biológicos del suelo.

Aunque las leyes en Brasil son mas rigurosas que en Colombia, en este ultimo ya se esta viendo una cultura hacia este tipo de técnicas y el tratamiento de residuos orgánicos, iniciando con el desarrollo de legislaciones estipulada por el ministerio de agricultura para la mejora del proceso y su implementación en el país.

## REFERENCIAS

1. NADOLNY, H. Reprodução e Desenvolvimento Das Minhocas Em Resíduos Orgânicos Domésticos. Curitiba- BR. 2009. P, 10.
2. MAHAMUD, M. Biosólidos generados en La depuración de aguas (I): Planteamiento Del problema. Oviedo-ESP. 2006.
3. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Folleto informativo de tecnología de biosólidos, Aplicación de biosólidos al terreno. Estados Unidos. 2000.
4. MAHAMUD, M. GUTIERREZ, A. SASTRE, H. Biosólidos generados en La depuración de aguas planteamiento Del problema. Oviedo-ESP. 2006.
5. CORTEZ, E. Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana. Santiago de Chile- CHILE. 2003.
6. VELEZ, J. Los biosólidos: ¿una solución o un problema?. Medellín-Col. 2007.
7. QUICHIA, A. CARMONA, D. Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales combinada. Medellín-Col. 2004.
8. VELEZ, J. Los biosólidos: ¿una solución o un problema?. Medellín-Col. 2007
9. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Folleto informativo de tecnología de biosólidos, Aplicación de biosólidos al terreno. Estados Unidos. 2000
10. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Folleto informativo de biosólidos y residuos, Control de olores en el manejo de biosólidos. Estados Unidos. 2000
11. VELEZ, J. Los biosólidos: ¿una solución o un problema?. Medellín-Col. 2007
12. TORRES, P. MADERA, C. MARTINEZ, G. Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas para aprovechamiento agrícola. Colombia. 2008.
13. NADOLNY, H. Reprodução e Desenvolvimento Das Minhocas Em Resíduos Orgânicos Domésticos. Curitiba- BR. 2009. P, 14.
14. TOMOYUKI, M. Qualidade de biossólidos produzidos em estações de tratamentos de esgotos da região metropolitana de São Paulo. São Paulo-BR. 2001.
15. ZAPATA, L. JARAMILLO, G. Aprovechamiento De Los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Medellín- COL. 2008. P, 35.
16. ZAPATA, L. JARAMILLO, G. Aprovechamiento De Los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Medellín- COL. 2008. P, 21
17. DIAZ. E. Guia de Lombricultura. La Rioja. 2002.
18. ALMEDI, G. SCHIEDDECK, G. MALOVA, J. MAGALHAES, R. SCHEWENGBER, J. Produção De Casulos E Crescimento De Minhocas Eisenia Fétida Savigny Em Condição De Isolamento. Caxambu- BR. 2007.
19. CAMPANA, D. MARIA, A. ZONTA, E. LIMA, E. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliários com esterco bovino para a produção de insumos orgânicos. Rios de Janeiro- BR. 2007.
20. RENATO, P. Vermicompostagem reduz custos. Jurnal Rural. 2003
21. DIAZ. E. Guia de Lombricultura. La Rioja. 2002. P, 22.
22. DOMINGUEZ, J. GOMEZ, M. Ciclos De Vida De Las Lombrices De Tierras Aptas Para El Vermicompostaje. Xalapa, Mexico. 2010. P, 13.
23. RODRIGUEZ, A. Producción y calidad de abono orgánico por medio de La lombriz roja californiana (Eisen Foetida) y su capacidad reproductivo. Nance- HON. 1996.
24. Vermicultura En Colombia en: <http://organicsa.net/vermicultura-en-colombia.html>
25. GRAJALES, S. MONSALVE, J. CASTAÑO, J. Programa de Manejo Integral De los lodos Generados En la Planta De Tratamiento De Agua Residuales De La Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira- COL. 2006.

26. BORGUES, P. Criação de minhocas. Campinas- BR. 2011.
27. NADOLNY, H. Reprodução e Desenvolvimento Das Minhocas Em Resíduos Orgânicos Domésticos. Curitiba- BR. 2009
28. SCHIEDECK, G. CONÇALVES, M. SCHWENGER, J. Minhocultura e produção de húmus para a agricultura familiar. Pelotas-BR. 2006
29. AQUINO, M. GOMEZ, A. CAMPANA, D. Integrando compostagem e vermicompostagem reciclagem de resíduos orgânicos domésticos. Seropédica- BR. 2005.
30. FERNANDEZ, J. Minhocas nossas amigas, jornal o comercio. Brasil. 4 de Março de 2009

## 11. CONCLUSIONES

El análisis del sistema de compostaje por medio del diagrama causal relacionano acertadamente las variables mas influyentes y despues de una clasificacion adecuada, se diseño el diagrama forrester el cual simula de forma aproximada la cadena de valor de compostaje y lombricultura.

