

**COR**

Consorci per a la gestió de residus

**I JORNADES  
DE FORMACIÓ**

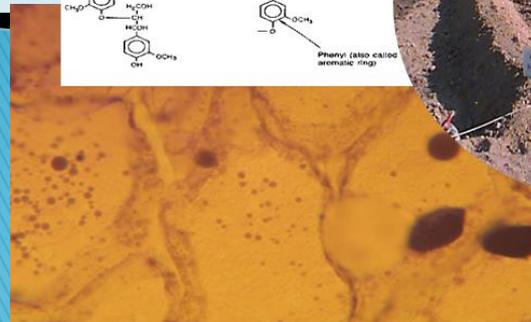
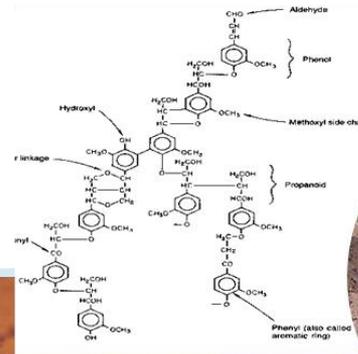
Cap a un model descentralitzat  
en la gestió dels residus

[www.consorciresidus.org](http://www.consorciresidus.org)



# Principios del Compostaje para la Agricultura

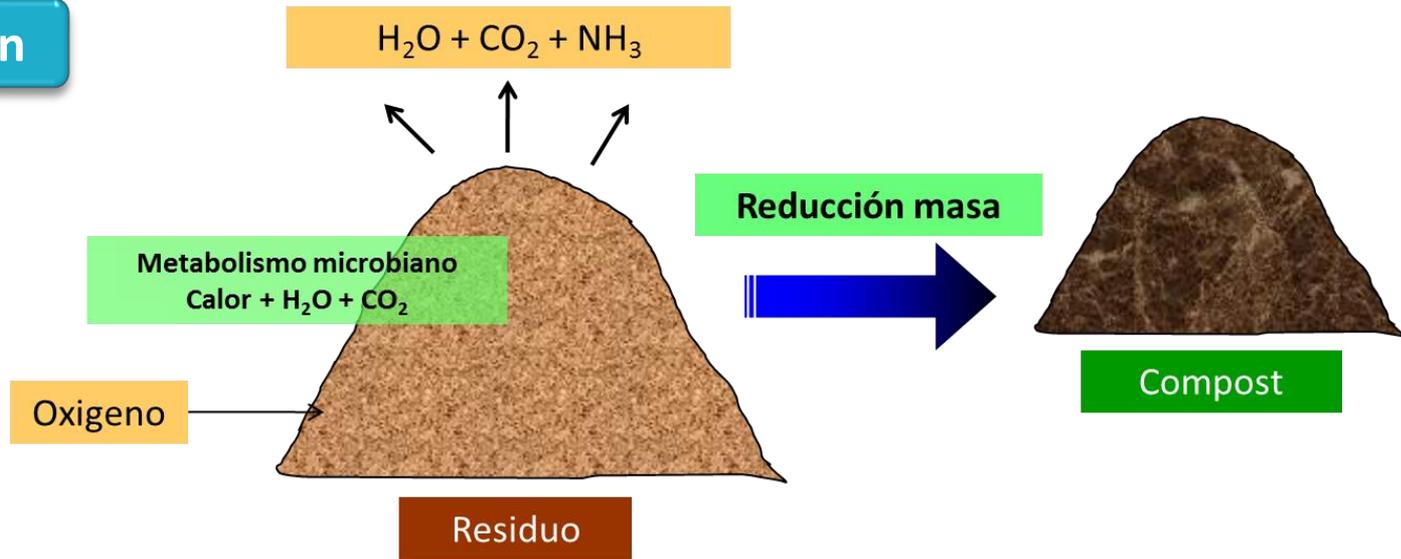
*Marian Bustamante Muñoz y Raúl Moral Herrero*  
EPS-Orihuela. Universidad Miguel Hernández





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Definición



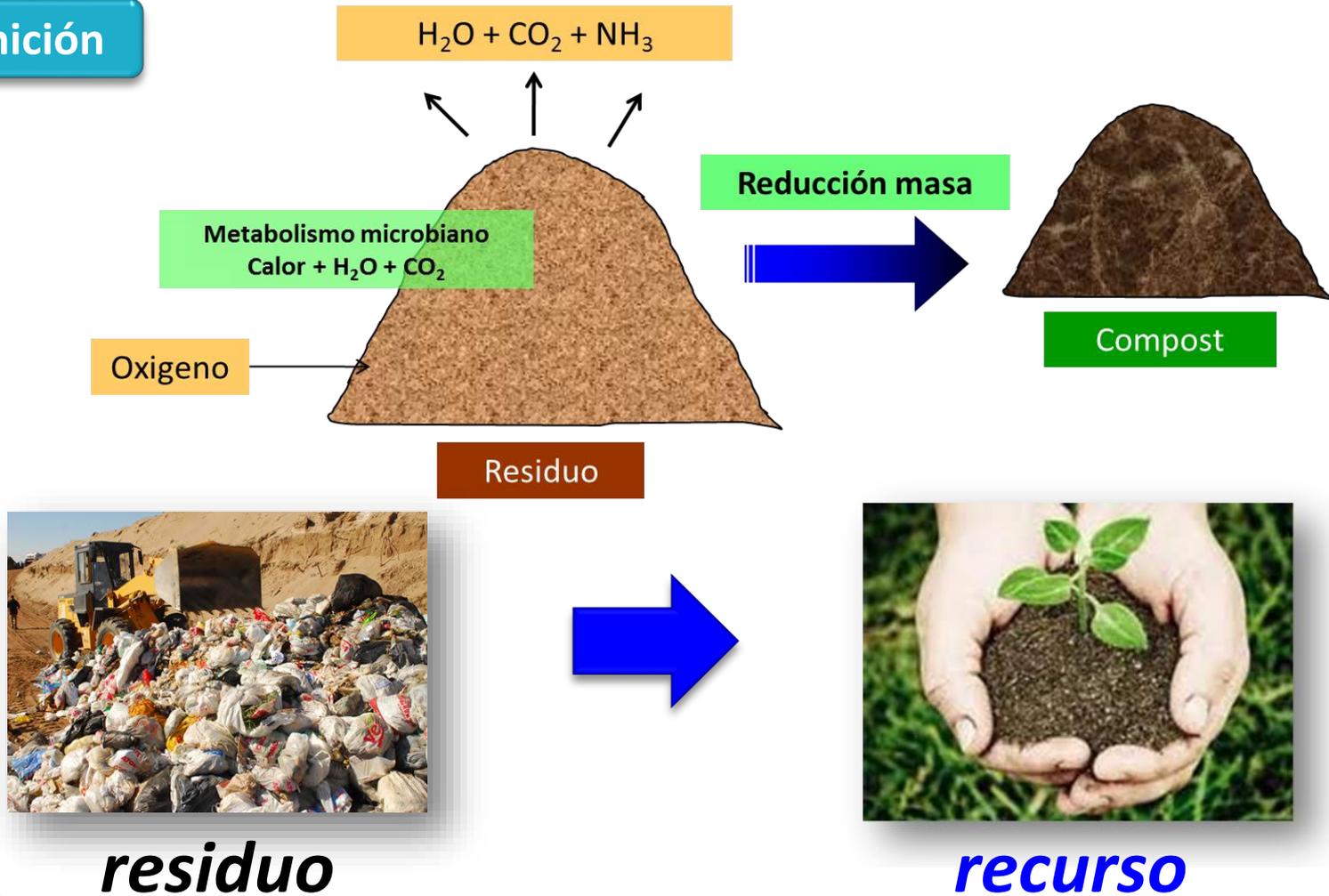
El **compostaje** es un **proceso bio-oxidativo controlado**, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido. Implica el paso por una etapa termófila en la que se alcanzan altas temperaturas como resultado de la actividad de los microorganismos, durante la que se eliminan los patógenos y las semillas de malas hierbas.

