

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA  
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

---



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

**“Gestión de los restos de poda de las  
zonas ajardinadas municipales de la  
localidad de Altea”**

***TRABAJO FINAL DE CARRERA***

Autor/es:

**Laura Hernández Pérez**

Director/es:

**Dña. Silvia Laura Falco Giaccaglia**

***GANDIA, 2013***



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
1.1 Biorresiduos.....	5
1.1.1 Importancia, ventajas y beneficios de una gestión adecuada.....	5
1.1.2 Técnicas actuales de gestión.....	6
1.1.3 Legislación que regula la utilización de biorresiduos.....	6
1.1.3.1 Legislación europea.....	6
1.1.3.2 Legislación nacional.....	8
1.1.3.3 Legislación autonómica.....	8
1.2 El compostaje.....	10
1.2.1 Breve historia del compostaje.....	10
1.2.2 Métodos de compostaje.....	12
1.2.3 Fases del proceso de compostaje.....	12
1.2.4 Factores que influyen en el proceso.....	15
1.3 Efectos de la aplicación del compost sobre el suelo.....	18
1.3.1 Propiedades físicas.....	18
1.3.2 Propiedades químicas.....	19
1.3.3 Propiedades biológicas.....	20
1.4 Municipio de Altea.....	20
1.4.1 Importancia y funcionalidad de los jardines municipales.....	20
1.4.2 Gestión de los restos de poda llevada a cabo hasta 2012.....	21
1.4.3 Huertos urbanos ecológicos.....	22
1.4.4. Emplazamiento del proyecto.....	22
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	25
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	26
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	34
4.1 Evolución de la temperatura y humedad.....	34
4.2 Calidad del compost final.....	38
4.3 Análisis económico del experimento.....	41
4.4 Discusión general.....	46
4.5 Protocolo de gestión de los restos de poda de las zonas ajardinadas.....	48
<b>5. CONCLUSIÓN</b> .....	52
5.1 Propuestas de mejora.....	52
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	54
<b>7. ANEXOS</b> .....	59
7.1 Anexo I. Códigos de trabajo.....	59
7.2 Anexo II. Sectores y nomenclatura de las zonas verdes.....	59
7.3 Anexo III. Inventario de plantas de las zonas ajardinadas del municipio.....	61



## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Biorresiduos.**

Por biorresiduos se entiende los residuos biodegradables de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos. No se incluyen los residuos agrícolas o forestales, el estiércol, los lodos de depuración ni otros residuos biodegradables como textiles naturales, papel o madera tratada. También quedan excluidos los subproductos de la industria alimentaria que nunca se convierten en residuos [COM, 2007 a].

La prevención de la producción de estos residuos es prioritaria, pero una vez generados llevar a cabo un tratamiento adecuado es necesario para generar un compost de calidad. Este proyecto se centra en los restos de poda de jardinería, los cuales quedan recogidos en la legislación en el apartado referente a los biorresiduos.

#### **1.1.1 Importancia, ventajas y beneficios de una gestión adecuada.**

A través del compostaje se consigue cerrar el ciclo de la materia orgánica, ya que el compost de buena calidad obtenido del tratamiento de los residuos vuelve al suelo al ser utilizado como abono orgánico y en el caso particular de la agricultura ecológica ejerce de sustituto total de los fertilizantes químicos. También se reduce sustancialmente tanto la cantidad de materia orgánica biodegradable que entra en los vertederos como en las plantas de incineradoras, reduciendo de ese modo las necesidades de espacio, la posibilidad de diseñar plantas de menor capacidad y un mayor aprovechamiento energético al reducirse la humedad de los residuos tratados. Además tiene un impacto positivo sobre el resto de fracciones que se separan en las plantas porque al no estar mezcladas con residuos biodegradables aumenta la recuperación de materiales y las tasas de reciclado en su conjunto.

En el aspecto económico y social repercute directamente gracias a la creación de nuevos puestos de trabajo en el sector de la recogida y tratamiento.

### **1.1.2 Técnicas actuales de gestión.**

Desde la Unión Europea se quiere reducir los impactos negativos que son consecuencia de la generación de cantidades cada vez mayores de residuos, lo que provoca pérdidas innecesarias de materiales y energía, daños ambientales y efectos negativos sobre la salud y calidad de vida.

Se estima que el potencial global máximo de biorresiduos recogidos selectivamente es de 150kg habitante/año, por tanto el total en la EU-27 es de 80 millones de toneladas. Actualmente tan solo el 30% de este potencial (24Mt) se recoge por separado y es tratado mediante procesos biológicos [Orbit/ECN, 2008].

Las técnicas actuales de gestión, además de la prevención en origen, es en primer lugar la recogida selectiva que funciona con éxito en muchos países, sobre todo en lo que respecta a los residuos verdes. En el caso en que no se consiga separar las fracciones, la incineración de los biorresiduos se lleva a cabo normalmente como parte de los RSU, lo que reduce la eficiencia de incineración por la presencia de biorresiduos húmedos. Otro método que sigue siendo muy utilizado aunque se considere la peor opción según la jerarquía de residuos, es el depósito en vertederos [COM, 2008].

En cuanto a tratamientos biológicos, la opción más común es el compostaje (alrededor del 95% de las operaciones actuales) [Orbit/ECN, 2008], el cual puede clasificarse como método de reciclado cuando el compost se aplica al suelo o se utiliza para la producción de sustratos de cultivo. Otro tratamiento biológico que también se aplica es la digestión anaerobia, especialmente indicada para los residuos húmedos. Se produce una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono) en reactores controlados conocido como biogás, que puede ser utilizado como biocombustible para el transporte o inyectado directamente en la red de distribución de gas.

### **1.1.3 Legislación que regula la utilización de biorresiduos.**

#### **1.1.3.1 Legislación europea.**

No existe una legislación comunitaria global debido a que cada estado miembro dispone de sus leyes en esta materia, aunque existen ciertas normas que regulan aspectos del tratamiento de los biorresiduos.

Actualmente el principal problema ambiental es la producción de metano a partir de los residuos orgánicos que se descomponen en los vertederos. La Directiva de vertidos (Dir. 1999/31 del Consejo, de 26 de abril de 1999) obliga a reducir la cantidad de residuos biodegradables en los vertederos a un 35% de los niveles que había en 1995 para el año 2016. También hace hincapié en los múltiples beneficios de una buena gestión de los biorresiduos que da lugar a un compost de calidad mejorando así las características físicas y químicas del suelo y la eficiencia de los recursos, a la vez que se puede llegar a un mayor nivel de autosuficiencia energética a través de la producción de biogás.

El Reglamento sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos (R (UE) nº 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007) establece las condiciones para el uso del compost y la Decisión de la Comisión por la que se establece los criterios ecológicos revisados para la concesión de la etiqueta ecológica comunitaria para las enmiendas del suelo (Dec. nº 2006/779/CE de la Comisión, de 3 de noviembre de 2006) precisa los límites de los contaminantes y exige un compost que provenga únicamente de residuos biodegradables.

También se han desarrollado diversas estrategias con recomendaciones a seguir como: la Estrategia Temática para la protección del Suelo, en la que se promueve el uso de enmiendas orgánicas de calidad que potencien una gestión sostenible de la materia orgánica y su aplicación en el suelo, así como la de prevención de la contaminación de suelos [COM, 2006]. Y la Estrategia Temática sobre Uso Sostenible de Recursos Naturales donde se toma conciencia sobre la importancia del cierre del ciclo de los materiales, usando eficientemente los recursos existentes y cumpliendo con la necesidad de parar la degradación de nuestros sistemas ecológicos por sobreexplotación, volviendo al funcionamiento cíclico que enseña la naturaleza [COM, 2005]. El Programa Europeo sobre Cambio Climático también cuenta con un apartado en el que relaciona la cantidad de materia orgánica en el suelo como sumidero de carbono, la menor necesidad de inputs energéticos en agricultura y la sustitución de fertilizantes químicos, como medidas para frenar el calentamiento global [COM, 2000].

Por último, entre los objetivos de la Política Energética Europea y la Directiva FER (Fuentes de Energía Renovable) (Dir. 2001/77/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001) está el de ayudar en el cumplimiento de los objetivos de producción de energía renovables a través de la producción de biogás y el fomento, a través de planes nacionales, de la utilización de biomasa [COM, 2007 b].

### **1.1.3.2 Legislación nacional.**

Siguiendo las directrices que se desarrollan desde la Unión Europea, España también cuenta con legislación notablemente más específica en este ámbito.

El Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) para el periodo 2008-2015 tiene como objetivo aumentar el compostaje y la biometanización de la fracción orgánica recogida selectivamente e incrementar la cantidad de biorresiduos recogida como mínimo a 2 millones de toneladas.

La Ley de residuos y suelos contaminados (LRSC 22/2011, de 28 de julio) trata a los biorresiduos en el artículo 24 según el cual las autoridades ambientales promoverán la recogida separada de los biorresiduos para destinarlos a compostaje o a la digestión anaerobia y el uso del compost producido en el sector agrícola, la jardinería o la regeneración de áreas degradadas, en sustitución de otras enmiendas orgánicas y fertilizantes minerales.

El objetivo del Real Decreto por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero (RDL 1481/2001, de 27 de diciembre), es reducir los residuos de competencia municipal biodegradables destinados a vertedero hasta un 35%, respecto a los generados en 1995, para el 16 de julio de 2016.

En el Real Decreto sobre productos fertilizantes (RD 824/2005, de 8 de julio) se establece en el grupo 6, relativo a enmiendas orgánicas procedentes del proceso de compostaje del Anexo I, qué ha de aparecer en el etiquetado, las materias primas que se pueden utilizar, el contenido mínimo de nutrientes que debe declararse y garantizarse y las formas y solubilidad de los mismos.

### **1.1.3.3 Legislación autonómica.**

En el ámbito autonómico se prevén dos tipos de planes, el Plan Integral de Residuos (PIR) y los planes zonales, ambos de obligado cumplimiento para todas las administraciones públicas y particulares, mediante los cuales se distribuyen en el territorio de la Comunidad Autónoma el conjunto de instalaciones necesarias para garantizar el cumplimiento de los principios de autosuficiencia y proximidad.

El PIR (D 317/1997, de 12 de diciembre) es un instrumento básico de planificación, control, coordinación y racionalización de todas las actividades relativas a los residuos generados o gestionados en la comunidad. En él se establece un orden de jerarquía acorde con lo que marca la legislación europea para cumplir los objetivos que subyacen desde una nueva concepción de la gestión de los residuos.

En primer lugar las medidas están destinadas a la minimización de la producción de residuos, seguidamente se prioriza la valorización con recuperación energética y por último la eliminación segura. En el plan se ha estimado la producción de residuos de jardinería en los núcleos urbanos para cada provincia (Figura 1.1).

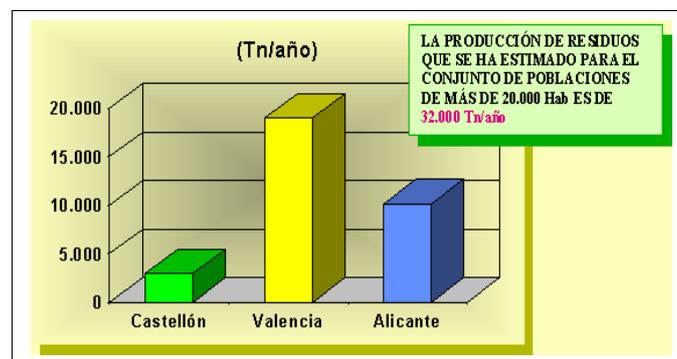


Figura 1.1. Producción de residuos de jardinería en los núcleos urbanos por provincias.

Fuente: Plan Integral de Residuos (1997).

Los planes zonales se constituyen como instrumento de desarrollo y mejora del Plan Integral de Residuos y adaptan las previsiones de éste a cada zona que delimitan.

El término municipal de Altea corresponde a la Zona XV, que engloba las comarcas de la Marina Alta, La Marina Baixa y un municipio de L'Alacantí. En él se establece el objetivo de minimización de residuos y que la materia orgánica se valorizará para cumplir con los objetivos fijados en la Directiva Europea de vertido. Para ello se construirá una planta de selección y compostaje, que tendrá una capacidad para tratar 5.000 t/año de residuos de jardinería, a las que hay que añadir la fracción de materia orgánica que se consiga separar de los RSU. El conjunto se fermentará de manera aeróbica para fabricar compost. La planta contará con líneas para la trituración de residuos de jardinería, un área de fermentación-maduración del compost con naves cerradas dotadas de sistemas de extracción de aire y biofiltro para desodorizar el aire extraído, en las que se acumulará la materia orgánica un periodo mínimo de nueve semanas; un área de afino y un área de almacén con nave cubierta que tendrá la capacidad de almacenar la producción de compost de 6 meses.

Finalmente, la Ley de Residuos de la Comunidad Valenciana (LRCV 10/2000, de 12 de diciembre), incluye a los restos de poda dentro los residuos urbanos y establece que le corresponde a los municipios, la prestación de los servicios públicos de recogida, transporte, valorización y eliminación de los residuos urbanos en la forma que se establezca en sus respectivas ordenanzas.

## **1.2 El compostaje.**

Esencialmente el compostaje es un proceso biológico de conversión de la fracción orgánica de los residuos en un material húmico estable.

Existen muchas definiciones de este concepto, resultando la más apropiada la establecida por De Bertoldi y col. (1986), según los cuales el compostaje es un proceso biooxidativo controlado, en el que intervienen numerosos microorganismos, que incluye un sustrato orgánico heterogéneo en estado sólido, que evoluciona pasando a través de una fase termofílica y una liberación temporal de las fitotoxinas, dando lugar a la producción de CO<sub>2</sub> agua, minerales y materia orgánica estabilizada denominada “compost”.

### **1.2.1 Breve historia del compostaje.**

Tanto el número de habitantes en la tierra como la cantidad de residuos producidos a lo largo de la historia van ligados y son proporcionales entre sí. Los objetivos del compostaje han ido variando conforme al grado de desarrollo y los intereses de la sociedad. Así pues, a pesar de su antigüedad y de la experiencia existente, el desarrollo del compostaje ha sufrido altibajos que han impedido un avance sostenido y acorde con la necesidad de gestionar los residuos y la conservación y fertilización de los suelos (Giménez y col., 2005).

Se puede afirmar que cuando la humanidad pasó de ser nómada a sedentaria empezó su preocupación por la manera de deshacerse de los residuos. Por lo que empezaron a enterrarlos, quemarlos, los usaban para alimentación animal o los compostaban.

Encontramos las primeras referencias escritas sobre compost en tablillas de arcilla del imperio Acadio, en Mesopotamia y existen evidencias de que romanos, griegos o las tribus de Israel también lo conocían (Gotaas, 1956).

Los acontecimientos más destacados del siglo XX se dieron en 1920 cuando un agrónomo italiano puso en marcha un tratamiento biológico que combinaba una fase anaerobia con

otra aerobia, y seguidamente en 1930 al implantar el sistema "Indore" en la India de la mano del agrónomo Albert Howard.

Después de la II guerra mundial la agricultura incrementó su mecanización y el uso de fertilizantes sintéticos reemplazando la práctica de aplicar estiércol y compost al suelo para mantener su fertilidad (Moreno y Moral, 2008).

### **1.2.2 Métodos de compostaje.**

El compostaje tiene una gran capacidad de adaptación a cada necesidad y circunstancia, pudiendo mezclar pequeños volúmenes de residuos orgánicos hasta enormes cantidades generadas diariamente en las ciudades.

Los sistemas de compostaje se dividen en abiertos, como las hileras o las pilas estáticas aireadas, y cerrados en reactores.

