



Universidad Pablo de Olavide
Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales
Área de Tecnologías del Medio Ambiente



Sevilla, Junio 2013

PROYECTO FINAL DE CARRERA

**ENSAYO DE PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COMPOST A
PARTIR DE RESIDUOS DE GUACAMOLE, PODA Y GALLINAZA**

Autora: ZesayGalea Camacho

PROYECTO DE FIN DE CARRERA
ENSAYO DE PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COMPOST A
PARTIR DE AGUACATE PODA Y GALLINAZA

Memoria presentada por Zesay Galea Camacho
como Proyecto Fin de Carrera de la
Licenciatura en Ciencias Ambientales

DIRECTORES

Dr. Rafael López Núñez, IRNAS-CSIC
Dr. José Jorge González Fernández, IHSM-CSIC

TUTOR EN LA UPO

Prof. Braulio Asensio Romero

AUTORA

Zesay Galea Camacho

*<<Si olvidamos como cuidar el suelo,
nos olvidaremos de nosotros mismos>>*

Mahatma Gandhi

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al IRNAS por haber permitido mi estancia durante el proyecto, especialmente al Dr. Rafael López Núñez y al Dr. José Jorge González Fernández del Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea “La Mayora”, por haber aceptado la tutoría del mismo.

RESUMEN

El aprovechamiento agrícola de residuos orgánicos puede suponer, además de una forma de evitar problemas medioambientales, una oportunidad de aumentar la sostenibilidad de algunos cultivos. En la comarca de la Axarquía malagueña, la producción de guacamole, que se ha convertido en una actividad emergente asociada al sector del aguacate, genera cantidades crecientes de un residuo pastoso y rico en grasa que precisa de una gestión adecuada para minimizar su impacto ambiental. Es por ello que se ha procedido a estudiar su valorización mediante técnicas de compostaje, utilizando restos de poda como agente estructurante y gallinaza como fuente de nitrógeno. El ensayo ha consistido en la realización de tres pilas de compostaje con distinta proporción de guacamole, resultando los tres tipos de compots de buena calidad, tanto en madurez como en características químicas y microbiológicas, tras un periodo de compostaje de 7 meses más un periodo de madurez de 3 meses aproximadamente.

Índice

1. Introducción: el problema de los residuos	1
2. Objetivos generales	3
3. Tratamiento de residuos orgánicos y compostaje	4
3.1 Los residuos orgánicos: producción y gestión	4
3.1.1 Los residuos granaderos	4
3.1.2 Los residuos agrícolas	7
3.1.3 Los residuos agroindustriales	9
3.1.4 Los residuos urbanos	11
3.2 El compostaje	14
3.2.1 Introducción y definición	14
3.2.2 Factores del proceso de compostaje	14
3.2.3 Fases del proceso de compostaje	18
3.2.4 Sistemas de compostaje	21
3.2.5 Clasificación de los compost	24
3.2.6 Calidad del compost	25
4. Ensayo de producción y caracterización de compost a partir de residuos de guacamole, poda y gallinaza	28
4.1 Introducción	28
4.2 Objetivos específicos	30
4.3 Material y métodos	31
4.3.1 Materiales de partida	31
4.3.2 Preparación de las pilas	31
4.3.3 Toma de muestras y volteos	34
4.3.4 Preparación de las muestras	34
4.3.5 Parámetros físico-químicos	36
4.3.6 Ensayos de madurez y fitotoxicidad	38
5. Resultados y discusión	42
5.1 Parámetros físico-químico	42
5.2 Ensayos de madurez y fitotoxicidad	57
6. Conclusiones	63
7. Bibliografía	64

1. INTRODUCCIÓN: EL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS

La historia de la humanidad no puede separarse de la de sus residuos (Soliva, López y Huerta, 2008), así desde el momento en que empiezan a surgir las primeras civilizaciones surge necesariamente también el concepto de desecho o residuo. El ser humano por naturaleza es productor y toda producción conlleva la generación de un sobrante.

Con la llegada de la revolución industrial comienza una etapa donde la sociedad se corresponde con un avanzado desarrollo industrial y por ende capitalista. El medio natural es considerado como una fuente inagotable de recursos y también como un sumidero en el que se pueden depositar todo tipo de residuos.

Se acrecienta entonces el acumulo de residuos en las ciudades, debido al fuerte éxodo rural que caracteriza a esta etapa, además de aparecer nuevos tipos de residuos procedentes del desarrollo de la industria.

Este comportamiento consumista nos ha precedido hasta nuestros días, convirtiéndonos en una sociedad de consumo de masas. Una de las consecuencias de este modelo de vida es la masiva generación de residuos, que desde el punto de vista ambiental, puede ser insostenible para el planeta.

La composición de los residuos que generamos actualmente es muy variada, aguas residuales, restos de comida, vidrio, residuos sanitarios, residuos nucleares, etc., que para evitar un perjuicio al medio ambiente tienen que ser tratados y gestionados adecuadamente.

Un caso particular son los residuos de origen orgánico, que suponen casi un 50% del total de los residuos urbanos (MMA, 2007), al que hay que añadirle los que se generan de las actividades ganaderas, agrícolas y agroindustriales. Si no se gestionan adecuadamente pueden provocar la liberación generalizada de gases de efecto invernadero, como el metano, contaminación de aguas, transmisión de enfermedades o malos olores.

La gestión mayoritaria para este tipo de residuos ha sido su eliminación mediante deposición en vertederos, extendiéndolo en capas de poco espesor y recubriéndolo posteriormente con suelo para minimizar los riesgos. Esta práctica entraña varios problemas como son el uso de grandes superficies de terreno, pues una vez colmatado el vertedero hay que cambiarlo de ubicación, la imposibilidad de aprovechar los recursos una vez depositados y el desconocimiento de la evolución física, química y biológica de estos sistemas una vez enterrados, que podrían incluso actuar como una bomba química del tiempo.

Es por esto que las políticas en gestión de residuos abogan por la reutilización, reciclado y valorización de los residuos en detrimento de su eliminación mediante vertedero u otros procesos.

La Directiva Europea 2006/12/CE de 5 de abril de 2006 sobre residuos establece una jerarquización en la gestión de residuos cuyo orden de prioridad es: prevención, preparación para la reutilización, reciclado, otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética y por último la eliminación.

Las operaciones de eliminación y valorización de residuos quedan descritas en la Orden MAM/304/2002 de 8 de Febrero, dentro de la últimas se incluyen la utilización como combustible o como otro medio de generar energía, las operaciones de compostaje y otras transformaciones biológicas, y el tratamiento de los suelos produciendo un beneficio para la agricultura o una mejora de los mismos.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo ahondar en el proceso de compostaje como una alternativa al tratamiento de los residuos orgánicos, permitiendo el reciclaje de la materia orgánica y su valorización como compost.

Para ello, primero se ha realizado una revisión general de la situación actual en la producción y gestión de los residuos orgánicos procedentes de la agricultura, la ganadería, la industria agroalimentaria y los residuos sólidos urbanos, con el fin de determinar la situación del compostaje dentro de los sistemas de tratamiento de residuos utilizados, así como, de los principales factores, procesos y fases que condicionan el proceso de compostaje.

Una vez contempladas las opciones que permite el compostaje, se ha realizado un ensayo experimental de la producción de compost como alternativa al reciclaje de residuos de la producción de guacamole procedente de la industria agroalimentaria, añadiendo restos de poda como material estructurante y gallinaza como fuente de nitrógeno.

3. TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y COMPOSTAJE

La ley 22/2011 de 28 de Julio, de residuos y suelos contaminados, define el concepto de residuo *como cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención u obligación de desechar* y distingue entre residuos domésticos, comerciales, industriales, peligrosos, aceites usados y biorresiduos.

El concepto de residuo queda aquí muy ampliamente definido y engloba diversos materiales que no tiene origen orgánico, por eso nos centraremos en el concepto de biorresiduo que queda definido como: *residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesamiento de alimentos.*

El artículo 24 de la presente ley, promueve el compostaje o la digestión anaerobia de estos residuos con el fin de aplicarlos como enmienda orgánica o fertilizante mineral en el sector agrícola, suelos degradados y jardinería.

Actualmente el compostaje parece ser una buena solución para uno de los problemas ambientales más en auge en nuestros días, la producción cada vez mayor de residuos, especialmente para los residuos orgánicos.

El compost es una buena forma de reciclar esa materia orgánica que producimos en exceso, que de lo contrario serían fuentes de contaminación, ayudando a la mejora de los suelos y a la fijación de carbono (Arcos, Dios y Rosal, 2005)

3.1 LOS RESIDUOS ORGÁNICOS: PRODUCCIÓN Y GESTIÓN

3.1.1 Los residuos ganaderos

Tradicionalmente la ganadería ha convivido estrechamente con las actividades agrícolas de las pequeñas granjas, un buen ejemplo de ello ha sido el uso de estiércol como fertilizante para los cultivos de las propias granjas.

Pero con el desarrollo de la agricultura moderna y la llegada de la industrialización, la tradición ha quedado relegada a un segundo plano. La consecuencia más inmediata fue la separación de la ganadería de la agricultura, lo que lleva a la utilización de fertilizantes inorgánicos para los cultivos (Bernal y Gondar, 2008).

Así, la mecanización, la especialización, la aplicación de fertilizantes químicos y la ganadería intensiva han hecho que lo que venía siendo un sistema de producción sostenible con el medio ambiente se haya perdido.

Con el desarrollo de la ganadería intensiva se ha producido un aumento de la actividad ganadera, con el consecuente incremento de la densidad del número de animales que se ha traducido en un aumento considerable del volumen de residuos generados en las explotaciones ganaderas, pasando de un total de $62,8 \times 10^6$ de toneladas de estiércol en 1989 a $91,6 \times 10^6$ toneladas en 2003 (MAGRAMA, 2013a). En 2008 las toneladas de estiércol generadas se situaban en unos 130 millones (MAGRAMA, 2012)

Deyecciones ganaderas generadas en 2008	
Especie Ganadera	Estiércoles (Tn/año)
Vacuno	64.655.529
Ovino	11.565.983
Caprino	1.666.964
Avicultura	1.735.472
Porcino	50.949.428
Totales	130.573.376

Transformada de MAGRAMA 2012

El estiércol es un producto que se produce a partir de la mezcla de las heces y orines con elementos destinados a la cama de los animales generalmente paja, aunque también pueden aparecer otros materiales como serrín o virutas de madera entre otros.

La composición del estiércol es rica en materia orgánica, compuestos nitrogenados y materiales hidrocarbonatados, se trata de un abono órgano-mineral que contiene los elementos necesarios para el requerimiento nutricional de las plantas y cultivos.

El estiércol aplicado a los terrenos cumple una doble funcionalidad, por un lado aporta materia orgánica a suelos degradados o pobres en este contenido, mejorando la estructura del suelo y aumentando la capacidad de retención de agua, y por otro lado, le aporta a las plantas una serie de elementos nutritivos: nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio y otros oligoelementos (Cala, Barrales y Martín-Vivaldi, 2003).

La composición de los residuos procedentes de los animales varía entre límites muy amplios dependiendo de la especie que se trate, a continuación se muestra una tabla con los contenidos de materia orgánica presente en el estiércol de distintos animales:

Contenido en materia orgánica de diferentes estiércoles(%)			
	Materia seca	Materia orgánica	Relación C/N
Estiércol de conejo	28-50	70-85	11-19
Estiércol de oveja	25-50	77-87	13-17
Gallinaza	65-80	66-80	9-11
Purines de cerdo	3-8	68-75	3-5
Estiércol de bovino	10-20	50-70	3-5

Transformada de Cala, Barrales y Martín-Vivaldi, (2003)

Aunque la mayor parte del estiércol se aplique como fertilizante, el excedente de estiércol y purines producido, debido a la intensificación ganadera antes mencionada, y al no disponer de terrenos de producción agrícola donde utilizarlo, se acumulan causando diversos problemas:

- Eutrofización de las aguas superficiales por lixiviación
- Contaminación de las aguas subterránea por filtración
- Emisión de compuestos volátiles malolientes y gases nocivos como el metano o el dióxido de carbono
- Contaminación del suelo y disminución del rendimiento del cultivo por dosis excesivas

MÉTODOS DE TRATAMIENTO

Las posibilidades para gestionar los estiércoles son principalmente la aplicación de enmienda orgánica sin tratamiento previo o tras haber sufrido una biodigestión.

- Aplicación directa

Aunque esta práctica se ha venido haciendo desde siembre y es la más extendida hay que tener en cuenta ciertas consideraciones al realizar el abonado directo.

Para que el nitrógeno pueda satisfacer los requerimientos nutricionales de la plantas, este se tiene que encontrar en forma mineral. Cuando se aplica el estiércol a un cultivo hay que esperar a que la fracción orgánica se mineralice por lo que el nitrógeno no estará disponible inmediatamente para las plantas, además la demanda de nitrógeno en los cultivos no es siempre la misma siendo mayor en las primeras etapas de crecimiento y disminuyendo en las etapas de madurez (Iglesias, 1994).

- Aplicación tras tratamiento biológicos

Para evitar los problemas derivados de su aplicación directa, los estiércoles se pueden someter a procesos de digestión aeróbica o compostaje y a digestión anaeróbica.

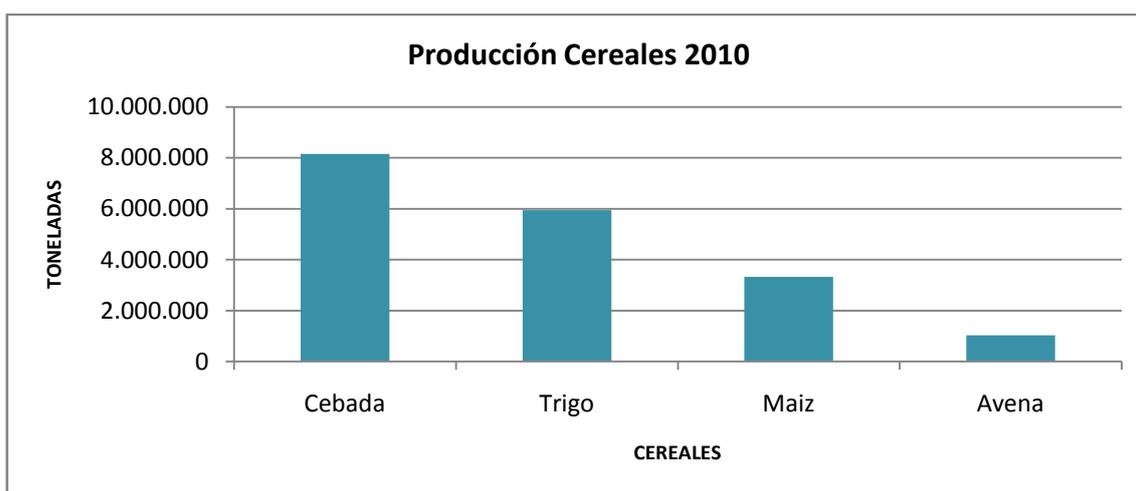
Con la digestión anaeróbica del estiércol se obtiene biogás (una mezcla de metano y dióxido de carbono) y un residuo semisólido o digesto. El digesto obtenido es rico en nutrientes (N, P, K, Ca,..) y se aplica como abono órgano-mineral de los cultivos (MAGRAMA, 2012a).

Con la digestión aeróbica o compostaje se obtienen un producto higienizado y estabilizado para aplicar como enmienda orgánica a los cultivos. Al ser un proceso controlado tiene la ventaja de poder estimar la relación C/N del producto resultante y evitar así los problemas derivados del nitrógeno.

3.1.2 Los residuos agrícolas

La agricultura al igual que la ganadería, también ha sufrido un proceso de intensificación y desarrollo en las últimas décadas, la ruptura agropecuaria antes mencionada y el paso de una agricultura extensiva hacia una agricultura intensiva ha provocado que se generen grandes cantidades de residuos cada año. En el año 2010 la producción de cereales se situaba en $19,9 \times 10^6$ toneladas (MAGRAMA, 2013b)

A continuación se muestra una tabla con las producciones de algunos de los principales cultivos agrícolas.



Transformado de MAGRAMA 2012

Esta explotación del suelo en términos de maximización de la producción y el abuso de fertilizantes químicos provoca alteraciones en el ciclo de la materia orgánica, la erosión o incluso la mineralización de algunos terrenos, además de generar grandes volúmenes de residuos.