**Compost:** producto final del proceso con una **materia orgánica estabilizada, libre de sustancias fitotóxicas y patógenos** que puede ser utilizado sin riesgo como enmienda en suelos agrícolas.



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

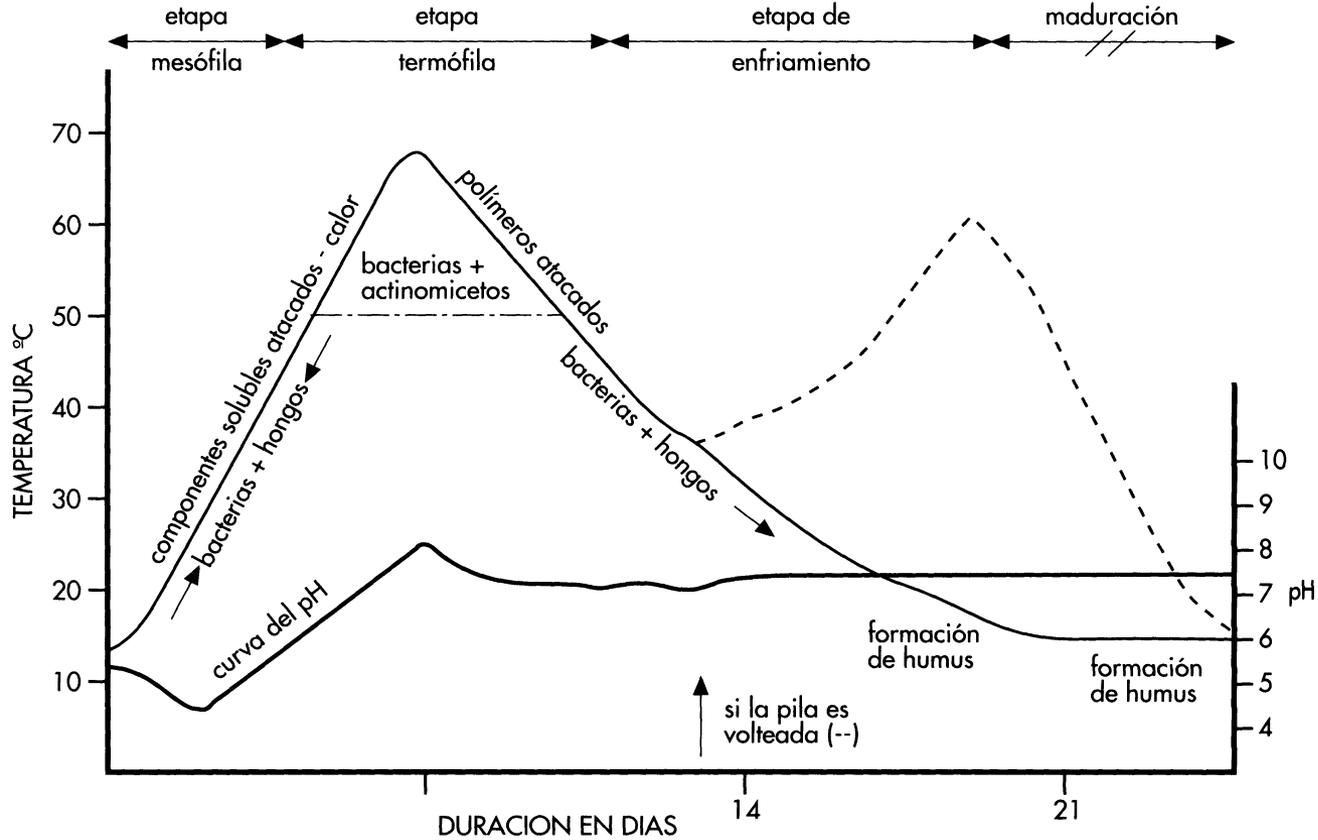
