



Beta

Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària

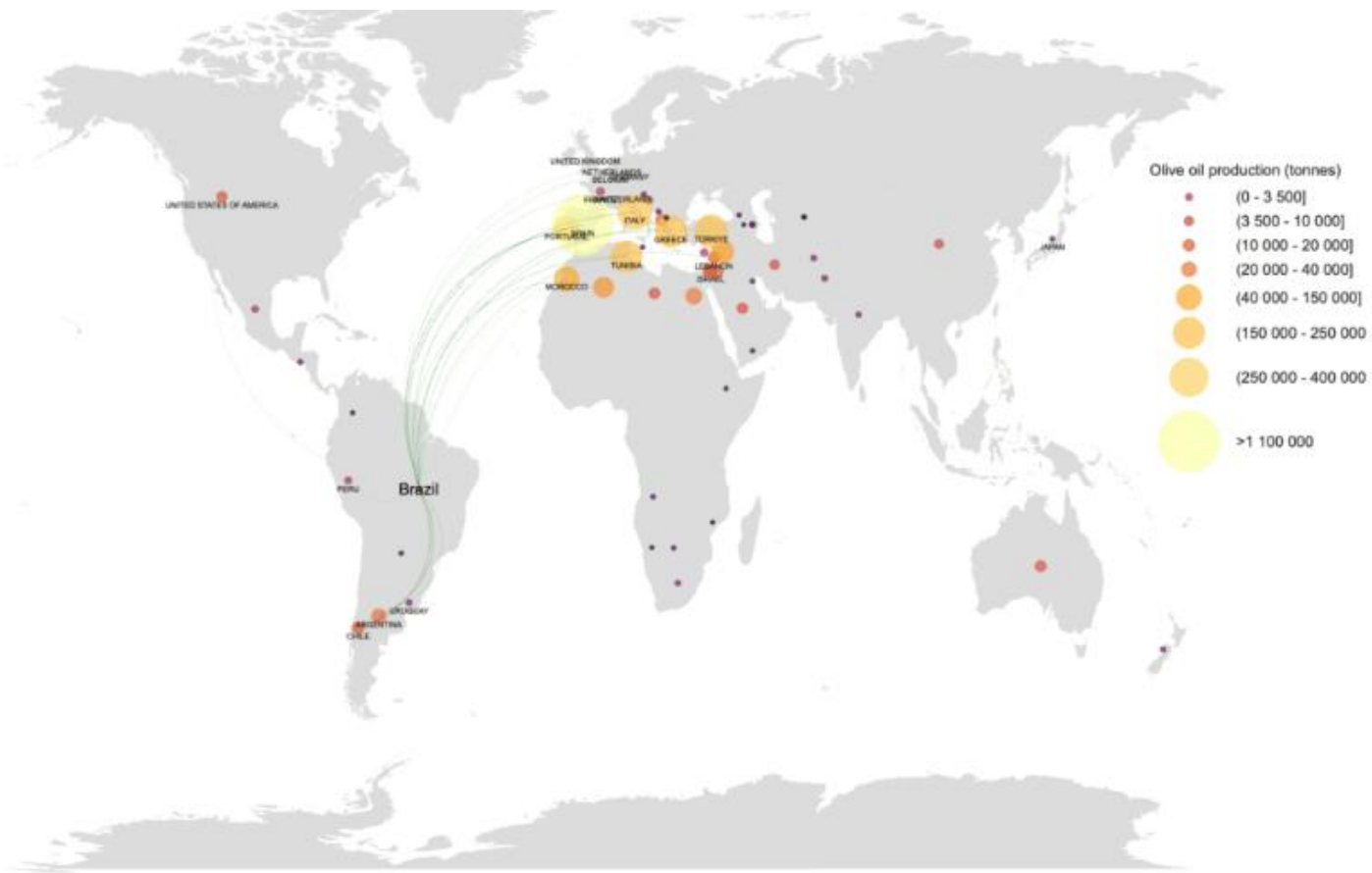


UNIVERSITAT DE VIC
UNIVERSITAT CENTRAL
DE CATALUNYA

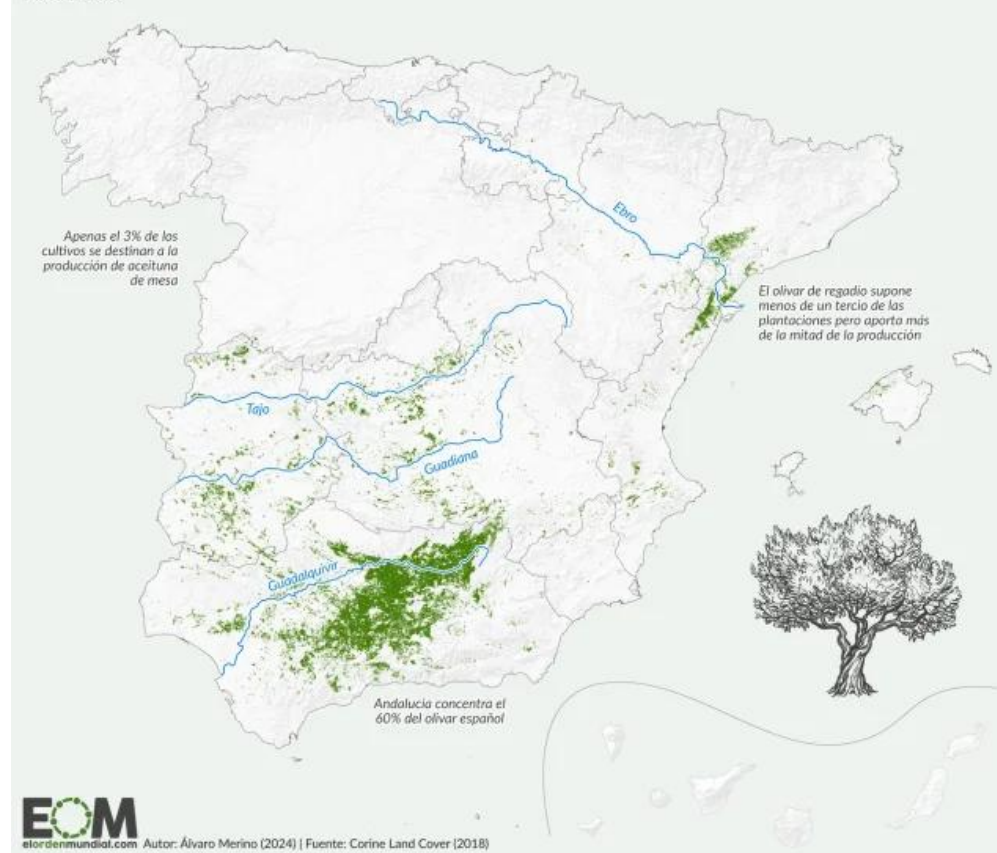
Mejora en la gestión y valorización del alperujo a través de procesos de digestión anaerobia y compostaje

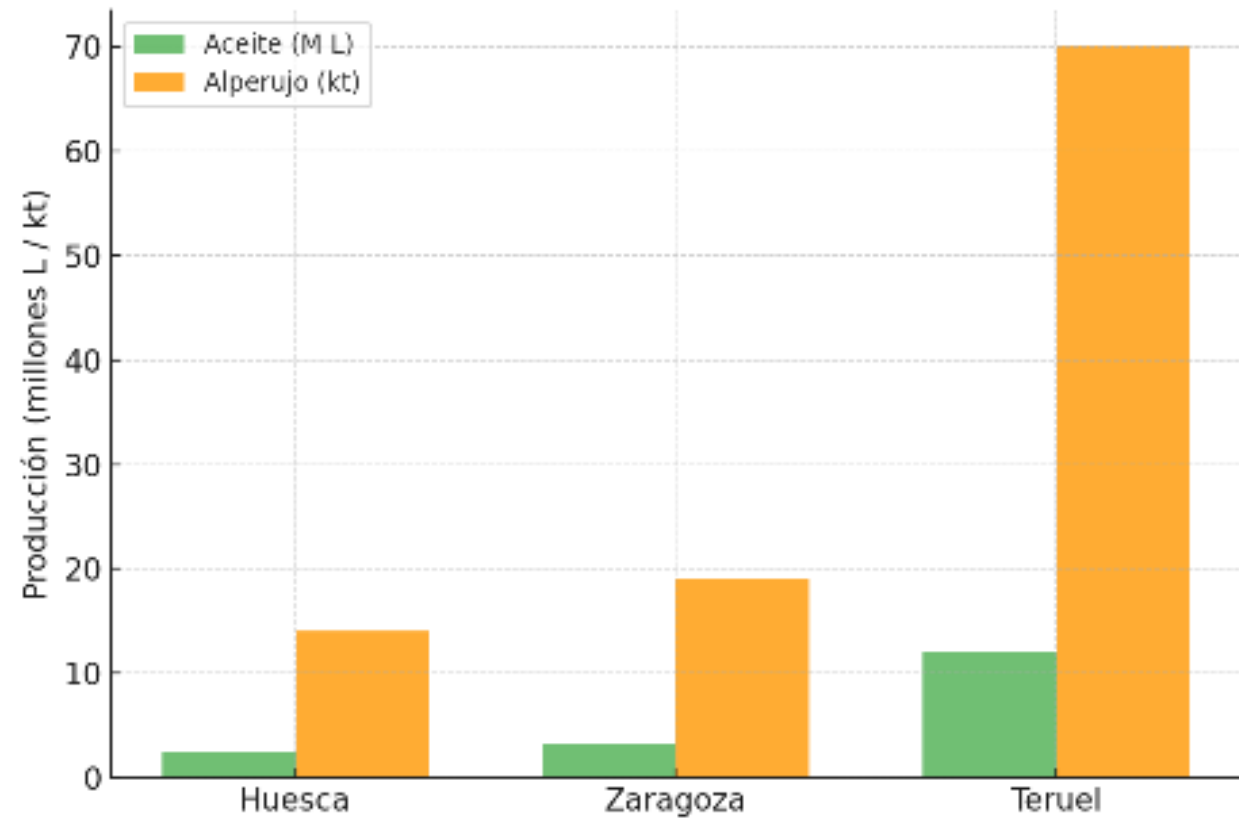
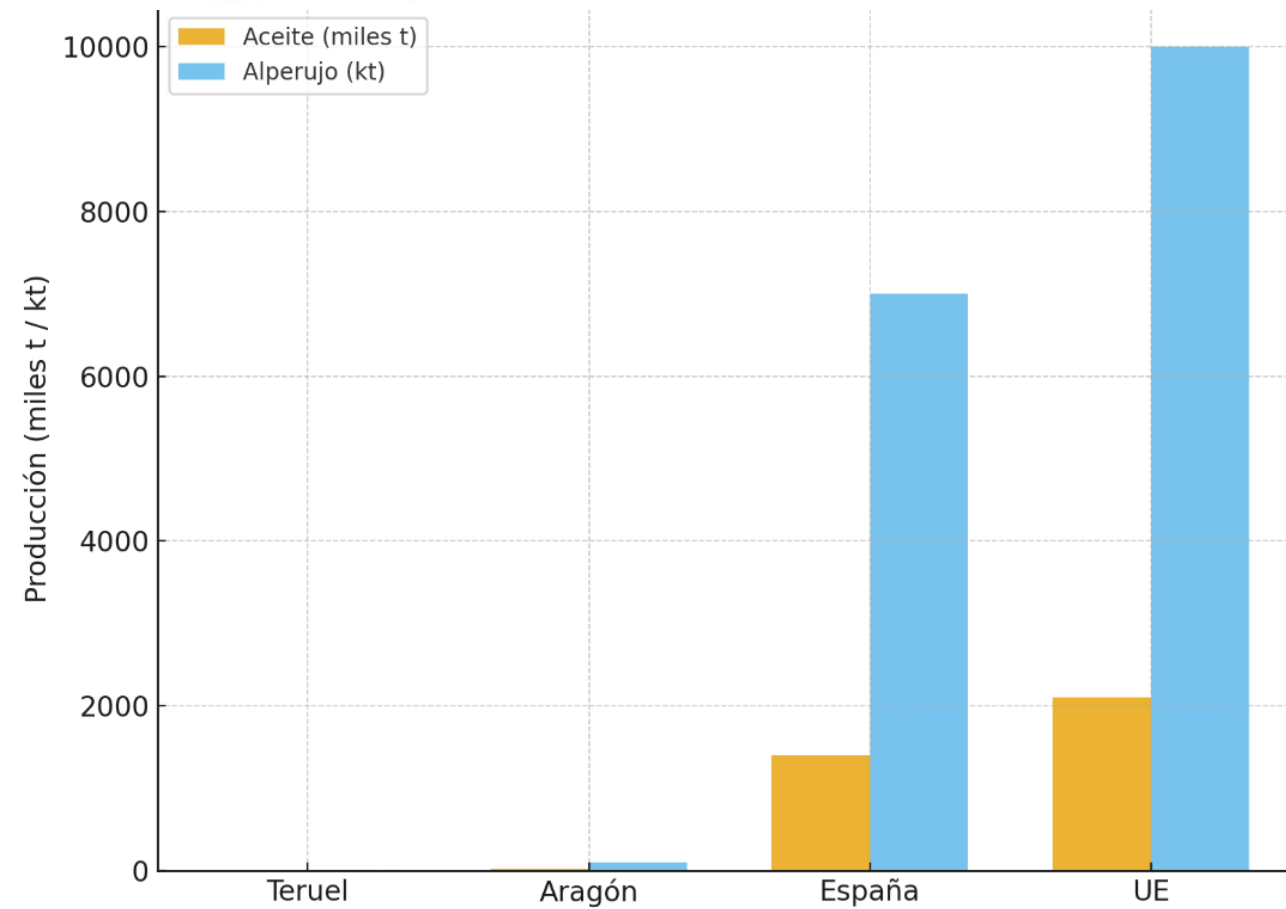
Pedro F. Rizzo
Investigador sènior CT BETA