El método de las hileras consiste en apilar el material a compostar en pilas longitudinales con forma trapezoidal hasta conseguir una hilera de entre 20-40 metros de longitud. El tamaño influye sobre el rendimiento de la pila, de modo que para mantener altas temperaturas en la hilera, la pila de compost debe ser lo suficientemente grande para permitir que el calor generado por los procesos metabólicos exceda a las pérdidas de calor de las superficies expuestas (Hay y Kuchenrither, 1990).

La temperatura de la hilera puede controlarse volteando la pila, lo que también proporciona aireación. El ancho de la pila se sitúa normalmente entre 3 y 4 metros, mientras que la altura puede estar entre los 1,2 y 1,5 metros (Cookson, 1995).

La aireación de las hileras se puede hacer de forma manual empleando una pala con lo que se consigue un costo menor y una eficacia limitada, o utilizar una máquina volteadora en el caso de que el volumen de la pila sea demasiado grande obteniendo así una mejor mezcla unida a unos costes más elevados.

La diferencia de temperaturas entre las zonas depende de la frecuencia de volteo. Éste ayuda a redistribuir el perfil de la temperatura para que las capas superiores que están a una temperatura menor se expongan a las temperaturas del interior.

Es necesario hacer un seguimiento del proceso, para así determinar la frecuencia de volteo, el cual puede oscilar desde una vez al día, una vez a la semana, una al mes e incluso en algunos casos nunca a lo largo del tratamiento.

La aireación está limitada por la porosidad de la matriz y la profundidad de la pila. La capa exterior podría tener altas concentraciones de oxígeno mientras que las capas interiores podrían tener cierto déficit de oxígeno (Silva y col., 2011).

Generalmente el compostaje en hileras se lleva a cabo en entornos abiertos por lo que es conveniente construir una infraestructura que proteja las pilas de la lluvia, la erosión del viento, mantenga la temperatura en el interior y controle la emisión de olores. También es posible emplear materiales de cobertura sobre las pilas de tipo sintético o alguna capa de materia orgánica (Moreno y Moral, 2008).

En el caso de las pilas estáticas aireadas, el material se coloca sobre un sistema de tubos perforados conectados a un soplador o bomba de vacío.

El flujo de aire se utiliza tanto para controlar la temperatura como la cantidad de oxígeno en el interior de la pila. Esta capacidad de airear la mezcla estática sin alterar la mezcla de compost permite diseñar sistemas con alturas de hasta tres metros, incluso en algunos casos seis metros (Cookson, 1995).

Los procesos que se llevan a cabo en reactores cerrados conllevan unos costes de inversión más elevados, aunque también proporciona mayor control sobre el proceso y tiene varias ventajas sobre los sistemas abiertos.

Los reactores permiten frecuentes mezclas de material, consiguiendo un mejor contacto con los microorganismos e incrementándose el potencial de biodegradación. A su vez también proporcionan un mejor control sobre los malos olores.

Al no estar la pila en contacto con el exterior se minimiza la disipación de calor, mientras que el control de la temperatura y la oxigenación pueden lograrse mediante la aireación forzada. Al mismo tiempo se consigue mantener la humedad, así como la eliminación de los lixiviados, previniendo posibles contaminaciones del suelo y el agua.

El desarrollo de ese tipo de sistemas ha favorecido el uso del compostaje como una tecnología moderna de tratamiento de la materia orgánica (Moreno y Moral, 2008).

### 1.2.3 Fases del proceso de compostaje.

En el proceso se pueden distinguir cuatro fases solapadas entre sí.

La primera se denomina fase mesofílica en la que se produce un aumento de la población microbiana acompañado de una subida brusca de las temperaturas. Se empiezan a descomponer los compuestos solubles y de elevada disponibilidad (azúcares, aminoácidos) por acción de las poblaciones de bacterias y hongos que se desarrollan en esta etapa. Como consecuencia de la actividad metabólica existe un aumento gradual de las temperaturas que puede ir desde los 20 a los 55 °C, encontrándose su óptimo en los 35°C. En esta etapa la relación C/N es de esencial importancia debido a que el carbono aporta la energía y el nitrógeno es necesario para la síntesis de nuevas moléculas.

Cuando se alcanzan los 50°C de temperatura empieza la segunda etapa conocida como termofílica en la que se puede llegar hasta los 75°C. En esta fase todos los compuestos simples son metabolizados y quedan los más complejos (hemicelulosa, celulosa y lignina). El volteo regular en la etapa permite prolongarla, así como garantizar una adecuada oxigenación de los mismos. Las poblaciones de bacterias y hongos mesofílicos mueren o permanecen en estado de dormancia mientras que las bacterias termofílicas, actinomicetos y hongos termofílicos encuentran su óptimo.

La degradación de los ácidos obtenidos en la etapa anterior provoca el incremento del pH pasando desde 5.5 hasta 7.5 donde permanecerá casi constante hasta el final del proceso. El color del compost se vuelve más oscuro paulatinamente y el olor original se comienza a sustituir por olor a tierra. Es en esta etapa cuando comienza la esterilización del residuo debido a las altas temperaturas, la mayoría de las semillas y patógenos mueren al estar sometidos durante días a temperaturas superiores a 55°C (Figura 1.2).

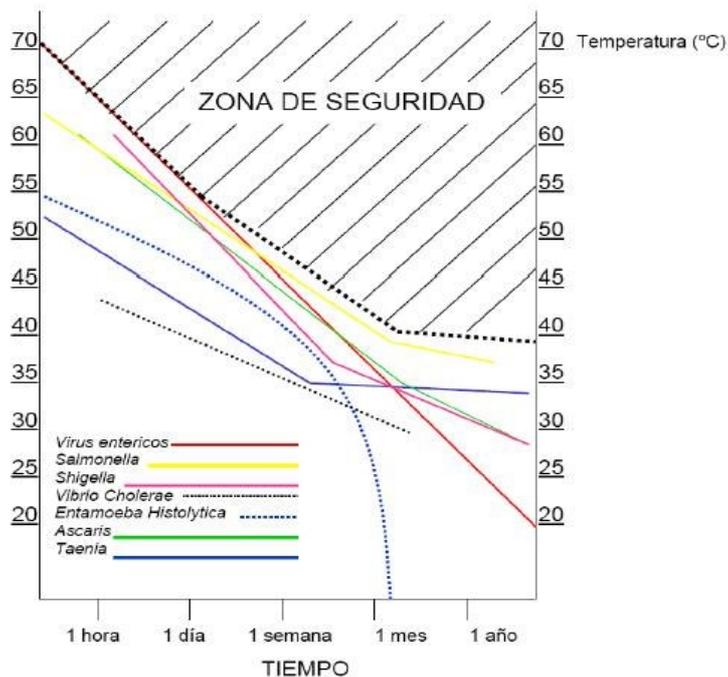


Figura1.2. Influencia de la temperatura y del tiempo de exposición en la destrucción de gérmenes patógenos. Fuente: (Feachem y col., 1978).

La tercera fase de enfriamiento se produce cuando la fuente de carbono directamente disponible comienza a ser un factor limitante, ocasionando un descenso en la actividad microbiana y en la temperatura. En esta fase predominan los hongos que actúan sobre los polímeros, como la lignina y la celulosa, y sobre la biomasa bacteriana. Los hongos son los responsables de la pérdida del 30 al 40% del peso y están implicados en la humificación de los restos orgánicos (Hassen y col., 2001). Los microorganismos termófilos mueren y reaparecen los mesófilicos.

La última etapa se conoce como fase de maduración. En ella la temperatura y el pH se estabilizan. Los actinomicetos adquieren especial importancia en la formación de ácidos húmicos y son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos, mientras que los macroorganismos tales como nemátodos, rotíferos, escarabajos, lombrices etc., incrementan su actividad desempeñando la función de remover, excavar, moler, masticar y romper el material incrementado así su área superficial para permitir el acceso de los microorganismos. Al final de esta fase se debe obtener un material con unos niveles adecuados de humedad, gran estabilidad y un bajo o nulo grado de fitotoxicidad (Goyal y col., 2005; Pérez y col., 2002; Saña y Soliva, 1987; Toumela y col., 2000).

Las principales bacterias, hongos y actinomicetos que podemos encontrar en el compost son los siguientes:

	<b>Bacterias</b>	<b>Hongos</b>	<b>Actinomicetos</b>
<b>Mesófilos</b>	<i>Cellumonas folia</i> <i>Myxoxoxus fulvus</i> <i>Aerobacter</i> sp. <i>Proteus</i> sp. <i>Psaudomonas</i> sp.	<i>Fusarium culmorum</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>A. terreus</i> <i>Rhizopus nigricans</i> <i>Mucor</i> sp.	
<b>Termófilos</b>	<i>Bacillus brevis</i> <i>B.circulans</i> <i>B.cuagulans</i> <i>B.licheniformis</i> <i>B.subtilis</i> <i>Thermus</i> sp.	<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Humicola insolens</i> <i>H. lanuginosus</i> <i>Mycelia sterilia</i> <i>Absidia ramosa</i> <i>Stibella thermophila</i> <i>Dactylomys</i>	<i>Micrmonospora vulgaris</i> <i>Nocardia brasiliensis</i> <i>Streptomyces rectus</i> <i>S. thermophilus</i> <i>Thermoactynomyces vulgaris</i> <i>Thermomonospora</i> sp.

Tabla 1.1. Principales bacterias, hongos y actinimicetos presentes en el proceso de compostaje.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Goyal y col., 2005; Poincelot, 1975; Toumela y col., 2000).

#### 1.2.4 Factores que influyen en el proceso.

-Relación C/N:

Al ser el carbono y el nitrógeno unos de los elementos principales en la composición de las plantas, es muy importante tener este parámetro en cuenta para realizar la mezcla inicial. La relación adecuada ha de estar entre un 25-35 (Jhorar y col., 1991), porque se considera que los microorganismos consumen 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno.

Si el exceso de carbono sobre nitrógeno es muy grande la actividad biológica disminuye siendo necesaria varios ciclos de microorganismos para quemar el exceso de carbono, ya que cuando mueren su nitrógeno se recicla y va disminuyendo la relación C/N. En el caso de que los residuos tengan una relación C/N baja y por tanto el contenido de carbono sea menor que el necesario para convertir el nitrógeno en biopolímeros nitrogenados, se produce un fenómeno de autorregulación en el que se pierde el exceso de nitrógeno en forma amoniacal generando problemas de olores.

-Concentración de oxígeno:

El consumo de oxígeno por parte del compost está estrechamente relacionado con la actividad de los microorganismos aeróbicos que lo utilizan como combustible y fuente de energía dando lugar a gas carbónico y agua.

Para conseguir una buena aireación se recurre al volteo periódico o la ventilación forzada de las pilas. Es difícil hablar de unos valores generales, ya que depende del tipo de material a compostar, la textura etc., pero se estima que al principio de la mezcla sólo el 40-50% del volumen de la pila sea de sólidos y el resto del espacio ha de estar ocupado por agua y aire. Si la aireación es insuficiente la fracción orgánica se descompondrá lentamente y de forma anaerobia, dando lugar a malos olores y bajas temperaturas.

-Contenido en humedad:

En primer lugar el agua es necesaria porque que los microorganismos la utilizan como vehículo de transporte de los alimentos a través de la membrana celular.

Sin embargo, en el compostaje siempre se ha de evitar una humedad elevada porque desplazaría el aire de los espacios entre las partículas y el proceso pasaría a ser anaeróbico. Por otra parte, si el contenido es muy bajo disminuirá la actividad de los microorganismos y el proceso será mucho más lento.

Se considera un contenido en humedad óptimo entorno al 40-60 %, (Golueke y Díaz, 1987) pudiéndolo ajustar mezclando materiales más o menos fibrosos o compactados, y mediante la adición de agua.

-El sustrato:

El material que se suele utilizar para compostar va desde hierba, hojas de árboles frutales y arbustos y ramas de podas primaverales hasta estiércol de aves, vacuno, caballo, oveja con un alto contenido en nitrógeno o serrín, papel y cartón y paja de trigo los cuales poseen niveles altos de carbono. El tamaño de las partículas es importante en cuanto a la velocidad del proceso, puesto que la actividad microbiana se desarrolla en la superficie de las partículas y cuanto mayor es la superficie de contacto mayor será la rapidez de ataque. Los tamaños óptimos oscilan entre 1-5cm. La naturaleza química del sustrato también influye en el tiempo de degradación. Cuando predominan los compuestos biorresistentes como la lignina o celulosa la velocidad de descomposición es mucho más lenta que cuando predominan los compuestos orgánicos de bajo peso molecular.

-Microorganismos:

A lo largo de proceso van apareciendo distintas clases de microorganismos que pueden afectar al compostaje de manera positiva o negativa.

Los que resultan beneficiosos son los capaces de biotransformar la materia en presencia de oxígeno, los que pueden degradar compuestos contaminantes y los que ejercen actividad antagónica frente a los patógenos. Los microorganismos que pueden afectar negativamente al proceso o a la calidad del producto son los que están relacionados con la generación de olores y los patógenos.

-Temperatura:

El síntoma más claro de que se ha activado la actividad microbiana es el incremento de la temperatura del material que se está compostando, por lo que es una variable fundamental para su control. Se observan cuatro fases en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial ( $T^{\circ} < 50^{\circ}\text{C}$ ), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila ( $T^{\circ} > 50^{\circ}\text{C}$ ), fase de enfriamiento y fase de maduración en la temperatura vuelve a los valores iniciales. En cada fase se alcanzan unas temperaturas óptimas para la actividad y eficiencia de los microorganismos. Cuando empiezan a descomponer la materia orgánica se produce un desprendimiento de calor el cual provoca la variación de temperatura en la pila, que junto con el volumen, la humedad y la aireación dan lugar a la curva de evolución de la temperatura. Gracias a esta evolución se puede juzgar la eficiencia, higienización y el grado de estabilización al que ha llegado el proceso.

-pH:

Este parámetro tiene influencia sobre la dinámica de los procesos microbianos y sobre la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH. Su evolución pasa por tres fases. Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. En la segunda fase se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y a la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sánchez-Monedero y col., 2001). Y en la última fase el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón (Canet y col., 2003; Moreno y Moral, 2008; Saña y Soliva, 1987).

En la figura 1.3 se recoge gráficamente la evolución de la temperatura y del pH a lo largo de las fases por las que pasa el proceso de compostaje.

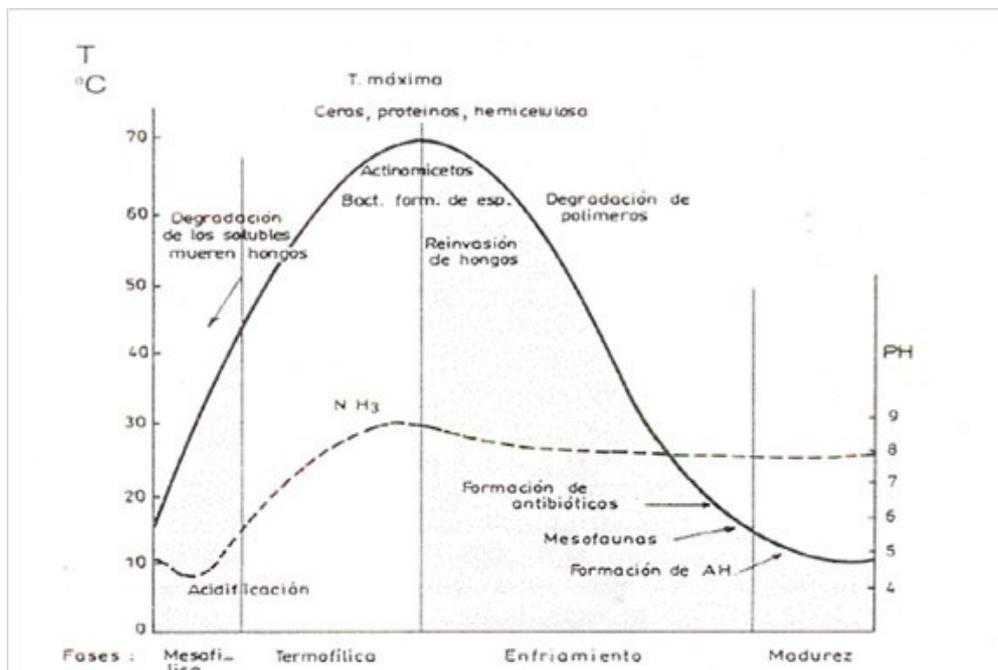


Figura 1.3. Evolución de la temperatura y del pH durante las diferentes etapas del compostaje.