## Definición





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

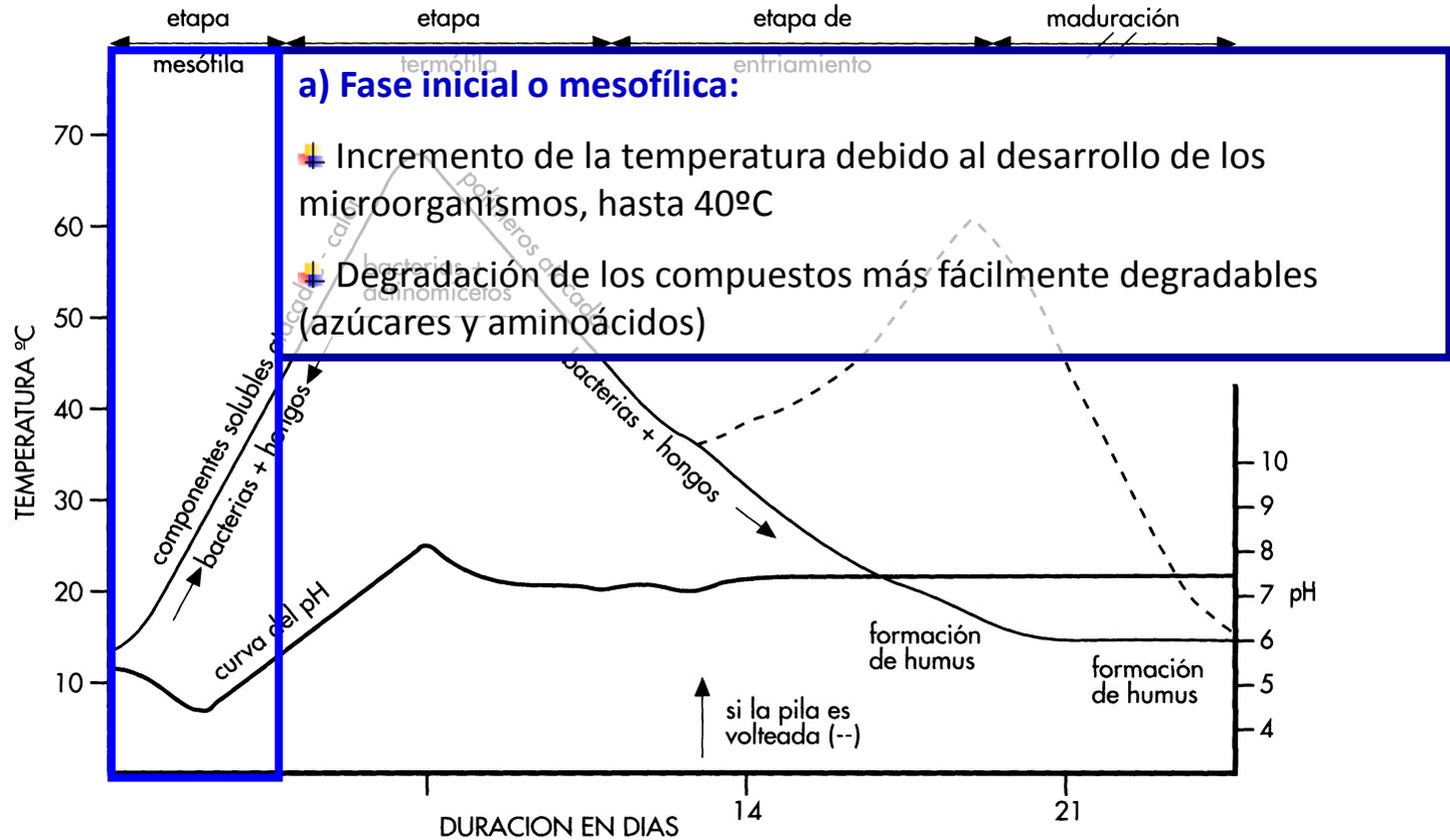
## Etapas





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

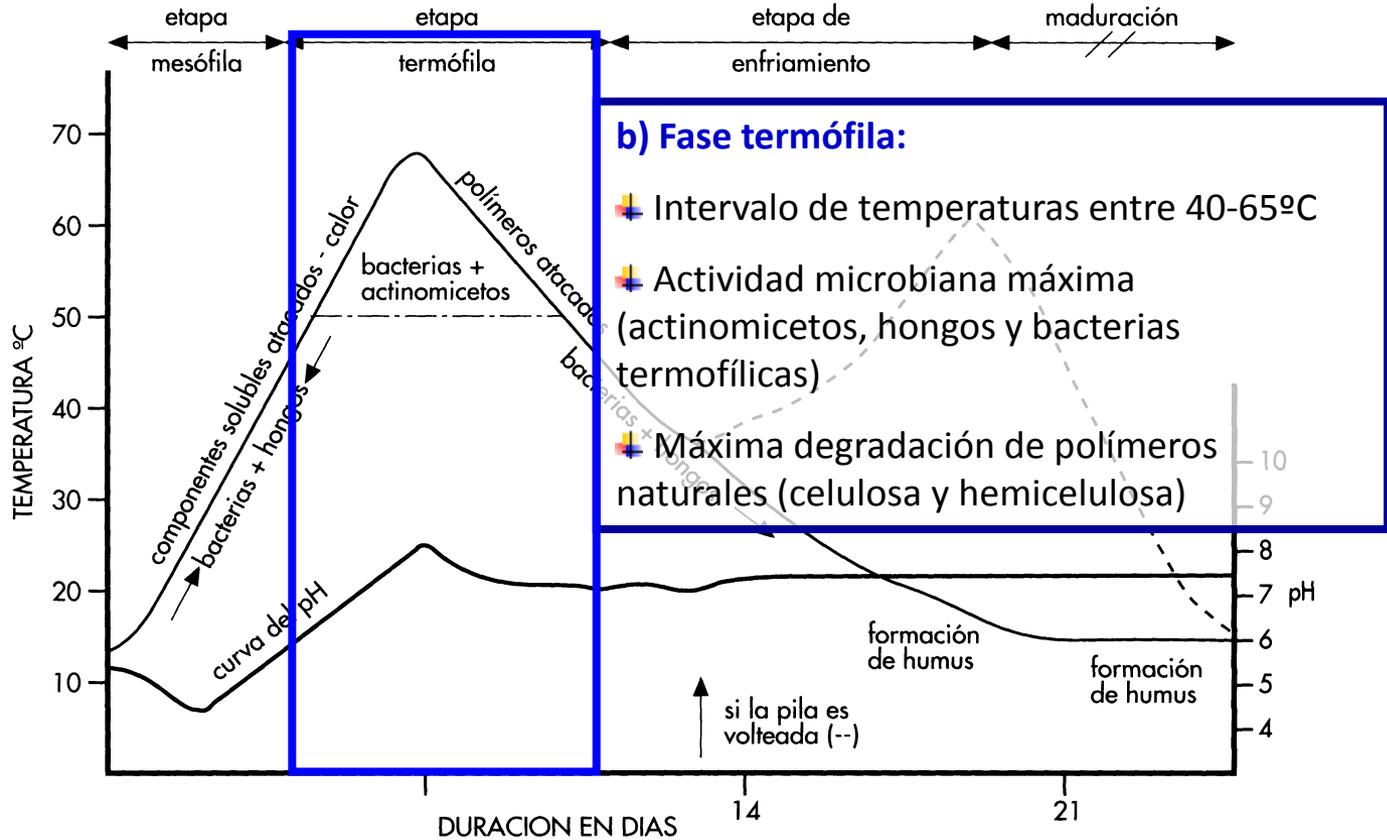
## Etapas





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

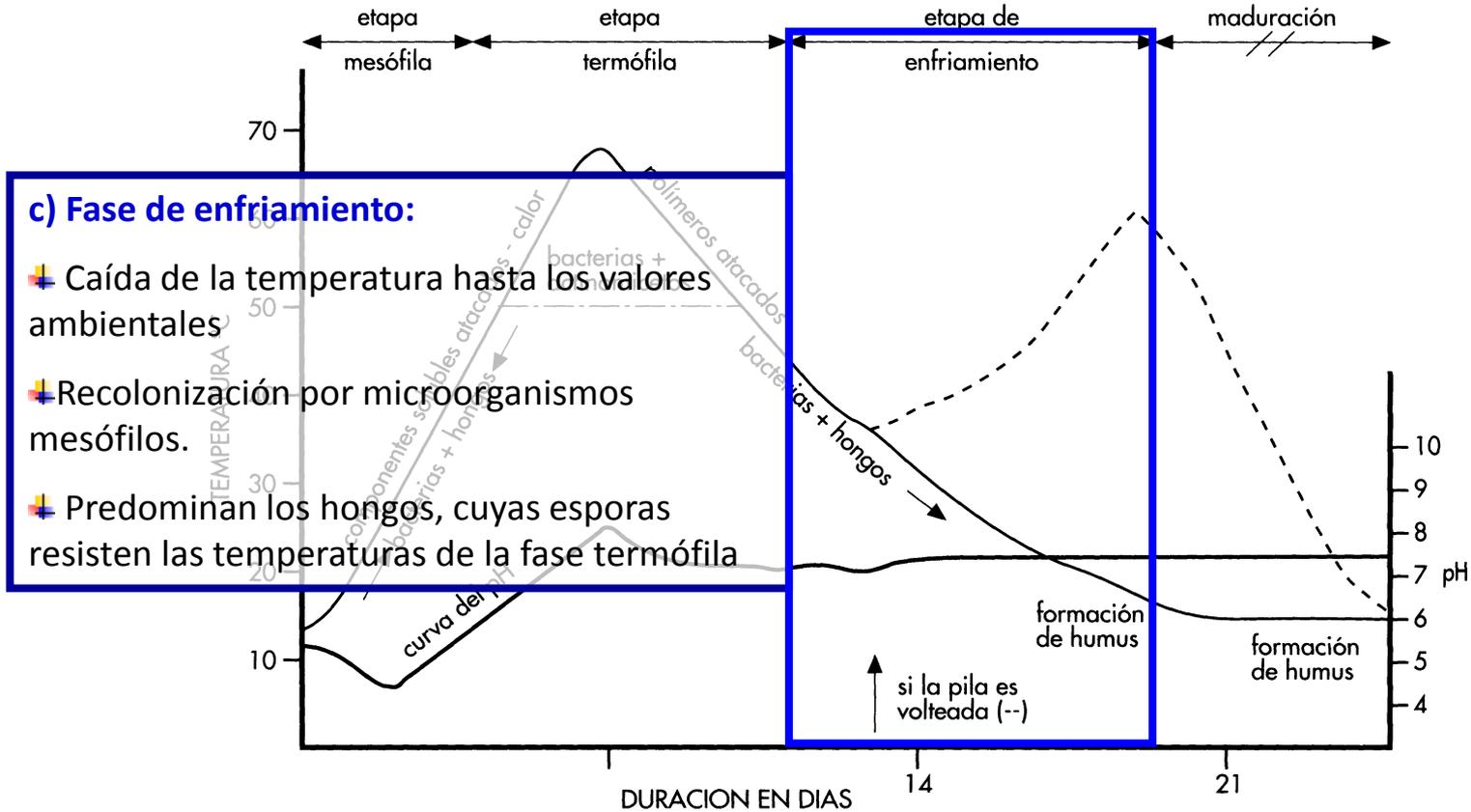