El olivar de España Plantaciones

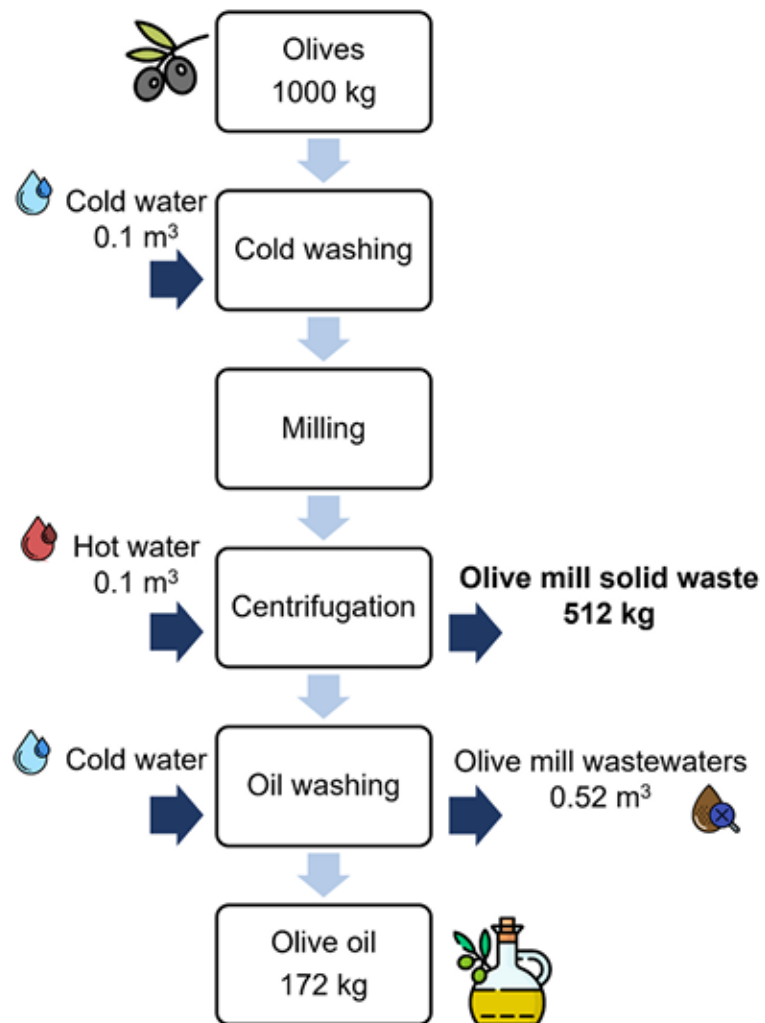




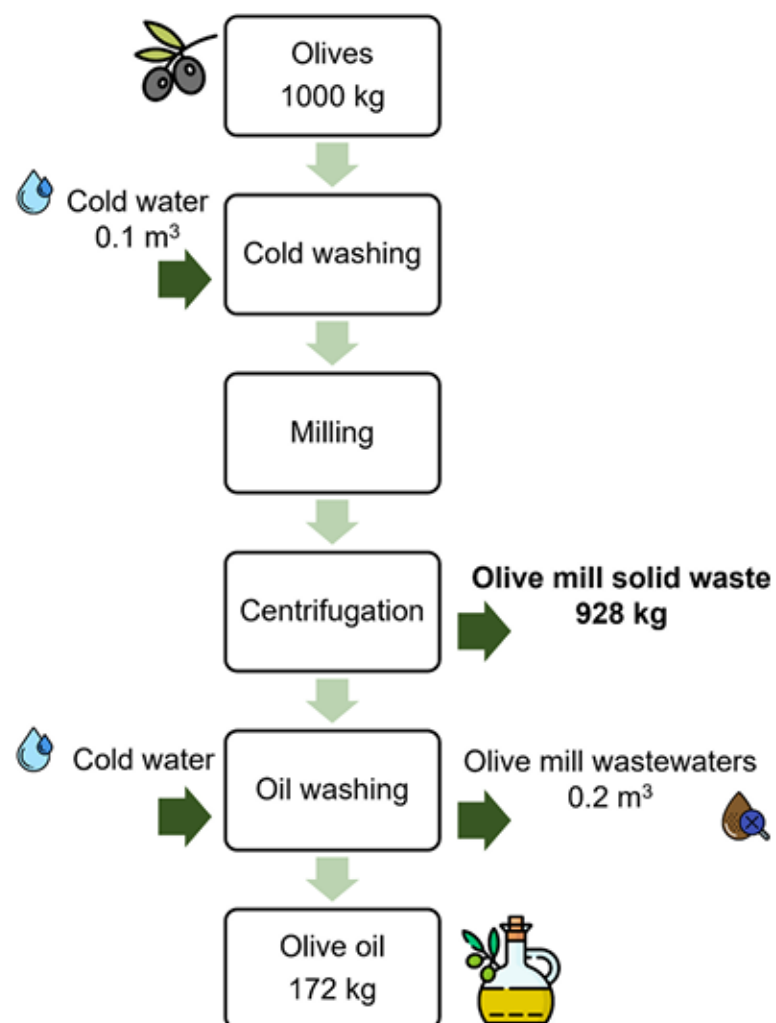
Región	Producción aceite	Producción de alperujo	Fuente
Teruel (Bajo Aragón)	≈2,0 millones L	≈11,6 kt	Aliakbarian, B., et al. (2011)
Aragón	≈17,8 millones L	≈103 kt	Christoforou, E. & Fokaides, P.A. (2016)
España	≈1,4 Mt	≈5-9 Mt	Borja, R., et al. (2006)
Unión Europea	≈2,1 Mt	≈8-13 Mt	Restuccia, A., et al. (2022)

a)

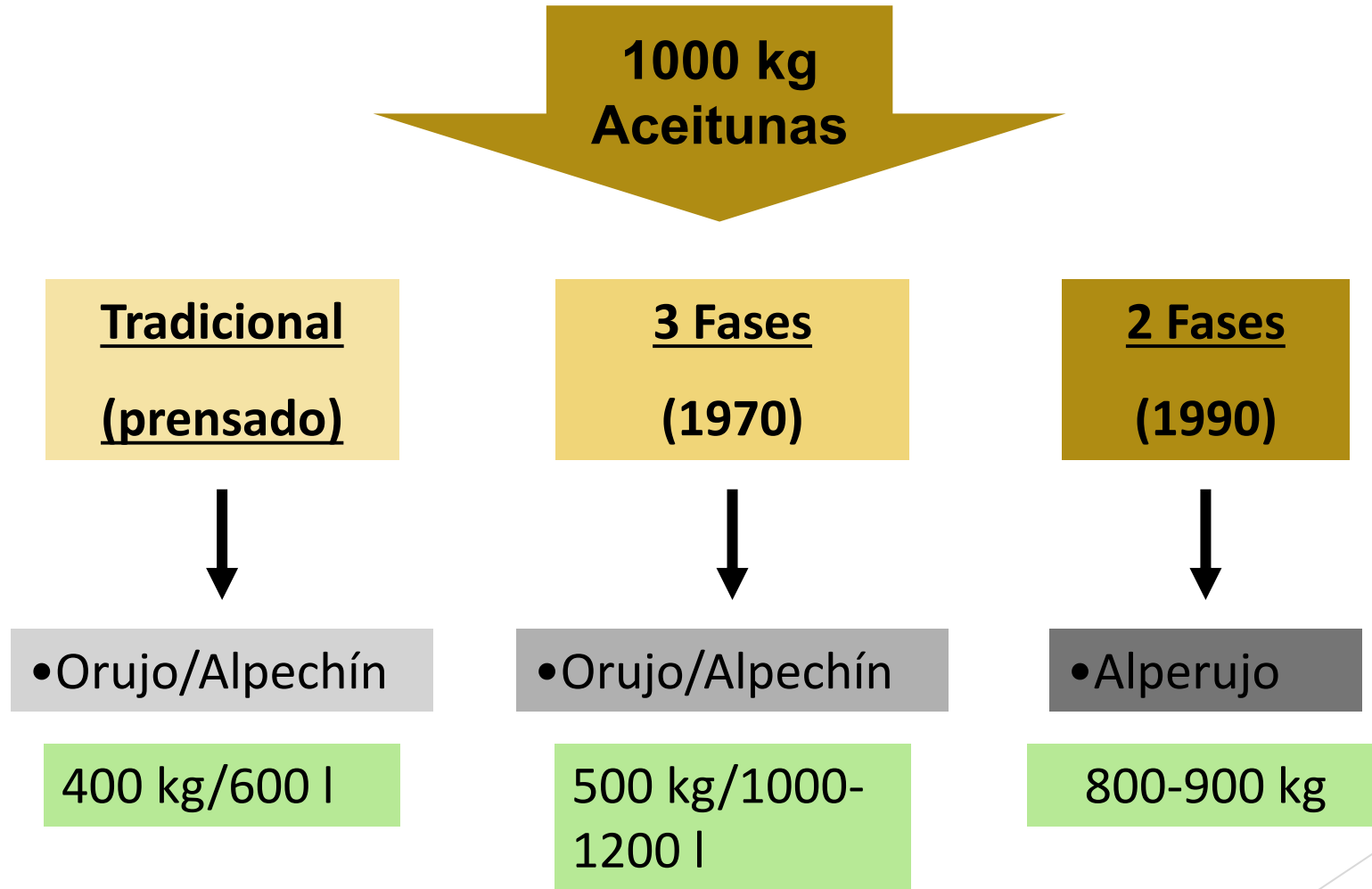
Three-phase olive oil production



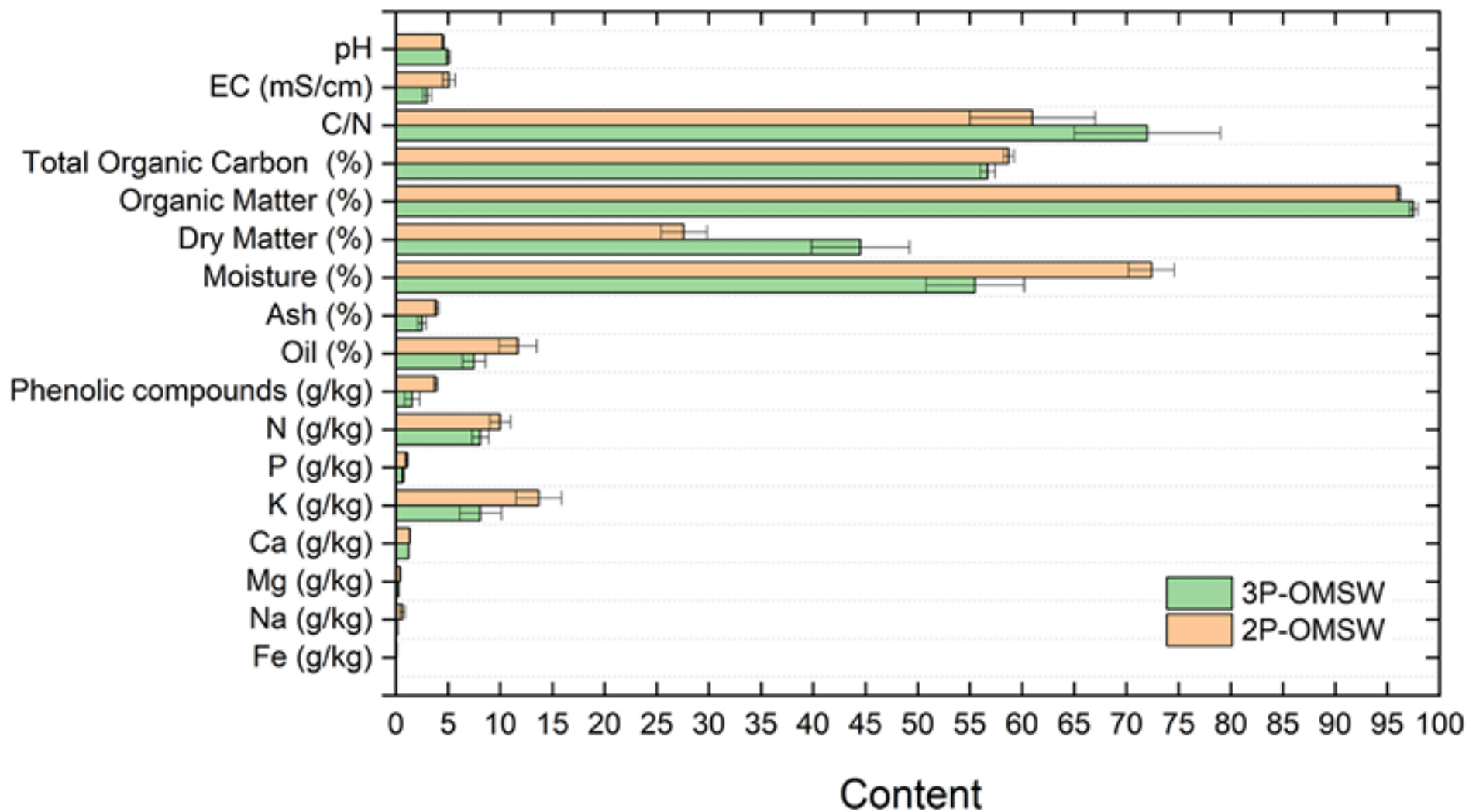
Two-phase olive oil production



Distintos sistemas de extracción de aceite de oliva



*Adaptado de Morillo et al 2009





Alperujo

Semisólido resultante de la extracción de AO por sistemas de 2 fases (1000kg de aceituna generan 800-900kg de alperujo)

Compuesto por carozo, pulpa y agua de vegetación de aceitunas

No contiene metales pesados ni microorganismos patógenos

PRODUCTO NATURAL generado exclusivamente por procesos físicos o mecánicos

REPRESENTA EL 80% DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE UN OLIVAR!!!!

