



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA *Iztapalapa*

Potencial del composteo de residuos orgánicos de origen urbano en el Valle de México

Dr. Gerardo Saucedo Castañeda

Departamento de Biotecnología

saucedo@xanum.uam.mx

**Comisión de Ciencia y Tecnología
Asamblea Legislativa del Distrito Federal**

Ciudad de México, Julio 2008



Contenido

- I. Definición del problema
- II. Estimación y caracterización de la generación de residuos
- III. Retroalimentación laboratorio – práctica
- IV. Ingeniería básica del proceso
- V. Evaluación de la calidad del producto
- VI. Consideraciones económicas preliminares
- VII. Conclusiones y reflexiones finales



I. Definición del problema

BASE DE CALCULO

1.5 Millones de habitantes producen aproximadamente 1 500 ton de residuos por día es decir cerca de 550 000 ton/año: de los cuales:

1/3 son materiales reciclables,
1/3 material orgánico
el resto no tienen utilidad.



El composteo es una alternativa de **tratamiento**

Que es ? Imitación de la descomposición de material orgánico tal y como ocurre en la naturaleza:

Materia orgánica + O₂ + Microorganismos -> CO₂ + Agua + Composta

Se lleva a cabo en condiciones aerobias presenta una fase **mesófila** (15 a 45 °C) y otra **termófila** (45 a 70 ° C).

Participan: Flora microbiana muy diversa e insectos

Se reducen los patógenos y la materia se reduce y estabiliza

Uso: Agricultura, reforestación, areas verdes deportivas y recreativas

De que depende el proceso? Temperatura, humedad, carga microbiana, composición (C/N), calidad residuos, agitación y aireación.

Como se evalúa la calidad del producto: Contaminantes microbianos. metales pesados. micronutrientes vegetales y pruebas



II Estimación de los RSO

Es necesario estimar de generación de residuos y sus características fisicoquímicas básicas para calcular el tamaño de la planta y las condiciones del tratamiento



Normatividad

NMX-AA-016-1984

Norma técnica: NTRS-1

NMX-AA-021-1985

Norma técnica: NTRS-2

NMX-AA-24-1984

Norma técnica: NTRS-3

NMX-AA-033-1985

Norma técnica: NTRS-4

NMX-AA-052-1985

Norma técnica: NTRS-5

NMX-AA-068-1986

Norma técnica NTRS-6

NMX-AA-080-1986

Norma técnica: NTRS-7

NOM-004-SEMARNAT-2002

Norma técnica: NTRS-8

NOM-004-ZOO-1994

Norma técnica: NTRS-9

NOM-001-2002

NOM-112-SSA1-1994

Ejemplos de la caracterización fisicoquímica de residuos orgánicos

<i>Fuente</i>	<i>pH</i>	<i>Materia Orgánica (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>C/N</i>
Domicilios	5.2 ± 0.1	31.4 ± 7.5	26.4 ± 13.3	72.1 ± 4.8	17.76 ± 2.84
Mercados	6.2 ± 0.5	16.3 ± 6.9	7.6 ± 1.0	83.7 ± 2.0	18.18 ± 2.53
Tala	6.5 ± 0.2	27.7 ± 7.4	5.1 ± 1.0	46.4 ± 7.4	30.52 ± 7.40
Poda	5.2 ± 0.1	20.2 ± 9.4	5.8 ± 1.0	72.3 ± 9.2	
Tianguis	5.5 ± 0.8	21.0 ± 7.1	6.7 ± 1.3	84.3 ± 3.5	20.49 ± 2.53
Establecimientos fijos	5.6 ± 0.4	16.5 ± 4.9	7.8 ± 0.3	81.4 ± 3.9	21.61 ± 1.99
Rastro	7.8 ± 0.3	19.7 ± 3.6	7.8 ± 0.3	77.8 ± 5.1	10.27 ± 0.24

Los residuos orgánicos pueden compostarse, pero debe agregarse un agente que facilite la aireación y que lleve la relación C/N a 30 - 35.

Caracterización de los residuos para **compostear**

Las condiciones óptimas del proceso de obtendrán si :

Se modifican la **densidad** y **porosidad** de los RSO.

Se disminuye el contenido de nitrógeno (**C/N**) al adicionar material celulósico, pe.



Estos ajustes permitirán reintegrar los nutrientes al suelo y evitar la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco.