Los residuos agrícolas tienen una doble potencialidad, por un lado pueden aportar una importante cantidad de materia orgánica al suelo y por otro el rendimiento producido por su aprovechamiento energético.

MÉTODOS DE TRATAMIENTO

Para evitar el abandono, incineración o deposición en vertederos, existen diversas alternativas para el tratamiento de los residuos vegetales sin que supongan un peligro para el medio ambiente y/o la salud.

Estas alternativas están basadas en el reciclaje y recuperación de los recursos que contienen ya sea por aplicación directa o después de un tratamiento biológico o químico.

- Aplicación directa

Aunque tradicionalmente los restos vegetales se han utilizado para la alimentación del ganado, se encuentran infrautilizados en este aspecto por distintas razones, el aspecto no resulta agradable al ganadero, su manejo y transporte tienen costes elevados o la poca información para utilizarlos correctamente, entre otros. Además no todos los cultivos poseen las mismas propiedades nutritivas, mientras que la paja de cereales o la cascarilla de girasol tienen un bajo valor nutritivo, otras como la pulpa de remolacha lo tienen próximo al de la cebada (Cala, Barrales y Martín-Vivaldi, 2003).

Con una mezcla adecuada de distintos cultivos, complementados con un aporte vitamínico que cumpla con el requerimiento nutricional del ganado y una buena gestión que facilite su manejo y transporte, se haría un buen aprovechamiento de este recurso.

Otra forma de aprovechar la biomasa residual es la incorporación al suelo como enmienda orgánica. La incorporación de materia orgánica al suelo y su posterior humificación mejora las propiedades físicas del suelo y su actividad microbiana, con el consecuente efecto positivo para los cultivos.

No obstante hay que tener en cuenta que esta práctica podría promover la inmovilización de nitrógeno en el suelo y provocar efectos negativos en los cultivos por lo que sería conveniente una aportación de nitrógeno, preferentemente de tipo orgánico, tipo estiércol, purines, etc. Esta última alternativa nunca ha sido muy frecuente aunque en la actualidad se está implantado lentamente en la arboricultura española (López y Boluda, 2008).

Cabe mencionar aquí aunque no se trate estrictamente de biomasa residual el abono verde, que consiste en realizar un cultivo de cobertura y cuando la siembra es recogida se incorpora a la tierra como fertilizante, agregando materia orgánica y nutrientes al suelo que quedara acondicionado para la siembra de cultivos destinados al consumo.

- Aplicación tras tratamiento biológico

En este tipo de tratamientos los microorganismos realizan una biotransformación de la materia orgánica, bien de forma aeróbica o anaeróbica.

El aprovechamiento de los residuos agrícolas para la obtención de biocombustible ha experimentado un gran interés en los últimos años, sobre todo en los países industrializados, que desde la crisis del petróleo realizan investigaciones orientadas a optimizar el producto que generan las digestiones anaerobias (Cala, Barrales y Martín-Vivaldi, 2003)

Estos productos son sustitutivos de los derivados del petróleo, los más usados y desarrollados son el bioetanol y el biodiesel.

El bioetanol se produce por fermentación alcohólica de azúcares de diversas plantas como la remolacha, la caña de azúcar o los cereales, mientras que el biodiesel se fabrica a partir de aceites vegetales como los que se obtienen de la colza, jatrofa o soja.

Aunque a priori esta técnica pueda parecer una buena solución al problema de los combustibles fósiles, no está exenta de polémica por el uso de la tierra y las plantas para un uso no comestible.

El compostaje o digestión aeróbica de los residuos vegetales, produce un compuesto higienizado y estabilizado que se utiliza como enmienda orgánica para cultivos y suelos degradados. A este producto se le denomina compost vegetal porque la digestión se realiza exclusivamente con restos vegetales.

- Tratamiento físico químico

Existen muchos tratamientos físico-químicos, siendo los más importantes para tratar los residuos vegetales los procesos termoquímicos como pirolisis, la gasificación o la combustión con recuperación de energía.

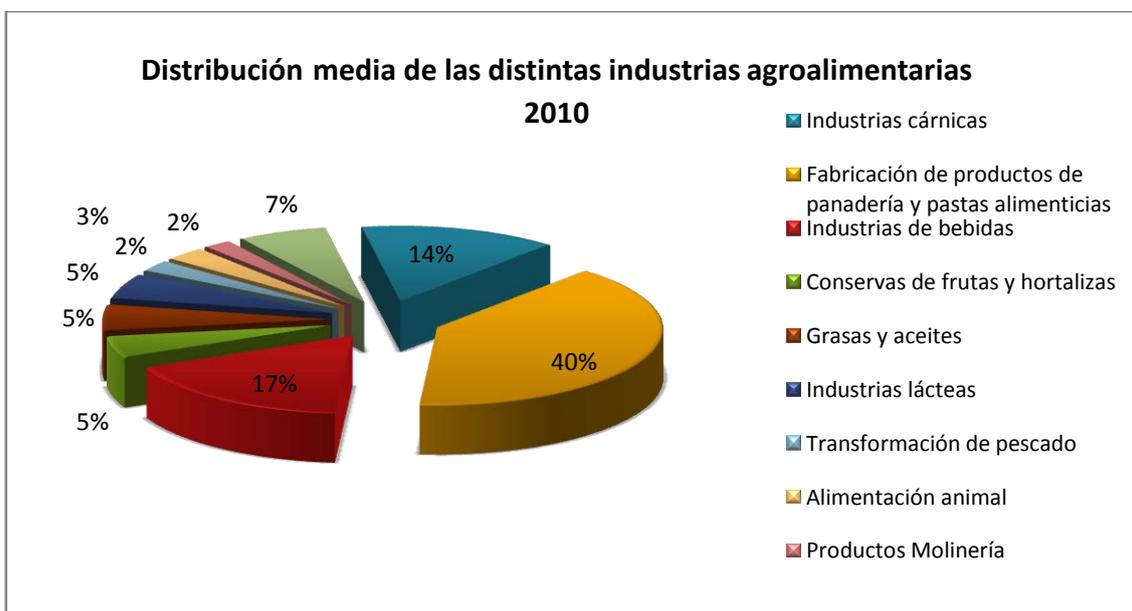
Mediante estos procesos los residuos agrícolas se someten a altas temperaturas (800-1500°C) consiguiendo reducir el volumen de los residuos y producir combustibles como subproducto.

También se pueden obtener compuestos químicos para la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica, etc., por ejemplo de la hemicelulosa se pueden obtener hasta 12 compuestos diferentes (López y Boluda, 2008).

3.1.3 Los residuos agroindustriales

El número de empresas de la industria agroalimentaria se situó en el año 2010 en torno a 29.424, de las cuales aproximadamente el 40% corresponden con producción

de pan y pastas alimenticias, el 17% con la industria de bebidas (incluyendo el sector vitivinícola) y el 14% con la industria de grasas y aceites (MAGRAMA, 2013b).



Transformado de MAGRAMA 2011

Como consecuencia de estas actividades se generan grandes volúmenes de residuos de naturaleza predominantemente orgánica, tanto de origen animal, como de origen vegetal.

Si bien no existen estimaciones totales de estos residuos, debido a la gran heterogeneidad que presenta la industria alimentaria, algunos residuos de las industrias más importantes si han sido estimados, como por ejemplo los generados en la industria azucarera que ascendían en 2003 a $0,45 \times 10^6$ toneladas de pulpa y $1,86 \times 10^6$ de lodos o los de la industria vitivinícola que lo hacía a 329.000 toneladas de raspón, 920.000 de orujo, 394.000 de lías y 28×10^6 de aguas residuales (Bernal y Gondar, 2008).

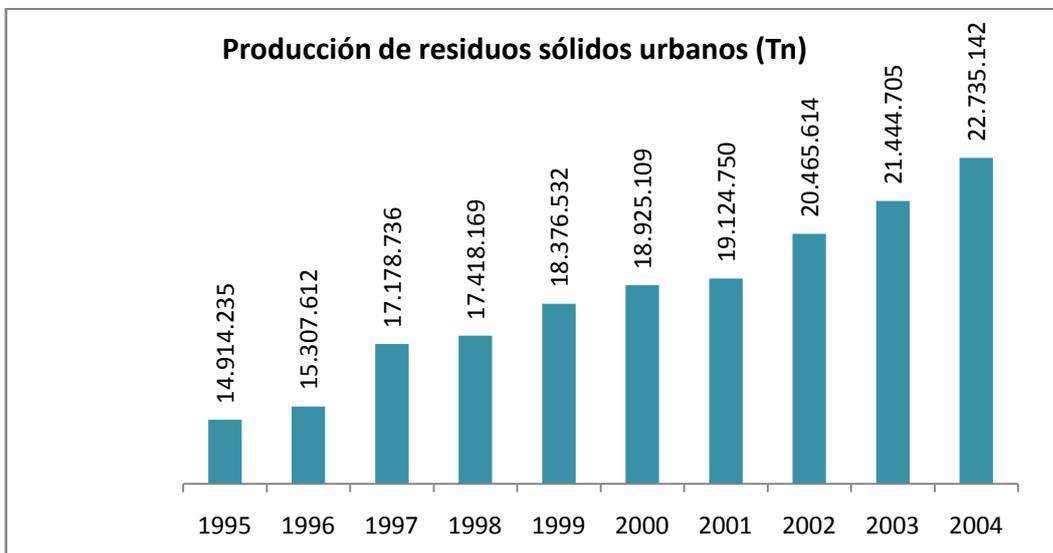
En cuanto a su posibles tratamientos son similares a los empleados en los residuos agrícolas, a excepción de los lodos y aguas residuales que tendrán un tratamiento adecuado a su composición, no obstante cada residuo generado se ha de gestionar particularmente según sus condiciones y dilucidar cuál es el método de tratamiento más conveniente.

3.1.4 Los residuos urbanos

Dentro de los residuos sólidos urbanos se incluyen los residuos domésticos y residuos similares generados en comercios u oficinas a los que también se incluyen los residuos de la limpieza urbana, de mercados y parques y jardines.

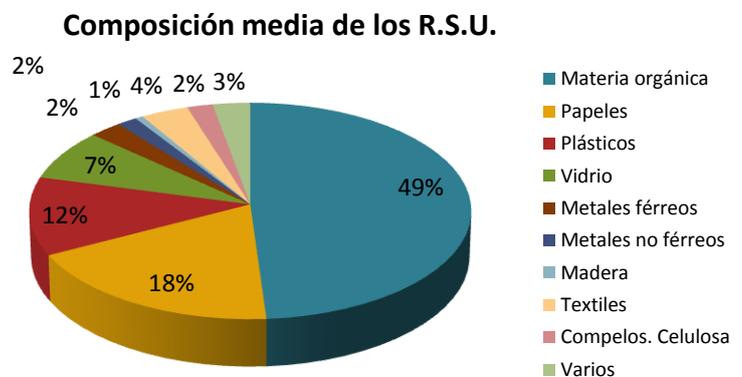
Esta cantidad de residuos generados por la población ha experimentado un gran crecimiento en las últimas décadas, fundamentalmente por los hábitos consumistas que caracteriza a nuestra sociedad.

Según datos del ministerio de medio ambiente la producción de residuos urbanos ha pasado de $14,9 \times 10^6$ toneladas en 1995 a $23,5 \times 10^6$ toneladas en 2005 (MMA, 2005)



Transformado de MMA 2005.

Aunque la composición de los RSU es muy variable y depende de factores como el clima, el nivel de vida, el tamaño de la población o la época del año, generalmente la fracción mayoritaria corresponde a residuos orgánicos con un 50%, seguida de los papeles y los plásticos.



Transformado de MMA 2007.

La gestión de los residuos sólidos urbanos se ha venido basando en la recogida selectiva, esto es, la separación de los residuos-según su naturaleza- en distintos contenedores para facilitar su reciclado.

Generalmente los residuos se depositan en cuatro contenedores distintos, correspondientes a las fracciones mayoritarias de los componentes de los RSU: papel y cartón, vidrio, envases y materia orgánica.

Pero en realidad en el contenedor destinado a la materia orgánica, se deposita todo lo que no casa con las otras tres fracciones, así además de contenedor residuos orgánicos contiene también restos de ropa, calzado, maquillaje, cristal, etc., que dificultan las labores de su reciclado.

La recogida selectiva de la fracción orgánica de los residuos municipales (FORM) se encuentra relativamente asentada en los países del norte de Europa, con unos 9 millones de toneladas de residuos orgánicos recogidos (Arcos, Dios y Rosal, 2005). En España, se podría decir, que la recogida de la fracción orgánica se encuentra en fase piloto en algunas comunidades autónomas, destacando el caso de Cataluña.

MÉTODOS DE TRATAMIENTO

La fracción orgánica de los RSU puede ser transformada mediante compostaje o biometanización para obtener nuevos productos con otras aplicaciones, valorizada energéticamente como combustible para producir energía mediante tratamientos térmicos (pirólisis, gasificación, hidrogenación, etc.) O eliminadas mediante su deposición en vertederos.

- Tratamiento térmico

Los residuos son sometidos a altas temperaturas para reducir su volumen a costa de los materiales combustibles que forman parte de su composición y se transforman en materiales inertes y gases. El calor producido mediante el proceso puede ser usado para generar energía eléctrica.

Aunque el peso del material incinerado se reduce en un 70% y su volumen en un 80-90% (Calcaterra, 1996) sigue quedando parte del material en forma de cenizas, parte de las cuales son muy tóxicas, que tienen que ser depositadas en vertederos especiales.

- Eliminación en vertederos controlados

Los residuos son compactados y enterrados en vertederos previamente habilitados para ello, situados en terrenos con unas características geológicas e hidrológicas adecuadas.

Aunque la mayoría de los residuos acaban en este tipo de instalaciones, es la opción menos deseable por la imposibilidad de aprovechar los residuos, ocupación de grandes superficies, problemas derivados de la evolución de los residuos una vez enterrados, etc.

- Biometanización

La biometanización es un proceso de digestión anaeróbica de la fracción orgánica mediante el que se obtiene biogás (una mezcla de metano y dióxido de carbono) y un residuo semisólido o digesto.

El metano es valorizado posteriormente para la obtención de energía y el digesto puede ser eliminado en vertedero o compostado.

- Compostaje

La fracción orgánica es sometida a un proceso de digestión aeróbica con una etapa termofílica mediante el que se obtiene un producto estabilizado y libre de sustancias fitotóxicas, que puede ser utilizado como fertilizante en la agricultura o para mejorar la calidad de los suelos.

3.2 EL COMPOSTAJE

3.2.1 Introducción y definición

El compostaje, es posiblemente, el primer método de tratamiento de residuos orgánicos más antiguo que se conoce. No hay una fecha exacta o una civilización concreta a la que atribuirle su surgimiento, aunque probablemente sus inicios se encuentren cuando el ser humano pasó de ser nómada a sedentario.

La causa principal del sedentarismo fue el descubrimiento de la agricultura y con ello llegó también la domesticación de animales, en este momento aparecen residuos de naturaleza orgánica (excrementos animales, restos agrícolas..) que aprovechaban para su uso en agricultura.

Estos inicios del aprovechamiento de los restos orgánicos se basaban en la experiencia y se hacía sin conocimiento de los fundamentos del proceso. Al mezclar los excrementos de animales con el resto de las cosechas, se generaba calor, y la masa inicial se transformaba en un producto beneficioso para las cosechas (Menoyo, 1995). Desde entonces los agricultores, han seguido esta práctica, utilizando el producto resultante como abono.

El compostaje se define como: *un proceso bio-xidativo controlado en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, que pasa por una etapa termófila y una producción temporal de fitotoxinas, dando al final, como productos de los procesos de degradación, dióxido de carbono, agua y minerales, así como materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuestas para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos* (Zucconi y de Bertoldi, 1987 a).

3.2.2 Factores del proceso de compostaje

En el proceso de compostaje, los agentes responsables de la transformación son los microorganismos, por lo que todos los factores que afecten a la evolución de los mismos afectarán también al proceso. Aunque son muchos los factores que intervienen en el proceso caben destacar la temperatura, humedad, pH, aireación, relación C/N y tamaño de las partículas. Estas variables estarán influenciadas por las variables ambientales, el tipo de residuo y el sistema de compostaje elegido (Madrid, 1999).

- TEMPERATURA

Debido a que en el compostaje es un proceso donde los residuos se descomponen aeróbicamente, la temperatura juega un papel muy importante a lo largo del proceso.