Fuente: (Dalzell y col., 1981).

### 1.3 Efectos de la aplicación del compost sobre el suelo.

#### 1.3.1 Propiedades físicas.

La compactación del suelo es un proceso degradativo de su estructura que está directamente ligado a las técnicas utilizadas para su manejo y fundamentalmente a las de laboreo del suelo (Lal, 1994). También juega un papel principal la erosividad de las precipitaciones, que da lugar a sellamientos y a depósitos de sedimentos, dificultando cada vez más los procesos biológicos en su interior, el desarrollo radicular y, en definitiva, la revegetación del suelo (Kay y Angers, 2002). Se ha demostrado en diversos estudios que la enmienda del suelo mediante su acolchado orgánico de compost regula la energía de impacto de las gotas de lluvia, disminuyendo la pérdida de suelo por erosión hídrica y aumentando las posibilidades de revegetación natural de la superficie del suelo (García Camarero, 2000; Holz y col., 2000; Ingelmo e Ibáñez, 1998).

Otro de los efectos positivos es el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua utilizable por las plantas para evitar los riesgos de estrés hídrico temporal. Sobre todo en un clima mediterráneo con periodos de gota fría en otoño y seco en verano, es muy importante el manejo de los suelos para que dichas condiciones no den lugar a cambios persistentes en los procesos y mecanismos que regulan su fertilidad. También se consigue aumentar la capacidad de almacenamiento de agua y de infiltración de los suelos, retardando con ello los riesgos de encharcamiento.

La consecuencia de controlar los parámetros anteriores es que se disminuye la erosión hídrica del suelo. En el ensayo llevado a cabo por Ingelmo e Ibáñez (1998) se consiguió mejorar la infiltración del agua en un 36% anual, con una disminución de un 75% de la esorrentía y la disminución de hasta 7 veces el nivel de erosión hídrica en relación con el control sin enmienda orgánica acolchada.

### **1.3.2 Propiedades químicas.**

La adición de compost ejerce un efecto sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), que es la capacidad que tiene el suelo de retener e intercambiar cationes. Ésta depende de la cantidad y calidad de la materia orgánica y de arcilla. El estudio de Loveland y Web (2003) da como resultado que la adición de materia orgánica a los suelos agrícolas, con un pH entre 6 y 8, contribuye en un 40-50% a la CIC del suelo.

El compost maduro tiende a estabilizarse en valores de pH neutros o ligeramente básicos, por lo que su adición en suelos ácidos hace aumentar el pH, mejorando la disponibilidad de nutrientes y las condiciones microbiológicas.

La utilización de residuos orgánicos compostados aporta una gran ventaja sobre la aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Éstos últimos se caracterizan por una rápida solubilidad, originando importantes concentraciones localizadas de nitrógeno mineral que facilitan las pérdidas por lixiviación, volatilización, inmovilización y desnitrificación, contribuyendo a su escasa eficacia de utilización por las raíces de las plantas y provocando problemas de contaminación (Rubio y col., 2006). En este sentido, el compost proporciona un suministro regulado de nitrógeno ya que la transformación de iones amonio a nitratos es lenta. Además el nitrógeno orgánico que no es mineralizado en los periodos iniciales, queda almacenado en el suelo y posteriormente es liberado en Los siguientes cultivos.

### **1.3.3 Propiedades biológicas.**

La adición de compost al suelo afecta a los niveles poblacionales microbianos. En general se produce un aumento de la biomasa microbiana, aunque también se han documentado casos en los que a medio-largo plazo no se observan variaciones significativas e incluso decrecieron los niveles (Schloter y col., 2003).

No solo hay una influencia cuantitativa, sino que la estructura de la comunidad también se ve afectada, generando diferentes niveles de actividad (Albiach y Canet, 2007). La acción biotransformadora de los microorganismos pone a disposición de las plantas gran parte de los nutrientes que éstas necesitan para su desarrollo, por lo que tiene efectos directos sobre el crecimiento y producción de los cultivos.

Por último, también existen estudios en los que se demuestra que el empleo de enmiendas orgánicas contribuye al control de enfermedades provocadas por patógenos vegetales que habitan en el suelo (Nico, 2002). Esto se conoce con el término de supresividad.

## **1.4 Municipio de Altea.**

La localidad de Altea está situada en la costa alicantina y pertenece a la comarca de la Marina Baixa. Abarca una superficie de 34,43 km<sup>2</sup> y cuenta con una población de 24.298 habitantes (INE, 2012).

### **1.4.1 Importancia y funcionalidad de los jardines municipales.**

A principios del siglo XX de la mano del arquitecto francés Le Corbusier (1887-1965) se introdujo el concepto de una nueva realidad urbana en la que la ciudad tenía que ser una síntesis entre naturaleza y desarrollo tecnológico, dejando libres grandes zonas verdes de suelo y construyendo jardines en los tejados de los edificios. En la Carta de Atenas de 1931 redactada en el IV Congreso Internacional de Arquitectura Moderna también se apostó por la zonificación de la ciudad en cuatro apartados, uno de ellos el de "Recrear", entendido como zonas verdes de esparcimiento y otros servicios sociales (Gómez, 2005). Los parques urbanos y los espacios abiertos tienen una importancia estratégica para la calidad de vida de la creciente sociedad urbanita. A parte de beneficios medioambientales como la

purificación del agua y del aire, atenuación del ruido y el viento o estabilización del microclima, las áreas naturales ofrecen servicios sociales y psicológicos (Chiesura, 2004). Altea cuenta con la Ordenanza para la protección y cuidado de las zonas verdes públicas y privadas, aprobada en 2003. Tiene como objetivo: servir de instrumento jurídico para la protección de parques, jardines, plazas ajardinadas, zonas verdes y mobiliario urbano de uso público, tendente a concienciar a los ciudadanos que los usan y disfrutan para que se facilite su utilización adecuada. Además el ayuntamiento se compromete a la adquisición de nuevas zonas verdes públicas contempladas en el PGOU que estén en manos de particulares.

#### **1.4.2 Gestión de los restos de poda llevada a cabo hasta 2012.**

La gestión de los espacios ajardinados del municipio corre a cargo de la empresa Pública de Desarrollo Municipal, S.A., la cual realiza todo tipo de trabajos relacionados con el mantenimiento de los jardines (Anexo I). Para facilitar la tarea administrativa y la de los empleados, se ha dividido las zonas ajardinadas en 16 sectores con sus correspondientes subzonas, teniendo cada una de ellas un código asociado (Anexo II).

Desde el año 2002 hasta el 2007, los restos de poda eran depositados en contenedores, con una capacidad de 5m<sup>3</sup> que pertenecían a la empresa privada Bolo y Baldomero S.L., la cual los trasladaba hasta la planta de compostaje que se encuentra en la localidad de Benisa. A partir del 2007 se empezaron a acopiar los restos al aire libre en una parcela propiedad del ayuntamiento. Se contrató los servicios de un particular que dispone de tractores a los que se les puede incorporar una trituradora en la parte trasera y una pala en la delantera, para que hiciera pasadas sobre los residuos de poda con el fin de triturarlos y acopiarlos para conseguir que se activara el proceso de compostaje. De ese modo, el compost obtenido es utilizado como abono orgánico por el particular en sus campos de cultivo.

En ningún momento se ha llevado a cabo un seguimiento del proceso. Es decir, no se ha controlado ni la humedad, ni la temperatura, ni se ha tenido en cuenta el tamaño y la forma de la pila. Tampoco se ha mezclado con otros materiales para obtener una relación C/N adecuada, por lo que el tiempo de para obtener un compost maduro oscila entre dos y tres años.

### **1.4.3 Huertos urbanos ecológicos.**

Uno de los pilares en los que se estructura la agricultura ecológica es el uso exclusivo de productos naturales como fertilizantes, en especial en forma de materia orgánica, ya sean abonos verdes o residuos orgánicos (Canet, 2007).

Tradicionalmente Altea ha sido un municipio que vivía de la pesca y la agricultura hasta que tomó auge el sector servicios y la construcción. Es por ello que desde la concejalía de agricultura y medio ambiente se tomó la iniciativa en el año 2008 de apostar por la recuperación de la experiencia agrícola de la población con tal de poner en alza una relación con el medio ambiente más racional y natural de la que los usos ciudadanos actuales generan, a través de la creación del proyecto de Huertos Urbanos Ecológicos.

Actualmente se han habilitado siete parcelas divididas en 116 subparcelas de 60m<sup>2</sup> cada una, que dan lugar a un total de 7.000m<sup>2</sup> (aprox.) de tierra destinada al cultivo de hortalizas mediante los principios de la agricultura ecológica.

### **1.4.4. Emplazamiento del proyecto.**

El lugar escogido para llevar a cabo el montaje de las pilas se encuentra en el término municipal de Altea (Figura 1.4), en la zona de transición entre el casco urbano y los campos de huerta tradicionales, estando bien comunicada ya que se accede a ella por una avenida que rodea la zona centro y comercial del municipio (Figura 1.5). El recinto tiene una superficie total de 12.532 m<sup>2</sup> el cual se habilitó hace dos años como huerto urbano y cuenta con una puerta de 3 metros de ancho apta para que pase tanto el camión que recoge los restos de poda, como el tractor que posteriormente los tritura (Figura 1.6). Dentro de él, el apartado destinado a la zona de compostaje mide 2.707 m<sup>2</sup>

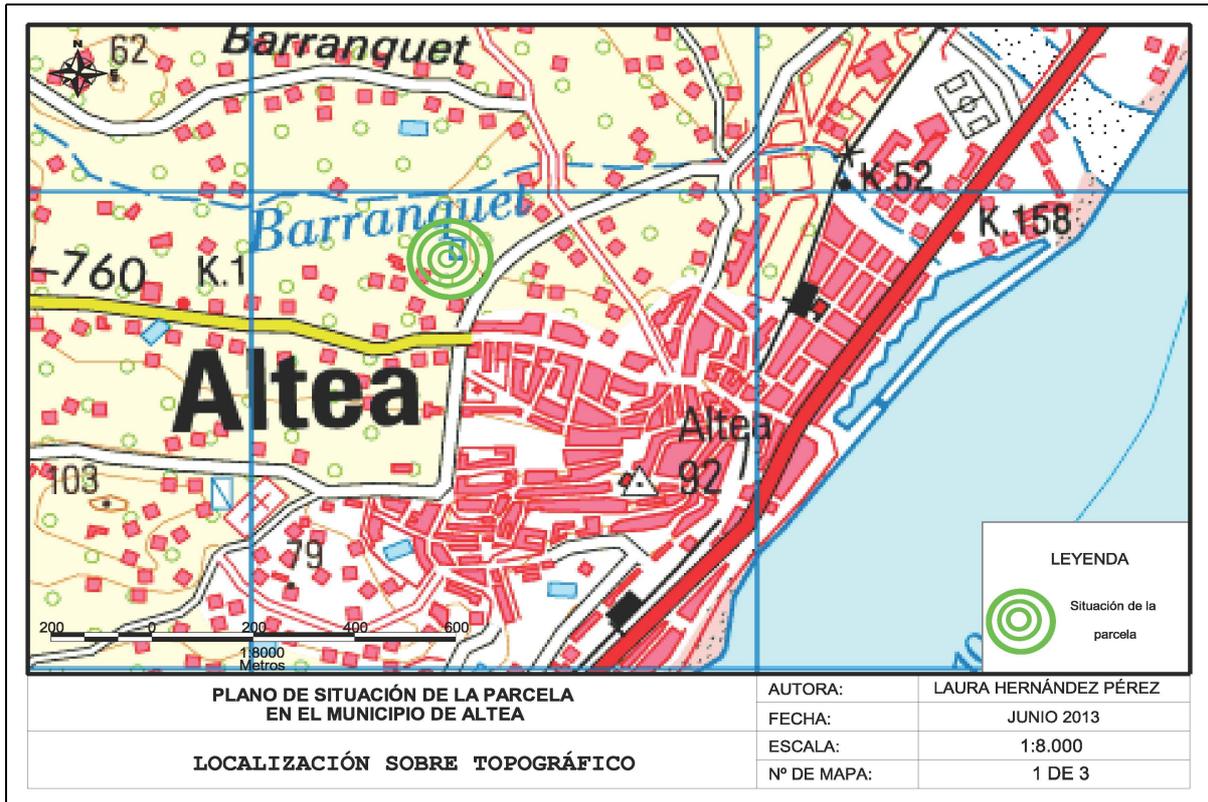


Figura 1.4. Localización de la parcela sobre topográfico.

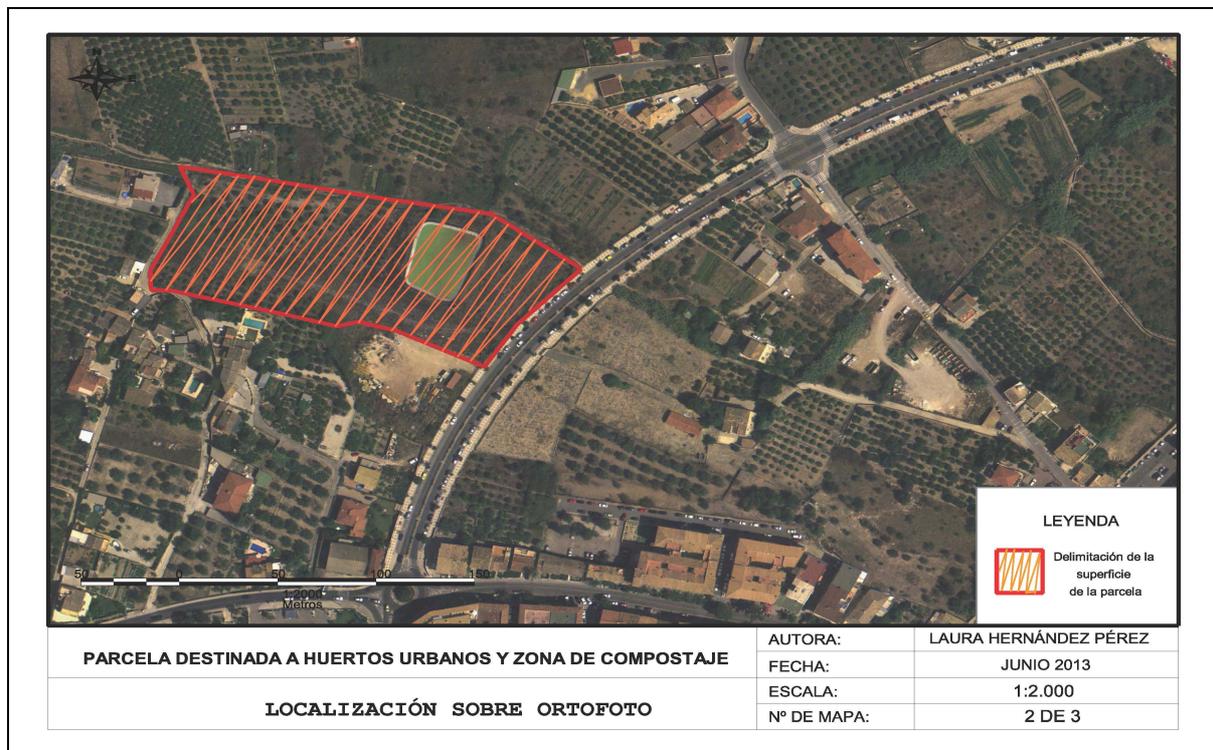


Figura 1.5. Localización de la parcela sobre ortofoto.