## Etapas





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Etapas



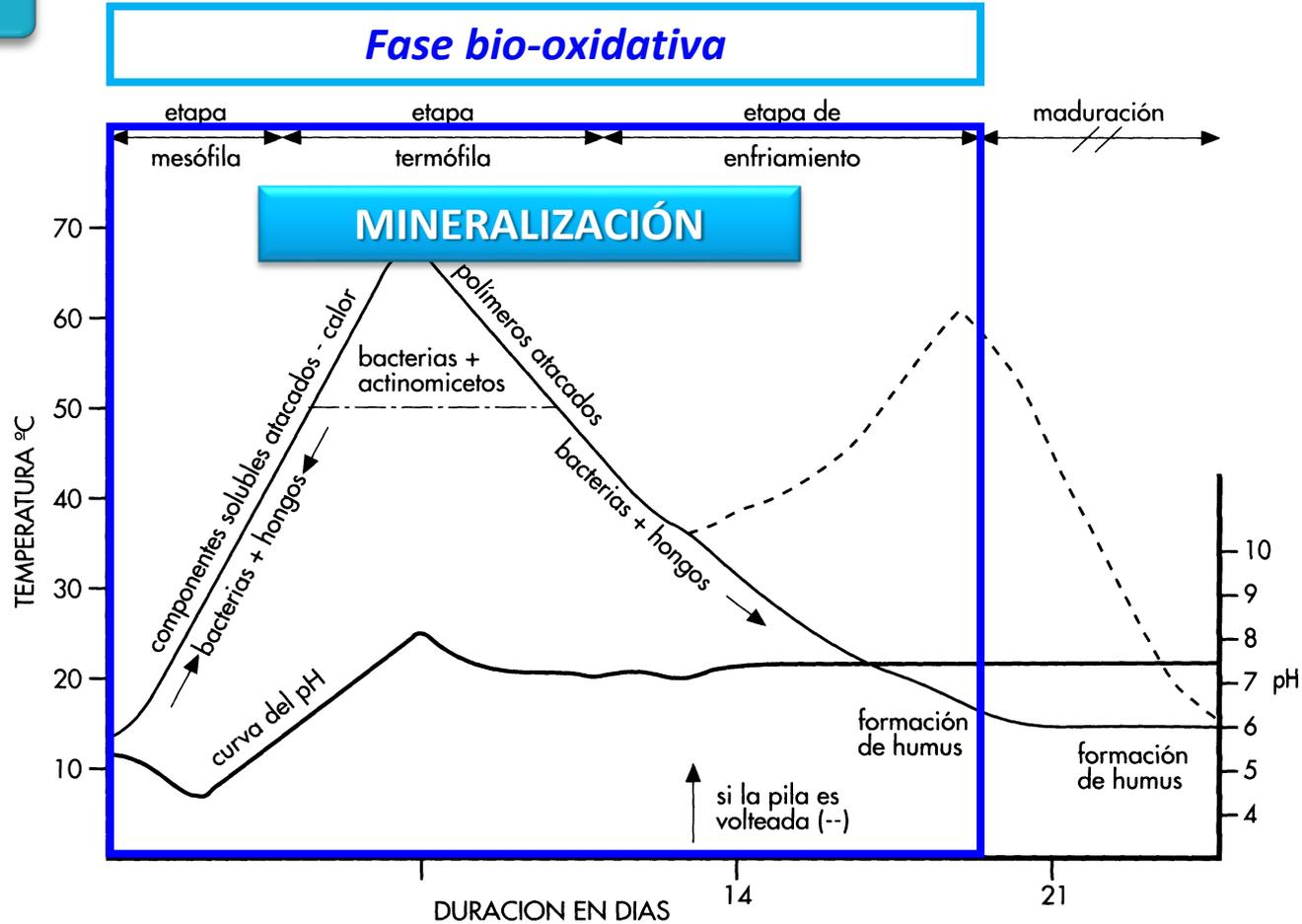
### c) Fase de enfriamiento:

- Caída de la temperatura hasta los valores ambientales
- Recolonización por microorganismos mesófilos.
- Predominan los hongos, cuyas esporas resisten las temperaturas de la fase termófila