La degradación aeróbica es un proceso altamente exotérmico y el calor que se produce resulta en un incremento de temperatura, de manera que un incremento en la temperatura de la masa que se está compostando confirmará la existencia de actividad microbiana.

Cada especie microbiana tiene un rango de temperatura óptimo en el que su actividad y crecimiento son más efectivos, durante el proceso de compostaje intervienen básicamente los microorganismos mesófilos cuyo rango de temperatura varía 15-40 °C y los termófilos 40-70°C (Suller y Amberger, 1977).

Por la evolución de la temperatura se puede juzgar la eficiencia y el grado de estabilización del compost; las pilas necesitan ser volteadas para su oxigenación y así evitar procesos anaeróbicos, con cada volteo existe un aumento de temperatura producido por la degradación de los residuos, una vez la materia orgánica se ha consumido no deberían existir picos de temperatura.

- HUMEDAD

La presencia de agua resulta imprescindible en el proceso de compostaje para que los microorganismos puedan mantener sus necesidades fisiológicas, de ahí que la humedad cobra gran importancia en el proceso.

Es necesario controlar el nivel de humedad, pues un exceso impediría la presencia de oxígeno en la matriz lo que lo convertiría en un factor limitante además de favorecer condiciones de anaerobiosis (Arco, Dios y Rosal, 2005).

La humedad disminuye a lo largo del proceso debido al aumento de temperatura que generan los microorganismos en la descomposición, por lo que habría que añadir agua según se fuera necesitando durante el proceso (Madrid, 1999).

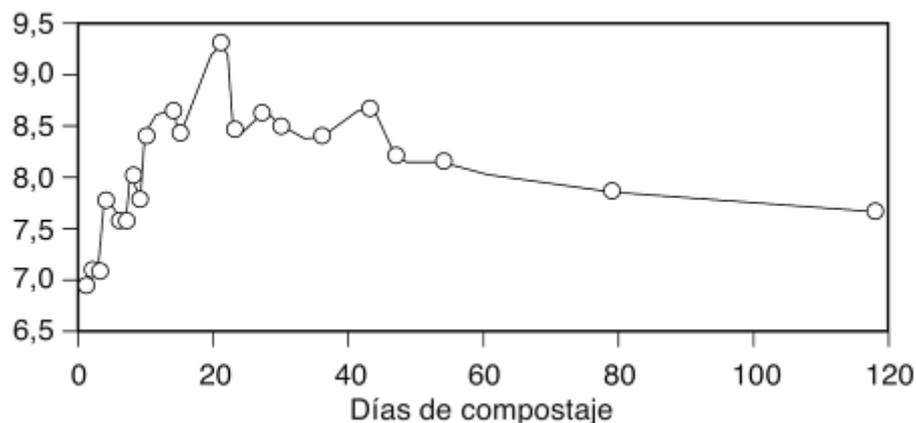
Los niveles de humedad óptimos deberían oscilar entre 40-60, por encima de este rango el agua desplazaría el aire de los poros produciendo anaerobiosis y por debajo 40 se disminuiría la actividad de los microorganismos pudiéndose convertir en un factor limitante para la descomposición.

- pH

El pH inicial dependerá de la naturaleza del producto y variara a lo largo del proceso debido a la acción de los microorganismos.

Durante las fases iniciales del compostaje el pH suele disminuir debido a la formación de ácidos grasos provenientes de la descomposición de los microorganismos sobre la materia orgánica mas lábil, no obstante existe una progresiva alcalinización a lo largo del proceso , debido a la descomposición de las proteínas que dan como producto amoniaco.

Por tanto es conveniente realizar un seguimiento del pH durante todo el proceso ya que si en algún momento este cae hasta la alcalinidad podrían estar dándose condiciones de anaerobiosis.



Fuente: (Moreno y Morál, 2008)

- AIREACIÓN

Al tratarse de un proceso aeróbico, el oxígeno es indispensable para que los microorganismos puedan realizar la degradación correctamente.

Durante el proceso biooxidativo el contenido de oxígeno va disminuyendo, sobre todo cuanto más bajamos en el interior de la pila, y el dióxido de carbono va aumentando. Si no se produce una aireación los microorganismos aeróbicos serán sustituidos por los anaeróbicos, la velocidad de descomposición disminuirá y aparecerán malos olores y gases nocivos como el metano o el sulfhídrico, procedentes de la anaerobiosis (Bueno, Díaz y Cabrera, 2008).

Hay que tener cuidado porque una aireación excesiva puede producir el enfriamiento de la pila y reducir la actividad metabólica del proceso.

- TAMAÑO DE LAS PARTICULAS

El tamaño inicial de las partículas es un factor muy importante en cuanto a que va a determinar la superficie expuesta al ataque microbiano. Cuanto mayor sea esta superficie más rápida y completa serán las reacciones bioquímicas.

Si los tamaños de las partículas son demasiado grandes se generan abundantes espacios por los que puede haber una pérdida significativa de humedad y por tanto una disminución de la actividad microbiológica. Por otra parte un tamaño excesivamente pequeño generaría problemas de compactación lo que conllevaría a un descenso en la entrada de aire y oxigenación que provocaría de nuevo la disminución de la actividad microbiana.

Los tamaños óptimos varían según autores: entre 1-5cm, 2-5 cm o 2,5-2,7 (Haug, 1993; Kielch, 1985 y Tchobanogolus, 1994)

- RELACIÓN C/N

En el proceso de compostaje, los microorganismos obtienen la energía para sus procesos metabólicos del carbono y sintetizan su material celular a partir del nitrógeno, por tanto, la relación C/N es un factor indispensable para que el proceso de compostaje se dé correctamente.

Los microorganismos utilizan generalmente unas 25-30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno, por ello se considera esa relación como la óptima para el proceso de compostaje (Jhorar, Phogat y Malik , 1991), aunque variará dependiendo de los materiales de partida.

Cuando la relación C/N es elevada, por encima de 40, el nitrógeno se convierte en un factor limitante y el proceso se ralentiza, ya que los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono debido a la baja disponibilidad de nitrógeno para la síntesis proteica.

Si la relación C/N es baja el compostaje será más rápido pero el exceso de nitrógeno se perderá en forma de amoníaco, que si bien no supondría un efecto negativo para el compostaje en sí, al ser un gas de efecto invernadero si que supondría un problema ambiental.

La relación decrece a medida que avanza el proceso de compostaje hasta que se estabiliza con el proceso de maduración. Un compost totalmente maduro tendría una relación cercana a la que tiene el humus, en torno a 10, aunque en la práctica se considera que un compost está maduro si la relación es < 20.

- MATERIA ORGÁNICA

El carbono es la principal fuente de energía para los microorganismos, por tanto la evolución de la materia orgánica dará idea de la evolución del proceso del compostaje. Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización, llegando a representar casi el 20% en peso de la masa compostada (Zucconi y De Bertoldi, 1987b).

- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Este parámetro vendrá definido por la concentración de sales del material de partida y en menor medida por los iones amonio o nitratos formados durante el proceso.

Durante el proceso la mineralización de la materia orgánica produce un aumento de nutrientes y esto hace la CE se eleve. Si existe una gran humectación puede producirse un lavado de sales por lo que bajara la CE.

A la hora de aplicar el compost final al suelo habrá que tener en cuenta su concentración de sales pues un exceso de salinidad dificultaría la absorción de agua por las plantas.

3.2.3 Fases del proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje, las actividades combinadas de microorganismos hace que se puedan dividir en 4 etapas dependiendo de la temperatura: mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración (Arcos, Dios y Rosal, 2005).

- ETAPA MESOFÍLICA

Durante el inicio de esta etapa el proceso de compostaje se encuentra a temperatura ambiente lo que facilita el desarrollo y la acción de la microbiotamesofílica (mayoritariamente bacterias mesofílicas) que descomponen los compuestos orgánicos fácilmente biodegradables (azúcares sencillos, aminoácidos, proteínas...).

Como resultado de la biodegradación es frecuente que el pH se acidifique debido a la producción de compuesto de naturaleza ácida, tipo aminoácidos procedentes de las proteínas, lo que favorece la aparición de hongos mesofílicos más tolerantes a estas condiciones.

Debido a la actividad metabólica de todos estos microorganismos, la temperatura aumenta hasta los 40 °C aproximadamente entrando en la etapa termófila.

Es importante que la relación C/N en esta fase del proceso se encuentre en torno a 30 pues los microorganismos necesitan el carbono para realizar los procesos metabólicos y el nitrógeno para sintetizar nuevas moléculas. Si la proporción es mayor la actividad metabólica disminuiría y si es menor la acumulación de amoníaco, tóxico para la población bacteriana, pararía el proceso.

- ETAPA TERMOFÍLICA

En esta etapa, por encima de los 40°C, aparecen bacterias y hongos termofílicos, además de los primeros actinomicetos y se inicia la degradación de compuestos más complejos.

La actividad microbiana es máxima esta fase haciendo que la temperatura aumente constantemente hasta alcanzar valores en torno a los 70°C. La degradación de los ácidos producidos de la etapa anterior hace que el pH vuelva a estar en torno a la neutralidad.

Debido a las altas temperaturas alcanzadas se produce la higienización del material orgánico, eliminando agentes patógenos o semillas de malas hierbas que pudieran contener los materiales de partida.

Con la escasez de los materiales biodegradables y las altas temperaturas solo sobreviven algunas bacterias que no son capaces de mantener la actividad metabólica y la temperatura empieza a caer entrando en una nueva fase mesofílica o de enfriamiento.

- ETAPA DE ENFRIAMIENTO

En esta etapa aparecen de nuevo los microorganismos mesofílicos con una predominancia de hongos procedentes de las esporas formadas en la etapa anterior.

La materia orgánica fácilmente degradable ya ha sido asimilada en las etapas anteriores y solo quedan moléculas complejas como la lignina y la celulosa y la biomasa de los microorganismos anteriores. Esto hace que la actividad metabólica se ralentice

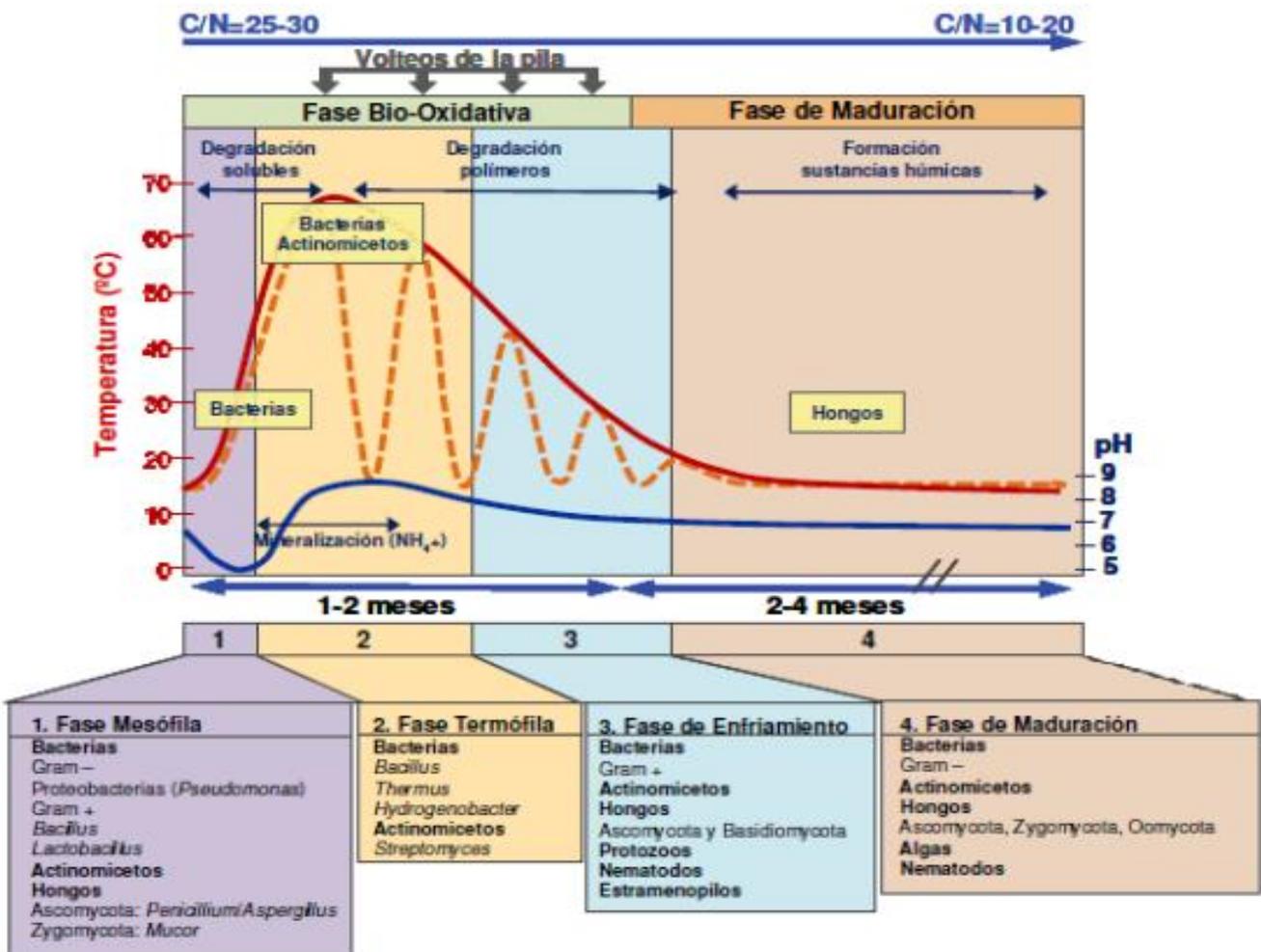
• ETAPA DE MADURACIÓN

En esta etapa la temperatura y el pH se estabilizan, la actividad metabólica esta ralentizada y predomina la humificación con reacciones de policondensación y polimerización.

Durante esta fase predominan los actinomicetos que intervienen en la formación de ácidos húmicos y son productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos. Además aparecen otros organismos como nematodos o lombrices que al remover los materiales exponen nuevas superficies para que los microorganismos puedan colonizarlas y seguir con el proceso de maduración.

Una vez finalizado el proceso quedara un producto estable o maduro en el que la descomposición microbiana en casi inexistente o se hace de forma muy lenta.

A continuación se muestra una figura que engloba las fases descritas anteriormente:



Fuente: www.agroterra.com

3.2.4 Sistemas de compostaje

Hay numerosos sistemas para llevar a cabo el proceso de compostaje, el clima del lugar en el que se realice, los materiales que se vayan a utilizar o la disponibilidad del terreno son factores, entre otros, que influirán decisivamente en el método empleado.

En líneas generales se pueden establecer dos categorías principales: sistemas abiertos y sistemas cerrados. Los primeros tienen un manejo e instalación más sencillos, además de un menor coste, sin embargo los sistemas cerrados requieren unas infraestructuras y una maquinaria especializada y más compleja que requieren unos costes elevados.

- SISTEMAS ABIERTOS O AL AIRE LIBRE

Estos sistemas son lo más sencillos pues el material a comportar se sitúa al aire libre, lo que implica también un menor costo. Dentro de estos se pueden distinguir atendiendo a si se mueve o no el sustrato.

Pilas con volteo

El material a comportar se dispone en pilas de unos 3 metros de largo y unos 5 de ancho y se remueve periódicamente para homogeneizar la temperatura, humedad y oxígeno. Después de cada volteo la temperatura bajara y volverá a subir como consecuencia de la actividad microbiana. La frecuencia de volteo dependerá mayoritariamente del tipo de material y de la humedad.

El volteo se puede realizar “in situ” con una maquina volteadora y aunque el tiempo de volteo es menor el costo es muy elevado, o con una máquina ayudada con una pala que es más económica pero tarda más pues tiene que conformar la pila en un lugar distinto del original.



Fuente: elaboración propia

Pilas estáticas

Dentro de los sistemas abiertos es el más económico y relativamente el más sencillo. Los materiales se amontonan en el suelo o el pavimento formando pilas similares al sistema anterior, variando en función de su aireación.

Con aireación pasiva: la aireación de la pila se realiza de forma natural por unos tubos que atraviesan la pila, de manera que, cuando el aire caliente sube desde el centro de la pila crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados.



Fuente: Sánchez e Hidalgo, 2006.