El modelo forrester no solo funciona como una herramienta de simulacion sino tambien funciona como una herramienta de toma de desiciones o de control dentro del sistema de compostaje o lombricultura.

En este caso se concluye que una empresa de lombricultura o vermicompostaje puede satisfacer la demanda de la misma manera que el compostaje, obteniendo la misma utilidad. Siendo esta ultima un poco más costosa y produciendo una mayor cantidad de humus sin utilizar, generando sobreproduccion, estos resultados se basan con los datos dados inicialmente. En el programa.

## BIBLIOGRAFÍA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - **ABRELPE**. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2010. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 10 Nov. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ARLENE GOMES. Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico Cruz das Almas, BA Dezembro, 2005. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - **ABRELPE**. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2010. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 10 Nov. 2011.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde, **Resíduos sólidos e a saúde da comunidade**: Informações técnicas sobre a inter-relação Saúde, Meio Ambiente e Resíduos Sólidos. Brasília: Funasa, 2009. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br>>. Acesso em: 15 Nov. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Lei Nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: IBGE, 2010

BOLLO E. 1999. Lombricultura: una alternativa de reciclaje. Quito. Soboc Grafic. 149 p.

CLAUDIO CAVALCANTI. Compostagem: produção de adubo a partir de resíduos orgânicos / Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Belém: SECTAM, 2003.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRES. **Fichas Técnicas**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/>>. Acesso em: 25 maio 2012.

CATERPILLAR INC. Catalogo de retroexcavadoras. 2008. disponible en **www.cat.com**

CASE CONSTRUCTION. Catalogo CCE-W20-E01. Disponible en [www.casece.com](http://www.casece.com)

DOMÍNGUEZ J., EDWARDS E., SUBLER S. 1997. A comparison of vermicomposting and composting. BioCycle 38(4):57-59.

EDINETE MARIA DE OLIVEIRA. Influência das minhocas sobre as características químicas de composto, vermicomposto e solo. 2008.

ELIANE MARAGNO; DAIANE TROMBIN. O uso da serragem no processo de minicompostagem

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (**FUNASA**). Compostagem familiar. / Fundação Nacional de Saúde - Brasília: Funasa, 2009.

KIEHL, E. J. **Manual da Compostagem**: Maturação e Qualidade do Composto. Piracicaba: 4ª ed. 2004. 173p.

LIENINE LUIZ ZAGHI JUNIOR. Carbon-to-nitrogen ratios for *Agaricus brasiliensis* on the axenic method. 2010

MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, vol.12, n.4, p.355-360, out./dec. 2007.

MARTÍNEZ C. 1996. Potencial de la lombricultura: elementos básicos para su desarrollo. A. Carballo; S. Bravo (eds). Texcoco, MX. 140 p.

M. Sc FLORISVALDO GAMA DE SOUZA. Reciclagem de resíduos sólidos orgânicos

PEREIRA NETO, J. T. **Manual da Compostagem**: Processo de Baixo Custo. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 81p.

WORLD BANK, Tasa de crecimiento de población en Latinoamérica disponible en <[www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org)>

## ANEXOS

### FORMULACIÓN MATEMÁTICA

#### SECTOR INVENTARIOS

$\text{inventario}(t) = \text{inventario}(t - dt) + (\text{entrada} - \text{salida}) * dt$   
INIT inventario = 0

INFLOWS:

$\text{entrada} = \text{produccion\_real}/5$

OUTFLOWS:

$\text{salida} = \text{venta\_real}$

$\text{inventario\_final} = \text{entrada} - \text{salida}$

#### SECTOR JORNALES

$\text{trabajadores}(t) = \text{trabajadores}(t - dt) + (\text{trabajadores\_necesarios} - \text{trabajadores\_no\_necesarios}) * dt$   
INIT trabajadores = 0

INFLOWS:

$\text{trabajadores\_necesarios} = \text{numero\_de\_trabajadores} + \text{personal\_administrativo}$

OUTFLOWS:

$\text{trabajadores\_no\_necesarios} =$

$\text{INT}(\text{PULSE}(\text{trabajadores\_necesarios} * \text{tasa\_de\_despido}, 12, 12) - 2)$

$\text{contratacion\_personal} = \text{IF}(\text{trabajadores\_no\_necesarios} > 0)$

$\text{THEN}(\text{trabajadores\_no\_necesarios}) \text{ ELSE}(0)$

$\text{costo\_trabajadores} = \text{numero\_de\_trabajadores} * \text{precio\_mes\_de\_trabajo}$

$\text{numero\_de\_trabajadores} = \text{IF}(\text{terreno\_a\_trabajar} \leq 10000) \text{ THEN}(7) \text{ ELSE} ($

$\text{IF}(\text{terreno\_a\_trabajar} > 10000 \text{ AND } \text{terreno\_a\_trabajar} \leq 40000) \text{ THEN}(9) \text{ ELSE}($

$\text{IF}(\text{terreno\_a\_trabajar} > 40000 \text{ AND } \text{terreno\_a\_trabajar} \leq 70000) \text{ THEN} (12)$

$\text{ELSE}(\text{IF}(\text{terreno\_a\_trabajar} > 70000 \text{ AND } \text{terreno\_a\_trabajar} \leq 90000) \text{ THEN}(16)$

$\text{ELSE} (20))$

$\text{personal\_administrativo} = 3$

$\text{precio\_mes\_de\_trabajo} = 800$

$\text{salario\_administrativo} = 2000$

$\text{tasa\_de\_despido} = 0.10$

$\text{total\_costo\_salario} =$

$\text{costo\_trabajadores} + (\text{personal\_administrativo} * \text{salario\_administrativo})$

$\text{total\_trabajadores} = \text{trabajadores\_necesarios} - \text{trabajadores\_no\_necesarios}$

#### SECTOR MAQUINARIA

$\text{maquinariad}(t) = \text{maquinariad}(t - dt) + (\text{maquinaria\_necesaria} - \text{baja}) * dt$   
INIT maquinariad = 0

INFLOWS:

$\text{maquinaria\_necesaria} = \text{numero\_de\_equipos\_2} + \text{numero\_de\_equipos\_1}$

OUTFLOWS:

$\text{baja} = (\text{PULSE}(2, \text{vida\_util}, \text{vida\_util}))/4$

$\text{compra\_de\_equipos} = \text{IF}(\text{baja} > 0) \text{ THEN}(\text{baja}) \text{ ELSE}(0)$

```

maquinaria_real = IF(maquinaria__necesaria-baja<0) THEN(0)
ELSE(maquinaria__necesaria-baja)
numero_de__equipos_1 = IF(terreno_a_trabajar>=10000 AND
(terreno_a_trabajar<=20000)) THEN ( 1) ELSE ( IF(terreno_a_trabajar>20000
AND terreno_a_trabajar<30000) THEN (2) ELSE( IF(terreno_a_trabajar>30000)
THEN(3) ELSE(1)))
numero_de__equipos_2 = IF(terreno_a_trabajar>=1000 AND
(terreno_a_trabajar<=5000)) THEN ( 1) ELSE ( IF(terreno_a_trabajar>5000 AND
terreno_a_trabajar<10000) THEN (2) ELSE( IF(terreno_a_trabajar>10000 AND
terreno_a_trabajar<20000) THEN(3) ELSE( IF(terreno_a_trabajar>20000)
THEN(4) ELSE(1))))
precio__equipo1 = 25000
precio__equipo_2 = 50000
total_costo__equipos = IF(maquinaria_real<maquinaria__necesaria)
THEN(precio__equipo1+precio__equipo_2)
ELSE(total_costo__equipos_1+total_costo__equipos_2)
total_costo__equipos_1 = numero_de__equipos_1*precio__equipo1
total_costo__equipos_2 = numero_de__equipos_2*precio__equipo_2
vida_util = 120