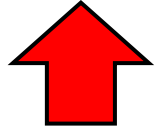
Composición química del alperujo

Parámetro	Alperujo
Agua (%)	55-78
pH	4,5-6,1
MOT (%)	90-95
Cont. graso (%)	1,90-8,10
N Total (%)	0,90-1,5
K (%)	1,20-3,10
P, Fe, Ca, Na, Mn, Zn, Cu, Mg. (%)	<1
Fenoles (ppm)	4000-20000
C/N	35-55

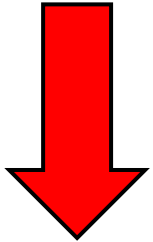
¿Qué sucede si no se brinda un tratamiento adecuado al alperujo?



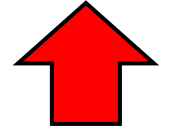
Generación de malos olores



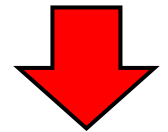
Contaminación atmosférica



Contaminación de napas de agua y cuerpos de agua superficial por escorrentía



Proliferación de Plagas



Contaminación De suelos

Dificultades relacionadas al manejo de alperujo

Ambientales

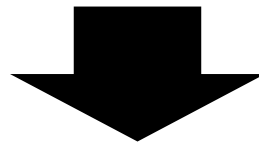
- Contaminación de cursos de agua en caso de vuelco directo o almacenamiento en balsas no impermeabilizadas
- Efectos tóxicos sobre algunos cultivos y organismos (compuestos fenólicos)
- Emanación de olores durante su acumulación por períodos prolongados

Logísticas/Económicas

- Estacionalidad
- Movimiento/Acopia/almacenamiento
- Elevados costos de transporte



En general, la producción olivícola se sitúa en suelos frágiles caracterizados por escaso contenido en materia orgánica y muy susceptibles a procesos de degradación.



Reutilizar residuos olivícolas como enmienda de suelos, en el lugar de producción con el fin de restituir MO y nutrientes, disminuir costos de traslado y minimizar los conflictos ambientales que se pudieran ocasionar



Beta

Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària



UNIVERSITAT DE VIC
UNIVERSITAT CENTRAL
DE CATALUNYA

Compostaje

Pedro F. Rizzo
Investigador sènior CT BETA



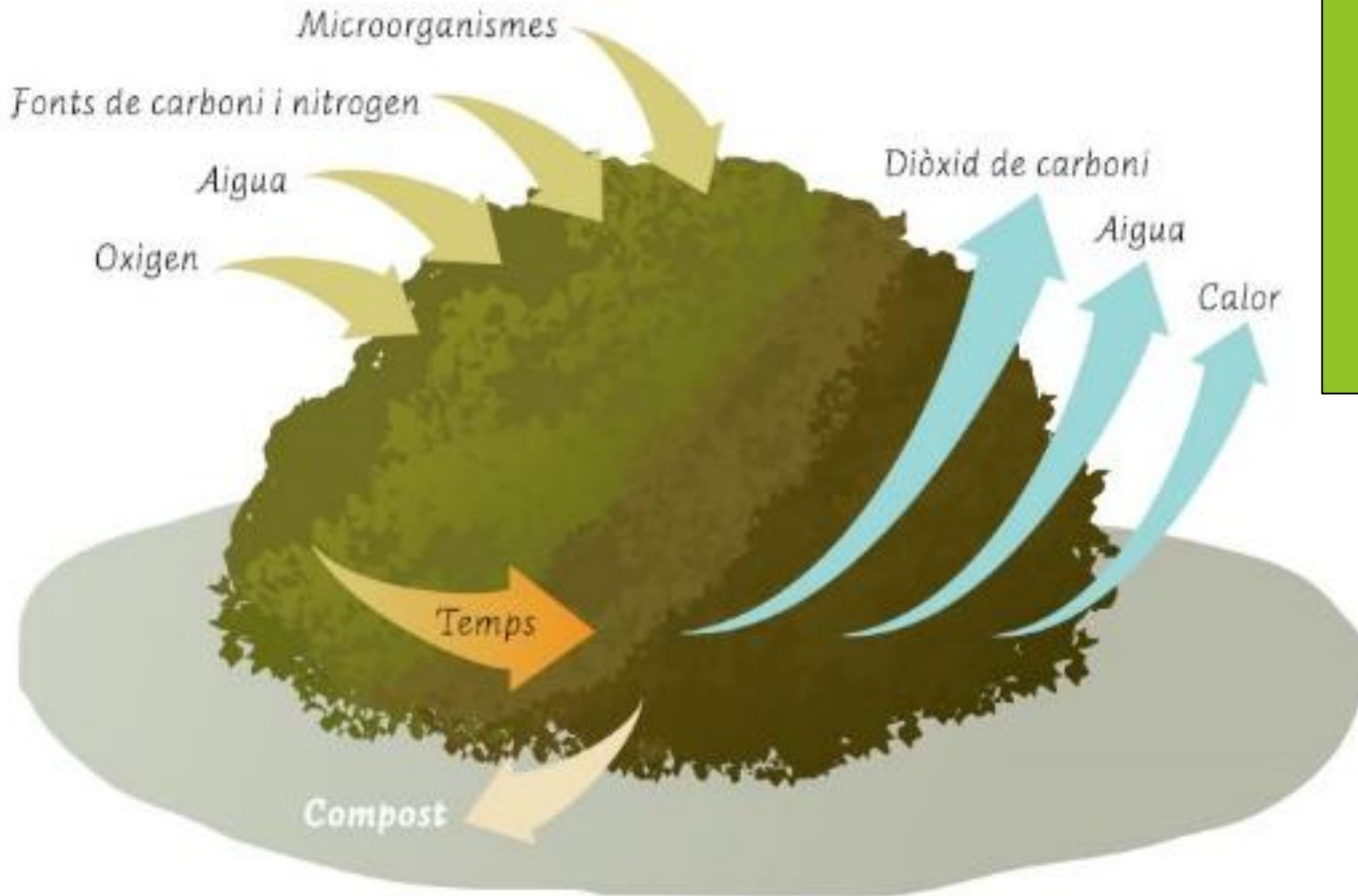
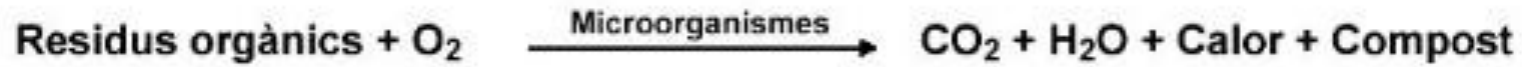
Una alternativa para el tratamiento de residuos sólidos

COMPOSTAJE



Proceso controlado de transformación biológica de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas y termófilas. Por acción microbiana deben transcurrir tres etapas diferentes y en el orden enunciado: 1) Una primera etapa mesófila; 2) Una etapa termófila; 3) Una segunda etapa mesófila (o de maduración).

COMPOSTAJE

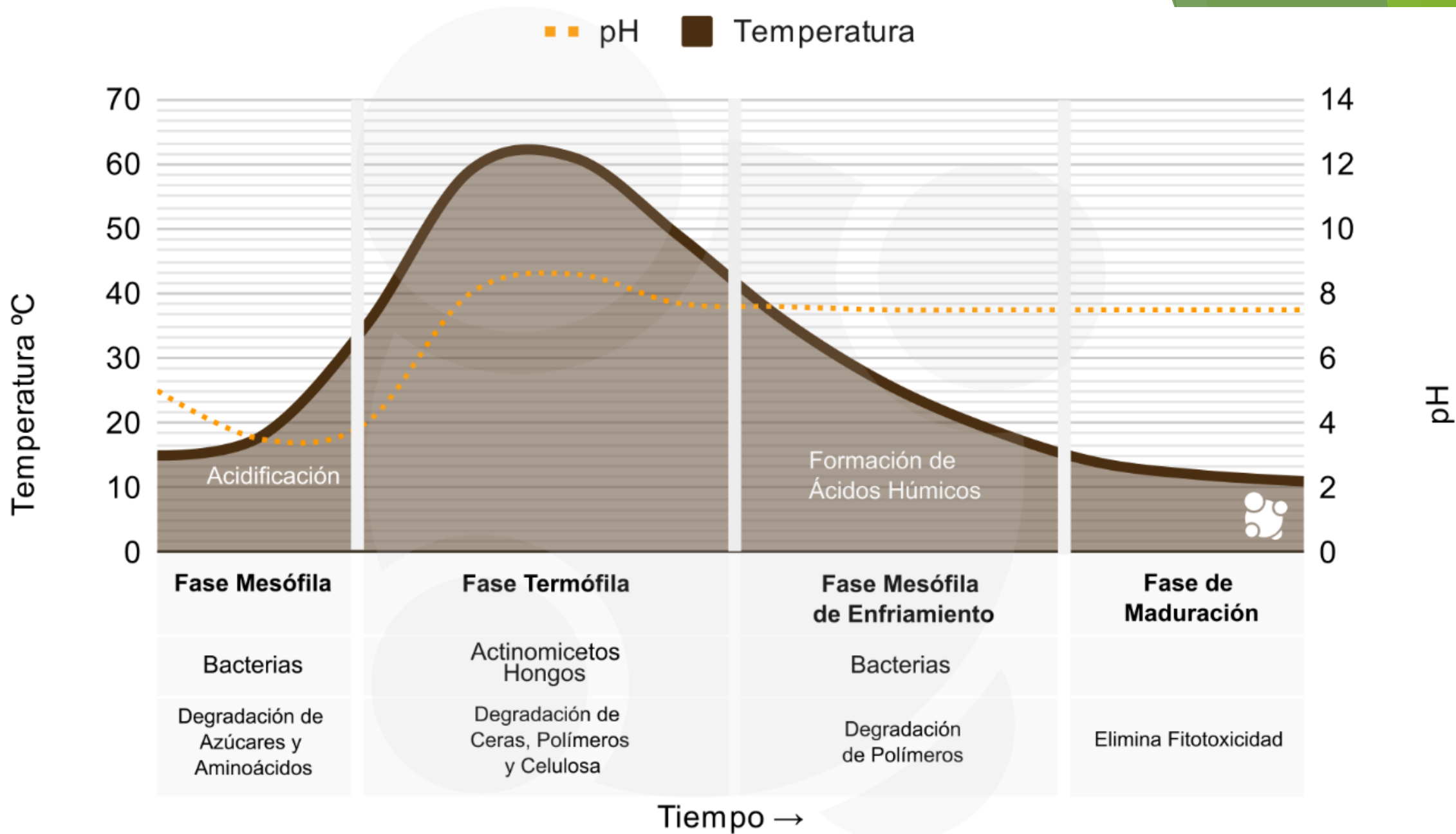


VENTAJAS

- Disminución del volumen,
- Eliminación de malos olores, patógenos, malezas y plagas.
- Estabilización de la materia orgánica, reciclado de nutrientes.
- Posible uso final como enmienda y mejorador de la estructura del suelo.

PRÁCTICAS DE RUTINA

- Medición de temperatura y humedad.
- Aireación por medio de volteos.



Acidificación

Formación de Ácidos Húmicos

Fase Mesófila	Fase Termófila	Fase Mesófila de Enfriamiento	Fase de Maduración
Bacterias	Actinomicetos Hongos	Bacterias	
Degradación de Azúcares y Aminoácidos	Degradación de Ceras, Polímeros y Celulosa	Degradación de Polímeros	Elimina Fitotoxicidad

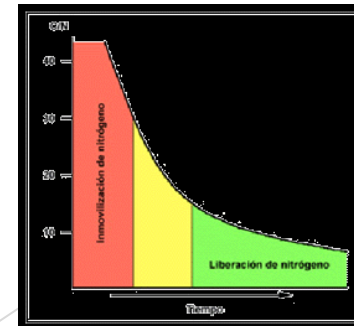
Tiempo →

COMPOSTAJE

Principios básicos

VARIABLES DE CONTROL

- Temperatura.
- Humedad y porosidad.
- Aireación.
- pH
- Relación carbono-nitrógeno (C/N).