Fuente: Sánchez e Hidalgo, 2006.

Con aireación forzada: El aporte de oxígeno se realiza a través de un sistema mecánico de ventilación mediante tubos perforados, esto permite tener un mayor control de la concentración de oxígeno y favorecer la actividad de los microorganismos.

Normalmente disponen de unos sensores de temperatura, cuando esta llega a los 60°C aproximadamente se inyecta aire para que la temperatura descienda y se produzca una reactivación de las actividades metabólicas de los microorganismos.

- SISTEMAS CERRADOS

En estos sistemas el compostaje se lleva a cabo en reactores cerrados lo que supone un elevado costo, pero permiten controlar los distintos parámetros del proceso de una forma más eficaz, disminuye el tiempo de obtención del compost final y se controlan los olores y gases que se transportan al aire. Generalmente el compost resultante de estos sistemas no presenta un suficiente grado de madurez, es necesario someterlo a un proceso de maduración al aire libre o en naves abiertas (Sánchez e Hidalgo, 2006)

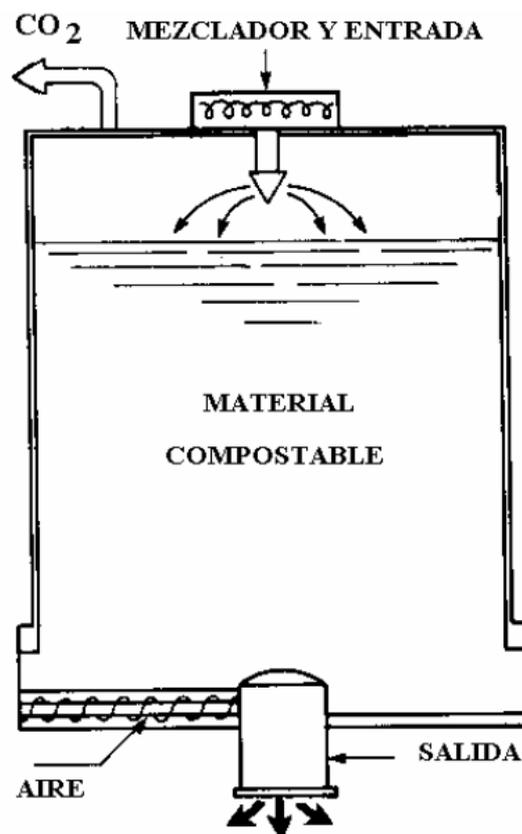
En estos sistemas se distinguen normalmente dos grupos, reactores verticales y horizontales, que pueden operar de forma continua, el material a compostar se encuentra en forma de masa única, o discontinua, el material a compostar se encuentra fraccionado en distintos niveles.

Reactor vertical continuo

Estos reactores suelen tener una altura de entre 4-10 metros y un volumen total de 1000 a 3000 metros cúbicos. Consta de un cilindro aislado térmicamente con un sistema de aireación y salida del material en su parte inferior.

La masa a compostar se introduce por la parte superior del reactor, el aire entra por la parte inferior, recorre toda la masa y sale por arriba mediante un mecanismo de succión. El material compostado sale por la parte inferior.

El control de la aireación se realiza dependiendo de la temperatura y características de los gases de salida. El tiempo de residencia es aproximadamente de 2 semanas



Fuente: Sánchez e Hidalgo, 2006.

Reactor vertical discontinuo

Estos reactores están formados por grandes cilindros divididos en varios niveles de dos a tres metro de altura cada uno.

El material a compostar se sitúa en el piso más alto y mediante volteos por dispositivos mecánicos va descendiendo a los niveles inferiores una vez el último piso la digestión ha concluido y el compost es retirado para el proceso de maduración. El tiempo de permanencia es de 1 semana pero el costo de instalación y mantenimiento.

Reactor horizontal continuo

Estos reactores constan de un cilindro horizontal que va girando sobre su propio eje, el material a compostar entra por un extremo y se va mezclando con la rotación hasta salir por el otro extremo.

La aireación se realiza a contracorriente por un ventilador, el tiempo de permanencia de los materiales en el reactor es de 24-36 horas.

3.2.5 Clasificación de los compost

Los tipos de compost se pueden clasificar atendiendo a la etapa en que se encuentre el compost, esto es, dependiendo del grado de transformación que haya alcanzado durante el proceso, se pueden clasificar en frescos, maduros y curados. (Madrid, 1999)

- Compost fresco

el material a compostar ha pasado por una fase termófila, habiendo experimentado una descomposición parcial y habiéndose eliminado los patógenos, pero aún no está estabilizado.

Al continuar con el proceso de degradación una vez añadido al suelo, no es conveniente aplicarlo directamente a los cultivos pues podría provocar reacciones adversas (Madrid, 1999). Sin embargo, se logra una buena estabilización para la recuperación de suelos degradados o la preparación del suelo entre cosechas ,aplicándolo a una profundidad de 5-10 cm (Menoyo, 1995).

- Compost maduro

El material a compostar ha sufrido una fase de maduración, es el producto final de la fase de maduración y cumple los requisitos específicos sanitarios y de estabilización.

Este tipo de compost se puede aplicar sobre los cultivos, aunque no conviene que este en contacto directo con el sistema radicular porque podría tener efectos negativos sobre el crecimiento de la planta.

- Compost curado

El material a compostar ha sufrido un largo proceso de maduración y mineralización por lo que es un producto altamente estabilizado.

Este tipo de compost se puede aplicar a los cultivos como sustrato, incluso aunque esté en contacto directo con el sistema radicular.

3.2.6 Calidad del compost

Dado que el compost tiene la finalidad de ser empleado como sustrato de cultivo o como enmienda orgánica de suelos, debe cumplir unas características y/o unos criterios de calidad que no comprometan el buen funcionamiento de los sistemas.

El material de partida juega un papel muy importante pues determinará la calidad del material final, un material con alto contenido de nutrientes, materia orgánica y un contenido bajo en metales pesados, dará como resultado un compost que cumplirá con buena parte de las necesidades nutricionales de cultivos y suelos.

También hay que asegurar que durante el proceso de compostaje se hayan dado temperaturas elevadas, durante el tiempo necesario para eliminación de organismos patógenos o malas hierbas y que el proceso de maduración se haya dado correctamente y el compost final sea un producto estable.

El aspecto y el olor, la granulometría, la capacidad de retención de agua, la humedad y la relación C/N son otros parámetros a tener en cuenta.

La Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo, por la que se modifican los Anexos I, II, III, IV, V y VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. define varios tipos de compost, así como las características que deben cumplir, bajo el epígrafe "Grupo 6. Enmiendas orgánicas" tal como se indica en la tabla siguiente.

GRUPO 6. ENMIENDAS ORGÁNICAS

Nº	Denominación del Tipo	Informaciones sobre la forma de obtención y los componentes esenciales	Contenido mínimo en nutrientes (porcentaje en masa) Información sobre la evaluación de los nutrientes Otros requisitos	Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado	Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse. Formas y solubilidad de los nutrientes. Otros criterios
1	2	3	4	5	6
01	Enmienda orgánica húmica	Producto de origen animal o vegetal, o por tratamiento de leonardita, lignito o turba, con un contenido mínimo en materia orgánica parcialmente humificada	- Materia orgánica total: 25% - Extracto húmico total (ácidos húmicos + ácidos fulvicos): 5% - Ácidos húmicos: 3% - Humedad máxima: 40%	- pH - Conductividad eléctrica - Relación C/N - Humedad mínima y máxima - Tratamiento o proceso de elaboración	- Materia orgánica total - C orgánico - Ácidos húmicos - Nitrógeno orgánico (si supera el 1%) - P ₂ O ₅ total (si supera el 1%) - K ₂ O total (si supera el 1%)
02	Enmienda orgánica Compost	Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), de materiales orgánicos biodegradables del Anexo IV, bajo condiciones controladas	- Materia orgánica total: 35% - Humedad: entre 30 y 40% - C/N < 20 Las piedras y gravas eventualmente presentes de diámetro superior a 5 mm, no superarán el 5%. Las impurezas (metales, vidrios y plásticos) eventualmente presentes de diámetro superior a 2 mm, no superarán el 3% El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25 mm	- pH - Conductividad eléctrica - Relación C/N - Humedad mínima y máxima - Materias primas utilizadas - Tratamiento o proceso de elaboración	- Materia orgánica total - C orgánico - N total (si supera el 1%) - N orgánico (si supera el 1%) - N amoniacal (si supera el 1%) - P ₂ O ₅ total (si supera el 1%) - K ₂ O total (si supera el 1%) - Ácidos húmicos - Granulometría
03	Enmienda orgánica Compost vegetal	Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), exclusivamente de hojas, hierba cortada y restos vegetales o de poda, bajo condiciones controladas	- Materia orgánica total: 40% - Humedad: entre 30 y 40% - C/N < 15 - No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos	- pH - Conductividad eléctrica - Relación C/N - Humedad mínima y máxima - Tratamiento o proceso de elaboración	- Materia orgánica total - C orgánico - N total (si supera el 1%) - N orgánico (si supera el 1%) - N amoniacal (si supera el 1%) - P ₂ O ₅ total (si supera el 1%) - K ₂ O total (si supera el 1%) - Ácidos húmicos - Granulometría
04	Enmienda orgánica Compost de estiércol	Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), exclusivamente de estiércol, bajo condiciones controladas	- Materia orgánica total: 35% - Humedad: entre 30 y 40% - C/N < 20 No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como: piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos	- pH - Conductividad eléctrica - Relación C/N - Humedad mínima y máxima - Tratamiento o proceso de elaboración	- Materia orgánica total - C orgánico - N total (si supera el 1%) - N orgánico (si supera el 1%) - N amoniacal (si supera el 1%) - P ₂ O ₅ total (si supera el 1%) - K ₂ O total (si supera el 1%) - Ácidos húmicos - Granulometría
05	Enmienda orgánica Vermicompost	Producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas	- Materia orgánica total: 40% - Humedad: entre 30 y 40% - C/N < 20 - El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25mm	- pH - Conductividad eléctrica - Relación C/N - Humedad mínima y máxima - Se podrán añadir las denominaciones usuales en el comercio	- Materia orgánica total - C orgánico - N total (si supera el 1%) - N orgánico (si supera el 1%) - P ₂ O ₅ total (si supera el 1%) - K ₂ O total (si supera el 1%) - Ácidos húmicos - Granulometría - Tipo o tipos de estiércoles empleados

Fuente: Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo, por la que se modifican los Anexos I, II, III, IV, V y VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.

Para todos ellos se delimita en el anexo V del citado decreto unos rangos de calidad considerando ciertos parámetros que quedan resumidos de la siguiente manera:

- nivel de nitrógeno orgánico: al menos un 85% del total
- Humedad: Contenido máximo expresado en porcentaje masa 14%
- Granulometría: El 90% deberá pasar por una malla de 10 mm
- Microorganismos: Salmonella ausente en 25 g, Escherichia coli < 1000 NMP por gramo de producto elaborado.

Los límites de los metales pesados quedan recogidos en la siguiente tabla, a partir de los cuales se elaboran 3 categorías y se establecen límites de uso.

LIMITES DE CONCENTRACIÓN MÁXIMOS (mg/Kg) DE MATERIA SECA			
METALES	A	B	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	70	250	300
Cromo VI	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial

Fuente: Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo.

Las Limitaciones de uso que figuran en el Real Decreto 824/2005 son:

“....

1. *Sin perjuicio de las limitaciones establecidas en el capítulo IV, los productos fertilizantes elaborados con componentes de origen orgánico se aplicaran al suelo siguiendo los códigos de buenas prácticas agrarias.*
2. *Los productos de la clase C no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por ha y año. En zonas de especial protección, particularmente a efectos del cumplimiento del Real Decreto 140/2003, de 7 de Febrero, por el cual se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, las comunidades autónomas, modificarán en su caso, la cantidad anterior. ...”*

4. ENSAYO DE PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS DE GUACAMOLE, PODA Y GALLINAZA.

4.1 INTRODUCCIÓN.

Los residuos de origen vegetal procedentes de su transformación por la industria agroalimentaria son susceptibles de ser aprovechados mediante compostaje, un caso concreto son los residuos de los cultivos tropicales. La comarca malagueña de la Axarquía, situada en la Costa del Sol Oriental, disfruta de un clima templado subtropical con más de 320 días de sol al año, lo que la convierte en lugar idóneo para el cultivo de especies subtropicales. Entre estas especies se encuentra el aguacate, que con una superficie ocupada superior a 6300 ha, sitúa a la Axarquía como principal productora de aguacate a nivel nacional.



La producción de guacamole es una actividad emergente en esta comarca que genera grandes cantidades de un residuo pastoso, rico en grasas, compuesto por pieles, semillas y restos de frutos de aguacate, que precisa de una gestión adecuada para minimizar su impacto medioambiental.

Aunque casi no existen experiencias del aprovechamiento de este residuo, podría transformarse en una fuente de materia orgánica interesante para cultivos de alto valor, incluyendo el propio aguacate.

En 2011 el Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea “La Mayora”, perteneciente al CSIC, realizó un ensayo de compostaje con los residuos de una empresa cercana que se dedica a la fabricación de guacamole, usando restos de poda como agente estructurante y gallinaza como fuente de nitrógeno. En total realizaron tres pilas de compostaje con las proporciones indicadas en la tabla 1.

Tabla 1. *Proporciones volumétricas de los residuos empleados en el compostaje*

Componente	Guacamole	Poda	Gallinaza
Nombre de la pila			
1:7:1	1	7	1
1:7:0,5	1	7	0,5
1:7:3	1	7	0,3

En este primer ensayo la cantidad de guacamole utilizada no fue muy alta, a fin de que el proceso de compostaje se diera correctamente, pues al tratarse el guacamole de un residuo bastante compacto dificulta la aireación, aumenta el contenido de humedad y además, contiene polifenoles que son tóxicos para muchos microorganismos. Pese a ello los ensayos y análisis realizados, una vez terminado el proceso de compostaje, determinaron que los composts obtenidos eran de calidad media-alta, cumpliendo incluso con las exigencias normativas para su empleo en agricultura ecológica.

A partir de los resultados de este ensayo se decidió realizar una nueva experiencia con mayor proporción de guacamole en la formulación de los composts.

4.2 OBJETIVOS.

El presente trabajo tiene como objetivo general estudiar el compostaje de residuo de la fabricación de guacamole con restos de poda y gallinaza.

Como objetivos específicos se plantean

- Maximizar la proporción de guacamole en los composts ensayando diversas proporciones de guacamole frente a los otros residuos
- Realizar un seguimiento de la evolución del compostaje
- Estudiar la calidad de los compost finales a partir de sus propiedades químicas, su madurez y su fitotoxicidad.

4.3 MATERIAL Y MÉTODOS

4.3.1 Materiales de partida

Los materiales de partida utilizados en este trabajo fueron suministrados por distintas empresas de la comarca: los restos de poda de jardín, compuestos mayoritariamente por hojas de palmera y ramas de pino (foto 1.a), provenían, ya picados, de Grúas Mercado, cuyas instalaciones se hallan en Vélez-Málaga; los restos de la producción de guacamole procedían de Avomix, con sede en Vélez-Málaga, y estaban formados por huesos, pieles y medios frutos de aguacate frescos, junto a cierta cantidad de residuos plásticos (foto 1,b); la gallinaza se obtuvo en una granja de ponedoras de Algarrobo y presentaba un aspecto terroso (1.c), posiblemente porque llevaba algún tiempo acumulada al aire libre.



Foto 1a. Restos de poda
Fuente: elaboración propia



Foto 1b. Restos de guacamole
Fuente: elaboración propia



Foto 1c. Restos de gallinaza
Fuente: elaboración propia

4.3.2 Preparación de las pilas

Con estos materiales se realizaron tres pilas con aireación mediante volteo, con las proporciones de residuos que se indican en la Tabla 2. Para ello se delimitaron cubículos de aproximadamente 3m de ancho x 4m de largo con bloques de hormigón, sobre unas telas de material impermeable, para evitar el contacto de los materiales con la tierra de la parcela, dejando un espacio contiguo para depositar los materiales en los sucesivos volteo (foto 2).

Tabla 2. *Proporciones volumétricas de los residuos empleados en el compostaje*

Componente	Guacamole	Poda	Gallinaza
Nombre de la pila			
GP 2:1	2	1	0,125
GP 1:2	1	2	0,125
GP 1:7	1	7	1



Foto 2. Malla cubresuelos y cubículo de hormigón. Fuente: elaboración propia.