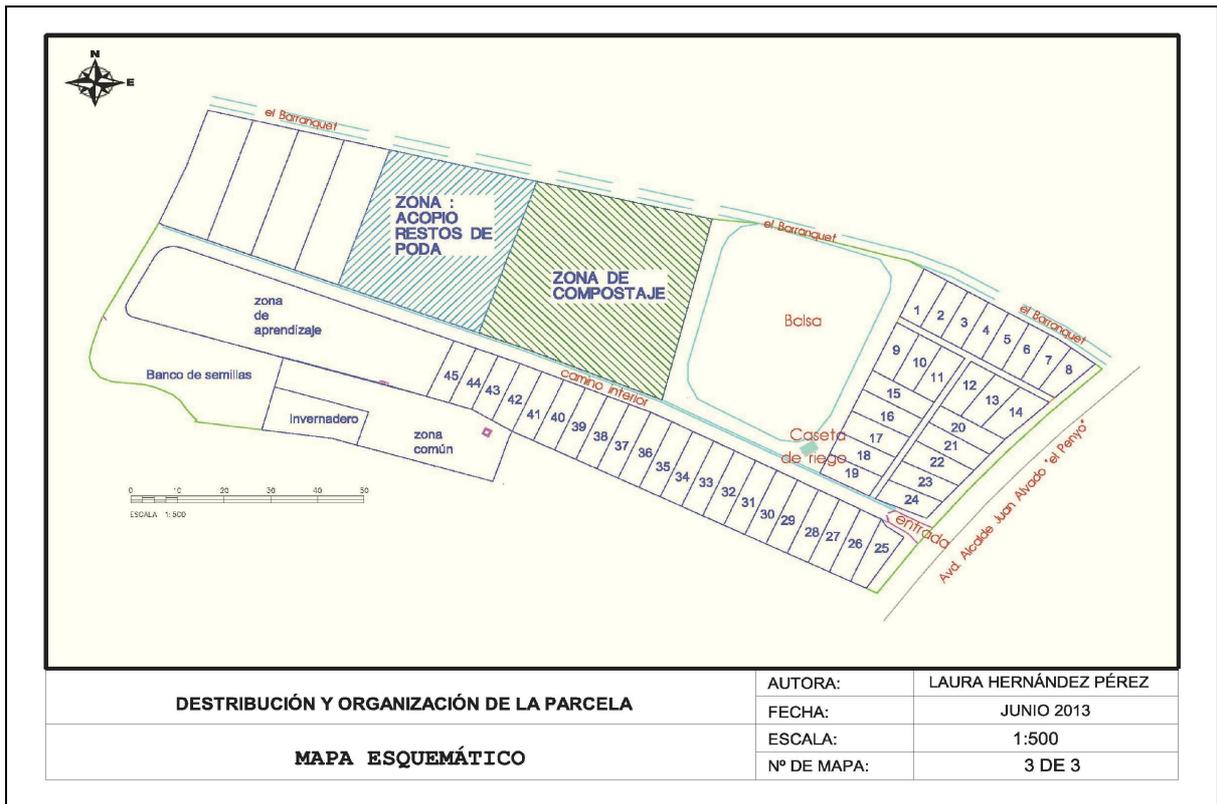


Figura 1.6. Esquema de la distribución de la parcela.

## **2. OBJETIVOS.**

El objetivo principal es desarrollar una nueva propuesta de gestión para los restos de poda de la jardinería municipal, con el fin de conseguir que el proceso de compostaje dure seis meses y que el producto obtenido sea utilizado como enmienda orgánica en los huertos urbanos ecológicos.

Para conseguirlo, se ha realizado un experimento de compostaje abierto formado por tres pilas en hilera con volteo periódico. Éstas están armadas con los restos de poda almacenados durante seis meses y diferenciados entre sí por su grados de triturado, además de utilizar diferentes activadores biológicos. A través del seguimiento de los dos factores principales que intervienen en el proceso, la temperatura y la humedad, se identificará el método más adecuado, se hará una valoración económica y se establecerá el protocolo de actuación a seguir por parte de la entidad encargada de llevar a cabo la gestión.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS.

Al inicio del experimento, a fecha de 18 de enero de 2013, se contaba con material fresco sin triturar depositado en la zona de compostaje desde junio de 2012 y material ya triturado y dividido en tres sectores diferenciados entre sí por su grado de triturado. Para su triturado se utilizó un tractor marca New Holland con una potencia de 170 caballos al que se le acopló una trituradora Verti forestal de martillos en la parte trasera. Las pilas están compuestas principalmente por los restos de poda de las especies arbóreas que están plantadas en las zonas ajardinadas, aunque también se pueden encontrar en menor cantidad podas de setos y especies arbustivas y trepadoras (Anexo III).



Figura 3.1. Restos de poda sin triturar.



Figura 3.2. Tractor New Holland para triturado.



Figura 3.3. Restos de poda triturados para montar la Pila 2. En la parte izquierda al fondo con un color más claro están los restos de poda para la Pila 3.

Para que se iniciara el proceso de compostaje fue necesario mezclar los restos de jardín con otras materias primas, con la finalidad de obtener una relación C/N adecuada. Por ello, los materiales elegidos fueron: alperujo, estiércol de vaca y lodos de depuradora.

El alperujo se obtuvo de la almazara que se encuentra en la cooperativa agrícola de Altea, la cual se puso en funcionamiento en 2012 tras doce años de inactividad. Tiene una capacidad de 180 kg/h, por lo que al día se muelen unos 2000kg de aceituna. Para la separación del aceite del resto de componentes de la aceituna: el alpechín (fase acuosa) y el orujo (fase sólida), la planta cuenta con un sistema continuo de dos fases que tras la centrifugación obtiene una fase oleosa compuesta por aceite y una fase sólida con bastante humedad formada por el alpechín y el orujo, más conocida como alperujo, cuyo aspecto es el que aparece en la figura 3.4.



Figura 3.4. Alperujo.

El estiércol de vacuno procedía de una empresa de ganadería extensiva de vacas de la localidad vecina de Calpe y los lodos de depuradora se trajeron de la EDAR de Altea, la cual recoge las aguas residuales de los municipios de Callosa d'en Sarriá, Polop de la Marina, La Nucía y Altea, y está diseñada para tratar un caudal de 12.000 m<sup>3</sup>/día. Los fangos deshidratados obtenidos se analizan cada seis meses para corroborar que cumplen con los valores límites de concentración de metales pesados exigidos en el Anexo I B del Real Decreto que regula la utilización de lodos de depuradora en el sector agrario (R.D.1310/1990, de 29 de octubre).

En el caso particular de enmiendas del suelo destinadas a la agricultura ecológica que quieran obtener la concesión de la etiqueta ecológica comunitaria, solo está permitido utilizar lodos procedentes de los residuos especificados en el Criterio 1.2 de la Dec. nº 2006/779 de la Comisión, de 3 de noviembre de 2006, en el cual no figuran los lodos procedentes de la depuración de las aguas residuales. En este proyecto sí que se van a utilizar los lodos porque no se quiere obtener dicha etiqueta para el producto final, además de ser un material económico, de fácil acceso por parte del ayuntamiento y un residuo más que se genera en el municipio. En la tabla 3.1 se hace una comparativa de los análisis de

los lodos de la E.D.A.R de Altea con los límites exigidos en el R.D. 1310/1990, de 29 de octubre. Se observa que ningún parámetro supera los valores establecidos en la legislación, por lo que son aptos para su uso agrícola.

Parámetros	R.D. 1310/1990 Anexo I B		Análisis lodos E.D.A.R Altea	
	Valores límites (mg/kg de materia seca)		Fecha: 23/01/2013	
	Suelos pH< 7	Suelos pH>7	Resultados	Unidades
Cadmio	20	40	0,74	mgCd/kg m.s.
Cobre	1000	1750	321	mgCu/kg m.s.
Níquel	300	400	8	mgNi/kg m.s.
Plomo	750	1200	31	mgPb/kg m.s.
Zinc	2500	4000	530	mgZn/kg m.s.
Mercurio	16	25	0,5	mgHg/kg m.s.
Cromo	1000	1500	38	mgCr/kg m.s.

Tabla 3.1 Comparativa entre los valores límite para metales presentes en los lodos de depuradora exigidos en el R.D. 1310/1990 y el análisis de la E.D.A.R de Altea. Fuente: Elaboración propia.

Existe gran cantidad de bibliografía donde encontrar valores promedios del contenido de nitrógeno, la relación C/N y el contenido de humedad de las distintas materias primas, sin embargo, para disponer de unos datos más fiables, en este ensayo se optó por recoger una muestra de los materiales citados anteriormente (excepto de lodos) y llevarlos a analizar a una empresa que ofrece servicios integrados en calidad, medio ambiente, seguridad alimentaria, acústica e ingeniería, llamada Siggo. Los datos obtenidos a parecen en la tabla 3.2.

	Restos de poda	Alperujo	Estiércol vacuno	Lodos de depuradora
Humedad (%)	55,25	69,37	34,89	79,3
% C (sobre peso húmedo)	20,09	17,64	17,75	28,56
% N (sobre peso húmedo)	0,67	0,37	1,5	5,1
Relación C/N	29,99	47,68	11,83	5,6

Tabla 3.2 Resultado de los análisis realizados en Siggo y en la E.D.A.R de Altea.

Para estimar las toneladas de restos de poda almacenadas en la zona de compostaje se procedió a amontonarlos en tres pilas distintas a las que llamaremos Pila 1, Pila 2 y Pila 3.

La Pila 1 está compuesta por materiales de menor tamaño ya que el tractor realizó tres pasadas sobre ella en diferentes periodos de tiempo. La Pila 2 acumula dos pasadas, mientras que sobre la Pila 3 tan solo se llevó a cabo una pasada. Se puede hacer una aproximación de la forma geométrica que toman las pilas, en este caso un trapecio es lo más parecido. Por lo tanto, para hallar su volumen la metodología a seguir consistió en medir la longitud de la base mayor, la base menor y la altura con la ayuda de dos jalones para fijar los límites y un metro. Esta medición se llevó a cabo cada cinco metros. Una vez obtenido el volumen de los restos de poda y sabiendo el volumen de alperujo que transportó cada camión, se pudo calcular la cantidad de estiércol de vacuno y de lodo de depuradora que hizo falta para conseguir una relación C/N igual a 25 en cada pila. La ecuación 3.1 hace referencia a la fórmula que se utilizó para los cálculos.

$$C/N = \frac{X_p \cdot C_p + X_a \cdot C_a + X_y \cdot C_y}{X_p \cdot N_p + X_a \cdot N_a + X_y \cdot N_y}$$

Ecuación 3.1. Fórmula que relaciona la relación C/N con el peso, el carbono y el nitrógeno de cada materia.

Siendo:

-X<sub>p</sub>: Masa húmeda Poda    -X<sub>a</sub>: Masa húmeda Alperujo    -X<sub>y</sub>: **Masa húmeda Estiércol o Lodos**  
 -C<sub>p</sub>: Carbono Poda        -C<sub>a</sub>: Carbono Alperujo        -C<sub>y</sub>: Carbono Estiércol o Lodos  
 -N<sub>p</sub>: Nitrógeno Poda        -N<sub>a</sub>: Nitrógeno Alperujo        -N<sub>y</sub>: Nitrógeno Estiércol o Lodos

Todos los parámetros eran conocidos exceptuando **X<sub>y</sub>** que es la incógnita que hubo que despejar de la ecuación. Las toneladas (X<sub>y</sub>) calculadas de estiércol de vacuno que se tuvieron que añadir a la Pila 1 fueron 10,9t y para la Pila 2 fueron 9,71t. En el caso de la Pila 3 la cantidad de lodos que hubo que mezclar fue de 1,84t. A continuación se muestra en las tablas 3.3, 3.4 y 3.5 el resumen de los datos utilizados.

Pila 1			
Mezcla:	Restos de Poda	Alperujo	Estiércol de vacuno
<i>/</i>			
<b>Parámetros</b>			
Grado de triturado	3 pasadas	-	-
Volumen (m <sup>3</sup> )	65,87	20,00	-
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	0,46	0,68	0,83
Masa húmeda (t)	30,29	13,6	10,9
Relación C/N	29,99	47,68	11,83
%C	20,09	17,64	17,75
%N	0,67	0,37	1,5

Tabla 3.3 Composición de las materia primas utilizadas en la Pila 1.

<b>Pila 2</b>			
<b>Mezcla:</b>	<b>Restos de Poda</b>	<b>Alperujo</b>	<b>Estiércol de vacuno</b>
<i>/</i>			
<b>Parámetros</b>			
Grado de triturado	2 pasadas	-	-
Volumen (m <sup>3</sup> )	50,601	20,00	-
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	0,46	0,68	0,83
Masa húmeda (t)	23,28	13,6	9,71
Relación C/N	29,99	47,68	11,83
%C	20,09	17,64	17,75
%N	0,67	0,37	1,5

Tabla 3.4 Composición de las materia primas utilizadas en la Pila 2.

<b>Pila 3</b>			
<b>Mezcla:</b>	<b>Restos de Poda</b>	<b>Alperujo</b>	<b>Lodos de depuradora</b>
<i>/</i>			
<b>Parámetros</b>			
Grado de triturado	1 pasada	-	-
Volumen (m <sup>3</sup> )	81,53	10,00	-
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	0,46	0,68	0,90
Masa húmeda (t)	37,50	6,8	1,84
Relación C/N	29,99	47,68	5,6
%C	20,09	17,64	28,56
%N	0,67	0,37	5,1

Tabla 3.5 Composición de las materia primas utilizadas en la Pila 3.

Sabiendo las toneladas de cada material que eran necesarias mezclar, se procedió al montaje definitivo de las pilas intentando que fueran los más homogéneas posible usando el mismo tractor que se utilizó para el triturado pero añadiéndole una pala delantera y también se usó una mini excavadora de más fácil manejo para darles la forma correcta. De este modo, al finalizar los montones la base mayor de las pilas medía de 3 a 4 metros, la base menor estaba entre 1,5 y 2,5 metros, la altura entorno a 1,5 metros y alcanzaban una longitud de 35 a 40 metros.



Figura 3.5. Mini excavadora para montar las pilas.



*Figura 3.6. Pila 1 al inicio del experimento.*



*Figura 3.7. Pila 2 a la derecha y Pila 3 a la izquierda al inicio del experimento.*

Tal y como se ha explicado en el apartado 1.2.5 de la introducción, la humedad es un factor muy importante para conseguir que el proceso de compostaje se desarrolle de manera óptima, estando ésta entorno al 50-60%. Puesto que las pilas estaban a la intemperie permanecieron expuestas a los fenómenos de precipitación por los que se humedecieron de forma natural, aunque por el contrario el agua contenida en ellas también sufrió una mayor evaporación al estar directamente expuesta a los rayos del sol. Al tratarse de un municipio situado en una zona de clima mediterráneo y con escasos periodos de lluvia, se optó por adecuar un sistema de riego automático para las pilas. En Altea, la comunidad de regantes trata el agua de riego con abonos y fertilizantes de lunes a miércoles; dado que las

pilas se encuentran dentro del recinto de un huerto urbano ecológico en el que ya se había fijado con anterioridad los días de riego de jueves a domingo con el fin de evitar que los cultivos reciban agua tratada con productos químicos, las pilas también se mojaron esos cuatro días durante 2 horas/día hasta abril y 3 horas/día de mayo en adelante. El sistema de riego que se eligió es el riego por aspersión, debido a que es la mejor manera de que el agua fuera percolando poco a poco y abarcara un metro de diámetro aproximadamente entre aspersor y aspersor. Se conectaron tres gomas con un diámetro de 20mm a la tubería que sale de la caseta de riego en la que hay instalado un regulador que reduce la presión con la que llega el agua de 7,5 atm a 2,2 atm, mientras que en las gomas se hicieron perforaciones cada dos metros de distancia para insertar los aspersores, habiendo un total de 10 en cada pila. Tras cuatro semanas haciendo un seguimiento del porcentaje de humedad que alcanzaba cada pila, se demostró que estaba por debajo del óptimo y por lo tanto se decidió doblar el número de aspersores, poniendo 20 en cada pila. Estos aspersores vertían un caudal de 24 litros/hora, por lo que a lo largo de un día las pilas recibían un total de 960 litros/día hasta abril, y posteriormente recibieron 1440 litros/día cada una.