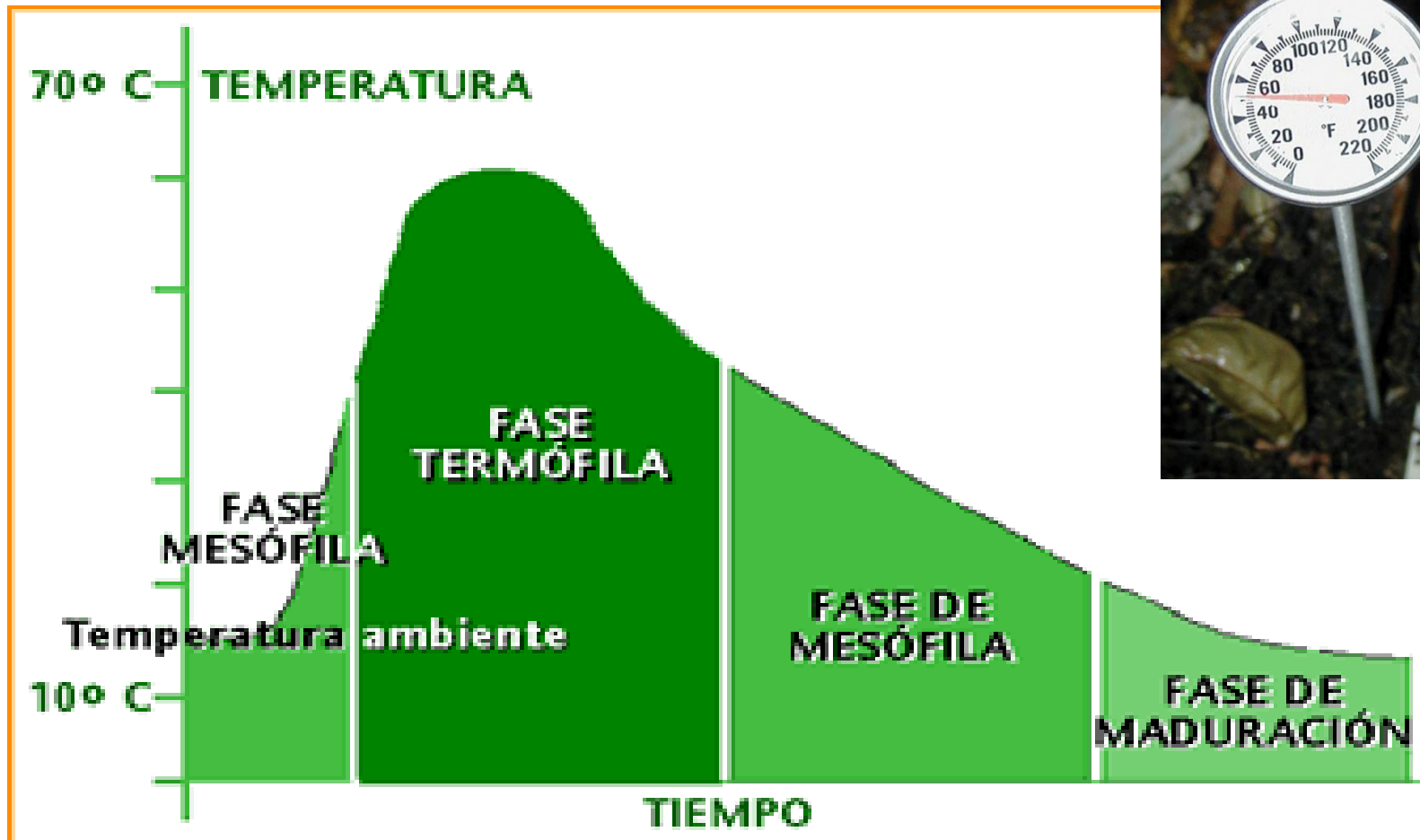
COMPOSTAJE

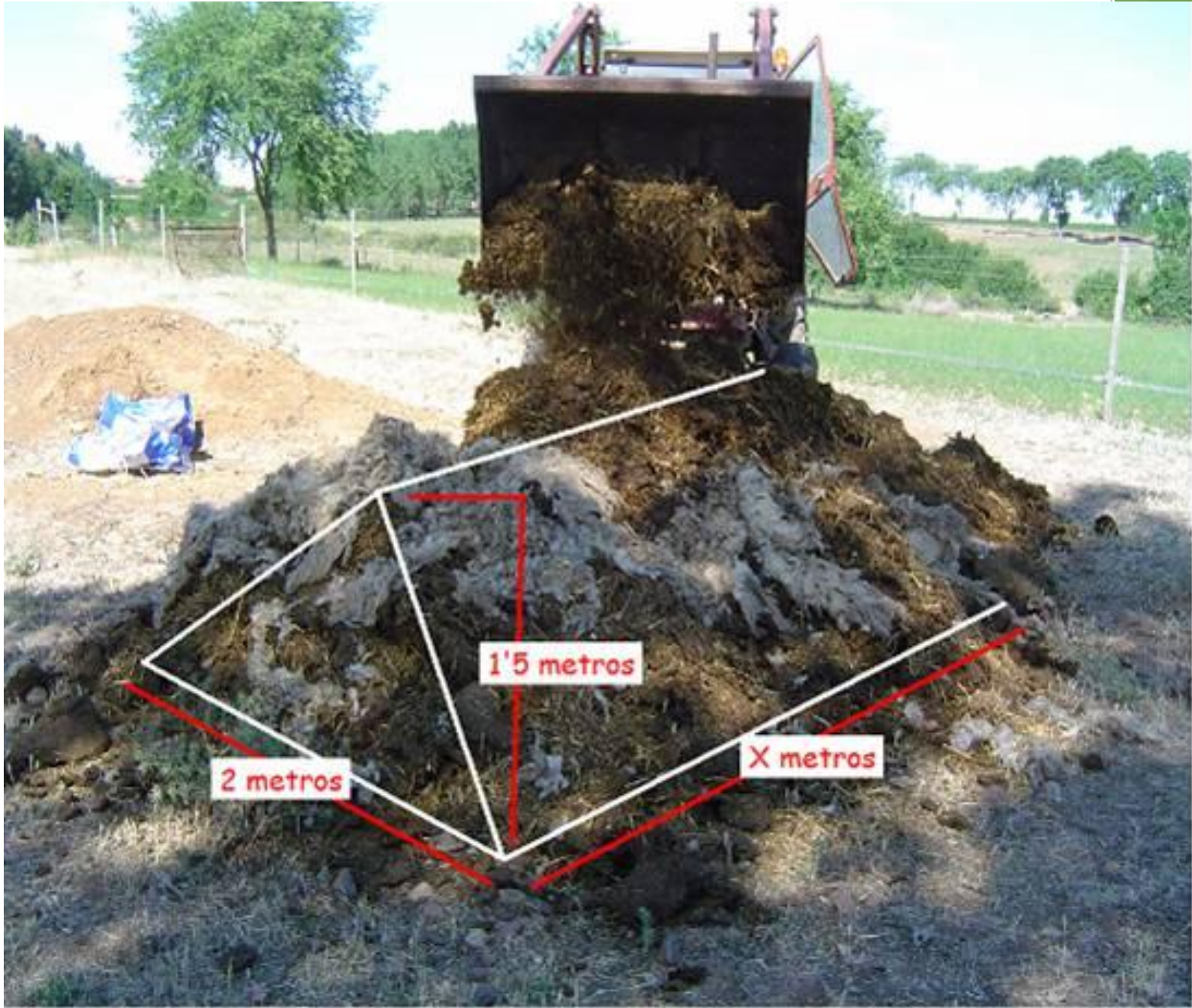
Medición de Temperatura

Temperatura



calor es liberado por la oxidación del carbono a CO_2





TEMPERATURA

La generación de temperatura es recomendable en materiales cuando:

1- RIESGO SANITARIO

2- ACELERAR LA DESCOMPOSICIÓN DE MATERIALES ALTAMENTE CELULÓSICOS O DE LENTA DEGRADACIÓN.

Valor Óptimo 60° C

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL AUMENTO DE TEMPERATURA

a- % Humedad Inicial

b- Aireación de las cunas

c- Altura de las cunas

COMPOSTAJE

Humedad y Porosidad



COMPOSTAJE

Humedad y Porosidad

MEDICIÓN MANUAL DE HUMEDAD

Humedad excesiva



Humedad deficiente



Buena humedad



MEDICIÓN DE HUMEDAD MEDIANTE ESTUFA



CHIPEADO DE PODA



OPTIMO ESTRUCTURANTE PARA MEJORAR LA POROSIDAD

COMPOSTAJE

Aireación

VENTAJAS

Favorecer la regulación del exceso de humedad por evaporación

Suministrar el oxígeno necesario para la actividad de los microorganismos

Mantener la temperatura adecuada

Favorecer el enfriamiento al renovar el aire caliente por frío

Manejo de humedad (pérdida de agua por evaporación).

Incrementar la actividad de los microorganismos (disipación de energía, incremento de la temperatura).



MECANICO



MANUAL

COMPOSTAJE

pH

El pH es un parámetro que condiciona la presencia de microorganismos

pH óptimo para compostaje = 6,5 y 7,5



pH de RESIDUOS varía de 5 a 7



Escala de 0 a 14 y un punto medio igual a 7

La temperatura parece incrementarse más rápidamente cuando el pH = 7

Relación C:N

Relación C:N

Fuentes de C

Materia

Rastrojo de centeno

Rastrojo de trigo

Rastrojo de avena

Maiz

Centeno (antes)

Rastrojo de leguminosa

Centeno (vegetal)

Fardo de alfalfa

Dieta microbiana

Fardo de leguminosa

Estiércol

Fardo de alfalfa

Vicia Villosa (vegetal)

Microorganismos



Material	Relación C/N
Alpeorujo	44
Hojín / Poda Olivar	36
Poda Olivar	75
Residuos de Fruta	35
Hojas	60
Periódico Triturado	175
Cáscaras de cacahuete	75
Agujas de Pino	80
Cáscara de Arroz	49
Paja	75
Astillas de Madera / Serrín	400

Material	Relación C/N
Alfalfa	12
Trébol	23
Café Molido	20
Desperdicio de Alimentos	20
Purín	13
Gallinaza	12
Heno	25
Estiércol	12 – 15
Algas	19
Restos de Hortícolas	25

Fórmulas C/N

<https://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

Calculate C/N Ratio For Three Materials

This calculation solves for the carbon to nitrogen ratio of up to three materials. Enter the mass of each material (wet weight), percentage of carbon, percentage of nitrogen, and percentage of moisture, then click on the calculate button. **If you have less than three materials be sure to enter zeroes in the fields for the missing materials.**

Note - Use whole numbers. If you get NaN for an answer, you have not filled out the form correctly. Make sure there are values for all 3 ingredients, even if they are zero.

Ingredient	% H2O	Weight	% Carbon	% Nitrogen	C/N Ratio
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
				Result:	<input type="text"/>

Here's the Formula:

Given overall moisture percentage goal of (g)

Ingredient	%H2O	Weight	%Carbon	%Nitrogen	C/N Ratio
1	M ₁	Q ₁	C ₁	N ₁	
2	M ₂	Q ₂	C ₂	N ₂	
3	M ₃	Q ₃	C ₃	N ₃	
					R

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(C_3 \times (100 - M_3)) + \dots}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(N_3 \times (100 - M_3)) + \dots}$$

in which:

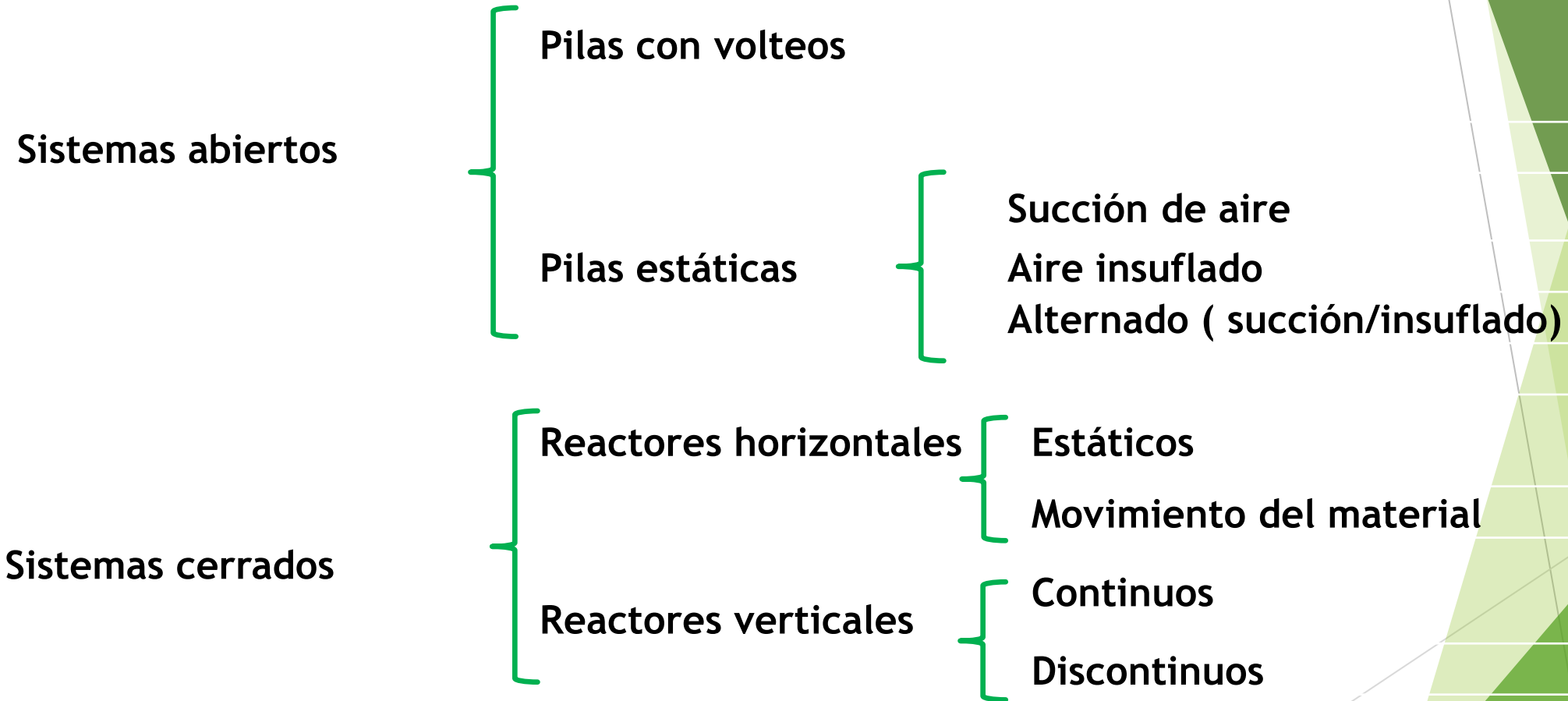
R = C/N ratio

Q_n = mass of material n ("as is", or "wet weight")

C_n = carbon (%)

N_n = nitrogen (%)

SISTEMAS Y TÉCNICAS DE COMPOSTAJE



SISTEMAS Y TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

Sistemas Abiertos

Pilas con volteos



VOLTEOS MANUALES



VOLTEOS MECANIZADOS





SISTEMAS Y TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

Sistemas Abiertos

Pilas con volteos







SISTEMAS Y TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

Sistemas Abiertos sin remoción
Pilas estáticas con aireación pasiva



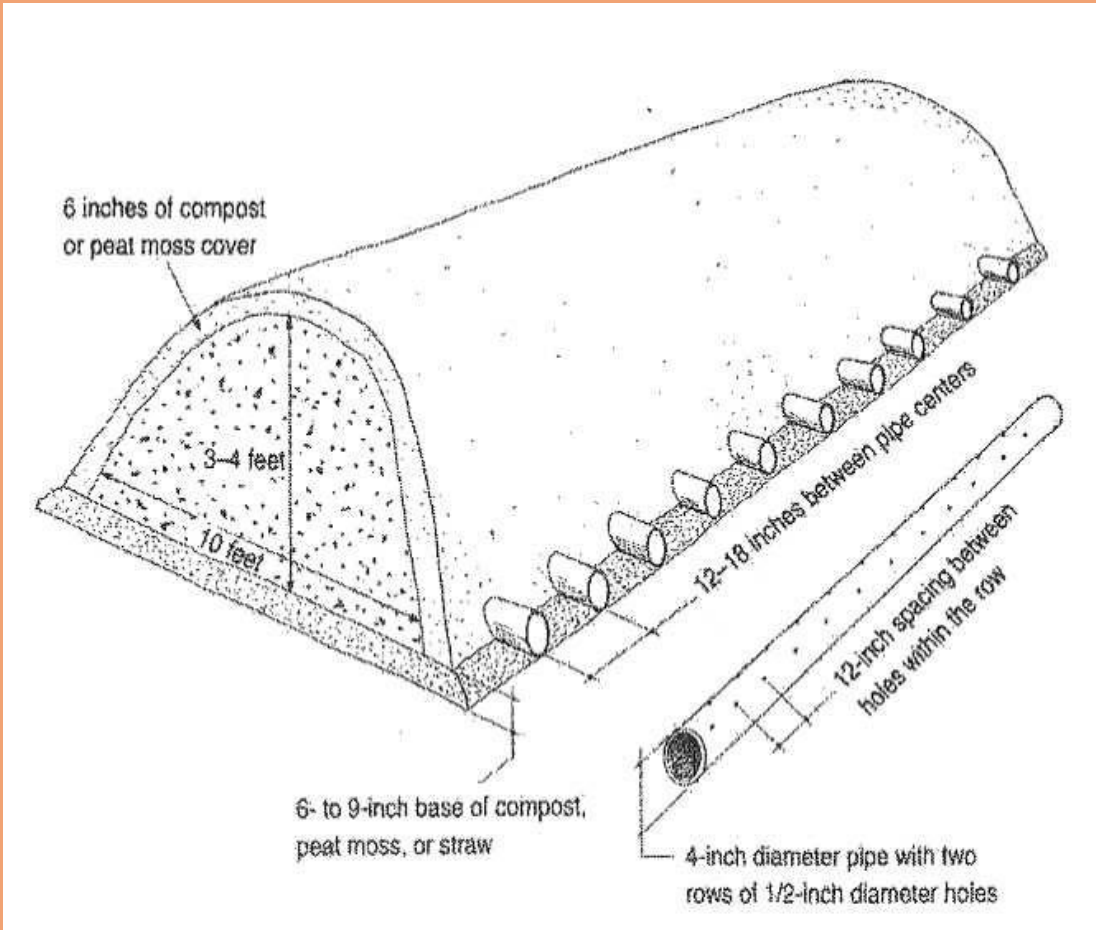
Pilas de aireación pasiva, estructuras de PVC para favorecer la ventilación



SISTEMAS Y TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

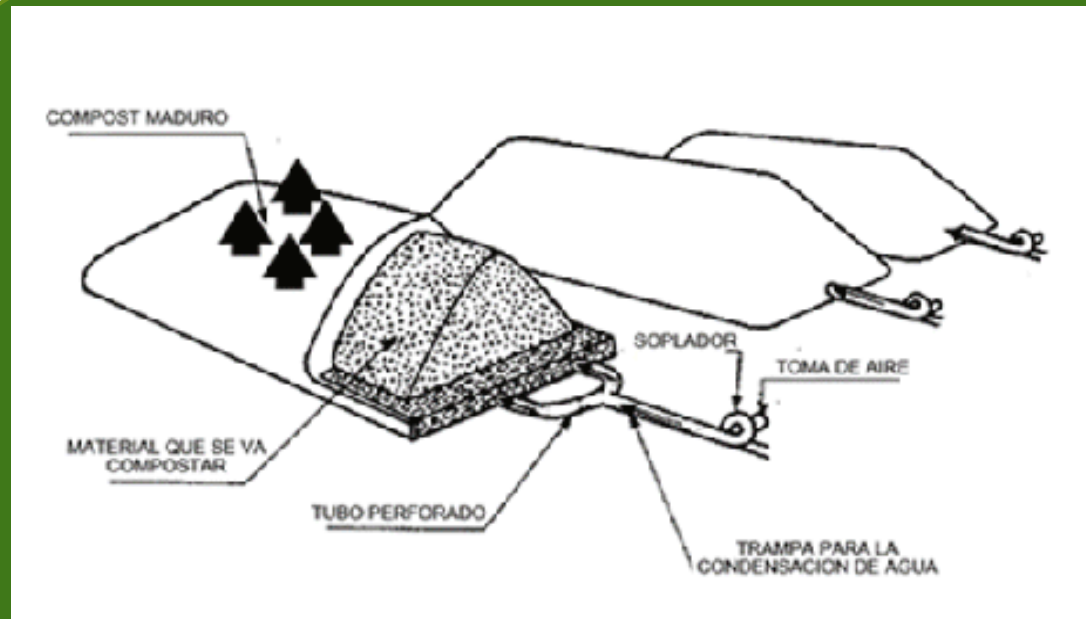
Sistemas Abiertos sin remoción
Pilas estáticas con aireación pasiva