Dada la dificultad de conseguir una estructura estable al trabajar con guacamole (consistencia pastosa), las pilas (foto 3a, 3b y 3c) se construyeron por capas, con la ayuda de una pala accionada por un tractor, a razón de dos capas de guacamole con una capa de poda en medio para la relación 2:1, viceversa para la relación 1:2 y una capa de guacamole con siete de poda para la relación 1:7. En total se utilizaron 12 cazos (pala del tractor) entre poda y guacamole en cada pila y medio cazo de gallinaza homogéneamente repartido para las pilas 1:2 y 2:1 y un cazo para la 1:7.



Foto 3a. Pila compostaje relación 2:1. Fuente: elaboración propia



Foto 3b. Pila compostaje relación 1:2. Fuente: elaboración propia



Foto 3c. Pila compostaje relación 1:7. Fuente: elaboración propia

4.3.3 Toma de muestras y volteos

El ensayo se inició el 4 de Mayo de 2012, el proceso de compostaje se alargó unos siete meses concluyendo a finales de Diciembre y después pasó una fase de maduración de tres meses de duración hasta Marzo, con una totalidad de 308 días.

Se realizaron 5 volteos, uno a mediados de Junio, el segundo a finales de Julio, el tercero a principios de Septiembre, el cuarto a mediados de Octubre y el quinto a finales de Diciembre.

Tras cada volteo se tomaron 3 muestras por pila, en tres posiciones, y realizando un hoyo para poder tomar la muestra en toda la profundidad de la pila. Cada muestra independiente se sometió a análisis físico-químicos en el laboratorio para estudiar la evolución del proceso de compostaje. En este estudio se recogen los resultados correspondientes a un muestreo de los materiales de partida, uno al inicio del proceso, tres durante el proceso (julio, septiembre y diciembre de 2012, correspondientes a 83, 123 y 220 días de proceso), y un muestreo al final del proceso de maduración.

La temperatura se midió en 6 puntos distribuidos en cada pila. En cada punto, se tomaba la temperatura a 50 cm y 100 cm de profundidad mediante un termómetro electrónico con sonda de 100 cm. Para evitar dañar esta sonda, el agujero donde penetraba ésta se abría con una varilla metálica. Las temperaturas se tomaron a 2-3 veces por semana.

4.3.4 Preparación de las muestras

Todas las muestras, a excepción de la inicial, se cribaron por un tamiz de 10mm, obteniéndose una fracción gruesa ($>10\text{mm}$) y una fracción fina ($<10\text{mm}$) separadas, de cada una de las tres muestras recogidas por pila. Las fracciones se trituraron en un molino (foto 4).



Foto 4. Molino. Fuente: elaboración propia

La muestra perteneciente al final del proceso (8 de Marzo) también se cribó por un tamiz de 10mm pero la parte gruesa se separó a su vez en otras dos fracciones, quedando por una parte madera y por otra huesos de aguacate (foto 5a, 5b y 5c)



Foto 5a. Fracciones de la relación 1:7.
Fuente: elaboración propia.



Foto 5b. Fracciones de la relación 2:1.
Fuente: elaboración propia.



Foto 5c. Fracciones de la relación 1:2.
Fuente: elaboración propia

4.3.5 Parámetros físico-químicos

- DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LABORATORIO (DA)

Para determinar la densidad aparente, las muestras se introdujeron, previa homogenización y cuarteo, en cilindros de vidrio con un volumen de 900 ml, tapados en su parte inferior con una malla fina. Los cilindros se llenaron a ras compactando el material con el peso estandarizado de un embolo y se secaron a 103 °C (CEN, 2002).

La densidad aparente se calculó mediante la expresión:

$$Da = \frac{(P_{sec} - P_{cil})}{volumen}$$

- DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

La determinación de la humedad de las muestras se realizó por secado en estufa a 103°C, hasta peso constante (CEN, 2002).

- DETERMINACIÓN DEL PH

Se midió en el sobrenadante líquido del extracto 1:5 (v/v), después de agitar la mezcla durante 30 min, mediante proceso normalizado (CEN, 2001a). La medida se llevó a cabo en un pH metro (Crison Micro cm 2201), con electrodo de vidrio .

- DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La CE se midió en el mismo extracto 1:5 (v/v) preparado para la medida del pH, con un conductímetro (CRISON CM 2201) (foto 6), mediante proceso normalizado (CEN, 2001b). Los valores de CE se expresaron en dS/m.

- DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA TOTAL (MO)

La materia orgánica total se determinó mediante calcinación, por la pérdida de peso de las muestras calcinadas en cápsulas de porcelana a 450°C (CEN, 2001c).

El contenido de carbono total (C) se calculó, expresando los resultados en %, mediante la expresión:

$$C = MO * 0,58$$

- DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO ORGÁNICO TOTAL

El nitrógeno orgánico total se determinó, en la muestra seca y molida, por el método Kjeldahl, consistente en la digestión de la muestra con H₂SO₄ en presencia de un catalizador de Se y K₂SO₄ a 380°C.

Una vez hecha la digestión se añade un exceso de solución de hidróxido de sodio, el ion amonio liberado en forma de amoniaco, se destila y se recoge sobre una solución de ácido bórico que se valora por retroceso con una solución de hidróxido de sodio.

Los resultados se expresaron en % N

- DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN C/N

El valor de la relación C/N se obtuvo a partir de los valores de C y N expresados en % sobre materia seca.

- DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES Y METALES PESADOS

Estos elementos se determinaron mediante Espectroscopia de Plasma ICP-OES. Se pesaron 0,5 g de muestra y se sometieron a digestión en microondas previo tratamiento con agua regia, formada por la mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico. Las muestras se filtraron y se llevaron a un volumen determinado para su análisis en el plasma.

4.3.6 Ensayos de madurez y fitotoxicidad

- PRUEBA DE AUTOCALENTAMIENTO

El ensayo de autocalentamiento se determinó por el método propuesto por Brinton et al., (1995). Las muestras de compost finales, se humectaron hasta el 80% de su capacidad de retención de agua, se introdujeron en un vaso Dewar de 2 litros de capacidad y mediante una sonda de temperatura conectada a un sistema de almacenamiento de datos (Data logger) se midió la temperatura en el interior del vaso y la temperatura ambiente cada 24 horas, durante 7 días (foto 6).



Foto 6. Vaso Dewar conectado a un Data logger

Con el valor obtenido del incremento de temperatura respecto a la ambiental, los compost se clasifican según la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de Compost según su capacidad de autocalentamiento

Incremento de la temperatura respecto a la ambiental (°C)	Clasificación	Descripción del grupo	Grupo
0-10	V	Muy estable	Compost finalizado
.10-20	IV	Moderadamente estable	Compost finalizado
20-30	III	Poco estable	Compost activo
30-40	III	Inmaduro	Compost activo
>40	I	Fresco	Compost fresco

Transformada de Brinton et al. (1995)

- ENSAYO DE GERMINACIÓN CON BERRO

El ensayo de germinación se llevó a cabo en placas de petri utilizando las muestras de compost finales, cribadas por un tamiz de 10 mm, y semillas de berro (*Lepidium sativum*), mediante proceso normalizado (CEN 2012b).

Las muestras se humectaron hasta un contenido de humedad óptimo de acuerdo con el test del puño. Se llenaron las placas de petri completamente, nivelando la superficie con una espátula, se plantaron 10 semillas en cada una y se incubaron durante 72 horas en oscuridad a 25°C con una inclinación entre 70° y 80° respecto a la horizontal, con la parte donde están las semillas hacia arriba.

En total se realizaron 3 réplicas de cada tipo de compost mas otras tres utilizando Turba Florabel (N:P₂O₅:K₂O 14:16:18; 1,5 kg/m³, CE 40 µs/m; pH 5,5-6,5) como muestra control.

Se calculó el grado de germinación medio (AGR), la longitud media de las raíces por planta (ARLP), el índice de longitud de las raíces (RI) que expresa el porcentaje de diferencia de la longitud de las raíces de las semillas germinadas sobre el material de ensayo por placa, comparado con la media de la longitud de las raíces de las muestras control, y el índice de vitalidad Munoo-Liisa (MLV) que compara el producto de la germinación de semillas en el material de ensayo y la media de la longitud de las raíces en las muestras de ensayo y de control, según las ecuaciones (1), (2), (3),(4) respectivamente.

$$AGR = \frac{GR(placa1) + GR(placa2) + GR(placa3)}{3}$$

Donde

AGR es el grado de germinación medio; (1)

GR es el grado de germinación.

$$ARLP = \frac{RLP(placa1) + RLP(placa2) + RLP(placa3)}{3}$$

Donde

RLP es la longitud de las raíces por planta; (2)

ARLP es la longitud media de las raíces por planta.

$$RI = \frac{\frac{RLS1}{RLC} + \frac{RLS2}{RLC} + \frac{RLS3}{RLC}}{3} \times 100$$

Donde

RI es el índice de longitud de las raíces;

RL_{s1}, RL_{s2} y RL_{s3} es la longitud media de las raíces de cada réplica; (3)

RL_c es la longitud media de las raíces de la muestra control.

$$MLV(\%) = \frac{(GRs1 * RLS1) + (GRs2 * RLS2) + (GRs3 * RLS3)}{3 * (GRc * RLC)}$$

Donde

MLV es el índice de vitalidad Munoo-Liisa de las muestras (%) comparado con el control;

GRs1, GRs2 y GRs3 es el grado de germinación en cada réplica, en %; (4)

GRc es el grado de germinación media en las muestras control, en %;

RLs1, RLs2 y RLs3 es la longitud media de las raíces de cada réplica;

RLc es la longitud medas de las raíces de las muestras control.

- ENSAYO DE CRECIMIENTO CON COL CHINA

El ensayo de crecimiento se llevó a cabo en macetas con un diámetro superior de 12±5 cm, altura entre 8,5 y 9 cm y volumen entre 650 ml y 700 ml, utilizando las muestra de compost finales y semillas de col china (*Brassica rapa, ssp. pekinensis*) mediante proceso normalizado (CEN, 2012b)

Las muestras se humectaron hasta un contenido de humedad óptimo de acuerdo con el test del puño. Se llenaron las macetas hasta el borde y se dejaron caer tres veces desde una altura de unos 3 cm y se volvieron a llenar hasta el borde, se plantaron 20 semillas de col china en cada maceta y se cubrieron con una fina capa del material a ensayar, previamente cribado por un tamiz de < 5 mm, se presionó ligeramente la superficie y se humedeció con agua para asegurar el contacto entre las semillas y compost. .Las macetas se situaron en orden aleatorio en un invernadero.

En total se realizaron 3 réplicas de cada tipo de compost, más otras tres utilizando Turba Florabel (N:P₂O₅:K₂O 14:16:18; 1,5 kg/m³, CE 40 μs/m; pH 5,5-6,5) como muestra control.

Se calculó la evolución del grado de germinación por maceta (GR) a los 4, 7, 11 y 14 días, grado de germinación medio (AGR) y la inhibición de la germinación (Gel) a los 14 días, así como el peso fresco de la parte aérea por planta, según las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) respectivamente

$$GR(\%) = \frac{NGS}{20} \times 100$$

Donde

GR es el grado de germinación; (4)

NGS es el número de semillas germinadas.

$$AGR(\%) = \frac{\sum_3^n GR (placas\ n)}{n}$$

Donde

AGR, es el grado de germinación medio. (5)

$$Gel(\%) = \frac{AGR_{control} - AGR_{sample}}{AGR_{control}} \times 100$$

Donde

Gel, es la inhibición de la germinación. (6)

$$APW = \frac{PW(placa1) + PW(placa2) + PW(placa3)}{3}$$

Donde

PW es el peso de una planta media por maceta; (7)

APW es el peso medio de la planta.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Parámetros físico-químicos

- DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LABORATORIO (DA)

La densidad aparente de un compost es un parámetro importante en cuanto a su transporte, manejo y aplicación se refiere, además de influir en el volumen de poros dentro del volumen total del compost, necesarios para su correcta aireación y oxigenación. En la tabla 4 se muestran los valores de la Da obtenidos para los tres tipos de compost durante el proceso de compostaje.

Tabla 4. *Evolución de la densidad aparente durante el proceso de compostaje*

Días	5 (Mayo)	83 (julio)	123 (septiembre)	220 (Diciembre)	308 (marzo)
Compost	Da g/cm ³				
GP 2:1	0,29b	0,38c	0,41c	0,41b	0,26c
GP 1:2	0,31b	0,30b	0,35b	0,42b	0,30b
GP 1:7	0,20a	0,44a	0,50a	0,55a	0,48a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

En los tres tipos de composts la densidad se incrementa con el tiempo de compostaje, como consecuencia de una mayor descomposición y una reducción del tamaño de las partículas.

El nivel óptimo de densidad aparente para sustratos de cultivo se encuentra en $< 0,4 \text{ g/cm}^3$ (Ansorena, 1994). Aunque no podemos tomar ese valor como una referencia estricta, puesto que está realizado para sustratos y no para composts y se utiliza un método diferente al de los procedimientos normalizados, si lo podemos usar como dato general, de manera que, los tres tipos de composts presentaron unos valores adecuados.

- EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DURANTE EL COMPOSTAJE

En Gráfico 1. se muestran las temperaturas medias de las pilas de compost, medidas cada dos-tres días, a lo largo del tiempo que duró el proceso de compostaje.

Teóricamente en un proceso de compostaje se da primero una etapa mesofílica por debajo de los 40°C, donde los microorganismos degradan la materia orgánica más lábil, posteriormente aumenta la actividad metabólica, entrando en una etapa termofílica por encima de los 40°C, seguida por una etapa de enfriamiento, como consecuencia

del cese de la actividad metabólica y finalmente una etapa de maduración, donde se dan reacciones de policondensación, propias de la humificación.

Desafortunadamente las primeras lecturas de temperatura se realizaron 3 días después de preparadas las pilas, siendo ya altas. Es de suponer que las temperaturas de las pilas subieron de forma muy rápida al inicio del compostaje, superando los 65°C en los compost GP 1:2 y GP 1:7 y quedándose algo más baja en torno a los 63°C en el

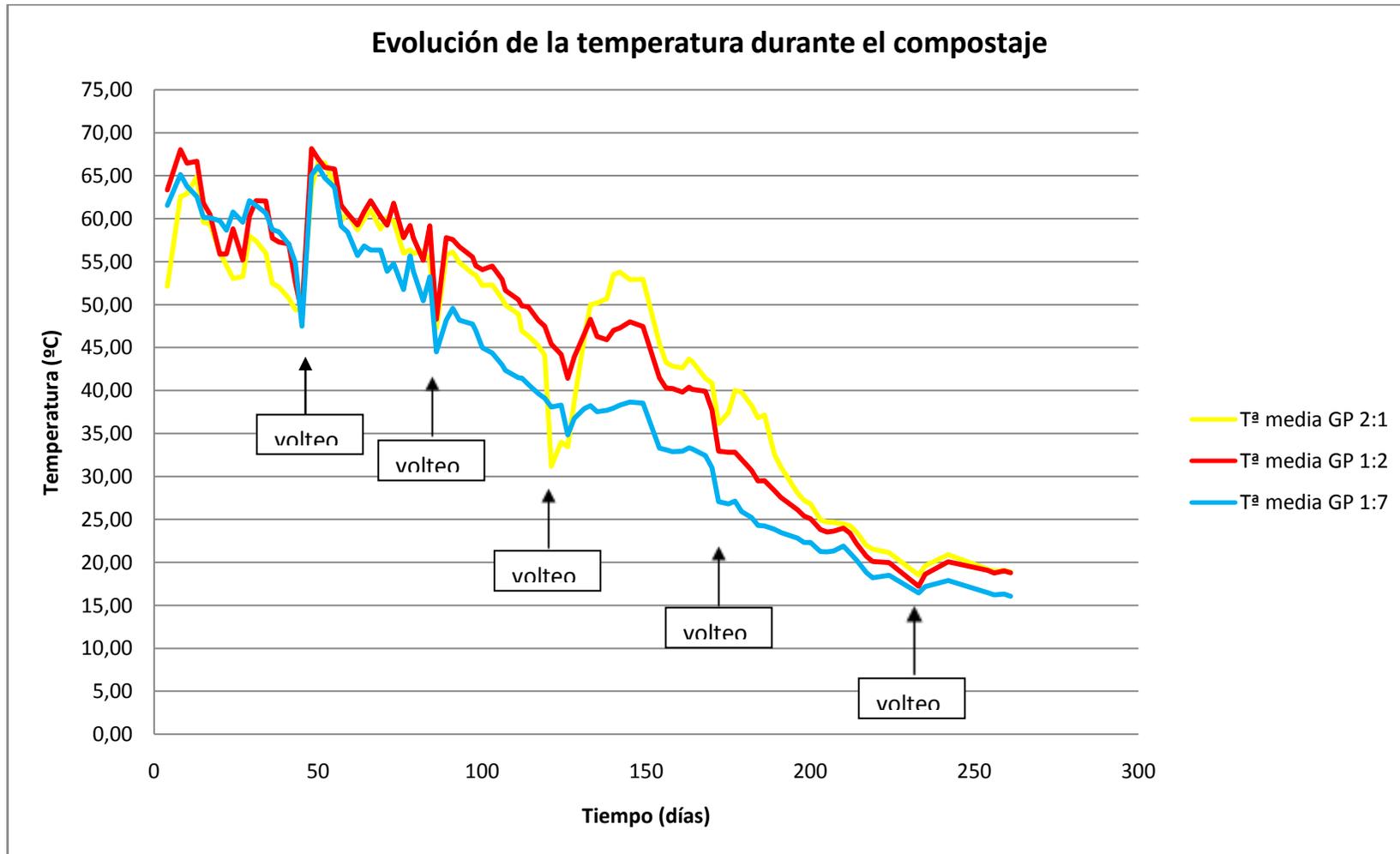
compost GP 2:1, aunque también es posible que durante el acopio de los materiales de partida se iniciara ya la degradación calentándose éstos en cierta medida previamente.