Adicionalmente se deben controlar otras variables importantes del proceso (mezclado, aireación, temperatura).



Estudio de mezclas con materiales disponibles

Material orgánico	Humedad (%)	Densidad (g/mL)	Cenizas (%)*	C/N*
RSO	80.9	0.8	12.2	20.49 ± 2.53
Estiércol seco	11.3	1.1	-----	10.27 ± 0.24
Pasto seco	9.1	0.6	9.1	8.95 ± 0.57
Composta	67.1	0.3	10.3	8.28 ± 0.33
Lodos activados	88.7	0.5	11.3	7.54 ± 0.018
Bagazo	----	----	----	75.83 ± 0.66
Periódico	----	----	----	206.01 ± 21.49
Servilletas	----	----	----	187.36 ± 6.17
Papel de baño	----	----	----	194.63 ± 12.58
Papel bond	----	----	----	158.58 ± 13

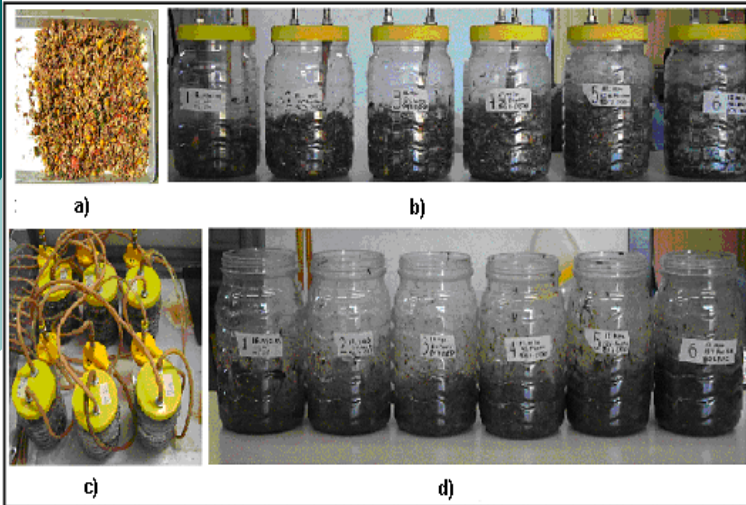
La relación C/N de los RSO es relativamente baja y que debe equilibrarse con otros materiales lignocelulósicos que tiene una C/N alta, de tal forma que llegue al nivel deseado 30-35. Sin embargo la inclusión de materiales lignocelulósicos dependerá de la disposición en el municipio.



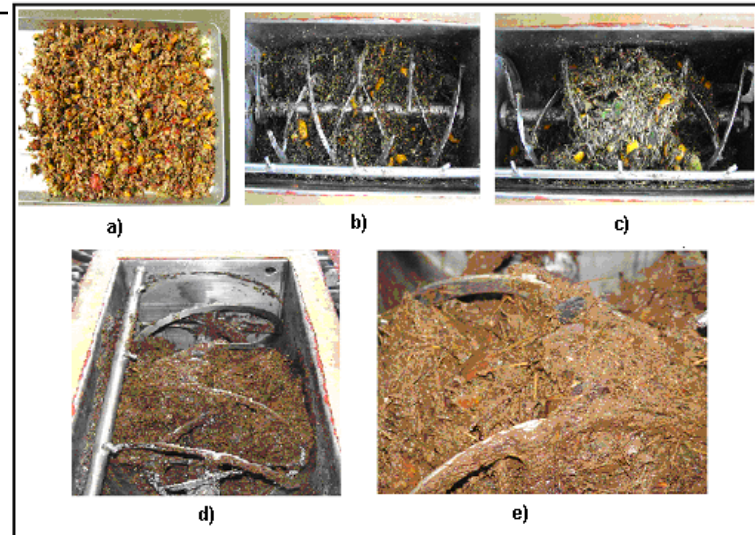
III. Retroalimentación laboratorio - práctica

Del laboratorio a la práctica y viceversa

Estudio de mezclas en sistema microcosmos.