```

## SECTOR PRODUCCION

```

pr(t) = pr(t - dt) + (produccion_previa - desechos_no__procesados) * dtINIT pr = 0
INFLOWS:
produccion_previa = IF(desechos_organicos>capacidad_de_produccion)
THEN(capacidad_de_produccion) ELSE(desechos_organicos)
OUTFLOWS:
desechos_no__procesados = produccion_previa-
(produccion_previa*actividad_de__lombrices)
actividad_de__lombrices = IF
(MEAN(tasa_relacion__temperatura,tasa_realcion__humedad,tasa_relacion_PH)>
=0.8) THEN ( (0.95+0.92+0.90)/3 ) ELSE ( IF
(MEAN(tasa_relacion__temperatura,tasa_realcion__humedad,tasa_relacion_PH)<
0.8 AND
MEAN(tasa_relacion__temperatura,tasa_realcion__humedad,tasa_relacion_PH)>
=0.5 ) THEN ((0.85+0.75+0.65)/3 ) ELSE( IF
(MEAN(tasa_relacion__temperatura,tasa_realcion__humedad,tasa_relacion_PH)<
0.5 AND
MEAN(tasa_relacion__temperatura,tasa_realcion__humedad,tasa_relacion_PH)>
=0.3) THEN ( (0.4+0.3+0.45)/3 ) ELSE(0.2) ) ) )
capacidad_de_produccion =
(ileras_de_trabajo__verticales*ileras_de_trabajo__horizontales)*4774.2
desechos = desechos_por_persona*poblacion
desechos_organicos = desechos*tasa_de_desechos
desechos_por_persona = pulse(9.07,2,2)
humedad = 85
ileras_de_trabajo__horizontales = 5

```

```

ileras_de_trabajo__verticales = 10
PH = 8
produccion_real = produccion_previa-desechos_no__procesados
tasa_de_desechos = 0.51
tasa_realcion__humedad = IF (humedad<60 )THEN ( 0) ELSE( IF(humedad>=60
AND humedad<70) THEN(0.6) ELSE(IF(humedad>=70 AND humedad<85)
THEN(0.8) ELSE( IF(humedad>=85 AND humedad<= 95) THEN(1)
ELSE(IF(humedad>95 AND humedad <100) THEN(0.7) ELSE (0.5))))))
tasa_relacion_PH = IF (PH<3) THEN(0) ELSE ( IF(PH>=3 AND PH<5) THEN
(0.67) ELSE(IF(PH>=5 AND PH<10) THEN(1) ELSE(IF(PH>=10 AND PH<12)
THEN(0.2) ELSE(0))))))
tasa_relacion__temperatura = IF(temperatura<=0) THEN(0)
ELSE(IF(temperatura>0 AND temperatura<=10) THEN(0.2)
ELSE(IF(temperatura>10 AND temperatura <14) THEN ( 0.4) ELSE
(IF(temperatura>=14 AND temperatura <= 27) THEN (1) ELSE (
IF(temperatura>27 AND temperatura <=32) THEN (0.6) ELSE( IF( temperatura>32
AND temperatura <42) THEN (0.3) ELSE (0))))))
temperatura = 20
terreno_a_trabajar =
((3*(ileras_de_trabajo__verticales+1))+(ileras_de_trabajo__verticales*100))*((1*(ile
ras_de_trabajo__horizontales+1))+(ileras_de_trabajo__horizontales*1.5))
poblacion = GRAPH(TIME)
(0.00, 5e+006), (1.09, 5.1e+006), (2.18, 5.1e+006), (3.27, 5.2e+006), (4.36,
5.2e+006), (5.45, 5.3e+006), (6.55, 5.3e+006), (7.64, 5.4e+006), (8.73, 5.5e+006),
(9.82, 5.5e+006), (10.9, 5.6e+006), (12.0, 5.7e+006)

```

## SECTOR UTILIDAD

utilidad(t) = utilidad(t - dt) + (ingresos - egresos) \* dt  
INIT utilidad = 0

INFLOWS:

ingresos = otros\_ingresos+ingreso\_por\_ventas

OUTFLOWS:

egresos = costo\_produccion+otros\_egresos

control\_plagas = 1000

costo\_produccion =

PULSE((control\_plagas+transporte+total\_costo\_\_salario+PULSE(total\_costo\_\_eq  
uipos/60,60,60))/4,1,1)

inflacion = 0.023

ingreso\_por\_ventas =

((venta\_real\*(internacional/demanda\_total))\*precio\_venta\_de\_bulto\_humus\_intern  
acional)+((venta\_real\*(demanda\_nacional/demanda\_total))\*precio\_venta\_de\_bulto  
\_\_humus\_nacional)

otros\_egresos = 0

otros\_ingresos = 0

precio\_venta\_de\_bulto\_humus\_internacional = 5\*(inflacion+1)

precio\_venta\_de\_bulto\_\_humus\_nacional = 3\*(inflacion+1)

transporte = 8000

utilidad\_real = ingresos-egresos

#### SECTOR VENTAS

$vr(t) = vr(t - dt) + (unidades\_vendidas - devoluciones) * dt$ INIT vr = 0

INFLOWS:

$unidades\_vendidas = IF(demanda\_total < bulto\_de\_compost)$

$THEN(demanda\_total) ELSE(bulto\_de\_compost)$

OUTFLOWS:

$devoluciones = unidades\_vendidas * tasa\_de\_devoluciones$

$bulto\_de\_compost = produccion\_real / 5$

$demanda\_total = internacional + demanda\_nacional$

$tasa\_de\_devoluciones = 0.05$

$venta\_real = unidades\_vendidas - devoluciones$

$demanda\_nacional = GRAPH(TIME)$

(0.00, 20000), (1.00, 21000), (2.00, 22050), (3.00, 23153), (4.00, 24310), (5.00, 25526), (6.00, 26802), (7.00, 28142), (8.00, 29549), (9.00, 31027), (10.0, 31810), (11.0, 32200), (12.0, 32590)

$internacional = GRAPH(TIME)$

(0.00, 3000), (1.40, 3060), (2.80, 3121), (4.20, 3184), (5.60, 3247), (7.00, 3312), (8.40, 3378), (9.80, 3446), (11.2, 3515), (12.6, 3585), (14.0, 3657)

# ANEXO ACEPTACIÓN ARTÍCULO RESA

09/08/12 #ESA-511 Diseño de un modelo dinámico de sistemas de la cadena de valor para el compostaje y v...



engenharia sanitária e ambiental

[PÁGINA INICIAL](#)

[SOBRE](#)

[PÁGINA DO USUÁRIO](#)

[Página inicial](#) > [Usuário](#) > [Autor](#) > [Submissões](#) > [#99064](#) > [Resumo](#)

## #ESA-511 Diseño de un modelo dinámico de sistemas de la cadena de valor para el compostaje y vermicompostaje

**RESUMO**

AVALIAÇÃO

EDIÇÃO

### Submissão

Autores	John Alexander Buitrago, Érico Kunde Corrêa, Lucas Castiglioni Guidoni, Álvaro Cháves Porras, Isaac Huertas Forero
Título	Diseño de un modelo dinámico de sistemas de la cadena de valor para el compostaje y vermicompostaje
Documento original	<a href="#">ESA-511-99064-495532-1-SM.DOCX</a> 2012-08-09
Docs. sup.	Nenhum(a) <a href="#">INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR</a>
Submetido por	Prof. Érico Kunde Corrêa
Data de submissão	agosto 9, 2012 - 02:30
Seção	Artigos Técnicos
Editor	Nenhum(a) designado(a)
Comentários do Autor	Prezado(a) senhor(a)

Venho por meio deste, encaminhar para sua apreciação o artigo intitulado "Diseño de un modelo dinámico de sistemas de la cadena de valor para el compostaje y vermicompostaje". Penso que seja oportuno salientar que esta investigação foi desenvolvida em parceria internacional, entre a Universidade Federal de Pelotas - Brasil e a Universidad Militar Nueva Granada, de Bogotá - Colombia.

Desde já, estamos a disposição para sanear eventuais dúvidas.

Atenciosamente

Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa

Engenharia Sanitária e Ambiental

Universidade Federal de Pelotas

---

## Situação

Situação	Aguardando designação
Iniciado	2012-08-09
Última alteração	2012-08-09

---

## Metadados da submissão

### Autores

Nome	John Alexander Buitrago 
Instituição/Afiliação	Universidad Militar de Nova Granada
País	Colômbia
Resumo da Biografia	Engenharia Industrial

Nome	Érico Kunde Corrêa 
URL do currículo online	<a href="http://lattes.cnpq.br/5184168610882587">http://lattes.cnpq.br/5184168610882587</a>
Instituição/Afiliação	Engenharia Sanitária e Ambiental Universidade Federal de Pelotas
País	Brasil
Resumo da Biografia	Professor Adjunto da Universidade Federal de Pelotas. Professor do PPG em Ciência e Tecnologia Agroindustrial da FAEM-UFPEL. Possui Pós-doutorado, em redução da poluição e diminuição do impacto ambiental de atividades agropecuárias. Doutorado em Biotecnologia Agrícola - compostagem de dejetos. Mestrado em Produção Animal. Especialização em Educação Inclusiva. Engenheiro Agrônomo e Técnico em Agropecuária.

Contato principal para correspondência.