La fase termófila se mantuvo durante más de 3 meses con temperaturas superiores a los 50°C, tiempo adecuado para la higienización del material, por lo que, en principio, los posibles riesgos sanitarios de la utilización de estos composts podrían considerarse mínimos.

En los dos primeros volteos que tuvieron lugar a los 41 y 83 días pueden apreciarse picos de temperatura con subidas de aproximadamente 20°C para el primero y en torno a 10°C para el segundo, a consecuencia de una reactivación de la actividad microbiana. En el tercer volteo los picos de temperatura disminuyeron considerablemente en los compost 1:2 y 1:7, mientras que el 2:1 se volvió a dar una subida de 20°C, que probablemente se deba al mayor contenido de guacamole. En los dos volteos restantes, la subida de temperatura fue mínima indicando la finalización del proceso.

De manera general, las temperaturas mostraron una tendencia descendente a partir del segundo volteo, que se rompió con ascensos puntuales tras algunos de los volteos posteriores, hasta que se llegó a una fase estable que se prolongó durante unos 3 meses.

Grafico 1. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje.



- ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Para garantizar la eliminación de patógenos presentes en el compost, es necesario que este alcance una temperatura > 55°C durante dos semanas o > 65°C durante una semana (Brinton, 2000).

En el gráfico 1 del apartado anterior se puede observar que los compost estuvieron a > 55°C durante aproximadamente tres meses. Desde el punto de vista microbiológico, se puede considerar que las temperaturas alcanzadas durante el compostaje han pasteurizado suficientemente los composts, tal y como se observa en la tabla 5.

Además, ninguno de los 3 tipos de compost superó el límite máximo de microorganismos que establece el Anexo V del R.D. 824/2005, que es ausencia total para Salmonella y 1000 NPM/g para E. coli.

Tabla 5. *Análisis de Salmonella y Escheriichiacoli en los 3 tipos de compost*

Parámetro	GP 2:1	GP 1:2	GP 1:7
Salmonella (Presencia/Ausencia en 25 g)	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Escheriichiacoli (NMP/g)	0	0	0

- EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD

La humedad de los materiales iniciales osciló entre un 68,02% para el guacamole, un 39,38% para la poda y un 25,41% para la gallinaza.

La humedad óptima para el crecimiento microbiano se encuentra entre el 50-70%, si pasa del 70 el agua desplaza el aire en los espacios libres entre las partículas, produciéndose condiciones de anaerobiosis y si está por debajo del 30%, decrece la actividad biológica.

Con cada volteo de procedía al riego de las pilas, de manera que en los tres tipos de compost se mantuviera una humedad adecuada a lo largo de todo el proceso. Como se puede observar en la tabla 6, el contenido de humedad se situó en un rango de entre el 40-70% durante todo el proceso en los tres tipos de compost.

En los composts finales el contenido de humedad se situó en un 55% y un 46% para el compost GP 2:1 y GP 1:2 respectivamente. Puesto que se superó el 40%, límite máximo que marca la legislación española para compost vegetal, en estos compost

sería necesario un período adicional de secado previo a su comercialización. En el caso del compost GP 1:7 quedó dentro de los límites, con un contenido del 31%.

Tabla 6. Evolución de la humedad durante el proceso de compostaje

Días	5 (Mayo)	83(julio)	123(septiembre)	220(Diciembre)	308(marzo)
Compost	Contenido de humedad en %				
GP 2:1	59,58c	58,44a	65,82b	68,31c	55,66c
GP 1:2	52,86b	62,11a	65,19b	66,12b	46,45b
GP 1:7	43,36a	55,29a	56,69a	54,54a	31,97a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

- EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA

La cantidad de materia orgánica de los materiales iniciales se situó en un 92,33% para la poda, un 15,69% para la gallinaza y un 95,14% para el guacamole.

Durante un proceso de compostaje el contenido de materia orgánica tiende a descender debido a la mineralización de la misma, pudiéndose observar esta tendencia en la tabla 7.

Tabla 7. Evolución de la materia orgánica durante el proceso de compostaje

Días	5 (Mayo)	83 (julio)	123 (septiembre)	220 (Diciembre)	308 (marzo)
Compost	Contenido de materia orgánica en %				
GP 2:1	72,35a	67,13c	64,16c	56,51b	46,58b
GP 1:2	75,94a	57,12b	55,01b	50,63b	43,08b
GP 1:7	71,55a	33,78a	34,02a	30,52a	25,92a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

El contenido de materia orgánica fue superior en el compost GP 2:1, posiblemente por ser el que más cantidad de guacamole tiene. Al final del proceso el GP 1:2 presentó ya un contenido muy similar al GP 2:1. El GP 1:7 presentó siempre un contenido inferior a los otros. No obstante, el contenido de materia orgánica resultó bajo de manera general, teniendo en cuenta los valores de los materiales iniciales. Esto puede deberse

a que las muestras iniciales incluían la fracción gruesa (> 10mm), formada por madera y hueso, mientras que las demás muestras sólo incluyeron la fracción más fina (< 10 mm).

Los compost finales GP 2:1 y GP 1:2 presentaron contenidos de materia orgánica superiores al 40%, limite que marca la legislación española para compost vegetal, no siendo así en el compost 1:7, que presenta un contenido del 25% y que tendría que ser clasificado como enmienda húmica

- EVOLUCIÓN DE LA RELACIÓN C/N

La relación C/N de los materiales iniciales fusé de 73,8 para la poda, 9,9 para la gallinaza y 56,28 para el guacamole.

La relación C/N debe disminuir durante el proceso de compostaje por la pérdida de carbono orgánico que se produce, hecho que se puede observar en la tabla 8 para los tres tipos de compost.

Tabla 8. *Evolución de la relación C/N durante el proceso de compostaje*

Días	5 (Mayo)	83 (julio)	123 (septiembre)	220 (Diciembre)	308 (marzo)
Compost	C/N				
GP 2:1	46,4a	21,6a	20,7a	16,3a	14,6a
GP 1:2	47,4a	22,1a	21,3a	16,8a	15,9a
GP 1:7	48,6a	20,8a	21,0a	16,6a	16,1a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de carbono por 1 parte de nitrógeno en la descomposición de la materia orgánica, por eso se considera que el intervalo teóricamente óptimo estaría entre 25-35. Los valores de relaciones C/N iniciales fueron ligeramente más altos del óptimo teórico, acordes con los elevados valores de los materiales de partida.

Los valores de las muestras intermedias son relativamente más bajos que los de la muestra inicial (mayo), pues en esta última se incluyó en las muestras la parte gruesa leñosa (>10mm) y la fracción fina (<10mm) conjuntamente, mientras que en las demás muestras el análisis se efectuó sólo sobre la fracción fina (<10 mm).

En los compost finales la relación fue <20, límite que marca la legislación española, para los tres tipos de compost por lo que pueden considerarse maduros.

- .EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO

El contenido de nitrógeno en la muestras de partida fue de 0,72% para la poda, 0,91% para la gallinaza y 0,98% para el guacamole.

En la tabla 9 se puede observar que el contenido de N aumentó conforme lo hizo la proporción de guacamole utilizada, siendo mayor en el compost 2:1 ,seguido del 1:2 y 1:7 respectivamente.

Tabla 9. *Evolución del contenido de nitrógeno durante el proceso de compostaje*

	5	83	123	220	308
Días	(Mayo)	(julio)	(septiembre)	(Diciembre)	(marzo)
Compost	Contenido de N-Kj %				
GP 2:1	1,00a	1,73c	1,80c	2,01c	1,84c
GP 1:2	0,93a	1,56b	1,50b	1,75b	1,56b
GP 1:7	0,85a	1,05a	0,94a	1,07a	0,93a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

Tanto el aumento de nitrógeno entre los distintos composts, como los bajos valores obtenidos para la muestra inicial (mayo), posiblemente se deban a que la pulpa del guacamole tiene un contenido mayor en nitrógeno que los demás materiales, hueso, poda y gallinaza. Al analizar la fracción gruesa y fina de forma conjunta en la muestra inicial, la mayor proporción de hueso hace que disminuya el contenido de nitrógeno, mientras que en las demás muestras, al analizarse solo la parte fina la proporción de pulpa fue mayor que la de hueso, por lo que aumenta el contenido de nitrógeno, más cuanto más guacamole tengan.

- EVOLUCIÓN DEL PH

El pH de los materiales de partida fue de 6,40 para la poda, 7,83 para la gallinaza y 7,06 para el guacamole

A partir de valores iniciales prácticamente neutros en las tres pilas, el pH fue aumentando gradualmente hasta hacerse alcalino, como se observa en la tabla 10.

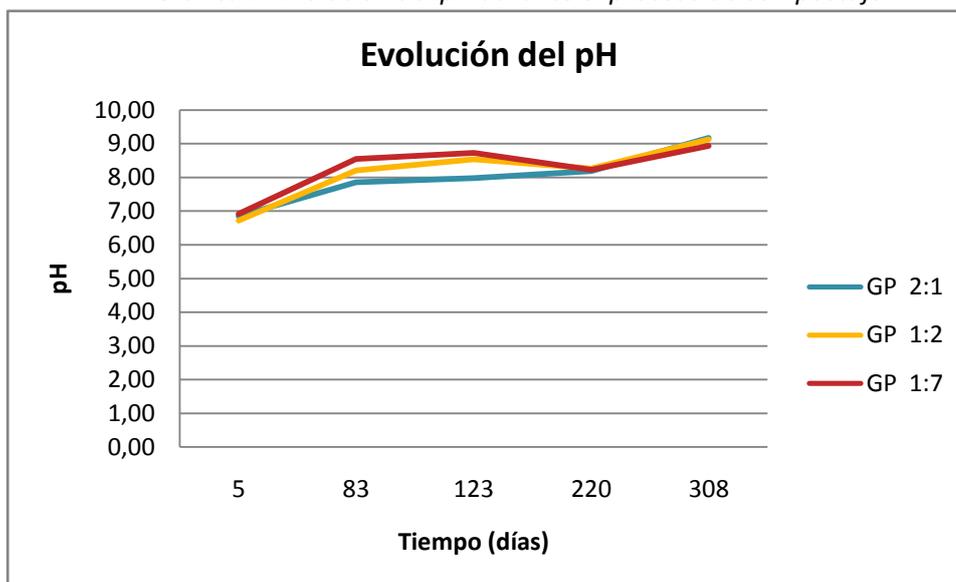
Tabla 10. Evolución del pH durante el proceso de compostaje

Días	5 (Mayo)	83 (julio)	123 (septiembre)	220 (Diciembre)	308 (marzo)
Compost	pH				
GP 2:1	6,85a	7,85c	7,98c	8,19b	9,18b
GP 1:2	6,72a	8,21b	8,53b	8,26b	9,12b
GP 1:7	6,92a	8,55a	8,72a	8,22a	8,93a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

Aunque los compost GP 1:2 y GP 1:7 presentaron pH mayores que el 2:1 durante el proceso, la evolución del pH (gráfica 2) mantuvo una tendencia ascendente, manteniéndose por encima de 7,5 durante todo el proceso en los tres compost, lo que es indicativo de una buena descomposición.

Gráfica 2. Evolución del pH durante el proceso de compostaje



Al final del proceso los tres compost presentaron resultados más altos de los deseables, con pH cercano a 9, que podría limitar su uso frente a ciertos cultivos o en ciertas aplicaciones.

Con estos valores de pH y según las normas tecnológicas de jardinería y paisajismo (NTC 05C, 2006), nos encontraríamos en un compost de clase III que solo pueden

aplicarse en la recuperación de suelos. Resultaría pues necesario realizar mezclas del composts con otros materiales ácidos para usos tales como en sustrato de cultivo.

- EVOLUCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica en los materiales de partida fue de 0,39 dS/cm para la poda, 6,11 para la gallinaza y 0,83 para el guacamole.

La CE es un buen indicador de la presencia de sales solubles existentes en el compost. Altos contenidos de sales pueden repercutir directamente a la germinación de las semillas y en el desarrollo general del cultivo en donde se emplee, aunque eso vendrá determinado por la tolerancia del cultivo a la salinidad.

Tabla 11. Evolución de la conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje

Días	5 (Mayo)	83 (julio)	123 (septiembre)	220 (Diciembre)	308 (marzo)
Compost	CE dS/m				
GP 2:1	0,90a	1,12a	1,19b	0,78c	0,57b
GP 1:2	0,92a	0,80a	1,06b	0,65b	0,49ab
GP 1:7	0,53a	1,06a	0,90a	0,58a	0,40a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

El compost GP 2:1 presentó en general mayores valores que el GP 1:2 por la mayor proporción de guacamole que contiene. En general, los valores de CE se mantuvieron en valores reducidos a lo largo de todo el proceso en los tres compost, como se puede observar en la tabla 11. La tendencia general que se observa a la disminución en los tres composts se debe posiblemente a un lavado de sales que se habría producido por la lluvia, dado que durante el período de ensayo se produjeron episodios de intensas precipitaciones.

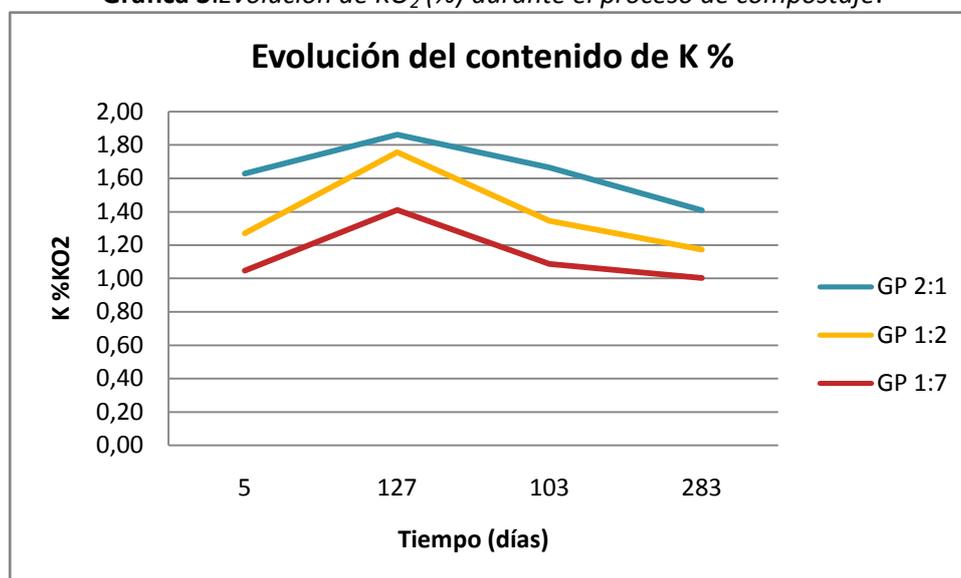
Según las normas tecnológicas de jardinería y paisajismo, con los valores obtenidos estaríamos ante un compost de clase I, que no tiene limitaciones en su aplicación.