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

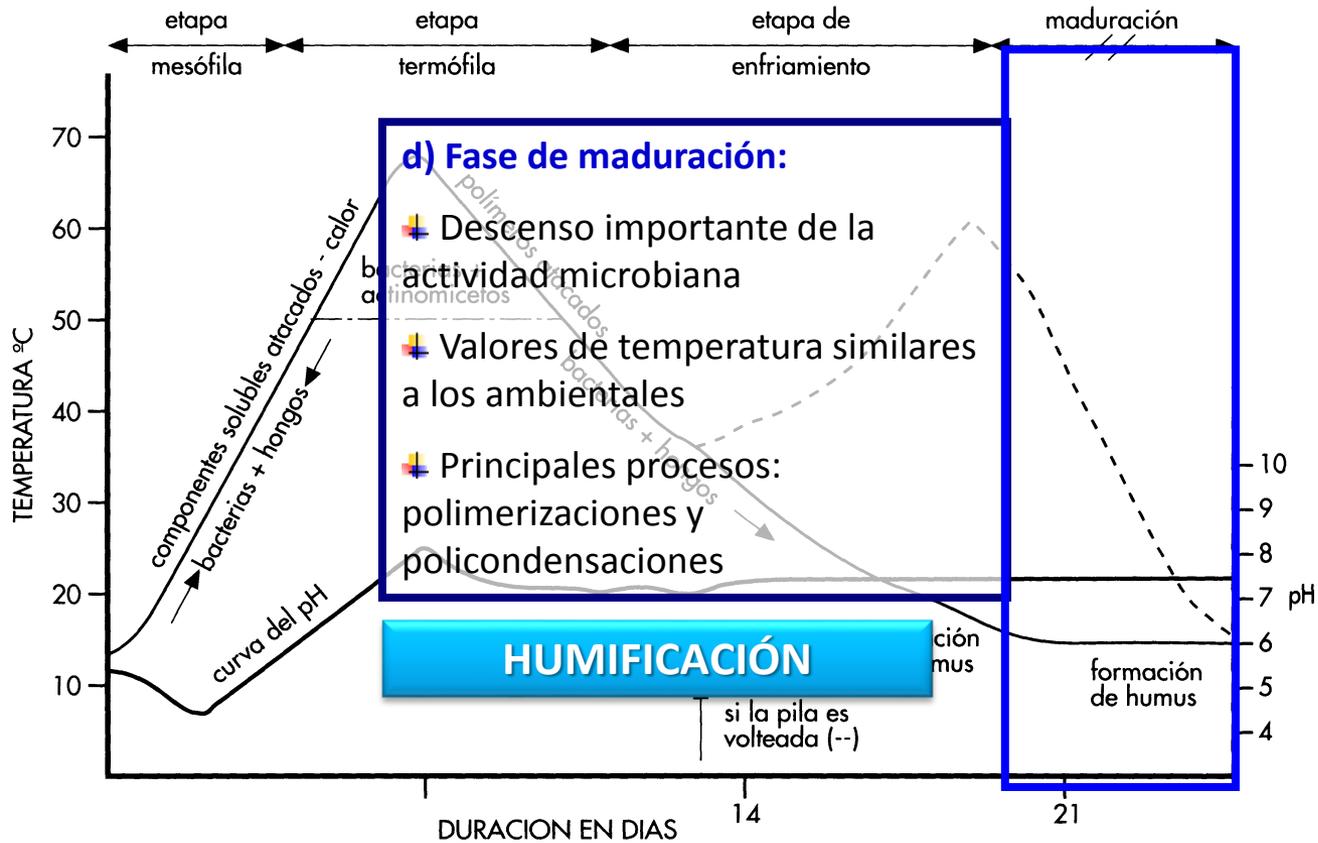
## Etapas





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Etapas





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Sustrato

#### Características físicas

#### Características químicas

#### Características físico-químicas



## A simple vista...



VS



Porosidad? Ataque microbiano?  
Superficie específica?  
Flujo de aire? Flujo de agua? Peso pila?  
Compactación?



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Sustrato

#### Características físicas

#### Características químicas

#### Características físico-químicas

- Ⓢ **Tamaño de las partículas:** 1-5 cm, mayor superficie expuesta al ataque microbiano, pero que permita el intercambio gaseoso
- Ⓢ **Porosidad del sustrato:** necesidad de agente estructurante en materiales con baja porosidad
- Ⓢ **Relación aire/agua**



VS





## Sustrato

Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Ⓢ *Composición del sustrato y balance de nutrientes*

- Relación C/N
- Disponibilidad de elementos nutritivos
- Presencia de componentes limitantes, tóxicos para los microorganismos



## Sustrato

Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas

# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

⊗ *Composición del sustrato y balance de nutrientes*

☐ **Relación C/N**

**Microorganismos:** usan treinta partes de carbono por cada una de nitrógeno, 20 partes de C son oxidadas a  $\text{CO}_2$  para obtener energía y 10 partes de C son utilizadas para sintetizar protoplasma.

La relación C/N en los materiales a compostar tendrá que estar dentro del intervalo (C/N = 25-35).

**Valores menores:** pérdidas N como amoníaco

**Valores elevados:** el proceso se prolonga, necesario adición N



## Sustrato

Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

⊗ *Composición del sustrato y balance de nutrientes*

□ **Relación C/N**

La relación C/N en los materiales a compostar tendrá que estar dentro del intervalo  $C/N = 25-35$

**Como se consigue darles de comer “bien” a los bichos a base de residuos?**



## Sustrato

Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas

# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

Ⓢ *Composición del sustrato y balance de nutrientes*

☐ **Disponibilidad de elementos nutritivos**

**Microorganismos:** necesitan una serie de **nutrientes** en una forma química **disponible** y en concentraciones adecuadas:

**C, N, P, K, B, Ca, Cl, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Se, Na y Zn**

La mayoría de estos elementos se encuentran en niveles tolerables en la mayor parte de los residuos orgánicos

Cantidades superiores a las estrictamente necesarias pueden ser tóxicas para los microorganismos implicados en el proceso de compostaje → **metales pesados**



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Sustrato

Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas

Ⓞ *Composición del sustrato y balance de nutrientes*

☐ Presencia de componentes limitantes

- Salinidad
- Polifenoles
- Metales pesados





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Sustrato

Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas

Residuo	Valor (dS/m)
Gallinaza	5,7
Estiércol de oveja	2,8 - 7
Estiércol de ternero	4,7
Estiércol de vaca	4,0
Estiércol de conejo	1,0 - 2,9

Residuo	Valor (dS/m)
Purín de cerdo	5,0 - 12
Piel almendra	7,1
RSU	3,8 - 10
Lodo de depuradora	0,8 - 11

### Salinidad

↑ **Aumento de sales debido a:**

- Efecto concentración por pérdida de peso pila
- Mineralización de la materia orgánica

↓ **Pérdida de sales debido a:**

- Lavado de elementos más móviles/solubles
- Depende de incorporación o no de lixiviados a la pila
- **Sin reincorporación de lixiviados y flujo neto de agua en maduración, eliminamos exceso de sales de la pila**

**Estrategia de gestión: Elección de materiales con conductividad eléctrica adecuada ↓ aumenta valor compost**



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Sustrato

Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas

### Polifenoles

- Los compuestos de naturaleza fenólica se caracterizan por tener un importante **efecto antimicrobiano**.
- Determinados residuos presentan un alto contenido en compuestos polifenólicos (residuos del vino, residuos del aceite de oliva).