La metodología a seguir para averiguar el nivel de humedad consistió en coger una muestra representativa una vez por semana de cada pila. Para ello se tomaron seis muestras de puntos diferentes que se tamizaron por un cedazo de 3mm de malla y se metieron en botes de cristal para evitar pérdidas de humedad. Seguidamente se transportaron hasta el laboratorio de la E.D.A.R de Altea donde se pesó la muestra, utilizando una balanza analítica, antes y después del secado en la estufa durante 24 horas a 105°C de temperatura.

Otro parámetro al que se precisó llevar un seguimiento fue la temperatura. Contábamos con un termómetro análogo de punzón de 40cm de longitud con un rango de temperatura de 0 a 100°C. Al principio del montaje de las pilas se midió la temperatura cinco veces por semana para constatar que se alcanzaba la fase termófila y posteriormente se tomó tres veces por semana. Al igual que para coger la muestra de humedad, también se quiso sacar un valor representativo de la temperatura, por lo que el termómetro se introdujo en seis puntos diferentes a lo largo de cada pila y se calculó la media.

Para proporcionar aireación a las pilas, se optó por el volteo de las mismas con un tractor con pala en la parte delantera más pequeño que el que se utilizó en el montaje. A lo largo del experimento solo se pudo voltear una vez.

Con tal de poder llevar a cabo el proyecto y que el ayuntamiento continúe con la labor de gestionar las podas del municipio, fue necesario realizar una valoración económica de los costes. Para estimar las toneladas de compost final obtenidas y calcular el precio por tonelada, se volvió a medir el volumen de las pilas que compostaron de forma correcta, la 1 y la 2, siguiendo el mismo método que al comienzo del montaje, seguidamente cogiendo una muestra de un kilogramo de cada una de las pilas se halló la densidad y con ella se calcularon las toneladas totales de material sin cribar. Esas mismas muestras se pasaron por el tamiz para saber el porcentaje en peso de compost que atraviesa la malla y que por lo tanto es adecuado para su uso como enmienda orgánica del suelo. Por último se aplicó ese porcentaje a las toneladas totales calculadas anteriormente para sacar la masa total de compost que se ha obtenido en el experimento.

Por otra parte, la empresa Pública de Desarrollo S.A. facilitó los costes anuales correspondientes a los años anteriores en los que la gestión corría a cargo de la empresa privada Excavaciones Bolo y Baldomero S.L. hasta el 2007. Posteriormente se le adjudicó a un particular propietario de maquinaria apta para el triturado de los restos de poda. Este particular es el mismo que se contrató para realizar el montaje del experimento, el triturado y el volteo. Por tanto, basándose en sus tarifas se realizó la valoración económica.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1 Evolución de la temperatura y humedad.

El montaje y proceso de compostaje ha tenido lugar al aire libre, por lo que es necesario disponer de los datos meteorológicos correspondientes al periodo de tiempo durante el cual se midió la temperatura y se recogieron muestras para hallar la humedad, con el fin de poder justificar los cambios que experimentan las pilas. En la cooperativa agrícola de Altea hay instalada desde el año 1999 una estación meteorológica a partir de la cual se han obtenido los datos de temperatura y precipitación que aparecen en la figura 4.1.

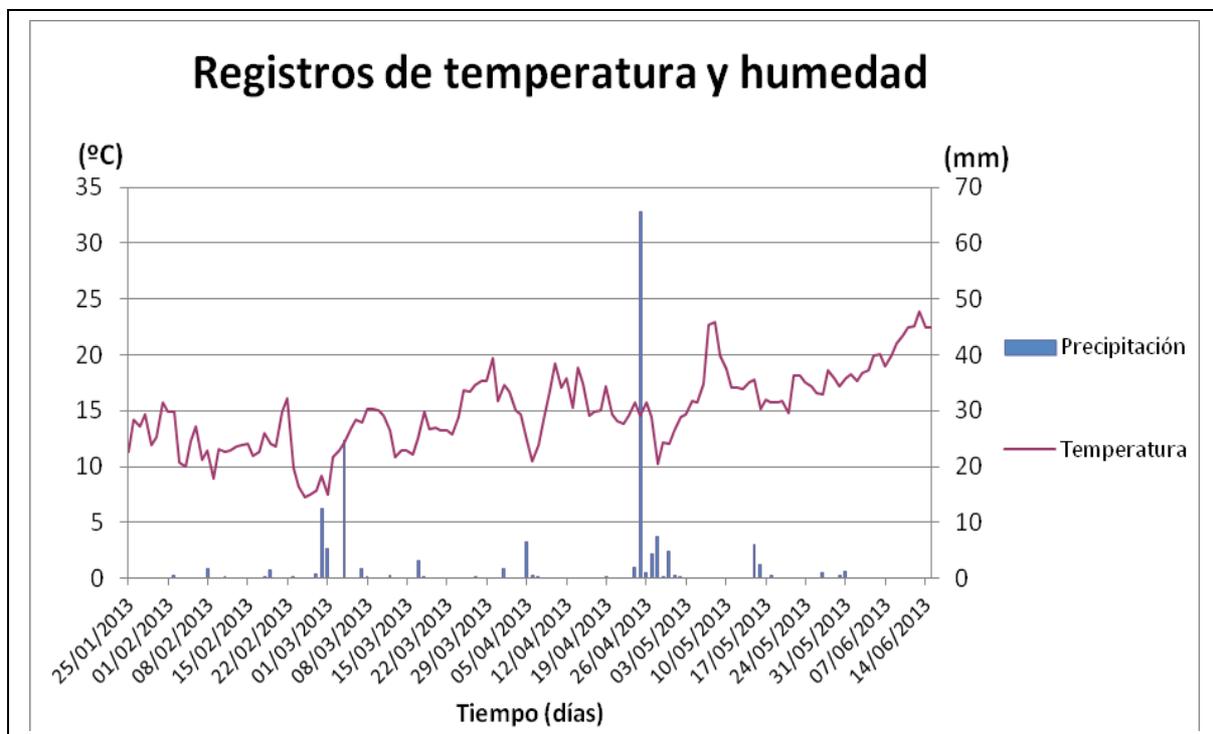


Figura 4.1. Registro de temperatura y humedad en la localidad del Altea. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Avamet.

Tras haber llevado a cabo el seguimiento de la humedad durante varios meses se puede observar en la figura 4.2 la evolución de ésta en cada una de las pilas. Los datos correspondientes a la fecha del 26 de febrero de 2013 han sido eliminados del gráfico puesto que hubo un error al anotar los datos dando así resultados negativos.

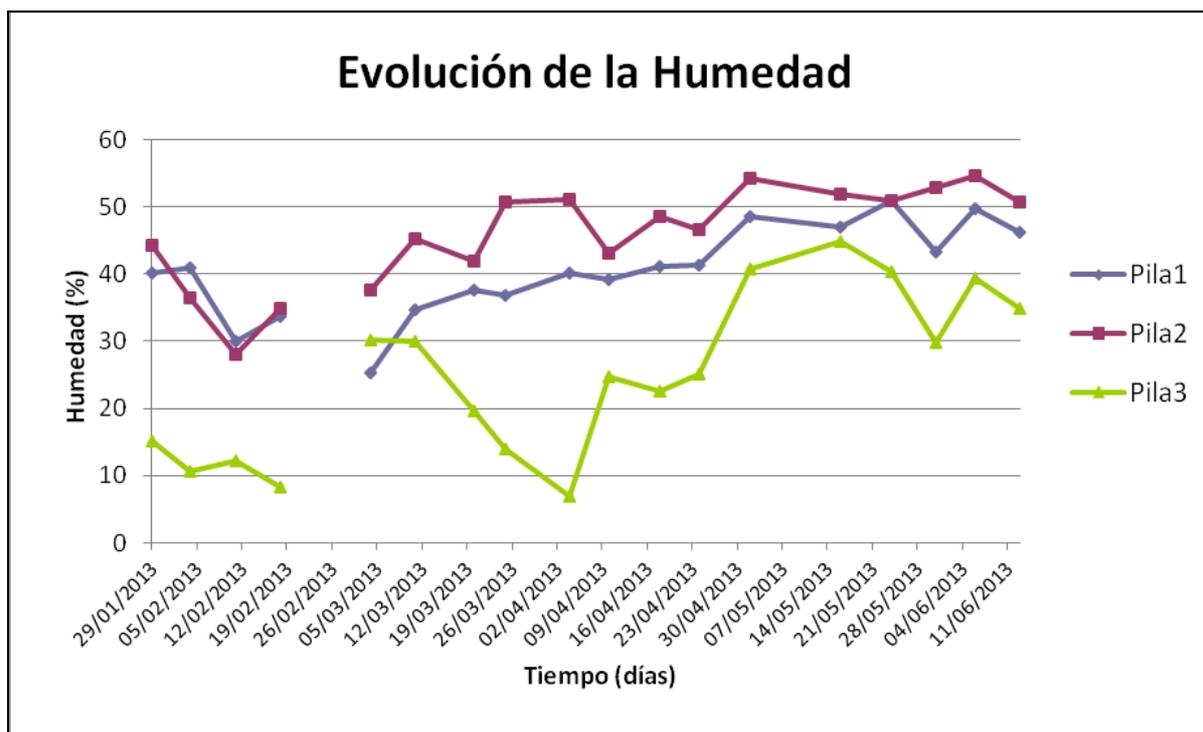


Figura 4.2. Evolución del porcentaje de humedad en las tres pilas de compostaje.

A primera vista se ve que hay dos líneas paralelas entre sí que han llevado la misma trayectoria a lo largo de todo el ensayo, éstas se corresponden con la Pila 1 y la Pila 2. Al inicio del experimento la humedad se situaba entorno al 40-45% y fue disminuyendo durante el mes siguiente, lo que demuestra que los litros que vertía el sistema de riego no eran suficientes. Tras doblar el número de aspersores y gracias a las lluvias que se registraron entre el 4 y el 11 de marzo, con un total de 26,4 mm, la humedad se elevó manteniendo unos valores más constantes. La Pila 3 por el contrario, presenta un bajo contenido en agua. La principal diferencia entre esta última pila y las otras dos es el grado de triturado, siendo la Pila 3 la que está formada por los restos vegetales de mayor tamaño lo que deja que el viento la atraviese con mayor facilidad y la seque. Al igual que sucede en las Pilas 1 y 2, a raíz de las primeras lluvias de marzo también aumenta su porcentaje de humedad aunque rápidamente vuelve a descender. Al ver que la humedad se situaba siempre por debajo del 30% se decidió volver a triturar esa pila el día 4 abril, tal y como aparece en la figura 4.3, con el fin de lograr que aumentara la capacidad de retención de agua al disminuir el tamaño de los huecos entre el material vegetal e impedir de ese modo el paso de tanto aire. En el gráfico se aprecia que sube al 24% tras una semana, favorecida también por la lluvia que tuvo lugar el día 5 de ese mismo mes. A partir de esa semana se mantiene constante la humedad en las tres pilas hasta que tiene lugar un pico de subida que se corresponde con los 65,7mm que cayeron en un solo día, el 25 de abril, y las lluvias que le

siguieron hasta el 2 de mayo. Con la prevista subida de temperaturas que se experimenta a partir del mes de mayo, se aumentó en una hora al día el tiempo de riego de las pilas, obteniendo un buen resultado en todas ellas, aunque la tercera siga teniendo los valores más bajos. Es peligroso que la humedad descienda por debajo del 30% (Moreno y Moral, 2008) porque la actividad biológica decrece mucho y se ralentiza el proceso.



*Figura 4.3. Triturado de la Pila 3 con la trituradora de martillos acoplada al tractor New Holland.*

Del mismo modo que en la gráfica de la evolución de la humedad, en la figura 4.4, correspondiente a la evolución de la temperatura, vemos que tanto la Pila 1 como la 2 han llevado trayectorias muy similares, mientras que la Pila 3 no ha conseguido llegar a temperaturas tan altas.

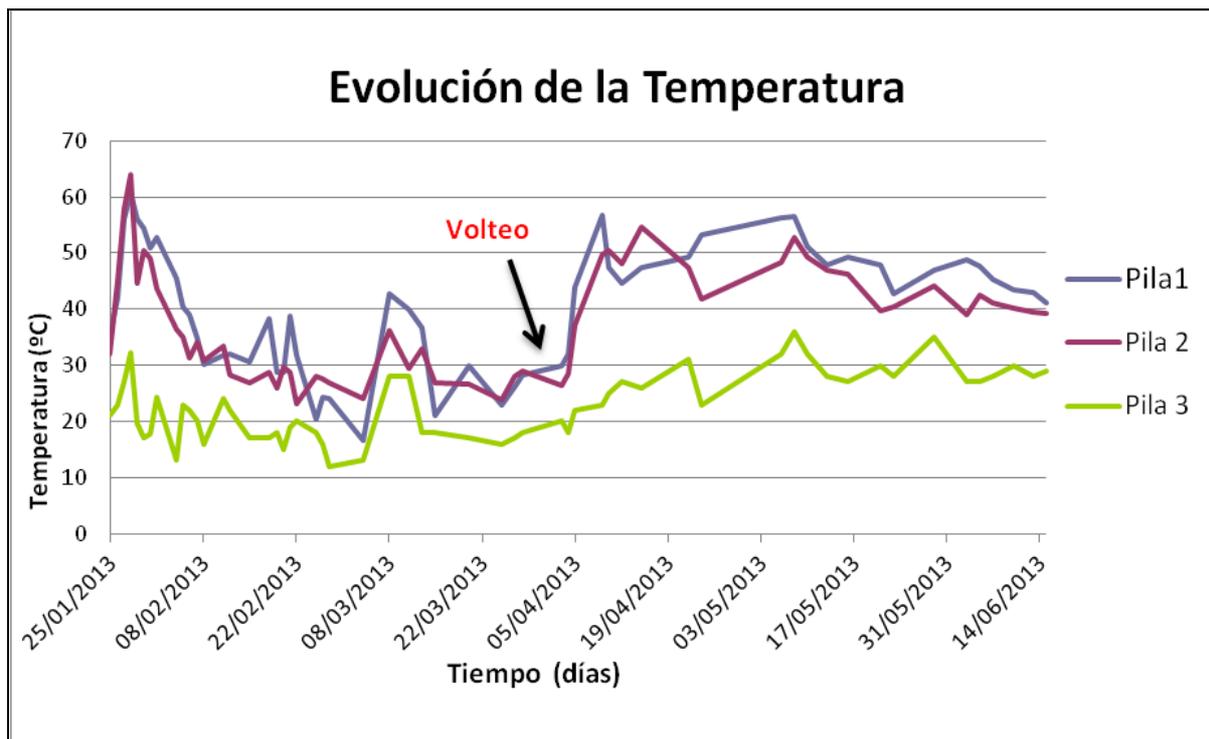


Figura 4.4. Evolución de la temperatura en las tres pilas de compostaje.