Pilas de aireación pasiva, estructuras de PVC para favorecer la ventilación



SISTEMAS Y TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

Sistemas Abiertos con inyección de aire
Pilas estáticas con aireación forzada



Esquema de pilas con aireación forzada,
ventilada a través de turbinas

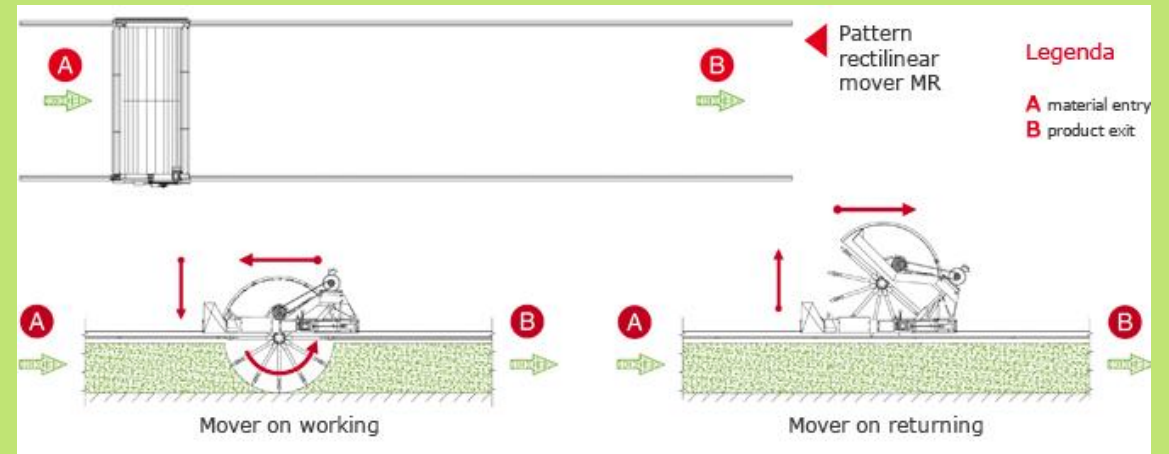


SISTEMAS Y TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

Sistemas Cerrados *Camas horizontales con remoción*



Compostaje en pilas cerradas



SISTEMAS Y TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

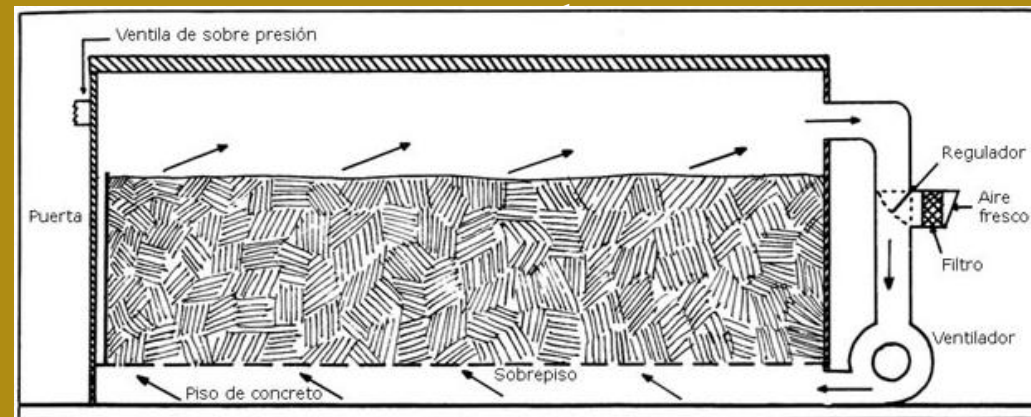
Sistemas Cerrados

Túneles

Sistemas de túnel plástico



Sistemas de túnel de



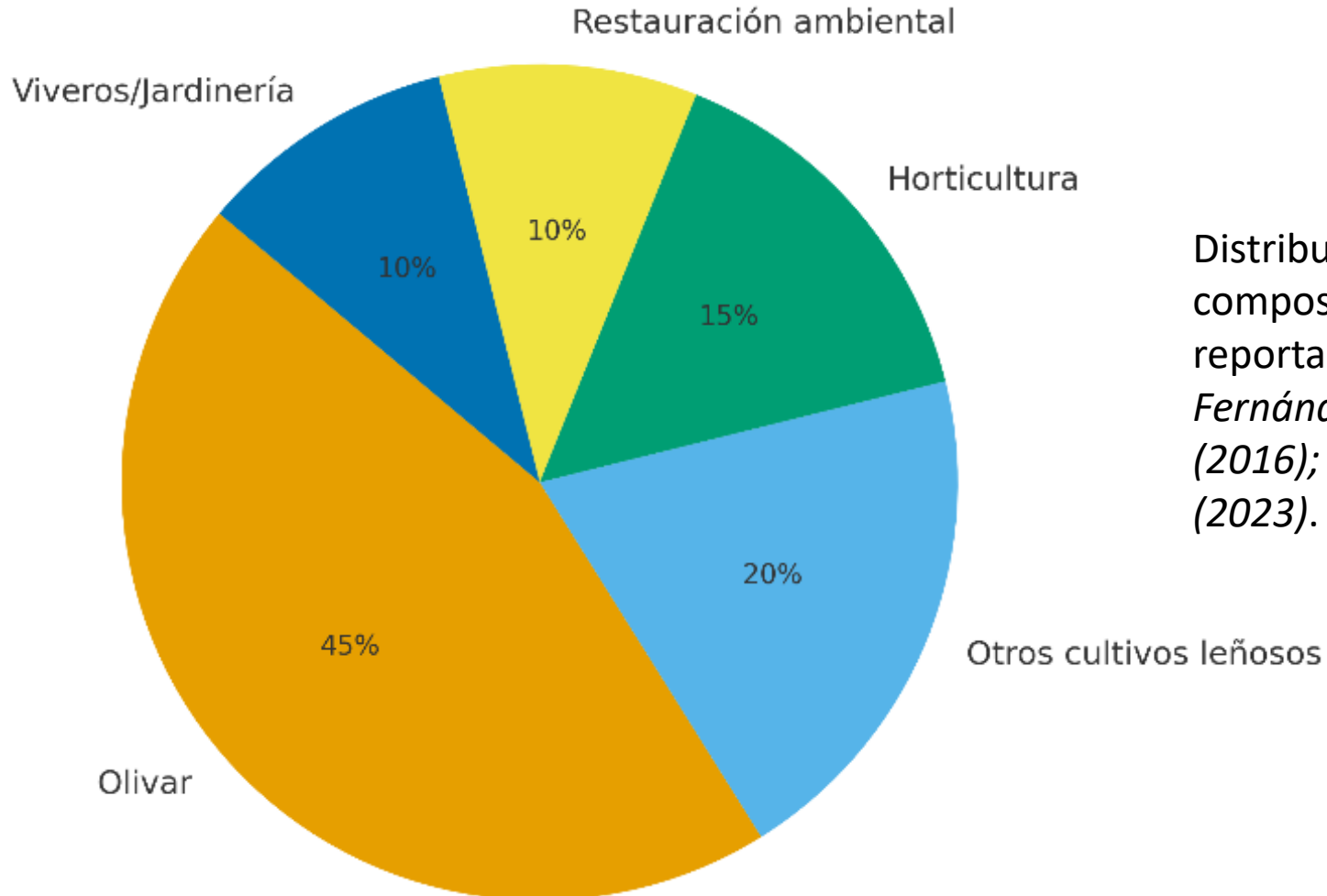
REACTORES AERÓBICOS



Sistema	Ventajas	Limitaciones	Escala típica
Pilas volteadas	Bajo coste; fácil implementación; uso de maquinaria agrícola común; flexibilidad en volúmenes	Gran necesidad de superficie; dependiente de clima; riesgo de lixiviados y olores	Pequeñas y medianas almazaras, uso local
Estáticos aireados	Aireación uniforme; menos mano de obra; control moderado de proceso; reducción de olores	Requiere inversión en sopladores; consumo energético; diseño más complejo	Cooperativas medianas o mancomunadas
Túneles/Reactores	Control total (temperatura, humedad, oxígeno); higienización rápida; minimiza emisiones y lixiviados	Inversión alta; costes operativos elevados; requiere personal especializado	Plantas centralizadas, proyectos piloto
Co-compostaje (con estiércol, poda, lodos)	Equilibra C/N; reduce humedad; acelera el proceso; mejora calidad del compost final	Necesidad de logística para materiales adicionales; riesgo sanitario con lodos	Muy extendido en España e Italia
Emergentes (biochar, inoculación, membranas)	Potencial de reducir emisiones; mayor eficiencia del proceso; mejora la calidad agronómica	En fase experimental; costes altos; falta de estandarización	Proyectos de investigación y demostración

Características de compost de alperujo

Parámetro	Rango típico	Observaciones
Materia orgánica (%)	40 - 60	Elevada estabilidad tras maduración
Relación C/N	15 - 20	Indicador de compost maduro y estable
pH	7 - 8	Neutral o ligeramente básico
Humedad (%)	35 - 45	Adecuada para almacenamiento y aplicación
N total (%)	1 - 2	Nitrógeno de liberación lenta
P ₂ O ₅ (%)	0.3 - 0.6	Aporte moderado de fósforo
K ₂ O (%)	1 - 2	Potasio útil en cultivos leñosos
Polifenoles	Muy reducidos	Eliminados durante la humificación



Distribución estimada de las principales aplicaciones del compost de alperujo en España, basada en experiencias reportadas en Andalucía y Comunidad Valenciana. *Fuentes: Fernández-Hernández et al. (2014); Álvarez de la Puente et al. (2016); IFAPA–Junta de Andalucía (2015); García-Rández et al. (2023).*

Aspecto	Compostaje de alperujo fresco	Compostaje de digestato de alperujo
Materia prima	Alperujo, con elevada humedad, alto contenido en grasas y polifenoles.	Digestato de alperujo, más homogéneo, con menor fracción biodegradable y mayor contenido mineral.
Relación C/N inicial	Alta (25-35), requiere materiales ricos en N (estiércol, lodos) para equilibrar.	Baja (<15), necesita aportes de materiales estructurantes ricos en carbono (poda triturada, astillas).
Contenido en agua	Muy elevado (60-70 %), difícil de manejar si no se mezcla con correctores secos.	También alto (65-75 %), pero con menor contenido graso y fenólico que facilita el proceso.
Fitotoxicidad inicial	Alta, por polifenoles y ácidos grasos volátiles; requiere tiempo de humificación.	Baja a moderada, la digestión previa reduce polifenoles y otros compuestos tóxicos lo que mejora el índice de germinación del producto.
Proceso de compostaje	Más lento, especialmente en la fase inicial (>2 meses de procesado); necesita mezclas bien ajustadas.	Más rápido y estable, gracias a la degradación parcial ya realizada en el biodigestor (90 días de procesado)
Producto final	Compost con buena estabilidad, enmienda orgánica de liberación lenta, contenido moderado de nutrientes.	Compost enriquecido en nutrientes minerales (N y K), más fertilizante que el del alperujo fresco.
Aplicaciones	Enmienda orgánica en olivares y otros cultivos leñosos, restauración de suelos, jardinería.	Fertilizante orgánico con mayor valor nutritivo, uso en cultivos intensivos, mezclas para sustratos y viveros.
Ventaja clave	Aprovechamiento directo del subproducto de almazara sin necesidad de digestión previa.	Permite integrar digestión anaerobia (energía renovable) y compostaje (fertilizante), cerrando el ciclo circular.

Algunos aspectos a considerar para el compostaje de alperujo

Composición inicial

- Balancear su elevada relación C/N
- Mejorar su estructura física y porosidad



Mezcla con otros
residuos o
subproductos
agroindustriales
disponibles

Residuos y subproductos agroindustriales disponibles

INDUSTRIA	RESIDUO SUBPRODUCTO	APORTE			COSTO
		Nitrógeno	Estructura	Disponibilidad	
Olivícolas	Hojas		+++	+++	Nulo
Vitivinícola					Flete
Tomate en conserva					Medio
Restos de					Flete
Guano de cabra o caballo		++	+++	+	Chipeado/ Flete
Guano de gallina		++++	+	+++	Medio
					Alto

Proporciones en volumen

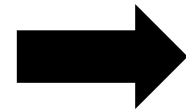
80 % Alperujo + Hojas de olivo

20% Escobajo, Orujo agotado, Orujo de tomate o Guano de caballo



Algunos aspectos a considerar para el compostaje de alperujo

Disminuir el elevado contenido de humedad inicial para posibilitar el armado de camellones



Mezcla con residuos secos en proporción elevada

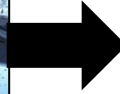
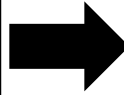
- Pequeña escala
- Situaciones particulares

Secado a campo (1-2 meses) previo al armado

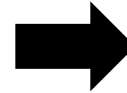
Métodos mecánicos (prensa o decanter de 3F)

Secado a campo (1-2 meses) y armado de pilas

“Discontinuo” Acopio de materiales, mezcla y luego armado



“Continuo” Descarga sobre camas de contención y posterior mezclado



* Fotos Fernandez-Mendez (Catamarca)

INTA EEA San Juan (2023)

- Alperujo (80m³) + hojas de olivo (10 m³) sobre cama de compost del año anterior (10 m³)
- Sistema “Discontinuo”



Fuente: Monetta et al. (2023)

El secado excesivo produce formación de cascotes que dificultan el proceso



- Humedecer
- Desarmar cascotes con pala cargadora
- Ajustar ancho para posibilitar el paso de la volteadora





Paso de volteadora

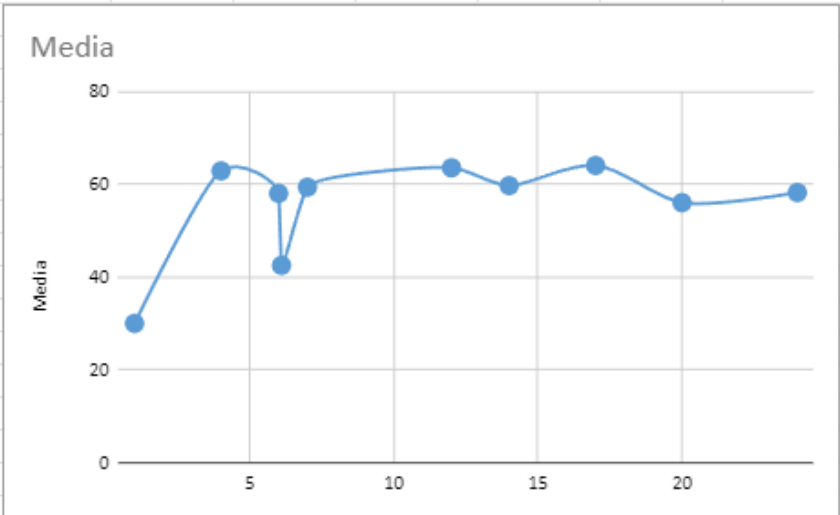






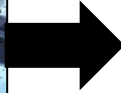
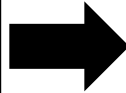
Registro de actividades y monitoreo de temperatura

Fecha	Día	Temperatura (°C) en la pila de compost (oeste a este), profundidad 0,3 cm						Temp °C	Observaciones
		1	2	3	4	5	6	Media	
6/10/2023	1	30	30	30	30	30	30	30	Armado
9/10/2023	4	59	61	65	62	65	65	63	Falta de humedad
11/10/2023	6	62	63	57	52	58	56	58	previo a Volteo y riego
11/10/2023	6	40	40	45	45	45	40	43	Temperatura Post volteo
12/10/2023	7	58	57	62	62	60	57	59	Registro de temperatura
17/10/2023	12	60	64	64	66	65	62	64	Temperatura y riego
19/10/2023	14	59	60	62	63	55	59	60	temperatura y riego
23/10/2023	17	64	65	64	64	64	63	64	temperatura
26/10/2023	20	56	58	56	62	52	52	56	temperatura
30/10/2023	24	45	59	57	61	66	61	58	Riego
								#¡DIV/0!	
								#¡DIV/0!	
								#¡DIV/0!	
								#¡DIV/0!	

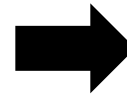


Secado a campo (1-2 meses) y armado de pilas

“Discontinuo” Acopio de materiales, mezcla y luego armado



“Continuo” Descarga sobre camas de contención y posterior mezclado



* Fotos Fernandez-Mendez (Catamarca)

INTA EEA San Juan 2016-2018

- Alperujo (80m³) + hojas de olivo (10 m³) sobre cama de compost del año anterior (10 m³)
- Sistema “continuo”. Disposición en bateas hechas con bordos de tierra.