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Sustrato

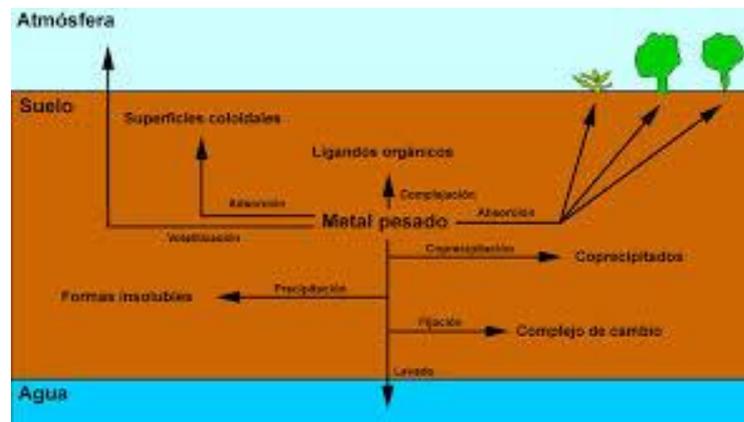
Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas

### Metales pesados

- Elementos que pueden ser tóxicos para el proceso y además constituir un vector de contaminación de los agrosistemas.
- Límites establecidos en el compost previo a su uso agrícola (legislación).





## Sustrato

Características físicas

Características químicas

Características físico-químicas



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### @ pH

rango **ideal** mezcla inicial **6-9**, para evitar inhibición actividad microbiana

- ❑ *Determinados residuos presentan un pH muy ácido, como los residuos del vino o los residuos de elaboración de zumos de cítricos.*
- ❑ *Corrección con aditivos (CaO) o con un residuo de pH básico (estiércol o lodo EDAR).*

# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

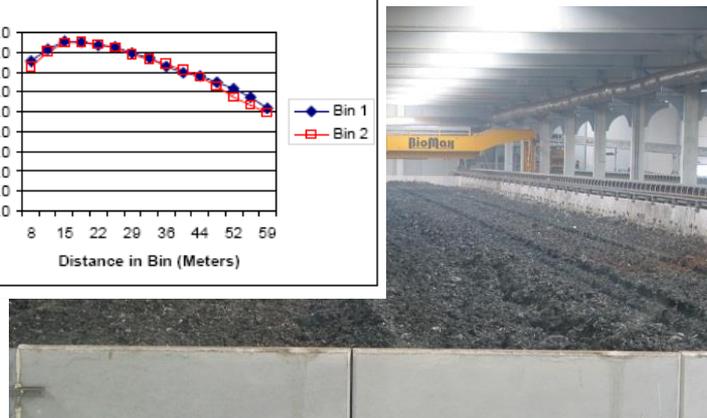
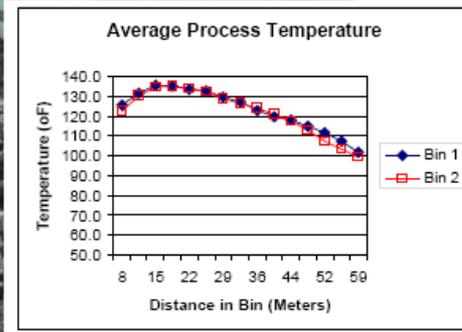
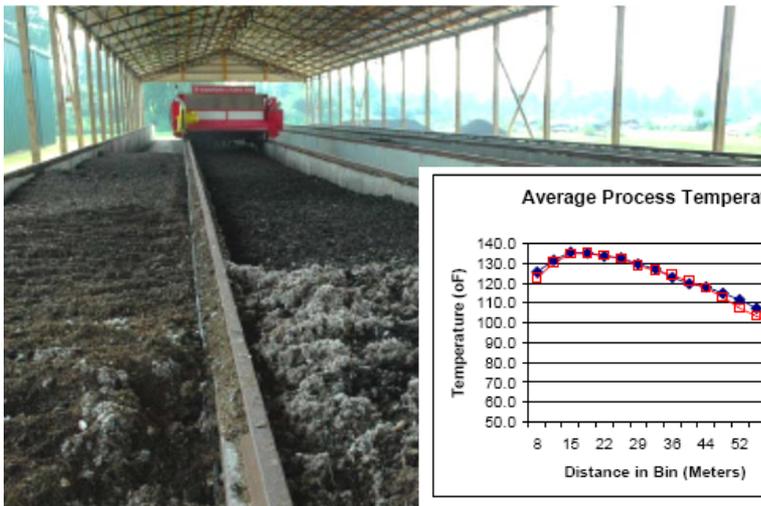
### Condiciones ambientales

#### Temperatura

#### Aireación

#### Humedad

El control de las condiciones ambientales permiten mejorar la calidad del compost y reducir las emisiones líquidas y gaseosas ( $N_2O$  y  $CH_4$ ).



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Condiciones ambientales

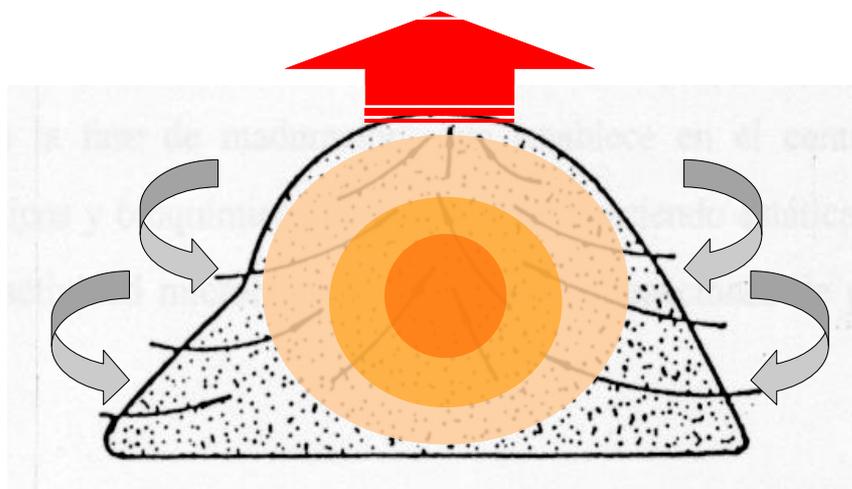
Temperatura

Aireación

Humedad

Proceso global exotérmico constituido por diferentes etapas:

- ▶ mesófila
- ▶ **termófila**
- ▶ de enfriamiento
- ▶ de maduración





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

Condiciones ambientales

Temperatura

Aireación

Humedad

Es necesario un balance térmico adecuado para la consecución de higienización, degradación de la materia orgánica residual y eliminación de malas hierbas en toda la masa

### 2º Borrador Tratamiento Biológico de Biorresiduos.

**Anexo II:** A nivel de higienización se deben cumplir los objetivos del anexo II en el compost final

Compostaje en pila

	Temperature	Treatment time	Turnings
Windrow composting	$\geq 55^{\circ}\text{C}$	2 weeks	5
Windrow composting	$\geq 65^{\circ}\text{C}$	1 week	2
In-vessel composting	$\geq 60^{\circ}\text{C}$	1 week	N/A



## Condiciones ambientales

Temperatura

Aireación

Humedad

# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

Study report on End-of-waste criteria for Biodegradable waste subjected to biological treatment. Draft Final Report, July 2013.