Nome	Lucas Castiglioni Guidoni 
Instituição/Afiliação	Engenharia Sanitária e Ambiental Universidade Federal de Pelotas
País	Brasil
Resumo da Biografia	Núcleo de Educação, Pesquisa e Extensão em Resíduos e Sustentabilidade

Nome	Álvaro Cháves Porras 
Instituição/Afiliação	Universidad Militar Nueva Granada
País	Colômbia
Resumo da Biografia	Ingenieria Industrial

Nome	Isaac Huertas Forero 
Instituição/Afiliação	Universidad Militar Nueva Granada
País	—
Resumo da Biografia	Ingenieria Industrial

## Título e Resumo

Título	Diseño de un modelo dinámico de sistemas de la cadena de valor para el compostaje y vermicompostaje
--------	---

Resumo	<p>Este trabajo tiene como fin el estudio de la cadena de valor del proceso de compostaje. Por tal razón se desarrollado el diseño de un Modelo Dinámico de Sistema que permita establecer las variables incidentes dentro de la producción, maquinaria a usar, cantidad de trabajadores, ventas, inventarios y utilidad. Inicialmente se encuentra un diagrama causal el cual muestra las variables más influyentes dentro del sistema de compostaje, mostrando las relaciones entre ellas. A continuación se encuentra una descripción de las variables mostrando la importancia dentro del modelo y algunas restricciones dentro del sistema. Por último se encuentra el modelo dinámico de sistemas en Stella (software), con los resultados y su respectiva conclusión. Este modelo es de gran ayuda para la industria ya que permite determinar la utilidad por ventas aproximada, o el análisis de algún tipo de problema presente dentro del proceso, bajo condiciones normales producción tales como el terreno, oxígeno, PH, temperatura, humedad, número de jornales, número de equipos, entre otras. La intención es que esto sea implementado por los empresarios y comercializadores de humus. Como consecuencia ellos van a colaborar con la sustentabilidad ambiental, aumentando la vida útil de los rellenos sanitarios y economizando recursos e energía.</p>
--------	--

# ACEPTACION ARTICULO REVISTA GESTION Y PRODUCCIÓN



Érico Kunde Corrêa (ericokundecorrea@yahoo.com.br) [Alterar Dados](#)

Submissão concluída com êxito! Imprima esta página para referência.

Foi enviado para seu e-mail uma mensagem com o número e título do Artigo.  
Na tabela de Submissões Completas na página inicial você pode acompanhar e ter acesso as revisões deste Artigo.

**Código do Artigo:** GP-0241-12

**Responsável:** Prof. Dr. Érico Corrêa

**Categoria:** Original article

**Área:** Planejamento e Controle de Produção / Logística

## Modelo dinámico de sistemas de para el compostaje y vermicompostaje

<sup>1</sup>Dr. John Alexander Buitrago;

<sup>2\*</sup>Prof. Dr. Érico Kunde Corrêa;

<sup>2</sup>Sr. Lucas Castiglioni Guidoni;

<sup>1</sup>Prof. Dr. Alvaro Chavez;

<sup>1</sup>Prof. Dr. Isaac Huertas;

<sup>1</sup>Universida Militar Nueva Granada (Ingenieria), Bogotá - , Colômbia

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas (Engenharia Sanitária e Ambiental), Pelotas - Rio Grande do Sul, Brasil

**Resumo:** Foi desenvolvido o desenho de um Modelo Dinâmico de Sistema que permita estabelecer as variáveis incidentes dentro da produção, maquinaria a usar, quantidade de trabalhadores, vendas, inventários e utilidade. Inicialmente encontra-se um diagrama causal o qual mostra as variáveis mais influentes dentro do sistema de compostagem, mostrando as relações entre elas. A continuação encontra-se uma descrição das variáveis mostrando a importância dentro do modelo e algumas restrições dentro do sistema. Por último encontra-se o modelo dinâmico de sistemas em Stella (software), com os resultados e sua respectiva conclusão. Este modelo é de muita ajuda para a indústria já que permite determinar o lucro por vendas aproximado, ou as análises de algum tipo de problema presente dentro do processo, baixo condições normais produção tales como o terreno, oxigeno, PH, temperatura, umidade, número de trabalhadores, número de maquinas, entre outras. A intenção é que este seja implementado por os empresários y comercializadores de húmus. Como conseqüência eles vai a colaborar com a sustentabilidade ambiental, aumentando a vida útil dos aterros sanitários e economizando recursos e energia.

**Palavras-chave:** Modelos de produção; Modelos de programação matemática; Modelos matemáticos