Las dos primeras pasan de la fase mesófila inicial a la termófila en cuestión de tres días, alcanzando temperaturas medias superiores a los 60°C, necesarias para que se produzca el proceso de higienización en el que la mayoría de las semillas y los patógenos mueren al estar sometidos durante horas, días o semanas a temperaturas elevadas. Si se comparan estas temperaturas con la Figura 1.2 se corrobora que las pilas están en la zona de seguridad porque han estado más de un día por encima de los 50°C de temperatura. El volteo en esta fase es esencial para prolongarla y garantizar una buena oxigenación, pero en este experimento no se pudieron voltear las pilas en ese periodo de tiempo. Si también tenemos en cuenta que en esas mismas fechas la humedad llegó a descender al 30% se puede deducir que el hecho de que la fase termófila durara solo una semana se debe al efecto sinérgico de esos dos factores. Seguidamente se da paso a la fase de enfriamiento en la que comienzan a bajar las temperaturas debido a una disminución de la actividad microbiana, que se prolonga durante un mes. Se observa una subida brusca del 4 al 8 de marzo ligada al primer episodio de precipitación que tuvo lugar tras el montaje de las pilas, correspondiente al día 4 de marzo, lo que también hizo que aumentara el porcentaje de humedad, tal y como se ve en su gráfica, facilitando de ese modo una mayor actividad por parte de los microorganismos. Tras ese periodo vuelve a bajar la temperatura hasta llegar al día 4 de abril en el que se voltean las pilas y como consecuencia del aumento de la concentración de oxígeno y por lo tanto de la actividad microbiana vuelven a elevarse las

temperaturas para situarse entre los 40-60°C inicialmente, para ir descendiendo muy poco a poco hasta los 39 y 41°C correspondientes a la última fecha analizada. A diferencia del comienzo del experimento en este último periodo las temperaturas aguantan más días en valores altos, pudiendo ser a consecuencia de que la humedad se encuentre en el óptimo (40-60%) en ambas pilas y por ello la fase se alarga más en el tiempo.

La discusión anterior está referida a la Pila 1 y a la Pila 2, sin embargo no se puede aplicar a la Pila 3 debido a que su trayectoria es diferente. Como se observa en la gráfica el rango de temperaturas alcanzado oscila entre los 10 y 30°C, habiendo pequeños periodos en los que supera dicho umbral. Al igual que las otras dos pilas también responde con un aumento de la temperatura ante periodos de precipitación y sobre todo tras el triturado y volteo del 4 de abril. A partir de ese momento la media de las temperaturas se eleva, aunque no quiere decir que la pila se haya activado correctamente puesto que no experimenta una subida brusca hacia la fase termófila. Los motivos por los que esta última pila no ha evolucionado de forma correcta son varios. En primer lugar el grado de triturado de los restos de poda no era el adecuado para el proceso de compostaje, siendo muy superior al rango recomendado entre 1-5cm, disminuyendo así la superficie de contacto lo que hace que se ralentice la rapidez del ataque por parte de los microorganismos y la velocidad del proceso. En segundo lugar, no se consiguió mezclar de forma homogénea los lodos de depuradora debido a que es un material muy compacto y con la maquinaria de la que se disponía era imposible separarlo adecuadamente para distribuirlo por igual a lo largo de toda la pila. Por último, también falló el sistema riego porque la Pila 3 era la que más lejos se encontraba de la caseta de bombeo y al tener que elevarse el agua un metro y medio para regar desde lo más alto de la pila, perdía presión y no salía todo el caudal esperado.

#### **4.2 Calidad del compost final.**

El concepto de madurez del compost está formado por el término de estabilidad biológica, entendido como el grado de descomposición de la materia orgánica determinado por medidas respirométricas o por la liberación de calor (Iannotti y col., 1993), y el término de humificación por el que la materia orgánica ha evolucionado durante un periodo de tiempo hacia formas más resistentes a la biodegradación. La evaluación de la madurez del compost ha sido reconocida como el problema más importante concerniente a su utilización agronómica, ya que la aplicación a los suelos de cultivo de un compost inmaduro es una de las causas más frecuentes de los fracasos observados en ocasiones en el rendimiento de

los cultivos. Actualmente existe una corriente muy extendida entre la comunidad científica que defiende el grado de madurez como sinónimo únicamente de ausencia de fitotoxicidad en el producto final producida por compuestos que se forman durante la fase activa del compostaje, aunque esta aproximación tiene sus limitaciones puesto que la fitotoxicidad puede ser causada por otros factores como la presencia de metales pesados o sales solubles. Queda patente que existe una dificultad a la hora de establecer los criterios de madurez y de calidad del compost. En general, los requerimientos de calidad del compost deberían ir dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables; higienización correcta; impurezas y contaminantes a nivel de trazas; nivel conocidos de componentes agrónomicamente útiles; y, características homogéneas y uniformes. En el caso de que el producto vaya a ser utilizado directamente como sustrato para semillero o venta como sustrato, los parámetros a tener en cuenta serán más exigentes que si el compost va a ser aplicado al suelo como enmienda orgánica o mulch donde la calidad exigida será menor (Moreno y Moral, 2008).

Para establecer la calidad del producto final del experimento nos hemos basado en algunas de sus propiedades físicas; éstas son:

**Humedad:** La norma UNE-EN 13040:2008 para mejoradores de suelo y sustratos de cultivo contempla que la humedad final debe oscilar entre el 35-45%. La última muestra tomada el 13 de junio da como resultado un 46% en la Pila 1, un 43% en la Pila 2 y 34% en la Pila 3. Las dos primeras tienen un buen nivel de humedad, mientras que la tercera se queda un poco corta y existe el riesgo de que un compost con una humedad menor al 35% pueda no haber quedado totalmente estabilizado debido a la falta de humedad, a parte de no ser de manejo agradable.

**Granulometría:** El compost se va a emplear como enmienda orgánica del suelo por lo que el tamaño de las partículas y la porosidad afectan al balance del contenido en agua y aire del sustrato, por ello se prefieren sustratos con una textura de media a gruesa, equivalente a una distribución de partículas entre 0,25 y 2,5 mm (Abad y col., 2004). En las tres pilas aparecen partículas de ese tamaño y mayores, por lo que sería necesario cribar el material por una malla de como máximo 3mm de apertura antes de repartir el compost.

Olor: A pesar de ser una medida subjetiva, la presencia de olores desagradables puede indicar que el producto se encuentra en fases iniciales del proceso (descomposición de ácidos orgánicos) o que éste ha sufrido condiciones anaerobias (producción de amoníaco y ácido sulfhídrico). El compost de la Pila 1 y 2 desprende un olor a tierra mojada, siendo el olor característico de un compost maduro (Henry y Harrison, 1996). Sin embargo, la Pila 3 no tiene un olor muy definido y en ciertos tramos aun se detecta el olor a lodos de depuradora, aunque no tan acusado como al principio.

Color: La descomposición de los materiales frescos hace que el color de éstos se oscurezca, llegando el producto final a un color marrón oscuro, casi negro. El color final depende principalmente del material inicial, así compost procedente de residuos verdes tienen frecuentemente un color negro oscuro (Moreno y Moral, 2008). En este caso, tal y como se aprecia en las figuras 4.5 y 4.6 el color del compost de las dos primeras pilas sí que está entre marrón intenso y negro, mientras que el correspondiente con la Pila 3 en la figura 4.7 presenta un color marrón claro.



*Figura 4.5. Aspecto visual del compost final de la Pila 1 a los 20 cm de profundidad.*



*Figura 4.6. Aspecto visual del compost final de la Pila 2 a los 20cm de profundidad.*



*Figura 4.7. Aspecto visual del compost final de la Pila 3 a los 20cm de profundidad.*

Temperatura: La evolución de la temperatura durante el compostaje es un reflejo de la actividad metabólica de los microorganismos implicados en el proceso. Por tanto, este parámetro es un buen indicador del final de la fase bio-oxidativa en la cual el compost ha adquirido cierta madurez, ya que la curva de temperatura se estabiliza definitivamente, no variando con el volteo del material. Como se ha explicado con anterioridad, en este experimento las pilas solo se voltearon una vez por lo que no podemos comprobar si la temperatura se ha estabilizado definitivamente. Lo que se puede concluir es que tanto la Pila 1 como la Pila 2 han pasado por todas las fases, sobre todo por la termófila que es la más importante desde el punto de vista del control de la fitotoxicidad. Observando las últimas temperaturas se ve que la tendencia es a ir disminuyendo lentamente, seguramente hasta situarse a temperatura ambiente y de ese modo alcanzar la madurez definitiva. Por el contrario la Pila 3 no ha alcanzado suficiente temperatura para que el material final esté higienizado y no se aprecia una disminución de la temperatura en los últimos datos tomados.

### **4.3. Análisis económico del experimento.**

En la tabla 4.1 se ha recopilado el coste anual que le suponía al ayuntamiento la gestión de los restos de poda desde 2002 hasta 2012. En la siguiente tabla, 4.2, aparece el coste asociado a realizar este experimento en un periodo de seis meses. En ella se ha calculado

el coste de las distintas materias primas utilizadas para el montaje de las tres pilas, la maquinaria utilizada y la totalidad de horas invertidas con cada una, dando como resultado un valor final de 2.331,17€. Los costes de la tabla 4.1 son anuales, mientras que el coste final de la tabla 4.2 está referido al primer semestre del año. Para poder comparar ambas tablas es necesario hacer una aproximación del coste que supondría la gestión de los restos de poda durante el segundo semestre del año, el cual seguramente será algo mayor que el anterior debido a que no se utilizarán los lodos de depuradora al no haber dado buenos resultados y serán sustituidos por el estiércol de vacuno que hará que se encarezca el precio.

<b>Año</b>	<b>Gestión llevada a cabo por:</b>	<b>Coste</b>
2002	Bolo y Baldmero, S.L.	3.410,42 €
2003	Bolo y Baldmero, S.L.	2.754,41 €
2004	Bolo y Baldmero, S.L.	3.866,70 €
2005	Bolo y Baldmero, S.L.	4.701,14 €
2006	Bolo y Baldmero, S.L.	6.161,76 €
2007	Bolo y Baldmero, S.L.	7.530,56 €
2008	Juan Borja	1.360,00 €
2009	Juan Borja	2.525,00 €
2010	Juan Borja	3.260,00 €
2011	Juan Borja	2.945,00 €
2012	Juan Borja	3.230,70 €

Tabla 4.1. Recopilación de costes de la gestión de los restos de poda durante el periodo 2002-2012.

<b>Materia prima</b>	<b>€/Viaje</b>	<b>Viajes totales</b>	<b>Coste</b>
Restos de poda	0,00 €/viaje	-	0,00 €
Alperujo	50,00 €/ viaje	4	200,00 €
Lodos de depuradora	50,00 €/viaje	1	50,00 €
Estiércol de vacuno	145,20 €/viaje	7	1.016,40 €
Agua	<b>€/m<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>3</sup> totales</b>	14,77 €
	0,06	82,08	
<b>Total</b>			<b>1.281,17 €</b>

<b>Maquinaria</b>	<b>€/hora</b>	<b>Horas totales</b>	
Tractor New Holland	100 €/h	9	900,00 €
Mini Excavadora	30 €/h	5	150,00 €
<b>Total</b>			1.050,00 €
<b>Final total</b>			2.331,17 €

Tabla 4.2. Valoración económica del experimento.

En la tabla 4.2 se aprecia que el material que más encarece la factura es el estiércol de vacuno traído desde Calpe. Sería conveniente buscar otro proveedor que vendiera el estiércol más barato o utilizar otra materia prima con una relación C/N similar para sustituirlo.

Económicamente hablando, las ventajas que tiene utilizar este tipo de maquinaria son que tan solo se necesita a un operario para manejarla y que las horas empleadas para triturar los restos de poda son relativamente pocas. El inconveniente es que hay que hacer varias pasadas para obtener un material con el tamaño adecuado para compostar y aún así al formar la pila no queda de forma homogénea. Además al finalizar el proceso de compostaje sigue habiendo trozos demasiado grandes por lo que es necesario conseguir un tamiz de obra para utilizar como enmienda orgánica solo aquella fracción que pase por la malla y el resto se tendrá que volver a amontonar para compostar de nuevo. En el caso de que el tamaño del material rechazado fuera superior a 10cm se tendría que hacer otra pasada con el tractor para triturarlo de nuevo. Por lo tanto, a priori parece un método rápido y económico pero en realidad se necesita contratar la maquinaria varias veces, comprar un tamiz de grandes dimensiones y contratar una mini excavadora para ayudar a coger y cribar el material o a dos operarios para que lo hagan de manera manual.

Existe otra alternativa que consiste en utilizar una trituradora manual de tolva grande con cuchillas, como la que aparece en la figura 4.8 accionada por el motor de un tractor, más pequeño que el anterior, de la marca Same. El precio de esta máquina es de 40€/hora. La ventaja es que todos los restos de poda se trituran por igual y tienen un tamaño perfecto para que se composten en menor tiempo. Los inconvenientes son que se necesita a una o dos personas más, dependiendo de la cantidad de material, para que introduzcan de manera manual las ramas por la tolva, además el tiempo empleado es mayor que utilizando

el tractor New Holland y los restos de poda procedentes de las palmeras se enganchan en las cuchillas porque son muy fibrosos.



Figura 4.8. Trituradora manual de tolva grande con cuchillas.

Una vez calculado el coste de las materias primas y la maquinaria utilizada hay que hacer una estimación de la cantidad de compost obtenido y el precio por tonelada del mismo, tal y como aparece en la tabla 4.3.

Pila 1		Pila 2	
Volumen (m <sup>3</sup> )	60,08	Volumen (m <sup>3</sup> )	59,34
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	0,76	Densidad (t/m <sup>3</sup> )	0,68
Masa sin refinar (t)	45,67	Masa sin refinar (t)	40,35
Porcentaje que atraviesa la malla de 3mm	55,00%	Porcentaje que atraviesa la malla de 3mm	42,00%
Masa compost final (t)	25,11	Masa compost final (t)	16,95
<b>Coste por Tonelada</b>			
Masa compost total (t)		42,06	
Precio total (€)		2.331,17	
€/t de compost		<b>55,42 €/t</b>	

Tabla 4.3. Valoración económica del coste por tonelada de compost.

Para realizar este cálculo se han utilizado solo las toneladas de Pila 1 y la 2 porque son las únicas que han compostado correctamente. Sin embargo el precio total sobre el que se ha calculado el coste por tonelada de compost es el referente al coste total del experimento en el que sí que se tiene en cuenta la Pila 3. Esto se debe a que no se dispone del precio por tonelada de la materia prima, sino por viaje por lo que no se puede saber cuanto cuesta únicamente la cantidad de materiales empleados en las dos primeras pilas. Lo mismo ocurre con el coste por horas de la maquinaria, ya que se dispone de las horas totales que se ha utilizado a lo largo de los seis meses que ha durado el experimento, pero no se puede distinguir cuantas horas se ha invertido en cada pila.

En la tabla se puede observar que el volumen que ocupa la pila 1 es de 60,08 frente a los 85 m<sup>3</sup> que media inicialmente y que la pila 2 ahora se sitúa en 59,34 frente a los 70m<sup>3</sup> iniciales. Así mismo, un 55% de la masa sin cribar de la pila 1 atraviesa el cedazo, mientras que para la pila 2 el porcentaje es algo más bajo, un 42%. Las causas por las que la pila 2 no ha disminuido tanto su volumen, ni el porcentaje que pasa por la malla es tan alto como el de la pila 1, seguramente es debido a que la segunda pila contaba con una pasada menos de tractor, lo que dificulta la velocidad de descomposición del material al tener un mayor tamaño.

Al dividir el coste final total de la tabla 4.1 entre las toneladas de compost final, el precio por tonelada es de 55,42€.

El precio del compost a granel en el mercado de empresas como COGERSA, perteneciente al gobierno del principado de Asturias, que lleva más de 20 años años gestionando los residuos vegetales y estiércoles de Asturias y elaborando compost con ellos se sitúa en 25€/tonelada más el 10% de IVA. Es la mitad de lo que cuesta la tonelada en este experimento, aunque hay que recordar que el coste es más elevado porque no se ha podido calcular solo en base a las dos pilas compostadas y además es un proyecto llevado a cabo por primera vez y se ha de optimizar en un futuro.