El productor debe demostrar que cada proceso de compostaje ha alcanzado un perfil temperatura-tiempo adecuado:

Tres perfiles admitidos en compostajes que no incluyan residuos o subproductos ganaderos:

- 65 °C o más al menos 5 días
- 60 °C o más al menos 7 días
- 55 °C o más al menos 15 días

Los compost que incluyen residuos y subproductos animales deben cumplir **requisitos adicionales** de cara a la prevención de otros riesgos, en general al menos **70°C al menos una hora**



## Condiciones ambientales

Temperatura

Aireación

Humedad



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

La **aireación debe estar controlada** cerca de su óptimo (niveles entre 10-18%  $O_2$  dentro de la pila)

- ▶ **Falta de aireación:** anaerobiosis
- ▶ **Exceso de aireación:** enfriamiento de la masa y disminución actividad microbiana.
- ▶ **Requerimientos de  $O_2$  son diferentes en cada etapa del proceso:**
  - Etapa mesófila e inicio de termófila mayor crecimiento microbiano= mayor requerimiento de  $O_2$
  - Etapa de madurez reducida actividad y crecimiento microbiano=bajos requerimiento de  $O_2$



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Condiciones ambientales

Temperatura

Aireación

Humedad



Los microorganismos necesitan cierta cantidad de agua para su metabolismo; ésta constituye también un medio de transporte de los nutrientes solubles y de los productos de reacción.

La actividad microbiana se reduce considerablemente cuando el contenido de humedad se sitúa:

- por debajo de 35%, actividad microbiana desciende: inhibición
- por debajo del 12%: falta de actividad biológica

**Exceso de humedad:** se favorecen las condiciones anaerobias

**El nivel óptimo de humedad está situado entre un 40-60 %.**



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Control del proceso

### Condiciones ambientales

Temperatura

Aireación

Humedad

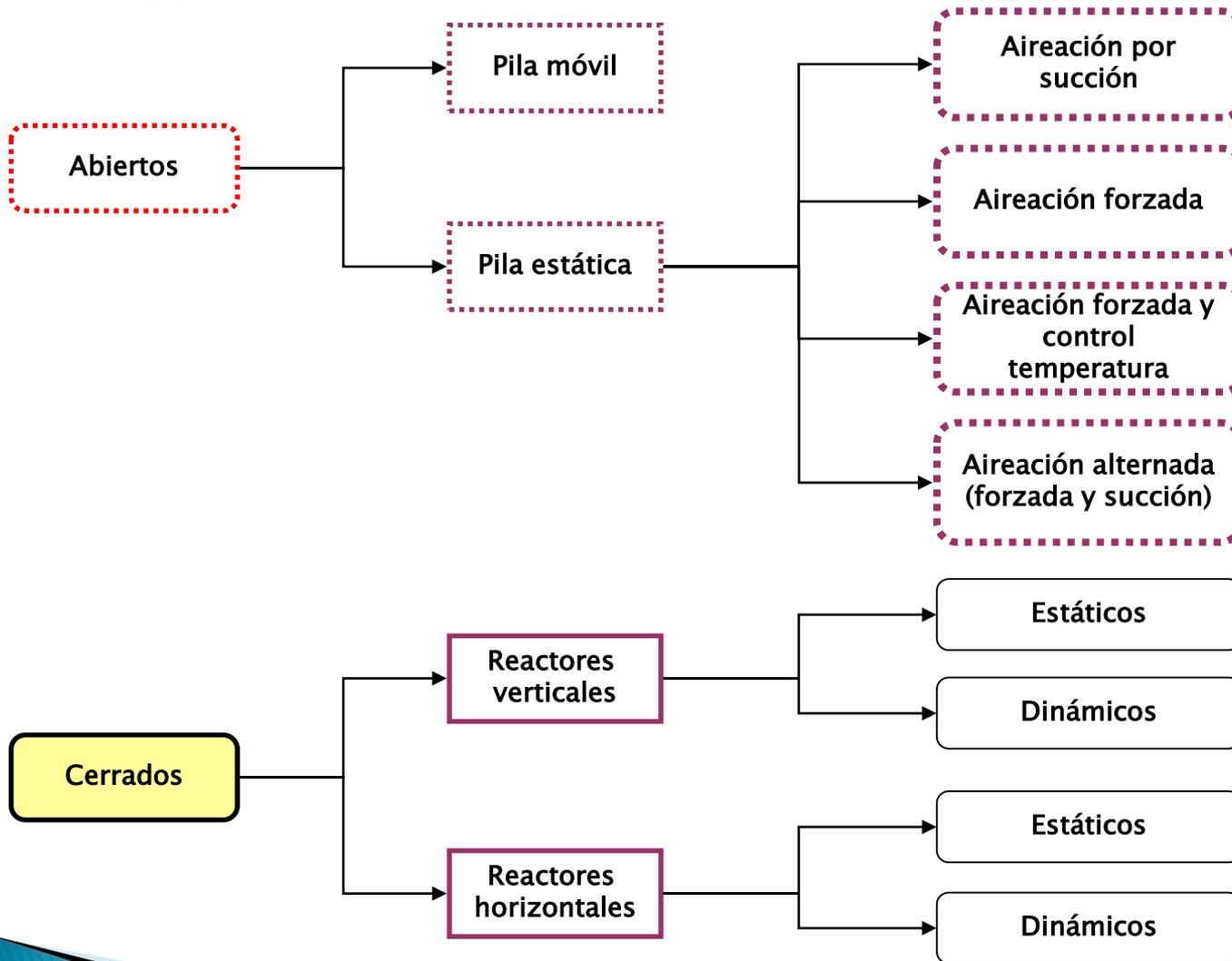
### Equilibrio:



- Ⓢ **Exceso aireación/volteos:** que enfrían la pila
- Ⓢ **Falta de aireación:** acumulación térmica, malos olores, anaerobiosis...
- Ⓢ **Pilas grandes:** mayor masa mayor acumulación calor, tendencia anaerobiosis...
- Ⓢ **Pilas pequeñas:** mucha difusión de calor, no se alcanza higienización...
- Ⓢ **Humectación pilas:** enfrían la pila, pero si no se humecta, se para el proceso, final ficticio...
- Ⓢ **Temperaturas muy altas:** la materia orgánica se combustiona, se hace ceniza...∅ compost



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## *Sistemas abiertos: Pila móvil o volteada*



“A mano”