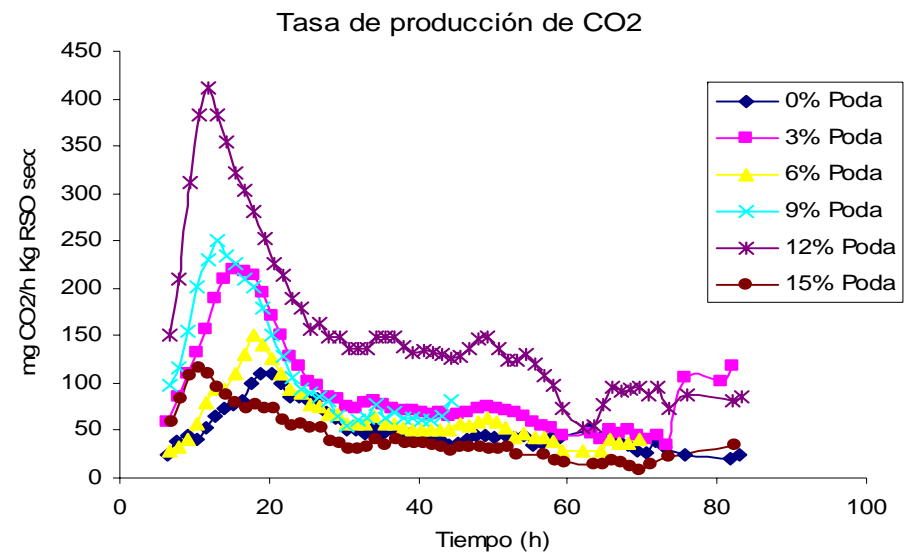
Reactor agitado con listones helicoidales.



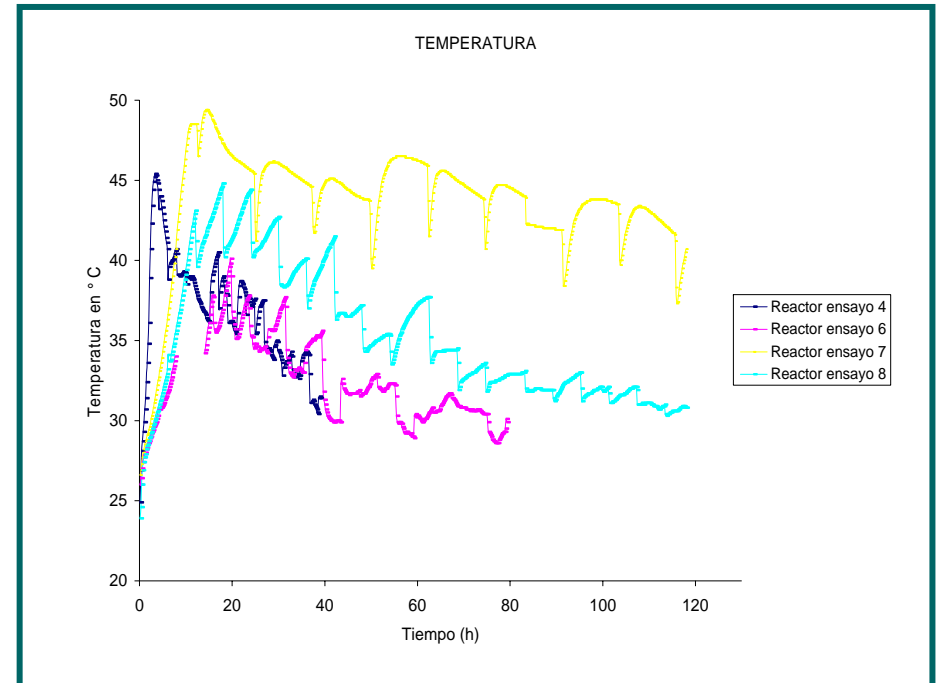
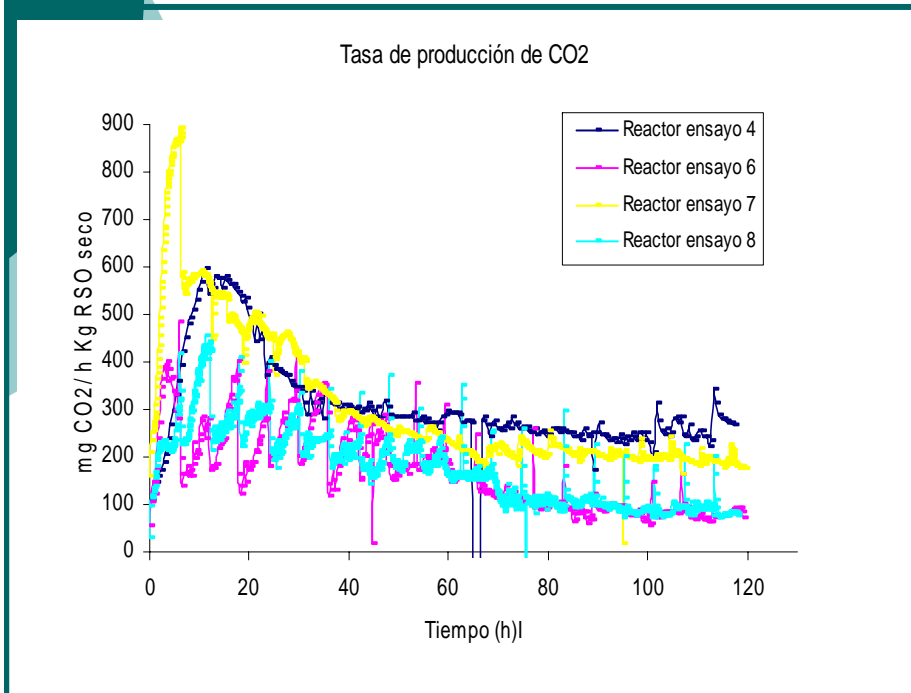
Estudio de mezclas en microcosmos.-