Las bateas se van llenando a medida que se genera el alperujo.
Se deposita también las hojas de olivo procedentes de la industria



Borrado de bordos y paso de volteadora

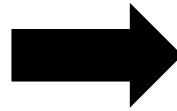


Borrado de bordos y paso de volteadora



Algunos aspectos a considerar para el compostaje de alperujo

Disminuir el elevado contenido de humedad inicial para posibilitar el armado de camellones



Mezcla con residuos secos en proporción elevada

Secado a campo (1-2 meses) previo al armado

Métodos mecánicos
(prensa o decanter de 3F)

Colocación de un
decanter de 3F o una
prensa para generar
orujo



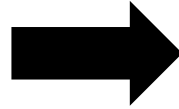
Compostaje de alperujo + hojas + guano

Argenceres San Juan



Algunos aspectos a considerar para el compostaje de alperujo

Mantenimiento de
la humedad
(30-50%)



Aplicación de agua
mediante cisterna

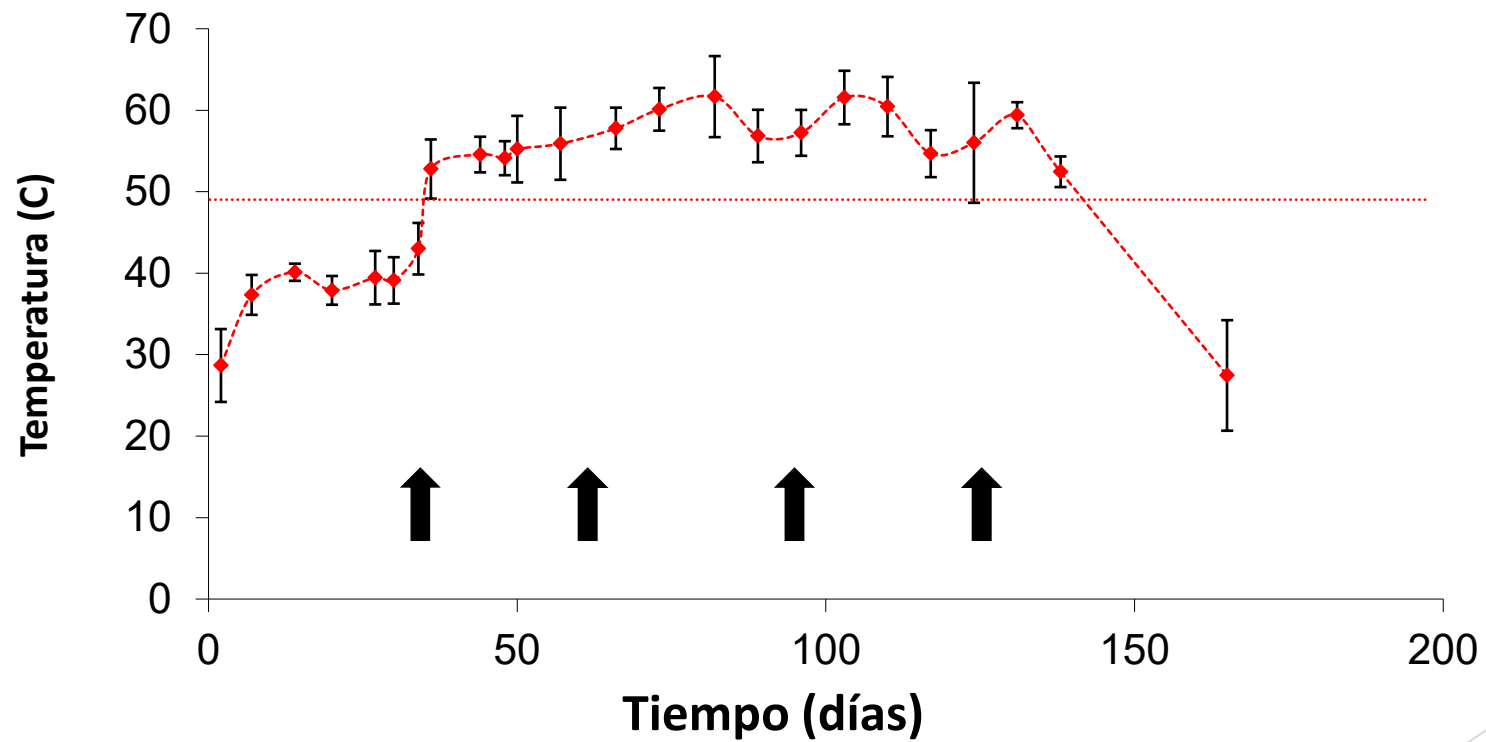
Aplicación de agua
mediante sistemas
presurizados (goteo o
aspersión)

Uso de cubiertas

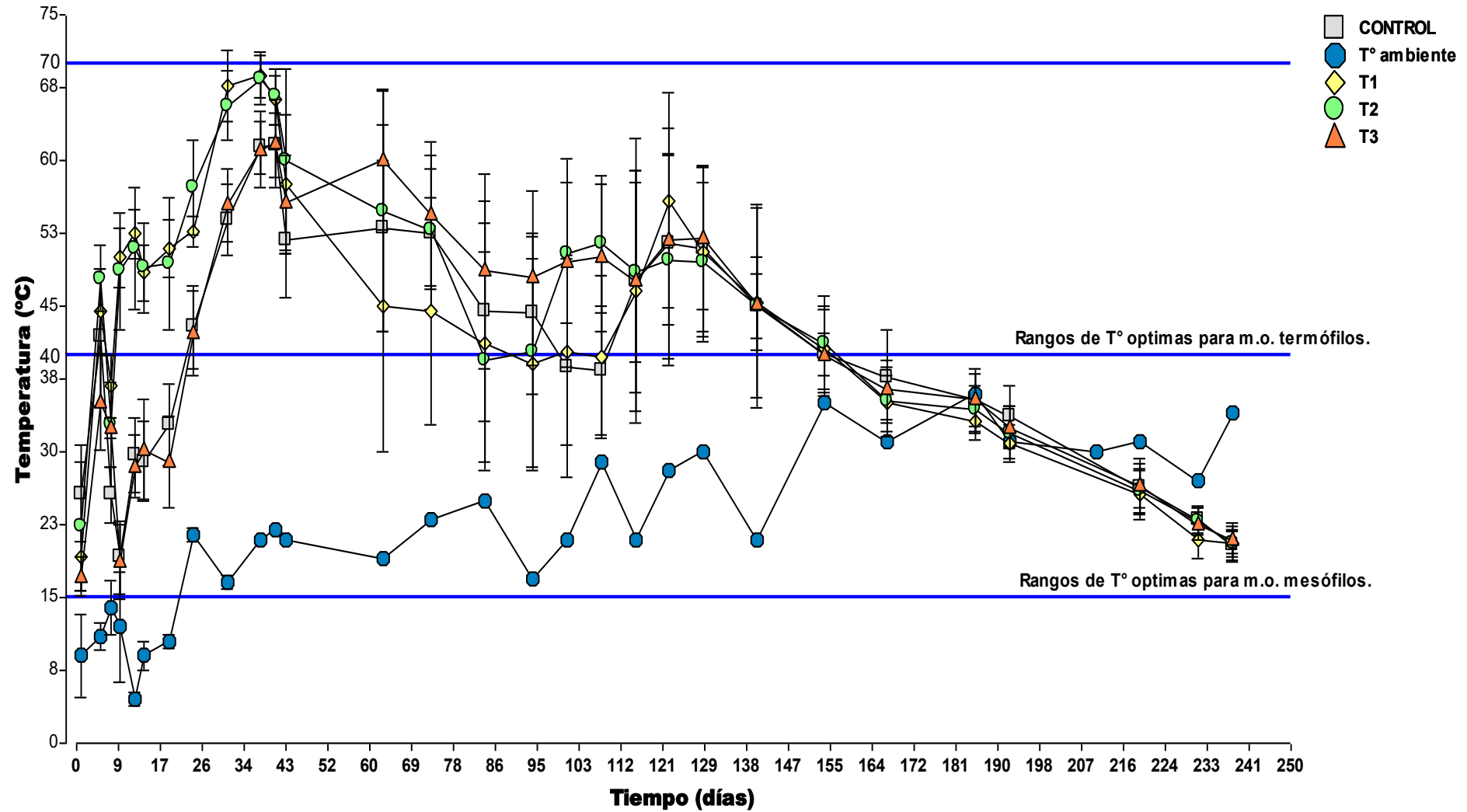
Mantenimiento de humedad



Evolución de la temperatura durante un proceso de compostaje de alperujo

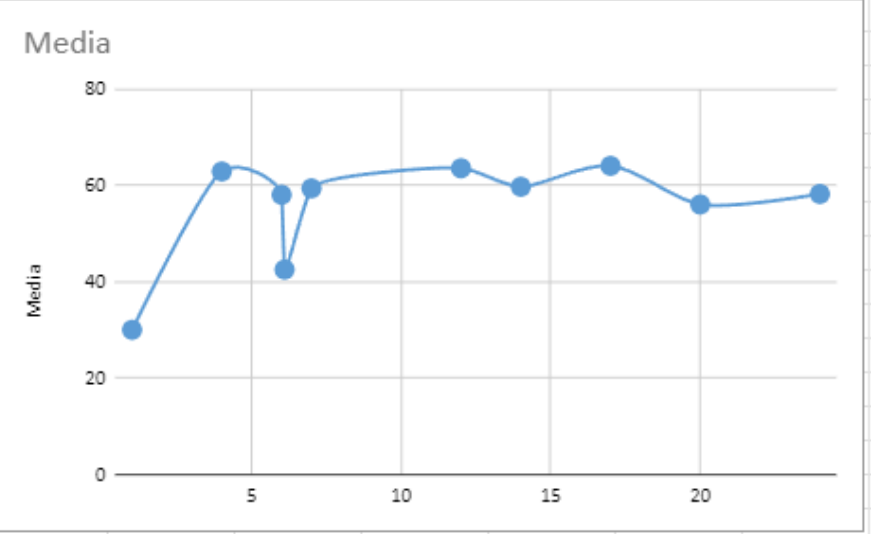


Evolución de las temperaturas en el tiempo.



Registro de actividades y monitoreo de temperatura

COMPOST realizado en INTA con Alperujo seco, hojas de olivo y restos de compost										
Fecha	Temperatura (°C) en la pila de compost (oeste a este), profundidad 0,3 cm								Temp °C	Observaciones
	Día	1	2	3	4	5	6	Media		
6/10/2023	1	30	30	30	30	30	30	30	30	Armado
9/10/2023	4	59	61	65	62	65	65	63	63	Falta de humedad
11/10/2023	6	62	63	57	52	58	56	58	58	previo a Volteo y riego
11/10/2023	6	40	40	45	45	45	40	43	43	Temperatura Post volteo
12/10/2023	7	58	57	62	62	60	57	59	59	Registro de temperatura
17/10/2023	12	60	64	64	66	65	62	64	64	Temperatura y riego
19/10/2023	14	59	60	62	63	55	59	60	60	temperatura y riego
23/10/2023	17	64	65	64	64	64	63	64	64	temperatura
26/10/2023	20	56	58	56	62	52	52	56	56	temperatura
30/10/2023	24	45	59	57	61	66	61	58	58	Riego
									#iDIV/0!	
									#iDIV/0!	
									#iDIV/0!	
									#iDIV/0!	



Que sucede con los distintos constituyentes del alperujo durante el compostaje?

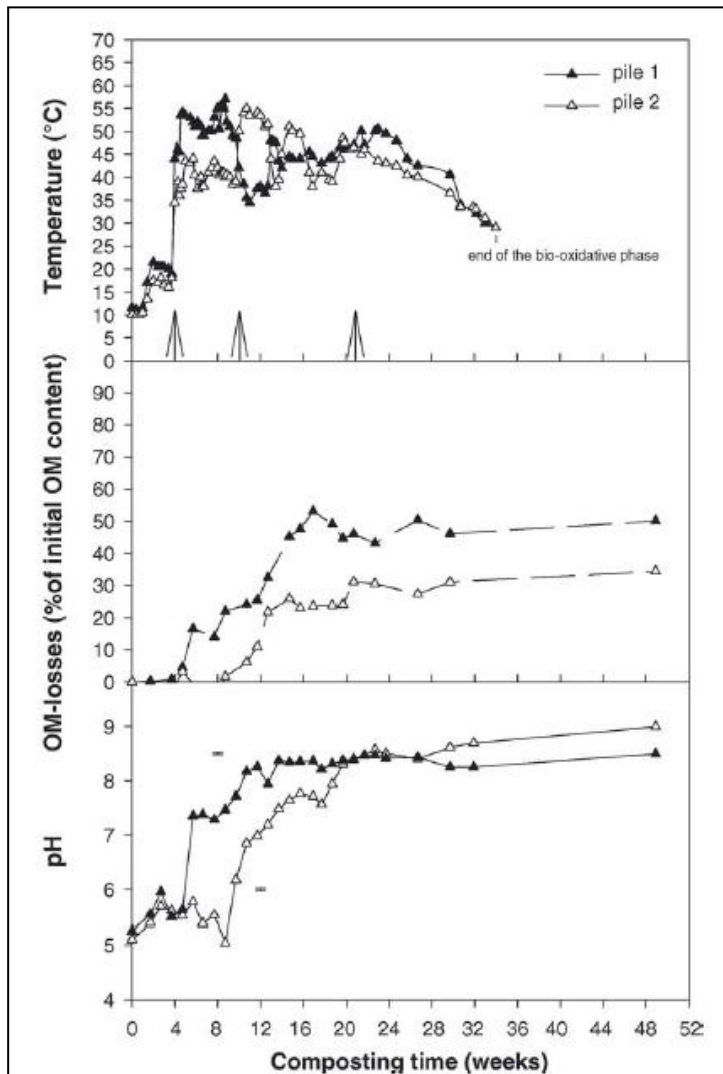


Fig. 1. Temperature profile (arrows indicate turnings), organic matter losses and pH (bars correspond to the least significant difference at $P < 0.05$) during composting process (pile 1: AL + GS and pile 2: AL + OL).