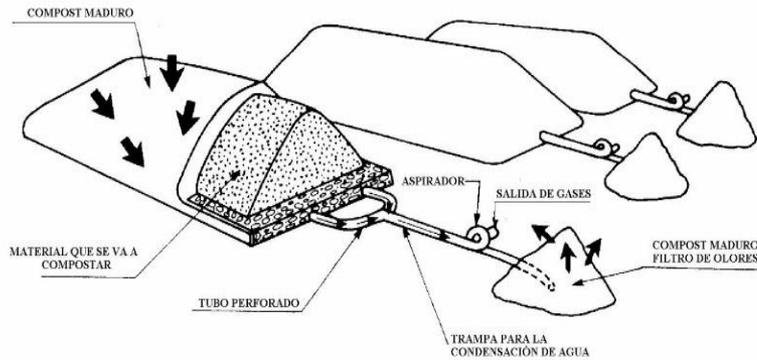


“A máquina”



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## *Sistemas abiertos:* Pila estática con aireación forzada (sistema Beltsville)





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## *Sistemas abiertos:* Pila estática con aireación forzada (sistema Rutgers)

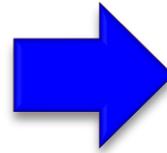




# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

► El requisito principal de un compost para su uso agrícola con seguridad, es su **grado de estabilidad y madurez**, que implica una **materia orgánica estable**, la **ausencia de compuestos fitotóxicos** y de **microorganismos patógenos**.



- **Las características de las materias primas:** salinidad, contenido en metales pesados
- **Las condiciones en las que se ha desarrollado el proceso:** elección de la mezcla adecuada, equilibrio entre nutrientes, humedad, aireación y porosidad



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

### Calidad del compost

- **Calidad física:**  
granulometría, humedad, presencia de partículas extrañas, etc.
- **Calidad química:**  
contenido y estabilidad de la MO y al contenido en nutrientes y contaminantes
- **Calidad biológica:**  
presencia de patógenos y semillas de malas hierbas





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre **productos fertilizantes**

**Definición de compostaje del RD:** proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de materiales orgánicos biodegradables que da lugar a los tipos de abonos o enmiendas orgánicos, cuyas características se detallan en los grupos 2 y 6 del anexo I.

Grupo 6 “Enmiendas orgánicas” del anexo I distingue estos tipos de compost:

- 6.02 Compost (compost en general)
- 6.03 Compost vegetal
- 6.04 Compost de estiércol
- 6.05 Vermicompost
- 6.09 Compost de alperujo





# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre **productos fertilizantes**

- **Requisitos mínimos exigibles:** contenido en materia orgánica, humedad, C/N, granulometría, presencia de inertes, etc.
- Declaración del contenido nutriente: P, K, C orgánico, N (amonio, nitratos)
- Límites máximos de metales pesados: categorías de calidad de compost
- Límites máximos de patógenos

<i>Contenidos mínimos</i>	6.02	6.03	6.04	6.05	6.09
Materia orgánica total (%)	35	40	35	30	45
Humedad máxima (%)	40	40	40	40	40
C/N	< 20	< 15	< 20	< 20	< 20
Contenido en impurezas e inertes	0	0	0	exento	0
Granulometría, donde 90% de las partículas pasan por malla de:	25 mm	exento	exento	25mm	exento
Contenido máximo en polifenoles	exento	exento	exento	exento	0.8%



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre **productos fertilizantes**

- **Requisitos mínimos exigibles:** contenido en materia orgánica, humedad, C/N, granulometría, presencia de inertes, etc.
- **Declaración del contenido nutriente:** P, K, C orgánico, N (amonio, nitratos)
- **Límites máximos de metales pesados:** categorías de calidad de compost
- **Límites máximos de patógenos**

Contenidos en nutrientes a garantizar				
6.02	6.03	6.04	6.05	6.09
Materia orgánica total				
C orgánico				
N total (si supera el 1%)				
N orgánico (si supera el 1%)				
N amoniacal (si supera el 1%)				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (si supera el 1%)				
K <sub>2</sub> O (si supera el 1%)				
Ácidos húmicos				
Granulometría				
Tipo o tipos de estiércoles empleados (sólo vermicompost)				



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre **productos fertilizantes**

### Límite máximo de metales pesados

Metal pesado	Límites de concentración		
	Sólidos: mg/kg de materia seca		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)	0	0	0

- Requisitos mínimos exigibles: contenido en materia orgánica, humedad, C/N, granulometría, presencia de inertes, etc.
- Declaración del contenido nutriente: P, K, C orgánico, N (amonio, nitratos)
- **Límites máximos de metales pesados:** categorías de calidad de compost
- Límites máximos de patógenos



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre **productos fertilizantes**

### Límite máximo de microorganismos

Microorganismo	Requisito (*)
<i>Salmonella</i>	Ausente en 25 g
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 NMP por g

\* producto elaborado

- Requisitos mínimos exigibles: contenido en materia orgánica, humedad, C/N, granulometría, presencia de inertes, etc.
- Declaración del contenido nutriente: P, K, C orgánico, N (amonio, nitratos)
- Límites máximos de metales pesados: categorías de calidad de compost
- Límites máximos de patógenos



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

### Supresividad frente a fitopatógenos: una propiedad adicional

**Supresividad:** Capacidad para reducir o suprimir el efecto de determinadas enfermedades en las plantas

- Algunos de los agentes fitopatógenos en los que se ha estudiado la supresividad natural de los composts son hongos y bacterias causantes de diversas enfermedades:
  - ✓ Fusariosis (*Fusarium oxysporum*)
  - ✓ Podredumbre de raíz (*Rhizoctonia solani*)
  - ✓ Podredumbre base tallo (*Pythium* spp.)
  - ✓ Mancha bacteriana (*Xanthomonas*)



# PRINCIPIOS DEL COMPOSTAJE

## Calidad del compost

### Supresividad frente a fitopatógenos: una propiedad adicional

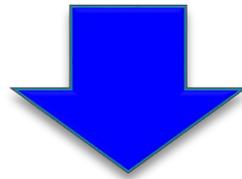
**Supresividad:** Capacidad para reducir o suprimir el efecto de determinadas enfermedades en las plantas.

- La supresividad natural puede deberse a las propiedades químicas o biológicas del compost o a la unión de ambos efectos.





*Mediante el **compostaje** se consigue valorizar **agronómicamente los residuos orgánicos**, al obtener un material estabilizado a todos los niveles y con un potencial valor añadido*



*Al conseguir transformar un residuo en un recurso, se favorece la **sostenibilidad de los sistemas agrícolas y del medio ambiente**.*



# *Gracias por su atención*

Contacto:

**GIAAMA**



**Grupo de  
Investigación  
Aplicada en  
Agroquímica  
y Medio  
Ambiente  
Universidad  
Miguel  
Hernández**

**Dra. María Ángeles Bustamante Muñoz**

Escuela Politécnica Superior de Orihuela  
Universidad Miguel Hernández de Elche  
E-03312 Orihuela (Alicante), España

[www.umh.es](http://www.umh.es)

 966749655/8338

[marian.bustamante@umh.es](mailto:marian.bustamante@umh.es)