- EVOLUCIÓN DE LOS NUTRIENTES

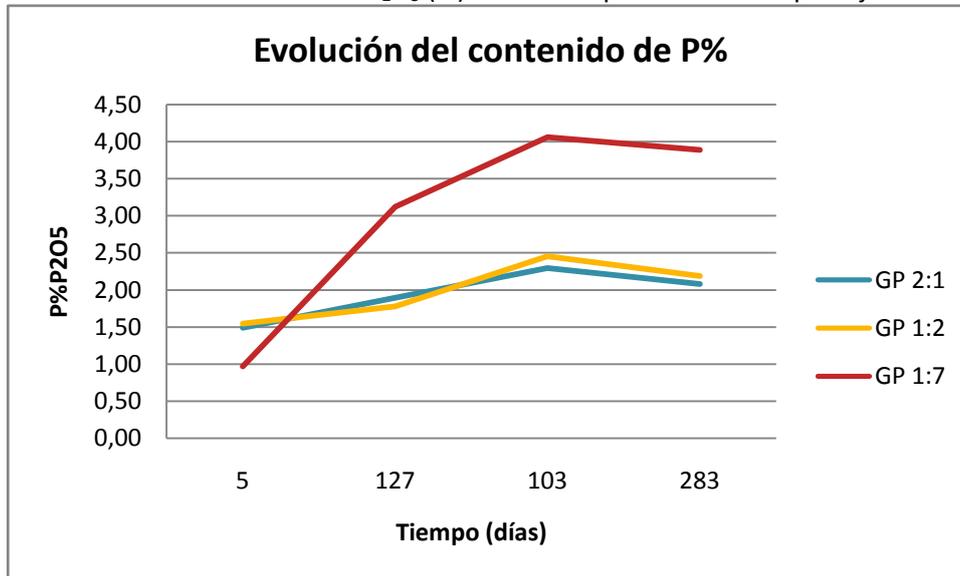
En los gráficos del 3 al 7 muestran las evoluciones de los nutrientes vegetales mayoritarios N, P, K, Ca y Mg durante el compostaje en los tres tipos de compost.

Los elementos Mg, P y el Ca siguieron una tendencia ascendente durante el compostaje, según lo esperable por la concentración debida a la pérdida de masa mineralizada durante el compostaje. Por otra parte, el Na y el K se mantuvieron de forma uniforme, observándose algunos picos hacia la mitad del proceso. Puesto que no aumentaron (que es la tendencia habitual) se ha debido dar una cierta pérdida, sobre todo por lixiviación por el agua de riego o lluvia. Aún así, en general no se observaron pérdidas importantes de ningún nutriente, Los contenidos al final del proceso fueron superiores o iguales que los contenidos iniciales, pudiéndose considerar un compost adecuado nutritivamente hablando. El compost GP 1:7 presentó mayores contenidos de P, Na y Mg que los otros dos, provenientes de la gallinaza.

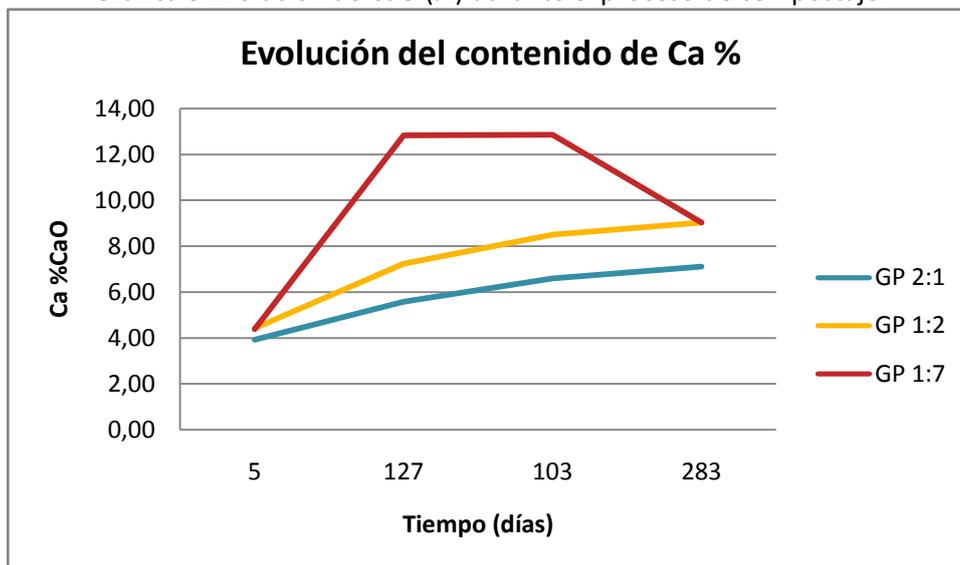
Gráfica 3. Evolución de KO_2 (%) durante el proceso de compostaje.



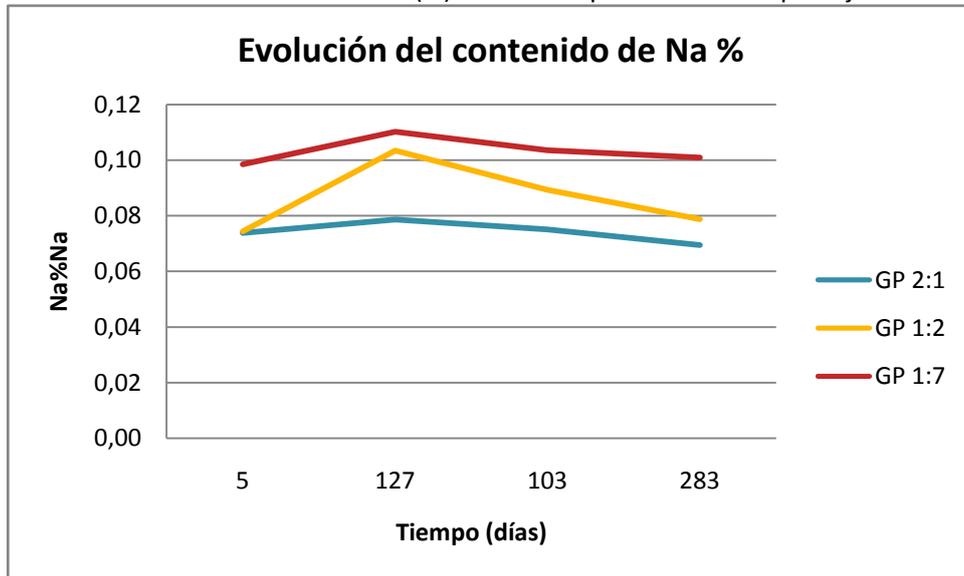
Gráfica 4. Evolución de P_2O_5 (%) durante el proceso de compostaje.



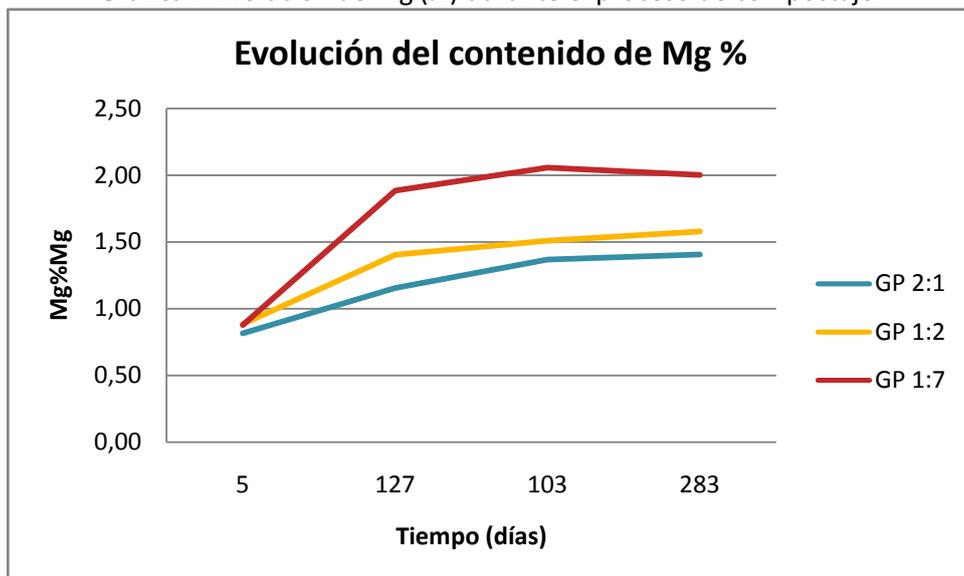
Gráfica 5. Evolución de CaO (%) durante el proceso de compostaje.



Gráfica 6. Evolución de Na(%) durante el proceso de compostaje.



Gráfica 7. Evolución de Mg (%) durante el proceso de compostaje.



- METALES PESADOS

Una de las características que debe cumplir un compost es un bajo contenido de metales pesados para no comprometer el buen funcionamiento de los sistemas a los que va destinado.

El material de partida es muy importante en este aspecto pues determinará la calidad del compost final. En la tabla se muestra el contenido de los metales pesados en el compost inicial.

La normativa española (*Orden PRE/630/2011*) establece tres clases de compost A, B y C de mayor a menor calidad respectivamente, según el contenido de metales pesados. En la tabla 12 se puede observar que el contenido de metales pesados del compost inicial, se encuentra por debajo de los límites que marca la legislación para un compost de clase A, el de mayor calidad.

Tabla 12. *Contenido metales pesados en el compost inicial*

Metales (mg/Kg)	GP 2:1	GP 1:2	GP 1:7
Al	4492,05	3942,84	4579,90
As	1,25	1,07	1,90
B	40,09	33,12	25,78
Cd	0,15	0,14	0,26
Co	2,70	2,38	2,93
Cr	51,26	45,49	58,91
Cu	20,52	20,10	16,41
Fe	4960,53	4579,27	5727,17
Mn	167,29	170,53	162,06
Mo	2,81	3,12	3,14
Ni	22,72	21,60	24,65
Pb	4,09	3,51	4,42
Zn	139,98	104,38	84,64

En el compost final (tabla 13), tampoco se superaron los límites marcados por la legislación, por lo que se pueden considerar como compost de alta calidad en cuanto a metales pesados se refiere, sin ninguna limitación en su uso. En general los valores en el compost final resultaron ligeramente superiores a los de las muestras iniciales. La pequeña diferencia puede deberse al efecto de concentración por la pérdida de materia durante el compostaje, pero el hecho de que en ambos casos se hayan analizado diferentes fracciones granulométricas puede ejercer también influencia. Los

metales Pb, Mn y particularmente Fe experimentaron importantes aumentos desde las muestras de compost de inicio a las de compost final. Es posible que durante los volteos aplicados al compost se haya mezclado cierta cantidad de suelo que sea la responsable de estos aumentos, ya que es frecuente que el suelo contenga sobre todo cantidades muy importantes de Fe.

Tabla 13. *Contenido metales pesados en el compost final*

Metales mg/Kg	GP 2:1	GP 1:2	GP 1:7
Al	7792,77	11651,26	14073,27
As	2,58	5,13	4,14
B	70,63	55,13	41,92
Cd	0,18	0,16	0,22
Co	4,35	5,14	6,06
Cr	46,26	51,44	58,52
Cu	31,95	31,98	42,79
Fe	10017,75	12919,46	13665,47
Mn	267,06	313,64	484,86
Mo	2,61	2,69	3,50
Ni	26,22	26,49	31,77
Pb	6,37	9,04	17,24
Zn	171,85	155,71	279,73

- CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN GRUESA DEL COMPOST FINAL

Una vez completado el proceso de compostaje, puede ser necesario cribar el compost maduro dándole una forma esponjosa, homogénea y de granulometría apropiada para la aplicación a la que se destine, por ejemplo, para la aplicación del compost en viveros y semilleros la granulometría debería estar entre 0,25 y 5mm (Carmona y Abad, 2008).

La parte más gruesa que se obtiene durante este proceso, formada principalmente por materiales leñosos más resistentes a la descomposición, se puede incorporar al compost final mediante molienda, o se puede volver a incorporar como material estructurante de nuevas pilas, con la ventaja de llevar ya disponible los microorganismos que deben iniciar la colonización .

En los tres composts estudiados, la fracción gruesa > 10 mm, compuesta mayoritariamente por hueso de aguacate y poda, representó un 47% del peso del compost GP 2:1, un 37% del GP 1:2 y un 31% del GP 1:7. En la tabla 14 se muestran los valores medios de los parámetros físico-químicos y metales pesados de la fracción gruesa de los tres tipos de composts conjuntamente.

Los resultados obtenidos de esta fracción son muy similares a los de los materiales de partida, por lo que lo más conveniente sería reutilizarlos como material estructurante en nuevas pilas de compostaje.

Tabla 14. *Caracterización fracción gruesa del compost final*

Humedad (%)	56,70
pH 1:5 v/v	7,6
CE 1:5 v/v	0,83
Materia orgánica (%)	88,03
N-Kj (%)	1,17
C/N	43,32
Al mg/kg	5278,69
As mg/kg	1,53
B mg/Kg	41,61
Cd mg/Kg	0,05
Co mg/Kg	2,61
Cr mg/Kg	48,58
Cumg/Kg	16,24
Fe mg/Kg	5619,53
Mn mg/Kg	135,52
Mo mg/Kg	2,61
Ni mg/Kg	21,04
Pb mg/Kg	4,48
Ni mg/Kg	65,20

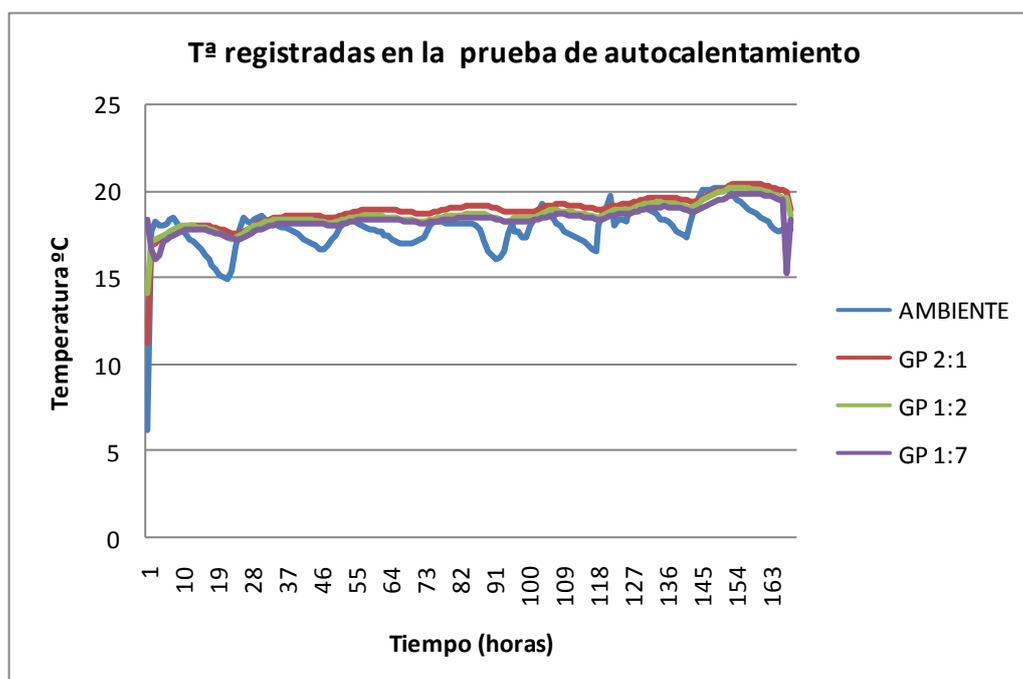
5.2 Ensayos de madurez y fitotoxicidad

- PRUEBA DE AUTOCALENTAMIENTO

Una de las formas de medir la estabilidad de un compost es medir su grado de autocalentamiento. Este método se basa en la medida indirecta de la actividad microbiana del compost, mediante el calor que produce dicha actividad (Brinton et al, 1995). Dicha temperatura debería ser cercana a la temperatura ambiente, y si la diferencia es muy grande significará que todavía hay una gran actividad microbiana y por tanto el compost todavía no está maduro.