RSO (%)	Estiércol (%)	Poda (%)	C/N		Cenizas (%)	
			Inicial	Final	Inicial	Final
95	5	0	16.1	8.98	10.4±0.2	13.7±1.0
92	5	3	15.5	9.16	12.4±0.8	16.5±1.0
89	5	6	15.0	9.09	10.7±0.4	14.4±2.0
86	5	9	14.5	9.16	11.3±1.4	14.9±0.9
83	5	12	14.2	8.92	16.5±3.5	17.9±1.8
80	5	15	13.8	8.80	11.3±1.4	18.9±1.4

La adición residuos de tala y poda favorecen la aireación, sin embargo la relación C/N inicial aún no se encuentra en su óptimo valor (30 -35).



Adición aceleradores microbianos en reactor agitado.



Ensayo

4, 5 % estiércol;

7, 2 % estiércol y 3 % composta

6, 5 % composta;

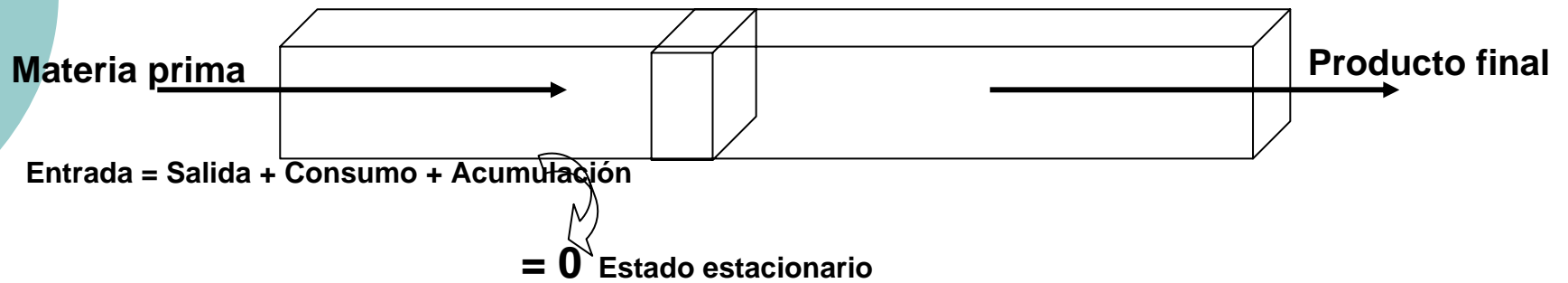
8, 3 % composta y 2 % lodos.



IV. Ingeniería básica de la planta de composteo

La bioingeniería en el diseño de los patios de composteo

- Modelo de mezclado: Flujo pistón, la composición de los materiales cambia en la dirección del flujo



Diseño Ingeniería Básica: Diagrama de proceso

Diagrama de proceso para la obtención de la composta.