El precio de otro tipo de compost que también se utiliza en los campos de cultivo como es el proveniente de lodos de depuradora está a 33,76€/tonelada si se vende a granel y a 2,09€ por un saco de 20kg según aparece en la web de la mancomunidad de la comarca de Pamplona. Esto demuestra que actualmente el coste el compost en el mercado es más barato, por lo que si en un futuro se decidiera vender este compost sería necesario bajar su precio final para que sea competitivo.

#### 4.4 Discusión general.

A raíz de los resultados obtenidos, se puede afirmar que las pilas que dieron el resultado esperado, fueron la pila 1 y la pila 2. Estaban formadas por los mismos materiales: restos de poda vegetal, alperujo y estiércol de vacuno. Su única diferencia era el grado de triturado, siendo la pila 1 la que contaba con un triturado mayor que la 2. Aún así esta diferencia no supuso un problema para que se desarrollara con éxito el proceso de compostaje. Al comparar una con la otra, se observa que a lo largo de los meses la pila 2 mantiene unos valores de humedad en el rango del óptimo (40-60%) siempre más elevados que la pila 1 y la temperatura mantiene la misma evolución en ambas, por lo que se puede concluir que con un grado de triturado correspondiente a dos pasadas de tractor se dan iguales o mejores resultados que con tres pasadas de éste, así que pensando en abaratar costes no sería necesario contratar más que dos veces la maquinaria para el triturado.

Sin embargo, también hay que tener en cuenta las toneladas finales de compost y en este caso es la pila 1 la que acaba dando un rendimiento mayor, puesto que un 55% de las toneladas totales pasan a través de la malla, mientras que solo un 42% pasan de la pila 2. Es importante obtener cuanta más cantidad de compost mejor, primero porque es el objetivo principal del ensayo y segundo del porque el espacio que se ha destinado para la gestión de los restos de poda no es demasiado grande por lo que no se puede acopiar mucho material.

La tercera pila se diferenciaba de las otras dos por tener un menor grado de triturado y utilizar lodos de depuradora en lugar de estiércol de vacuno. Como demuestran los datos analizados, esta pila no ha llegado a compostarse de manera correcta porque ni la temperatura ni la humedad eran las adecuadas. Está claro que el tamaño de la partícula juega un papel muy importante en el proceso de compostaje y dado que esta pila estaba formada por partículas muy grandes no se consiguió que se activara el proceso. El otro factor a tener en cuenta es el haber utilizado los lodos de depuradora como activador biológico. La aplicación de este material en los suelos agrícolas se presenta como la alternativa más conveniente para su disposición, ya que se aprovechan los recursos fertilizantes presentes en los mismos (Polo y col., 1997). Aunque también presentan algunos aspectos negativos como la presencia de sustancias tóxicas y de microorganismos patógenos. En el estudio de Soliva y López (2004) se clasifica en una tabla con una escala dividida en: bien (b), regular (r) e inadecuado (i), los diferentes parámetros químicos y físicos de un compost formado por restos vegetales y lodos, dando como resultado un pH:

b-r, una conductividad eléctrica: b, contenido en materia orgánica: b, estabilidad: b, contenido en nutrientes: b-r, contaminación: r-i, índice de germinación: b y un aspecto y olor: r-i. También afirma que tiene aplicaciones agrícolas, en parques y jardines, restauración de paisaje, recuperación de espacios degradados, preparación de sustratos y césped deportivo.

Miralles de Imperial y col. (2002) llevan a cabo un experimento acerca de la emergencia de seis cultivos tratados con lodo fresco y compostado, obteniendo que los valores más altos de las variables de número de plántulas emergentes, longitud de tallo y longitud de raíz se consiguen con lodo compostado. Así mismo la utilización de lodos de depuradora compostados como enmiendas en suelos cultivados con olivo resulta beneficiosa porque incrementa el contenido de materia orgánica después del segundo año y también mejora las propiedades químicas del mismo (Beltrán y col., 2005). En todos estos estudios no se dan problemas en el proceso de compostaje de los lodos, sin embargo el principal problema que tratan es el contenido de metales pesados y su peligrosidad a la hora de aplicar el compost en el suelo. En este experimento, tal y como figura en la tabla 3.1 la concentración de metales pesados está por debajo del límite exigido en la legislación. Por lo tanto, el hecho de que la pila 3 no funcionara correctamente no se debe al uso de lodos, los problemas fueron que el grado de triturado no era el óptimo, los litros de agua recibidos tampoco fueron suficientes y la maquinaria utilizada para realizar la mezcla de los lodos con la materia vegetal no fue la adecuada porque no pudo hacer una mezcla homogénea.

El precio que se ha obtenido por tonelada de compost es de 55,42€. Para que la gestión de los restos de poda en el municipio no suponga pérdidas y salga rentable se podría vender el saco de compost por un precio proporcional al coste total de la gestión para de ese modo sufragar los gastos, por ejemplo a 1,11€ un saco de 20kg, siendo 0,055€ el precio por kilogramo. También se podría cobrar a un precio un poco mayor para tener una reserva de crédito con la que poder llevar a cabo actuaciones de mejora de las instalaciones.

#### 4.5 Protocolo de gestión de los restos de poda de las zonas ajardinadas.

##### -Alternativa 1.

##### 1. Acopio de restos de poda.

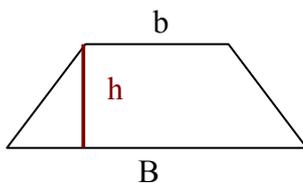
Los camiones de la empresa Pública de Desarrollo S.A. que transportan los restos de poda de las zonas ajardinadas municipales depositarán el material en la zona habilitada para su acopio en varias líneas separadas tres metros entre sí y de forma paralela a las pilas existentes para facilitar el trabajo al tractor cuando tenga que proceder a su triturado.

##### 2. Triturado de los restos de poda.

El triturado se realizará cuando se disponga de la cantidad suficiente como para montar una pila de entre 30-40 metros de longitud y se utilizará el tractor New Holland para triturar y amontonar la materia vegetal. Se tendrán que realizar como mínimo 3 pasadas para que el material tenga un tamaño adecuado para que se active con éxito el proceso de compostaje.

##### 3. Estimación de los metros cúbicos de materia vegetal.

Al no disponer de báscula para el pesado de camiones, la forma más sencilla de averiguar el volumen de poda es hacer una aproximación a la geometría de un trapecio. Es decir, seguir la fórmula del área de un trapecio:



$$\text{Área} = \left[ \frac{(B + b)}{2} \right] \times h$$

Y multiplicar el resultado por la longitud para obtener el volumen, tal y como se ha hecho en el experimento.

Posteriormente se ha de calcular la densidad y con ella las toneladas.

#### 4. Estimación de las toneladas del resto de materiales que se van a mezclar para compostar.

Utilizando la ecuación:

$$C/N = \frac{X_p \cdot C_p + X_a \cdot C_a + X_y \cdot C_y}{X_p \cdot N_p + X_a \cdot N_a + X_y \cdot N_y}$$

-X<sub>p</sub>: Masa húmeda Poda    -X<sub>a</sub>: Masa húmeda Alperujo    -X<sub>y</sub>: Masa húmeda Estiércol o Lodos  
-C<sub>p</sub>: Carbono Poda        -C<sub>a</sub>: Carbono Alperujo        -C<sub>y</sub>: Carbono Estiércol o Lodos  
-N<sub>p</sub>: Nitrógeno Poda        -N<sub>a</sub>: Nitrógeno Alperujo        -N<sub>y</sub>: Nitrógeno Estiércol o Lodos

se obtendrán las toneladas del resto de materias primas que son necesarias añadir para obtener una relación C/N adecuada. Como activadores biológicos se utilizará estiércol de vacuno y alperujo.

#### 5. Montaje y tamaño de la pila.

Seguidamente, utilizando la mini excavadora se procederá al mezclado de materiales y montaje final de la pila, cuyas dimensiones han de ser:

Base mayor: 3 - 4 metros.

Base menor: 1,5 -2,5 metros.

Altura: 1,5 – 2 metros.

Longitud: 30 – 40 metros.

#### 6.Riego de las pilas.

En cuanto al riego de las pilas, se colocarán 20 aspersores los cuales se programarán para regar un total de 12 horas semanales. También es necesario instalar una manguera a modo de apoyo para los meses de verano.

#### 7. Control de la evolución de la humedad.

Se tomará una muestra representativa de la pila una vez por semana para llevar a cabo el seguimiento del porcentaje de humedad, que ha de estar entre el 40-60%.

#### 8. Control de la evolución de la temperatura.

También se hará un seguimiento de la temperatura midiéndola dos veces por semana en seis puntos diferentes de la pila.

### **9. Oxigenación de la pila.**

Se volteará la pila a las 2 semanas de su montaje para alargar la fase termófila. Posteriormente se realizará un volteo una vez al mes.

### **10. Periodo de maduración del compost.**

Cuando la temperatura ya no varíe en función de los volteos y vaya en descenso, querrá decir que el compost está entrando en la etapa de maduración por lo que se dejará acopiado un mes más hasta que se iguale con la temperatura ambiente.

### **11. Refinamiento del compost final.**

Para finalizar, se realizará el cribado del compost utilizando una mini excavadora para transportar y volcar el material a través de un tamiz de obra al que habrá que colocar una malla con una apertura 3mm de diámetro.

### **12. Ensacado del compost refinado.**

El material que pase a través de la malla se meterá en sacos de 20 kilogramos y se repartirán a los usuarios de los huertos urbanos.

### **-Alternativa 2.**

Se va a considerar una variante del proceso descrito anteriormente que consiste en triturar los restos de poda con una trituradora manual de tolva grande con cuchillas, con el fin de que el material vegetal inicial tenga un tamaño más pequeño y homogéneo, y en el cribado final el porcentaje que pase por la malla sea mucho mayor. El protocolo quedará de la siguiente manera:

#### **1. Acopio de los restos de poda.**

El material se depositará en la zona habilitada para su acopio y se tendrá que hacer un montón exclusivo de restos de poda procedentes de palmera y otro con el resto de podas vegetales.

## **2. Triturado de los restos de poda.**

Para el montón formado por diferentes restos de materia vegetal se utilizará la trituradora manual de cuchillas una vez por semana.

La poda procedente de las palmeras se triturará con la picadora de martillos accionada al tractor New Holland, con una periodicidad ligada a la cantidad que se acumule.

## **3. Estimación de los metros cúbicos de materia vegetal.**

Cuando se disponga de suficiente material triturado, se juntarán los dos montones en una sola pila de entre 30 y 40 metros de longitud y de forma trapezoidal para hallar el volumen, su densidad y por último las toneladas.

El resto de puntos del protocolo se realizarán de la misma manera que lo descrito en la alternativa 1.

Estos protocolos están pensados y diseñados para que el proceso de compostaje no se alargue más de seis meses y así poder gestionar la totalidad del material vegetal.

## **5. CONCLUSIÓN.**

Tras el experimento llevado a cabo y siguiendo los protocolos especificados anteriormente, se corrobora que se pueden gestionar de una manera adecuada los restos de poda de las zonas ajardinadas municipales. Es cierto que requiere de una mayor inversión de capital que en años anteriores, pero es lógico puesto que se necesita comprar materias primas para activar el proceso de compostaje y un uso más frecuente y periódico de la maquinaria. La elección de uno u otro protocolo radica en el coste económico y en la calidad del producto final que se quiera obtener, lo cual tendrá que valorar el ayuntamiento según el presupuesto que destine a la gestión de los restos de poda. A parte de esto, para continuar en un futuro con el proyecto es necesario establecer mejoras tanto en las instalaciones como en el proceso de elaboración del compost y la determinación de su madurez y calidad.

### **5.1. Propuestas de mejora.**

En la zona dedicada al montaje de las pilas y proceso de compostaje es necesario colocar una tela impermeable en el suelo para evitar que los lixiviados se filtren y lleguen al barranco que pasa a escasos metros. También habría que asfaltar el terreno con cierto grado de inclinación para recoger esos lixiviados en una balsa a la que se le conectará una goma que los devuelva a las pilas con el fin de reutilizar el agua en los periodos en que la temperatura ambiente sea elevada o para regar las pilas los días en los que no hay agua en el recinto (de lunes a miércoles).

Para evitar pérdidas de agua por evaporación en verano o exceso de producción de lixiviados a causa de lluvias intensas, se deberá techar la zona donde están situadas las pilas dejando las paredes al descubierto para permitir que el aire circule con normalidad y no se produzcan condiciones de anaerobiosis en el interior. En el tejado se habrán de instalar canalones para recoger las aguas pluviales y conducir las hasta la misma balsa donde van a parar los lixiviados.

Si se escoge la alternativa 2 del protocolo será necesario diferenciar dos zonas en el área de acopio, una destinada a almacenar restos de poda de palmera y otra para el resto de materia vegetal.

Con tal de averiguar de una manera fiable el estado de madurez del compost se tendría que realizar el test de autocalentamiento ya que revela la presencia de material no estable biológicamente. Consiste en determinar el calor que genera una muestra de compost en un recipiente al vacío con una humedad apropiada durante un periodo de incubación de entre 2 y 9 días, a temperatura constante. La temperatura máxima del material que sube por encima de la temperatura ambiente se utiliza con fines de interpretación. Actualmente el test más utilizado es el test Dewar (TMECC 05,08-D), que puede consultarse también online en la página: <http://www.woodsend.org/pdf-files/dewar.pdf>. Este test además realiza una medición indirecta del índice respiratorio del compost y se correlaciona bastante bien con la tasa de liberación de CO<sub>2</sub> (Brinton y col., 1995).

También sería conveniente evaluar el estado de fitotoxicidad de compost final para determinar si influye negativamente en el crecimiento vegetal. Hay distintas maneras de llevarlos a cabo. Existe el test de germinación y elongación de raíces iniciado por Zucconi y col. (1981) y modificado por otros autores. También se puede hacer la siembra directa de semillas sobre sustrato constituido por compost en comparación con un sustrato de control. Por último, se pueden cultivar las plantas con una mezcla de compost con suelo, turba o sustratos comerciales para determinar el peso fresco y/o seco de las plantas (Moreno y Moral, 2008).

Un último aspecto a tener en cuenta es que si no se realiza un buen triturado y no se alcanzan temperaturas lo suficientemente elevadas como para inhibir la germinación de las semillas procedentes de los restos de poda de jardinería, el compost final puede ser un foco de dispersión de especies de jardinería. Por lo tanto es necesario hacer un seguimiento muy riguroso de esos parámetros.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

Abad, M., Noguera, P. y Carrión, C. (2004). *Los sustratos en los cultivo sin suelo. En: Tratado de cultivo sin suelo*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Albiach, M. y Canet, R. (2007). *Aplicaciones del compost en Agricultura Ecológica*. Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Valencia.

Associació valenciana d'aficionats a la meteorologia, Avamet. *Resum meteorològic mensual(2013)*.[http://www.avamet.es/mxarxa\\_resum\\_mes.php?id=c31m018e01&data=2013/01/01](http://www.avamet.es/mxarxa_resum_mes.php?id=c31m018e01&data=2013/01/01) (19 de junio de 2013).

Beltrán, E., Miralles de Imperial, R., Porcel, M.A., Martín, J., Beringola, M.L., Calvo, R. y Delgado, M. (2005). *Influencia de la fertilización con lodos de depuradora compostados en las propiedades químicas del suelo de dos olivares*. Revista Internacional de Contaminación Atmosférica, 21 (3).

Brinton W.F., Evans, E., Droffner, M.L. Y Brinton, R.B. (1995). *Standardized test for evaluation of compost self-heating*. Biocycle, 36, pp. 64-69.

Canet, R. (2007) *Aplicación agrícola de materia orgánica. Importancia y aspectos generales*. Centro para el desarrollo de la agricultura sostenible. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias-IVIA, pp.1-12.