En la Figura se muestran las temperaturas alcanzadas por los tres tipos de compost y la temperatura ambiente durante el ensayo de autocalentamiento. Las fluctuaciones de la temperatura ambiente se deben al cambio día-noche.

Gráfica 8. Temperaturas obtenidas durante la prueba de autocalentamiento



En general las temperaturas de los tres compost se mantuvieron ligeramente por encima de la temperatura ambiente, aunque las diferencias entre unas y otras siempre estuvieron por debajo de 2 °C. Las máximas diferencias de temperatura alcanzadas fueron de 1,7, 1,5 y 1,1 °C para GP 2:1, GP 1:2 y GP 1:7 respectivamente. Dado que los incrementos de temperatura fueron menores de 10°C, se considera que los productos resultantes del compostaje corresponden a compost muy estable, finalizado, clasificado como de Clase V.

• ENSAYO DE GERMINACIÓN CON BERRO

El berro (*Lepidium Sativum*) es una especie sensible a la presencia de sustancias fitotóxicas durante el proceso de germinación. Los resultados de la prueba en placa de Petri de los tres compost no presentaron efectos fitotóxicos ni sobre la germinación ni sobre la longitud de las raíces (tabla 15). De hecho el grado de germinación fue algo mayor en los tres tipos de compost llegando a ser un 100% para el 1:2 y un 96% para el 2:1 y 1:7, frente al grado de germinación del control (turba) que se situó en un 93%.

Tabla 15. Resultados prueba de germinación con berro

	AGR grado germinación medio (%)	ARLP longitud media de las raíces (mm)	RI índice de longitud de las raíces (%)	MLV índice de vitalidad Munoo- Liisa(%)
TURBA	93a	52,98a	100a	100a
GP 2:1	96a	37,49b	70,78a	73,69a
GP 1:2	100a	43,6ab	82,3a	88,18a
GP 1:7	96a	46,67ab	88,09a	91,55a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

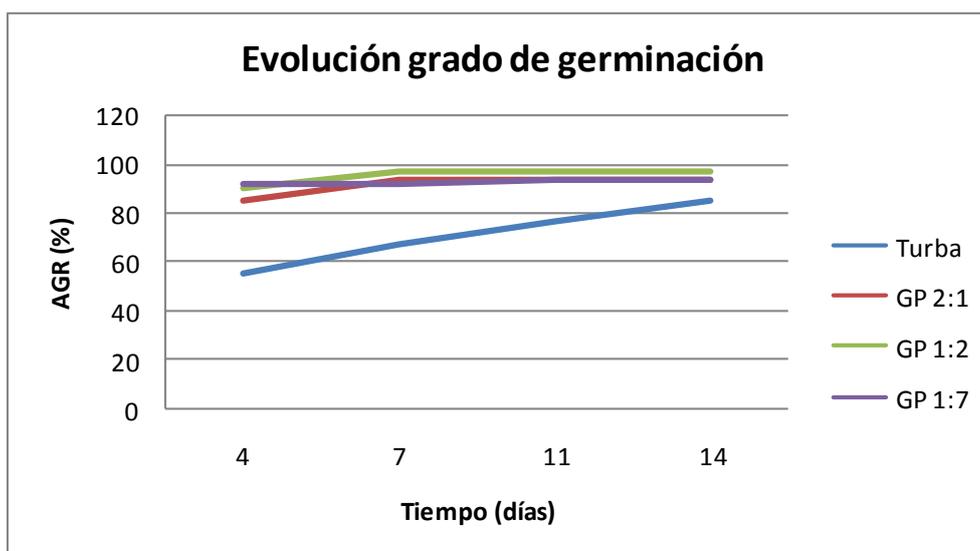
En cuanto al índice de longitud de las raíces, fue menor en los tres tipos de composts, sobretodo en el compost 2:1 que presentó un índice del 70%, frente al porcentaje del 100% que se le asignó al control. Los valores de RI más bajos con los composts podrían indicar que la germinación se ha retrasado algo con los composts, lo que podría ser debido a la mayor salinidad de los mismos frente a la turba control.

El índice de vitalidad Munoo-Liisa (tabla 15), también fue menor en los tres tipos de composts, sobre todo en el compost GP 2:1 que presentó un índice del 73%, frente al porcentaje del 100% que se le asignó al control. Al igual que el RI, los valores más bajos de MVL podrían indicar un retraso en la germinación en los composts, debido a la mayor salinidad de estos frente a la turba.

- ENSAYO DE CRECIMIENTO CON COL CHINA

La col china (*Brassica napa ssp. Pekinensis*) es una especie susceptible a la presencia de sustancias fitotóxicas durante el proceso de germinación y crecimiento. En el gráfico 8 se muestra la evolución del grado de germinación medio AGR, en % a los 4, 7, 11 y 14 días, presentando los tres compost un grado de germinación superior al 85% a los cinco días del ensayo, frente al 55% que presentó la turba (control) para ese mismo tiempo. En el tratamiento control de turba, se observó un retraso en la germinación ya que hasta los 14 días no se alcanzó el 85%. En este momento, el compost 1:2 presentó el grado de germinación más alto con un 96% quedándose los compost 2:1 y 1:7 con un 93%. Por tanto en el caso de la col china no se ha observado ningún efectos negativo en la germinación, sino más bien lo contrario, una mejor germinación con los tres composts.

Gráfica 9. Evolución de AGR(%) durante el ensayo de crecimiento con col china.



Además del grado de germinación también se determinó el grado de inhibición de la germinación, Gel (%), (tabla16) que presentó valores negativos en los tres compost, indicando que la germinación de éstos fue mayor que en la turba (control).

Hay que señalar que en este ensayo un alto porcentaje de las plantas fueron afectadas por algún tipo de plaga (foto 7), no procedente del compost pues también se dio en la turba, que si bien no afectó a la germinación sí que afectó al crecimiento, de manera que se redujo el peso medio de las plantas, ya que muchas de ellas no crecieron adecuadamente. En la tabla 17 se muestra el número de semillas germinadas en cada réplica y las desechadas por afección de plaga.

El peso fresco medio por planta (desechadas las afectadas) tampoco indicó síntomas de fitotoxicidad por los composts (tabla 19), quedando de nuevo por encima de la turba (control) con 0,23g, el peso de los tres compost. En general el crecimiento se dio de forma favorable (foto 8), presentando el compost 2:1 un mayor crecimiento con un peso de 0,52 g y muy cercano a éste los compost 1:2 y 1:7 con un peso de 0,27g y 0,22 g respectivamente.

Tabla 16. Resultados germinación en ensayo con col china

Tratamiento	AGR (%)	Gel (%)
Turba	85a	0
GP 2:1	93,33a	-9,8
GP 1:2	96,67a	-13,73
GP 1:7	93,33a	-9,8

Tabla 17. Peso fresco medio de la parte aérea por maceta

Tratamiento	Peso fresco (g)
Turba	0,23a
GP 2:1	0,52a
GP 1:2	0,27a
GP 1:7	0,22a

Valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según el test de Tukey ($p < 0,05$)

Tabla 18. Número de semillas de col china germinadas y número de plantas desechadas por plaga en cada réplica

Tratamiento	Semillas germinadas	Plantas desechadas
Turba A	16	2
Turba B	18	2
Turba C	17	1
GP 2:1 A	20	5
GP 2:1 B	17	12
GP 2:1 C	19	13
GP 1:2 A	17	5
GP 1:2 B	20	7
GP 1:2 C	20	4
GP 1:7 A	19	3
GP 1:7 B	17	0
GP 1:7 C	20	2



Foto 8. Afección plantas de col china por plaga. Fuente: propia.

El criterio que se utilizó para desechar las plantas fue que todas sus hojas estuvieran afectadas por la plaga. Aparentemente parece que la turba quedó menos afectada por la plaga al desechar un menor número de plantas, no obstante, la afección (aunque no de manera completa) se dio en la mayoría de las plantas.

Durante el ensayo tan solo se observó la germinación de 5 plantas distintas a la col china, pudiéndose afirmar que los composts no contienen semillas añadidas.



Inicio del ensayo



día 4



día 7



día 11



día 14



día 23

Foto 7. Evolución del crecimiento de la col china

6 CONCLUSIONES

Tras los ensayos y análisis realizados, se puede concluir que, con restos de guacamole, mezclados con restos de poda como agente estructurante y gallinaza como fuente de nitrógeno, es posible obtener un compost de buena calidad, tanto en madurez como en características químicas y microbiológicas, tras un periodo de compostaje de 7 meses más un periodo de madurez de 3 meses aproximadamente.

Los tres composts ensayados, a pesar de contener muy distintas proporciones de guacamole (un 11, un 32 y un 64% en volumen) han dado lugar a productos bastante similares, que no han presentado efectos fitotóxicos en los ensayos de germinación, ni de *Lepidum Sativum* ni de *Brassica napa, ssp. pekinensis*, habiéndose realizado ambos ensayos en contacto directo de la semilla con los compost; esto junto con los bajos contenidos en metales pesados y la ausencia de microorganismos perjudiciales hacen de los tres tipos de compost, productos muy adecuados para su utilización agrícola.

En cuanto a la madurez, la relación C/N situada en torno a un valor relativamente cercano al del humus y el incremento de temperatura muy reducido obtenido en la prueba de autocalentamiento, determinan una alta madurez en los tres compost. Además presentaron unos niveles de salinidad y una densidad aparente que lo hacen adecuados como sustrato en vivero, aunque presentaron un pH ligeramente alcalino, por lo que sería conveniente mezclarlos con materiales ácidos en caso de uso como sustrato.

Estos productos, cumplen también con las exigencias normativas para su empleo en agricultura ecológica, no debiendo presentar problemas en este campo, aunque harían falta ensayos para confirmar su productividad.

Actualmente se está realizando un ensayo en maceta con plantones de aguacate, para evaluar el crecimiento de estos con cada uno de los composts obtenidos.

7 BIBLIOGRAFÍA

Agroterra, 2013. <http://www.agroterra.com/blog/descubrir/compostaje-de-restos-de-poda-valor-anadido-a-nuestro-trabajo/76812/>[Consulta 6 de Marzo de 2013]

Ansorena, J.,1994. *Sustratos. Propiedades y caracterización* .Ediciones Mundi-Prensa. Madrid; ISBN: 84-7114-481-6

Arcos, M.A., Dios, M., Rosal, A., 2005.*Estudio del compostaje de residuos sólidos urbanos en sistemas de alta eficiencia. Ediciones de la Universidad Internacional de Andalucía.* 169 p; ISBN: 978-84-7993-049-3

Bernal, M.P. y Gondar, D.M., 2008. *Producción y gestión de los residuos orgánicos.* P. 95-109 En: Moreno Cascos, J., Moral Herrero, R. (ed.) 2008. *Compostaje.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid; ISBN: 978-84-8476-346-8

Brinton, W. F., E. Evans, M. L. Droffener, and R. B. Brinton., 1995.*Standardized test for evaluation of compost self-heating.* BioCycle, 64-69.

Brinton, W. F. 2006. *Compost quality standards & guidelines: An International View.*New York State Association of Recyclers, 2006.

Cala, M., Barrales, F., Martín-Vivaldi, J.A., 2003.*Residuos Agrarios y Subproductos.* Ediciones de la Diputación de Córdoba. 345 p; ISBN: 84-8154-048-X

Calcaterra, E., 1996. En: *Arcos, M.A., Dios, M., Rosal, A. 2005Estudio del compostaje de residuos sólidos urbanos en sistemas de alta eficiencia. Ediciones de la Universidad Internacional de Andalucía.* 169 p; ISBN: 978-84-7993-049-3

CEN (2001a). *UNE-EN 13037 Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del pH AENOR.*

CEN (2001b). *UNE-EN 13038 Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la conductividad eléctrica AENOR.*

CEN (2001c). *UNE-EN 13039 Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del contenido en materia orgánica y de las cenizas. AENOR.*

CEN (2002). *UNE-EN 13040 Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Preparación de muestras para ensayos químicos, y físicos, determinación del contenido de materia seca, contenido de humedad y de la densidad aparente compactada de laboratorio. AENOR.*

CEN (2012a).*UNE-EN 16086-2. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la respuesta de plantas. Parte 2: Ensayo en placa Petri utilizando berro. AENOR.*

CEN (2012b).*UNE-EN 16087-2. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la actividad biológica aerobia. Parte 2: Ensayo de autocalentamiento. AENOR.*

Haug, 1993; Kielch, 1985 y Tchobanogolus, 1994. En: Bueno, P., Díaz, M.J. y Cabrera, F., 2008 *Factores que afectan al proceso de compostaje*. P. 95-109 En: Moreno Cascos, J., Moral Herrero, R. (ed.) 2008. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa Madrid; ISBN: 978-84-8476-346-8

Iglesias, L., 1994. *El estiércol y las prácticas respetuosas con el medio ambiente*. Hoja divulgadora nº 1. M.A.P.A., Madrid.

Jhorar, B.S., Phogat, V. y Malik, E., 1991 En: Bueno, P., Díaz, M.J. y Cabrera, F., 2008 *Factores que afectan al proceso de compostaje*. P. 95-109 En: Moreno Cascos, J. , Moral Herrero, R. (ed.) 2008. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa Madrid; ISBN: 978-84-8476-346-8

López, MJ. y Boluda, R., 2008. *Residuos agrícolas*. P. 491-518 En: Moreno Cascos, J., Moral Herrero, R. (ed.) 2008. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa .Madrid; ISBN: 978-84-8476-346-8

Madrid, F., 1999. *Caracterización y utilización de los compost de residuos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva)*. Tesis Doctoral.

MAGRAMA ,2012. *Producción y consumos sostenibles y residuos agrarios*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/Estudio-Produccion-consumo-sostenibles-residuos-agrarios.aspx>> [Consulta 3 de Abril de 2013]

MAGRAMA, 2013a. *Anuario de Estadística Agroalimentaria 2003*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2003/default.aspx>>[Consulta 5 de Marzo de 2013].

MAGRAMA ,2013b. *Anuario de Estadística Agroalimentaria 2011*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2011/default.aspx>> [Consulta 5 de Abril de 2013]

Menoyo, A., 1995. *Valoración agronómica de la gallinaza: compostaje*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco

MMA,2007. *El Medio Ambiente en España, 2007*. Anexo III.4.3 Producción y Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. Ministerio de Medio Ambiente. <<http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-ambientales>> [Consulta 14 de Marzo de 2013]

MMA,2005. *El Medio Ambiente en España 2005*. Ministerio de Medio Ambiente. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasambientales/3_3_1mem05_tc_m7-15621.pdf> [Consulta 26 de Abril de 2013]

Sánchez, A., Hidalgo, F., 2006. Estudio sobre maquinaria idónea para las labores de compostaje de alpeorujos. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/produccion-ecologica/documento_completo.pdf> [Consulta 3 de Marzo de 2013]

Soliva, M., López, M. y Huerta, O. 2008. *Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje.* P. 77-92 En: Moreno Cascos, J., Moral Herrero, R. (ed.) (2008). Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid; ISBN: 978-84-8476-346-8

Suller, D.J. y Amberger, A., 1977. En: Bueno, P., Díaz, M.J. y Cabrera, F. 2008. *Factores que afectan al proceso de compostaje.* P. 95-109 En: Moreno Cascos, J., Moral Herrero, R. (ed.) 2008. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa Madrid; ISBN: 978-84-8476-346-8

Zucconi, F. y De Bertoldi, M., 1987 En: Bueno, P., Díaz, M.J. y Cabrera, F., (2008) *Factores que afectan al proceso de compostaje.* P. 95-109 En: Moreno Cascos, J. , Moral Herrero, R. (ed.) (2008). Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa Madrid; ISBN: 978-84-8476-346-8

Zucconi y de Bertoldi, 1987En: Madrid, F., 1999. *Caracterización y utilización de los compost de residuos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva).*Tesis Doctoral.

Legislación

España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado, 29 de julio de 2011, núm. 181, p 85650.

España. Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. Boletín Oficial del estado, 29 de Febrero de 2002, núm. 43, p 6494.

España. Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.Boletín Oficial del Estado, 19 de Julio de 2005, núm. 171, p 25592.

España. Orden PRE/630/2011, de 23 de marzo, por la que se modifican los Anexos I, II,III, IV, V y VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado, 25 de Marzo de 2011, núm.72, p 31871.

España. Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, relativa a los residuos (Texto pertinente a efectos del EEE)