3 niveles de tecnificación

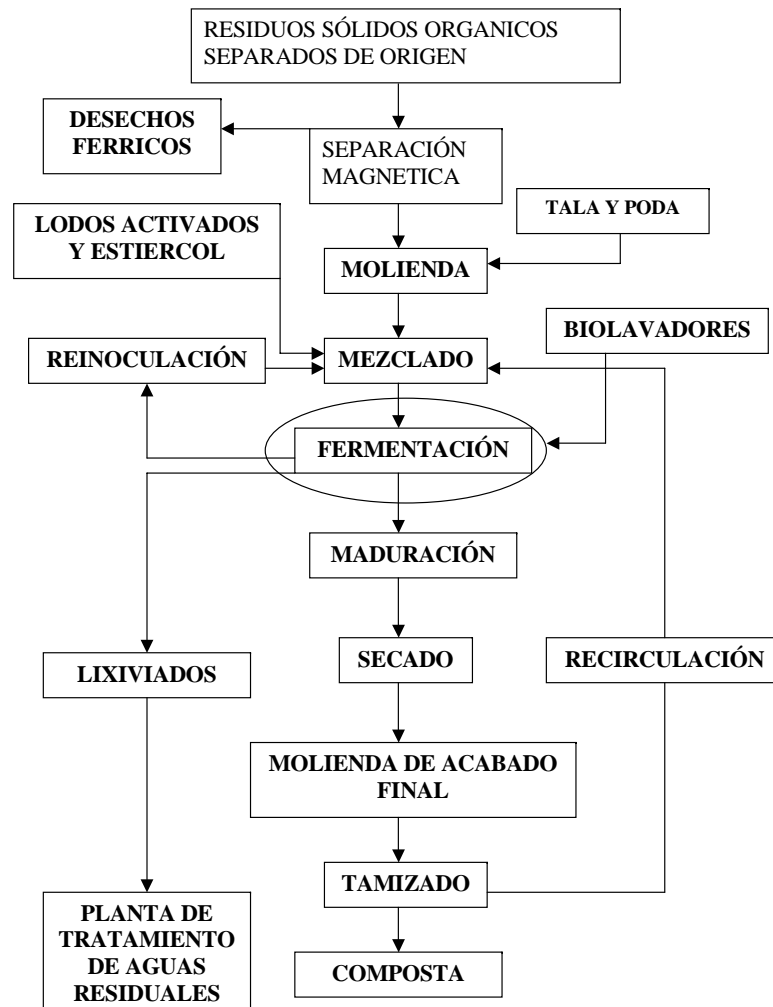
Primera etapa:

250 ton/día de residuos orgánicos

2 turnos

Segunda etapa:

Crecimiento a 500 ton/día



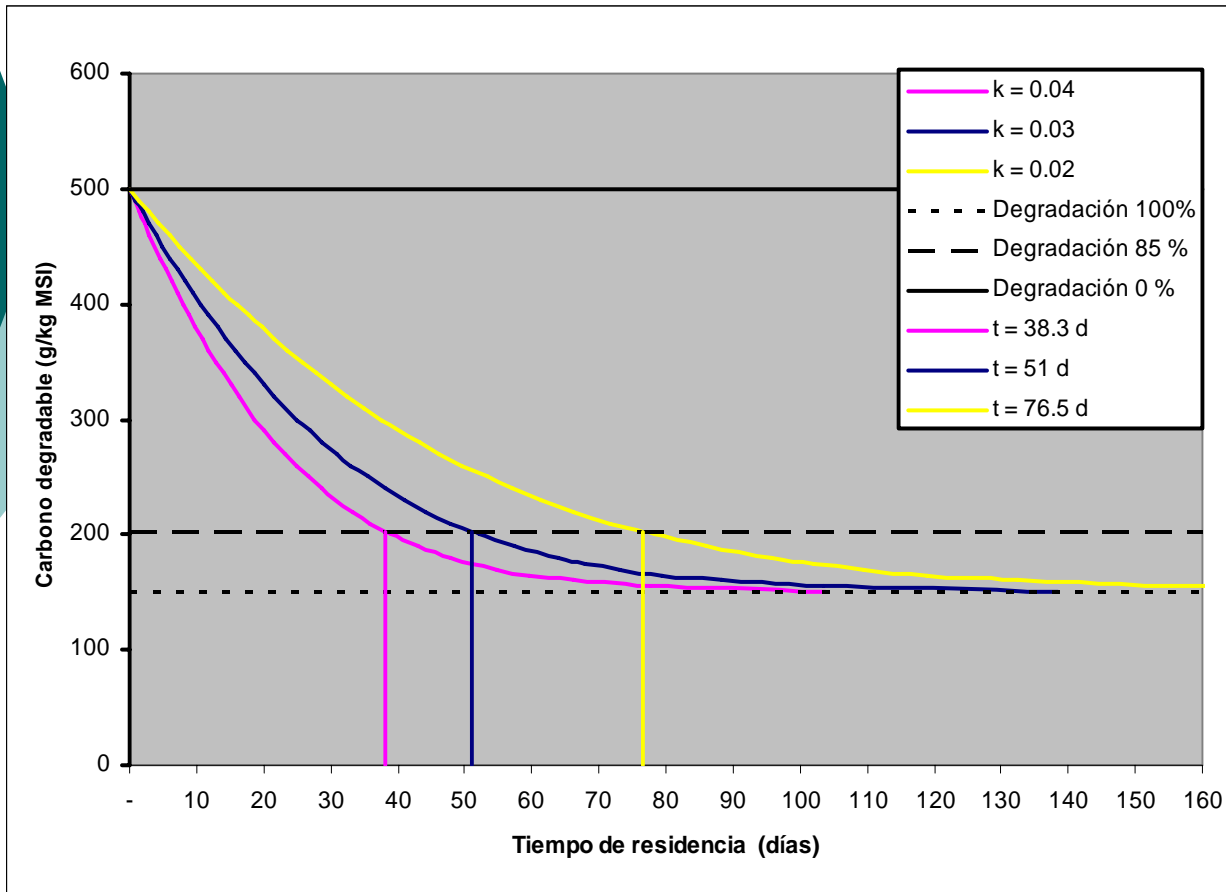
Modelamiento del proceso

Modelo de primer orden modificado para la degradación de residuos orgánicos urbanos en pilas de composteo con un mezclado tipo de flujo pistón (De Lucas *et al* 2000; Bari *et al* 2000; *et al* 200, Rodríguez *et al* 2005):

$$\tau = \frac{V}{v_o} = \int_{C_s}^{C_{s0}} \frac{dC_s}{(-r_s)} = \int_{C_s}^{C_{s0}} \frac{dC_s}{k(C_s - C_{nd})} \quad \text{donde } (-r_s) = k(C_s - C_{nd})$$

τ : Tiempo de degradación en el reactor (d)	
k : Constante de reacción de primer orden (d ⁻¹)	$0.02 \leq k \leq 0.04$
V : Volumen del reactor de composteo (m ³)	
v_o : Carga de residuos orgánicos (m ³ /d)	$v_o = 1000 \text{ m}^3/\text{d}$
C_s : Concentración de residuos fácilmente degradables (g/kg MSI);	
C_{s0} : Concentración inicial de residuos fácilmente degradables (g/kg MSI);	$400 \leq C_s \leq 500$
C_{nd} : Concentración de residuos no fácilmente degradables (g/kg MSI);	$100 \leq C_{nd} \leq 200$

Simulación de la degradación de RSO en 85 %



Modelo de primer orden modificado para la degradación de residuos orgánicos urbanos en pilas de composteo con un mezclado tipo de flujo pistón (De Lucas *et al* 2000; Bari *et al* 2000; et al 200, Rodríguez *et al* 2005)

Efecto de la rapidez de la degradación en el tamaño de los patios de composteo

k (d ⁻¹)	Tiempo (d)	v_0 (m ³ /d)	Area (Ha)	Volteador tipo banda /sinfin
	$X_s = 0.85$		Vehículo	
0.02	76.5	1,000	4.2	2.60
0.03	51.0	1,000	2.8	1.60
0.04	38.3	1,000	2.2	1.20



- **V. Evaluación de la calidad del producto final**

Evaluación de la calidad microbiológica

		COMPOSTA		NOM-004-SEMARNAT		
		ACELERADOR		Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos		
		Lodo de PTAR (Ensayo 8)	Estiércol (Ensayo 4)	Clase		
				A	B	C
Cantidad de muestra utilizada		4 gST	4 gST			
Indicador bacteriológico de contaminación	Coliformes NMP/g ST	15 000	90	Menor de 1 000	Menor de 1 000	Menor de 2 000 000
Patógenos	<i>Salmonella</i> NMP/g ST	93 000	4 300	Menor de 3	Menor de 3	Menor de 300