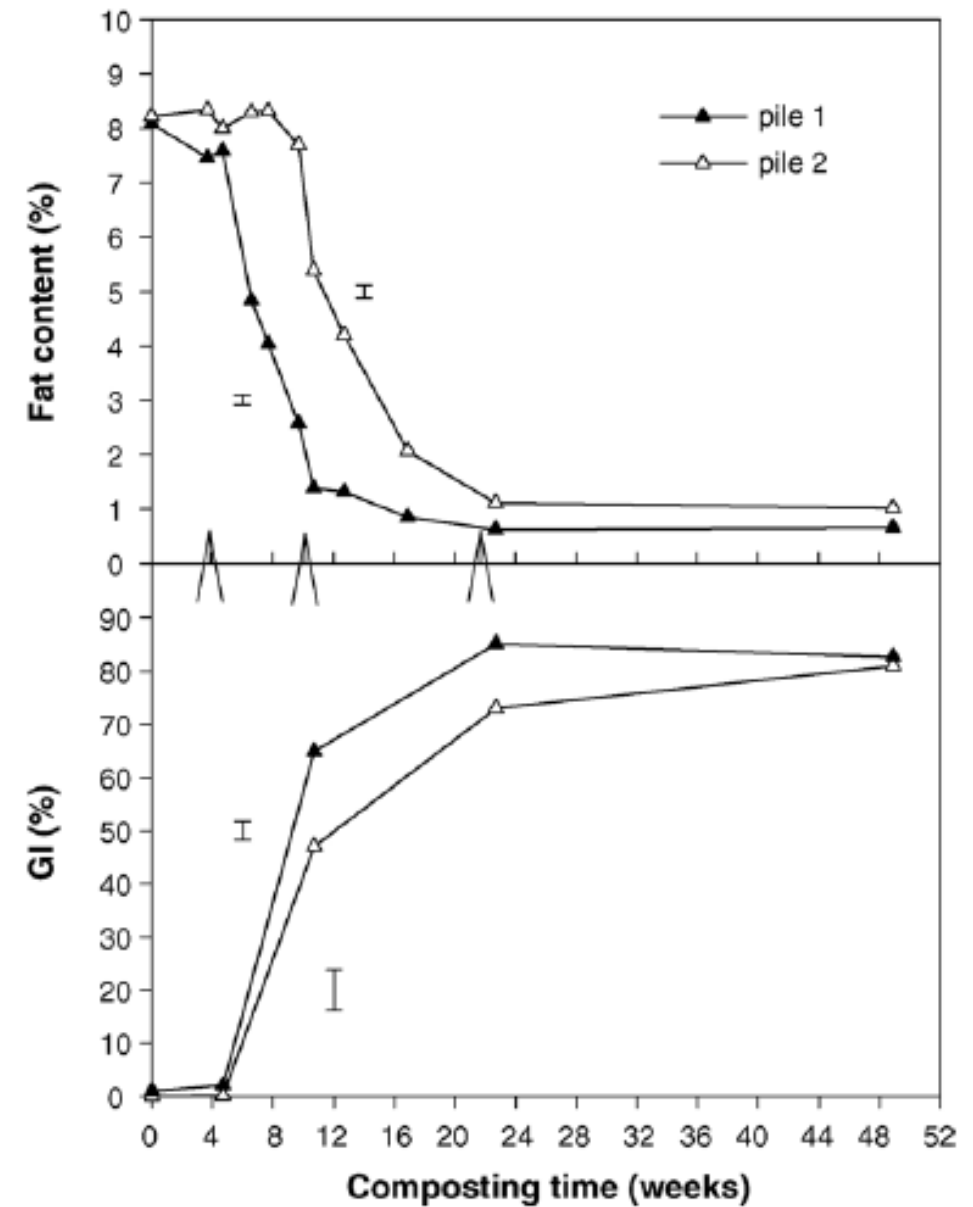


Fig. 3. Evolution of the fat content and the germination index (GI) during composting (pile 1: AL + GS and pile 2: AL + OL, arrows indicate turnings). The bars correspond to the least significant difference at $P < 0.05$.

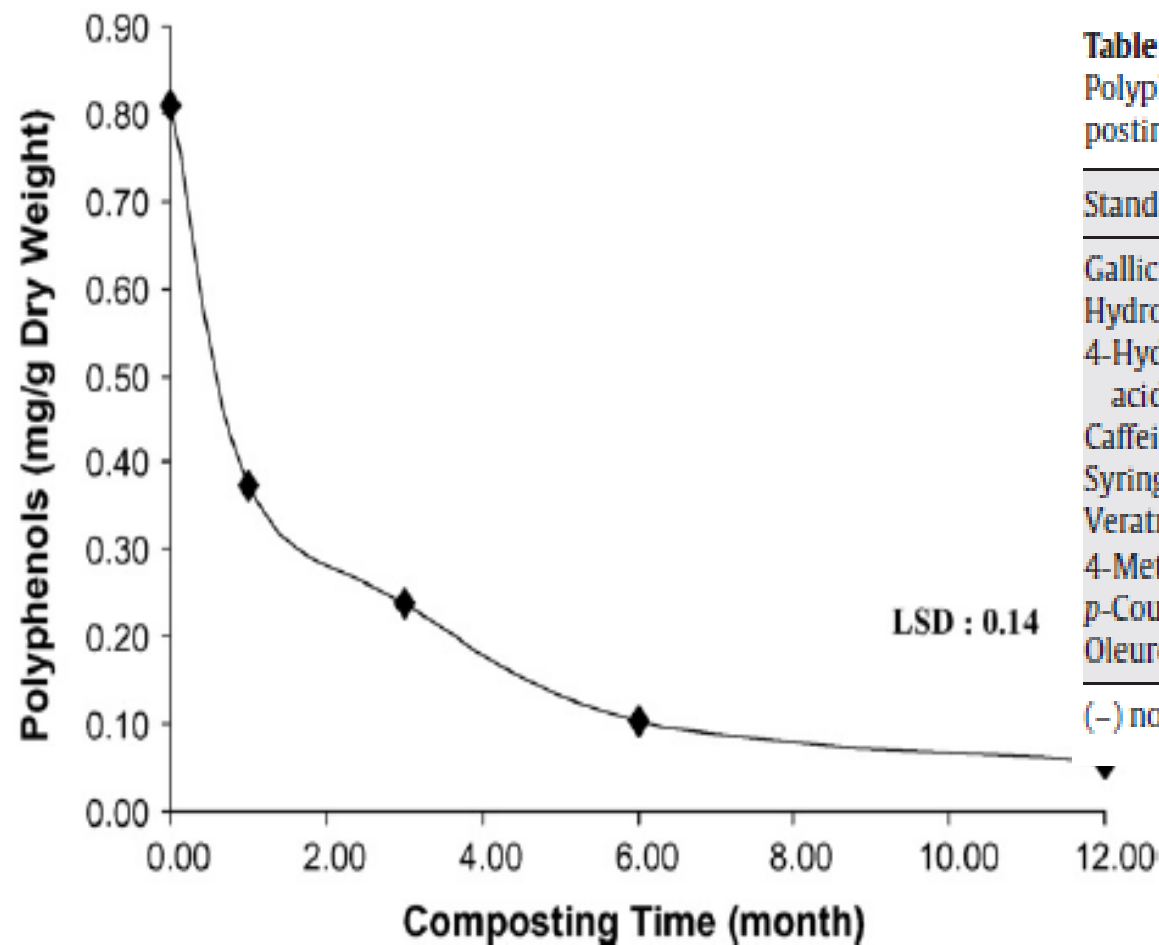


Table 3

Polyphenol quantities (g/L, iso moisture and iso ash basis) in different stages of composting (0, 1, 3, 6, 9 and 12 months).

Standards	0	1	3	6	9	12
Gallic acid	0.53	0.05	-	-	-	-
Hydroxytyrosol	9.8	1.82	0.9	0.16	0.08	0.01
4-Hydroxyphenylacetic acid	1.15	0.18	-	0.001	-	-
Caffeic acid	0.16	0.04	0.01	-	-	0.004
Syringic acid	0.32	0.05	0.01	-	0.002	0.001
Veratric acid	0.41	0.08	0.01	-	-	-
4-Methylcatechol	-	0.2	-	-	-	-
p-Coumaric acid	0.68	0.08	0.006	0.001	-	-
Oleuropein	0.59	0.15	0.02	-	0.002	0.009

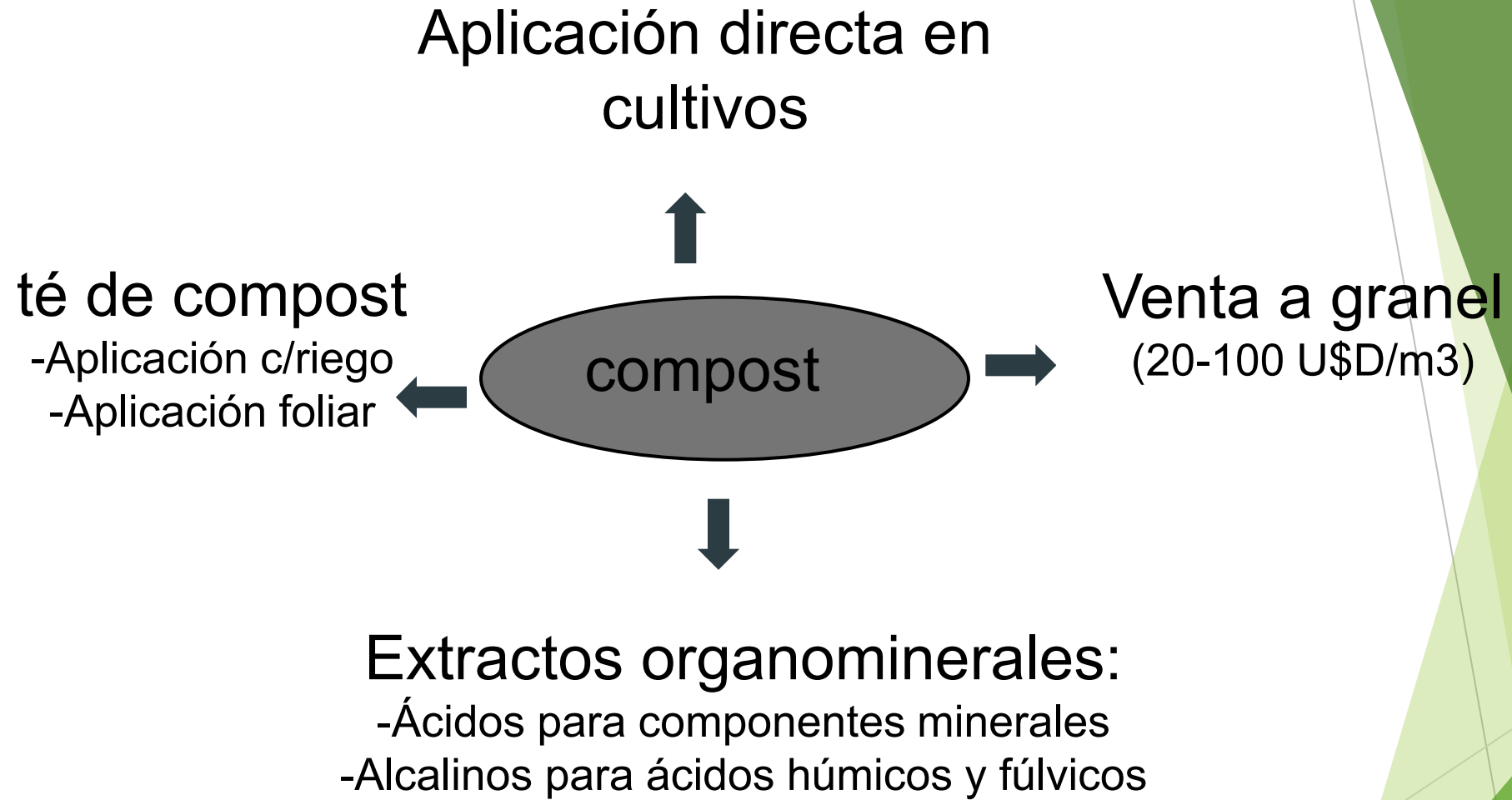
(-) not detected.

Fig. 1. Evolution of the polyphenol content during composting of olive-mill wastes.

Alperujo vs Compost de Alperujo

	AL	Compost AL	
pH	5,50	8,87	▲ ▲
CE (dS/m)	4,51	3,40	▼
CO (%)	59,00	41,16	▼
N (%)	1,30	1,83	▲
P (%)	0,30	0,31	▬
K (%)	2,10	1,99	▬
C/N	45	20	▼ ▼
Fenoles (ppm)	7000	300	▼ ▼
IG Semillas (%)	<10	>70	▲ ▲
Ácidos húmicos			▲
Ácidos fúlvicos			▲





Resumiendo

- El compostaje promueve un gran **descenso del contenido en fenoles totales** y **disminuye la fitotoxicidad del alperujo**.
- Es una tecnología **apropiada y versátil** para estabilizar **residuos olivícolas** y transformarlos en una **enmienda orgánica apta para ser aplicada en cualquier tipo de cultivos** o bien puede ser **comercializado**.
- La calidad del compost final dependerá de los materiales de partida y del nivel de control del proceso.
- Es necesario tener claro **para qué se quiere compostar** antes de comenzar.



Beta

Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària



UNIVERSITAT DE VIC
UNIVERSITAT CENTRAL
DE CATALUNYA

Gràcies per la vostra atenció

ACCIÓ  Generalitat
de Catalunya

T tecno
catalonia

Vigència: 30/12/2024