El producto cumple con la norma de acuerdo al indicador de coliformes pero se debe mejorar para alcanzar la

Evaluación de la calidad: Metales pesados

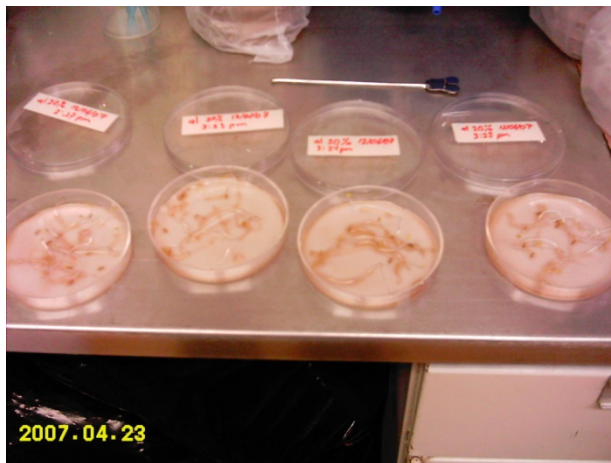
▪ Metales pesados en las compostas

MUESTRAS COMPOSTA										NOM-004-SEMARNAT			
										Límites máximos de metales en mg/ Kg de composta			
										Excelente	Bueno		
										1	2		
										3	4		
										5	6		
										7	8		
										9			
Cantidad de muestra utilizada										0.2 g	0.2 g		
Cantidad de metal presente en mg/ Kg de composta	Metodología por plasma	Cr	27.5	26.3	26.3	26.3	27.5	26.3	27.5	27.5	27.5	300	1,200
		Zn	ND	125.0	125.0	27.5	18.8	17.5	ND	28.8	ND	2,800	7,500
		Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	39	85
		Pb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	300	840
	Metodología atómica	Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	420	420
		Cu	ND	30.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,500	4,300
		As	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	41	75
		Hg	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	17	57

ND. No se detectó (< 0.25 ppm)
Trazas: < 1 ppm en la solución de análisis

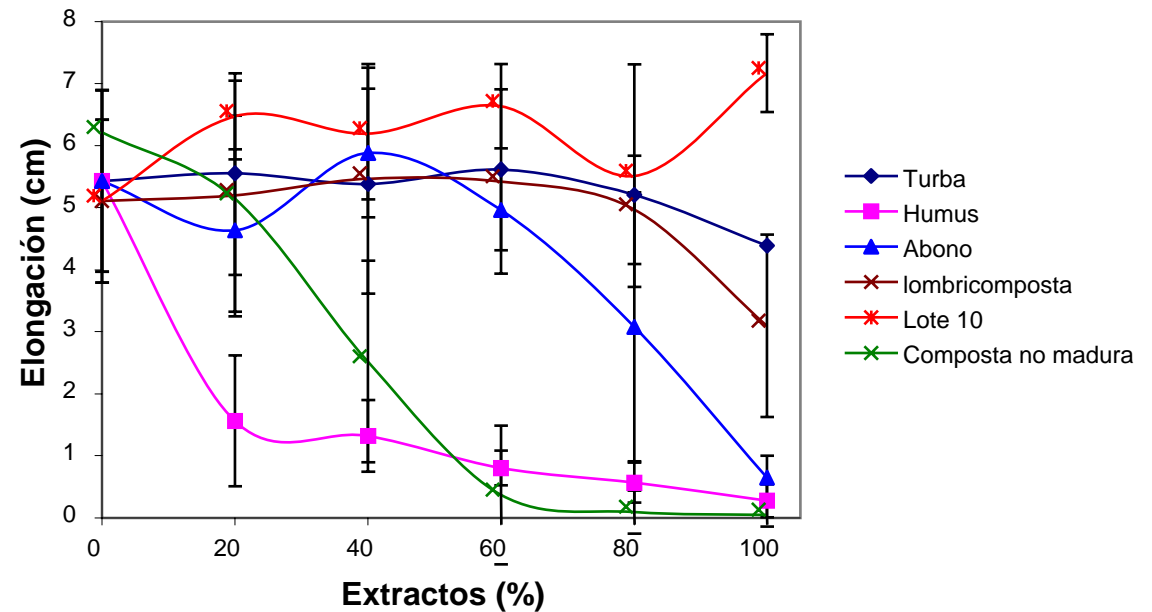
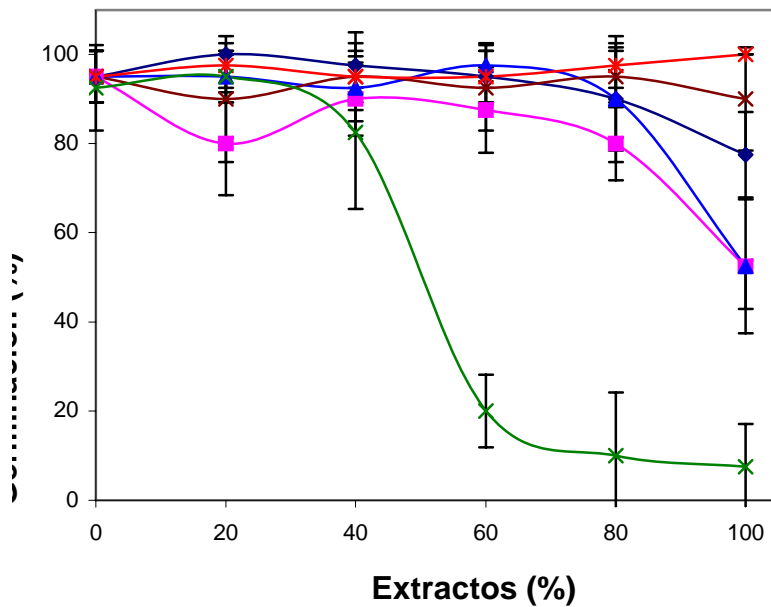
El producto cumple con los límites de metales pesados señalados en la norma (NOM-004-SEMARNAT-2002) y debe ser considerado de calidad excelente calidad (Biosólido Clase A)

Evaluación de la calidad: Fitotoxicidad



Bioensayo de germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) para evaluar el efecto fitotoxicológico de los extractos acuosos de las diferentes compostas.

Evaluación de la fitotoxicidad



Comparación de la germinación (%) y de elongación de raíz (cm) de semillas de lechuga con extractos acuosos de diferentes compostas comerciales y elaboradas con RSO urbanos



-
- **V. Consideraciones económicas preliminares**



Consideraciones económicas preliminares

- Población: 1.5 millones de habitantes
- Generación de RSO: 500 ton/día (ca 180 000 ton/año)
- Producción composta: 24 000 Ton/año (Biosólidos TipoA)
- Valor anual composta: 24 mdp
- Costo de operación: 15 mdp
- Aplicación: 1 a 4 ton/Ha, [Cancha fut (75x110m) = 0.82 Ha]
- Suficiente para 1/6 a 1/24 (sup. 62-250 km²) DF--> Exportar
- Mercado: Areas verdes (recreativas y deportivas), floricultura, invernaderos, viveros, etc.
- Inversión estimada: A partir de 100 mdp según tecnificación
- Financiamiento: Bonos C, participación privada y pública
- Recuperación de la inversión: 6-10 años



Alcance del proyecto

Se cumplirán con las disposiciones normativas vigentes (LGPGIR, SEMARNAT. 2003. Diario Oficial del 08.10.2003).

Se producirá composta de *excelente* calidad de acuerdo a la normatividad vigente (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Se tendrán criterios científicos sólidos para el desarrollo de la tecnología y las bases técnicas de licitación.



VII. Conclusiones

- Continuar con la voluntad política de apoyar el proyecto ambiental
- El programa de separación de residuos orgánicos está justificado
- Se alargará la vida útil (al menos 3 veces) del relleno sanitario
- Se incorporaría a los pepenadores a un proceso productivo sustentable, mejorando sus condiciones de vida.
- Capacitación y formación de recursos humanos.
- Se contaría con recursos para cubrir, al menos parcialmente, los gastos de operación de la planta industrializadora de basura



VII Reflexiones finales

- **Desarrollo de tecnología propia vs tecnología llave en mano, la relación de inversión es 1:5**
- **Plantas de tratamiento modulares vs grandes plantas de tratamiento de basura, se requieren de 6 a 9 módulos para el DF**
- **Problema complejo: Solución multidisciplinaria**