Canet, R., Pomares, F. y Cabot, B (2003). *Aprovechamiento agrícola de los residuos de almazara mediante compostaje*. Valencia: Fundación ruralcaja Valencia.

Chiesura, A. (2004). *The role of the urban parks for the sustainable city*. Landscape and urban planning, 68, pp. 129-138.

Cogersa. *Compost Cogersa* (2013). [www.cogersa.es/metaspaces/portal/14498/19176](http://www.cogersa.es/metaspaces/portal/14498/19176) (21 de agosto de 2013).

Comunidad Valenciana. Decreto 317/1997, de 24 de diciembre, por el que se aprueba el Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana. *Diari Oficial de la Comunitat Valenciana*, 13 de enero de 1998, núm. 3160.

Comunidad Valenciana. Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunidad Valenciana. *Diari Oficial de la Comunitat Valenciana*, 15 de diciembre de 2000, núm. 3.898, pp. 22778-22809.

Comunidad Valenciana. Orden de 12 de Noviembre de 2001, del conseller de Medio Ambiente por el que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona XV. *Diari Oficial de la Comunitat Valenciana*, 30 de noviembre de 2001, núm. 4139, pp. 25296-25317.

Cookson, J.T. (1995). *Bioremediation Engineering Design and Applications*. Nueva York: McGraw-Hill.

Dalzell, H.W.; Gray, K. R. y Biddlestone, A. J. (1981). *Composting in tropical agriculture*. Inglaterra: 2ª Ed. International Institute of Biological Husbandry.

De Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'hermite, P. y Zucconi, F. (1986). *Compost: production, quality and use*. Gran Bretaña: Elsevier applied science.

España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de julio de 2011, núm. 181, pp.85860-86706.

España. Real Decreto, 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de lodos de depuradora en el sector agrario. *Boletín Oficial del Estado*, 1 de noviembre de 1990, núm. 262, pp. 32339-32340.

España. Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por le que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de enero de 2002, núm. 25. pp. 3507-3521.

España. Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de julio de 2005, núm. 171, pp. 25592-25669.

España. Resolución de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el periodo 2008-2015, de 20 de enero de 2009. *Boletín Oficial del Estado*, 26 de febrero de 2009, núm.49, pp. 19893-20016.

Feachem y col. (1981). En: Torres, J. (2010). *Diseño y construcción de un prototipo automático para preparar composta*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Cuernavaca, México.

García Camarero, J. (2000). *Desarrollo de metodologías para la restauración de áreas degradadas en condiciones mediterráneas con clima seco, mediante el uso de enmiendas orgánicas y cubiertas vegetales*. Tesis doctoral. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Valencia.

Giménez, A., Gea, V., Huerta, O., López, M y Soliva, M. (2005). *II Congreso sobre residuos biodegradables y compost. El reto de fomentar el consumo de los productos finales*. Sevilla.

Golueke, C. G. y Díaz, L.F. 1987. *Composting and the limiting factors principle*. Biocycle, 28 (4), pp. 22-25.

Gómez, F. (2005). *Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades*. Ciudad y Territorio Estudios territoriales, 144, pp. 417-436.

Gotaas, H.B. (1956). *Composting. Sanitary disposal and reclamation of organic wastes*. World Health Organization, Monograph Series No 31.

Goyal, S., Dhull, S.K. y Kappoor, K. (2005). *Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assesment of compost maturity*. Bioresource Thecnology, 96(14), pp. 1584-1591.

Hassen, A., Belguith, K., Jeddi, N., Cherif, M. y Boudabous, A. (2001). *Microbial characterization during composting of municipal waste*. Bioresource Technology, 80, pp. 217-255.

Hay, J.C. y Kuchenrither, R.T. (1990). *Fundamentals and application of windrow composting*. Journal of Environmental Engineering, 116, pp. 746-763.

Henry, C. L. y Harrison, R. B. (1996). *Carbon fraction in compost and compost maturity test*. Soil Science Society of America, pp. 51-67.

Holz, S.C., Ingelmo, F. y Canet, R. (2000). *Long term effects of the application of sewage sludge and vegetal cover on some physical and physicochemical properties of a degraded arid soil*. Agrochimica, 44 (3-4), pp.132-139.

Iannotti, D.A., Pang, T., Toth, B.L., Elwell, D. L., Keener, H.M. y Hoitink, H.A.J. (1993). *A quantitative respirometric method for monitoring compost stability*. Compost science and utilization, 1, pp.52-65.

Instituto Nacional de Estadística, INE. *Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del padrón municipal a 1 de enero de 2012*. [www.ine.es/jaxi/tabla.do](http://www.ine.es/jaxi/tabla.do) (20 de agosto de 2013)

Ingelmo, F. e Ibáñez A. (1998). *Runoff and infiltration in soils amended with sludge under dry Mediterranean climate. Ecosystems and Sustainable Development I*. En: Usó, J.L., Brebbia, C.A., Power, H. (Eds.) *Advances in ecological sciences*.

Jhorar, B. S., Phogat, V y Malik, E. (1991). *Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment*. Arid Soil Restoration and Rehabilitation, 5, pp. 297-306.

Kay, B.D. y Angers, D.A. (2002). *Soil structure*. En: Warrick, A.W. (Ed.) *Soil physics Companion*.

Lal, R. (1994). *Water management in various crop production systems related to soil tillage*, pp. 169-185.

Loveland, P. y Web, J. (2003). *Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions? A review*. Soil and Tillage Research, 70, pp.1-18.

Mancomunidad Comarca de Pamplona. *Comprar compost-Arazuri* (2013). [www.mcp.es/agua/comprar-compost-arazuri](http://www.mcp.es/agua/comprar-compost-arazuri) (22 de agosto de 2013).

Miralles de Imperial, R., Beltrán, E., Porcel, M.A., Delgado, M., Beringola, M.L., Martín, J., Calvo, R. y Walter, I. (2002). *Emergencia de seis cultivos tratados con lodo, fresco y compostado, de estaciones depuradoras*. Revista Internacional de Contaminación Atmosférica, 18 (3), pp. 139-146.

Moreno, J. y Moral, R. Eds. Científicos (2008). *Compostaje*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Nico, A.I. (2002). *El empleo de enmiendas orgánicas para el control de hongos de suelo y nematodos*. En Sarandón, S.J. (Ed.). *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*. La Plata: Ediciones Científicas Latinoamericanas.

Norma Española. UNE-EN 13040:2008. *Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Preparación de muestra para ensayos físicos y químicos. Determinación del contenido de*

materia seca, del contenido de humedad y de la densidad aparente compactada en laboratorio. AENOR, 30 de abril de 2008, pp.1-20.

Orbit/ECN, (2008). Producción de Compost y uso en la UE. Joint Research Centre Organic Recover and Biological Treatment. *European Compost Network ECN to European Commission*.

Pérez, J., Muñoz, D.J., De La Rubia, T. y Martínez, J. (2002). *Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: An overview*.

Poincelot, R.P. (1975). *The biochemistry and methodology on composting*. The Connecticut Agricultural Experimental Station. Bull. 754.

Polo, J.M., Ordoñez R. y Giraldez J.V. (1997). *Uso agrícola de lodos de depuradoras*. Comunicación I+D 23/97. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, pp, 52.

Provincia de Alicante. Ordenanza para la protección y cuidado de las zonas verdes públicas y privadas de Altea. *Boletín oficial de la provincia de Alicante*, 28 de octubre de 2003, núm. 248, pp. 10-13.

Rubio, J.L., Andreu, V. y Gimeno, E. (2006). *Evaluación de las zonas sensibles a la contaminación de las aguas por nitratos en la Comunidad Valenciana*. Propuesta metodológica. Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE, Valencia.

Sánchez-Monedero, M.A., Roig A., Paredes, C. Y Bernal M.P. (2001). *Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers systems and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures*. *Bioresource Technology*, 78(3), pp. 301-308.

Saña, J. y Soliva, M. (1987). *El compostatge: procés, sistemes i aplicacions*. Quaderns d'Ecologia Aplicada, N°111. Barcelona: Diputació de Barcelona, Servei de Medi Ambient.

Schlöter, M., Dilly, O. y Munch J.C. (2003). *Indicators of evaluating soil quality*. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 98(1-3), pp. 255-262.

Silva V, J., López M, P., Valencia A, P. (2011). *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Escuela de ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente. Colombia.

Soliva, M. y López, M. (2004). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y las condiciones del proceso*. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora.

Toumela, M., Viman, M. y Hatakka, A (2000). *Biodegradation of lignin in a compost environment: A review*. *Bioresource Technology*, 72(2), pp. 169-183.

Unión Europea. COM (2000) 88 final, Hacia un programa europeo sobre el cambio climático (PECC). *Comisión de las Comunidades Europeas*, 8 de marzo de 2000, pp. 1-13.

Unión Europea. COM (2005) 670 final, Estrategia temática sobre uso sostenible de recursos naturales. *Comisión de las Comunidades Europeas*, 21 de diciembre de 2005, pp. 1-23.

Unión Europea. COM (2006) 231 final, Estrategia temática para la protección del suelo. *Comisión de las Comunidades Europeas*, 22 de septiembre de 2006, pp. 1-13.

Unión Europea. COM (2007 a) 59 final, Comunicación interpretativa sobre residuos y subproductos. *Comisión de las Comunidades Europeas*, 21 de febrero de 2007, pp. 1-14.

Unión Europea. COM (2007 b) 1 final, Una política energética para Europa. *Comisión de las Comunidades Europeas*, 10 de enero de 2007, pp. 1-32.

Unión Europea. COM (2008) 811 final, Libro Verde sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea. *Comisión de las Comunidades Europeas*, 3 de diciembre de 2008, pp. 1-25.

Unión Europea. Decisión nº 2006/779 de la Comisión, de 3 de noviembre de 2006, por la que se establecen los criterios ecológicos revisados y los requisitos de evaluación y comprobación para la concesión de la etiqueta ecológica comunitaria a las enmiendas del suelo. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 24 de noviembre de 2006, núm. 325, pp. 28-34.

Unión Europea. Directiva 1999/31 del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. *Diario oficial de las Comunidades Europeas*, 16 de julio de 1999, núm. 182, pp. 1-19.

Unión Europea. Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 27 de octubre de 2001, núm. 283, pp. 33-39.

Unión Europea. Reglamento (UE) nº 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) nº 209 2/91. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 20 de julio de 2007, núm. 189, pp. 1-23.

Zucconi, F., Forte, M., Monaco, A. y De Bertoldi, M. (1981). *Biological evaluation of compost maturiy*. *BioCicle*, 22, pp. 27-29.

## 7. ANEXOS.

### Anexo I: Códigos de trabajo.

Código	Trabajo	Código	Trabajo
001	Preparar trabajos	150	Fertilización
002	Mantenimiento de máquinas	151	Tratamientos fitosanitarios
003	Mantenimiento del local	160	Albañilería
004	Plantas de interior	161	Pintura
005	Otros	162	Montaje de jardines
111	Limpieza	163	Parques Infantiles
112	Herbicida caminos, pavimentos y aledaños.	170	Supervisión
113	Escarda	171	Almuerzo
114	Desbroce	180	Otros césped
115	Acolchados	181	Siega
121	Poda árboles	182	Recorte de orillas
122	Poda arbustos	183	Herbicida selectivo
123	Recorte de setos	231	Siembra de césped
124	Entutorado y otros	232	Plantación flores de temporada
140	Riego	233	Plantar arbustos
141	Mantenimiento del sistema de riego	234	Plantar árboles
142	Montaje de sistemas de riego		

### Anexo II: Sectores y nomenclatura de las zonas verdes.

<b>01.-</b>	<b>07.-</b>	<b>11.-</b>
01- Plaza Jose M <sup>a</sup> Planelles	01- C/ L' Alfabiga	01- C/ Piteres
02- C/ Constitución	02- C/ Carrasca ,Oliveres y Sta. Teresa	02- Cuesta de las Narices y C/ Benidorm.
03- Pasaje Llaurador	03- Avda. de la Nucía y Camí del Pontet	03- Jardines de Les Rotes
04- Plaza del Convento	04- Plaza de La Creu	04- Cementerio
05- C/ Conde de Altea	05- Plaza Plá del Castell	05- Depósito del Agua.
06- Casa de Cultura, Interior	06- Jardín del Agua	06- San Chuchín
07- Av. Jaume I	07- Plaza La Comare-C/ Alfaz	07- Balcón de Altea
<b>02.-</b>	<b>08.-</b>	<b>12.-</b>
01- Paseo de San Pedro	01- C/ La Séquia	01- Zona de Tolerancia Industrial Cap Blanch

02- Avenida del Puerto	03- C/ La Bola y C/ Alicante	02- Cruce Ctra. Callosa (Altea Vella)
03- C/ La Llum	04- Portal Nou y C/Buenavista	03- Ptda. Les Boqueres
04- Ctra. Gral. Estación	05- Plza. de la Iglesia	04- Jardín de la argentina
05- Paseo Cap Blanch	06- Portal Vell	05- Sierra Altea-Subida.
<b>03.-</b>	07- C/ Calvario	06- Rotonda Club de Tenis
01- Parking Paseo Joaquín Planlles	08- C/ San Pablo	<b>13.-</b>
02- Paseo del Mediterráneo	09- C/ San Miguel	01-Ciudad deportiva excepto campo de fútbol
03- Plaza de Europa	10- Plaza de Tónico Ferrer	02- Campo de fútbol Altea la Vieja
04- Bajada al río desde CN-332	11- C/Alcoy CruceC/ Sant Josep	<b>14.-</b>
05- Clot de Mingot	12- C/ Travesia de la Iglesia (CAPELLA)	01- Parque de San Jerónimo
<b>04.-</b>	13- C/ L' Empedrat y C/ Sol	02- Parking S. Jerónimo-C/ Ponent
01- Jardines del Palau Altea -	<b>09.-</b>	04- Ermita de San Isidro
02- Villa Gadea	01- Plaza Francisco Pérez Devesa	05- Río Algar
03- Conservatorio Música	02- Tapó de la Llimer	<b>15.-</b>
04- Finca Sta. Bárbara. / Mant. Regular	03- Hogar 3ª Edad	01- Árb. Cmno. del'Alfaz del Pí
<b>05.-</b>	04- Bellaguarda (C/Alba)	02- Avda. de la Com. Valenciana
01- Polígono Garganes : Entre el Trenet y 2 Calles,	05- C/Baseta	03- Árb. Alineac. CamíL'Algar (mercadillo)
02- Isleta final de la Avda. Comunitat Valenciana.	06- Plaza de Canterería	04- Árb. Avda. Juan Alvado y mediana.
03- Rotondas (4)	07- Jardín del Lavadero	05- Árb. Alineac. en Altea La Vieja
04- Plaza la Pau.	<b>10.-</b>	06- Arb. Alineac. C/ San Francesc
<b>06.-</b>	01- C. P. Garganes	<b>16.-</b>
01- Camí de L'Institut	02- C. P. El Blanquinal	01- Finca Sta. Barbara. Obras nuevas
02- Cruce C/Raspall y Fuente	03- C. P. Les Rotes	02- Ordenación-jardín
03- C/ La Trompa	04- C. P. Altea La Vieja	03- Chalet Abandonado Puerto
04- Parada de la Unión	05- C. P. L'Olla	
05- Plaza delsSports	06- Ctro. Cultural Altea La Vella	
	07- Consultorio Altea Vella y Calvario	
	09- Antigüo Instituto Bellaguarda	

### Anexo III: Inventario de plantas de las zonas ajardinadas del municipio.

1. <i>Abelia</i> sp.	28. <i>Cordyline indivisa</i>	55. <i>Myrtus comunis</i>
2. <i>Acacia dealbata</i>	29. <i>Dyospiros kaki</i>	56. <i>Nerium oleander</i>
3. <i>Agapanthus africanus</i>	30. <i>Eriobotrya japonica</i>	57. <i>Olea europea</i>
4. <i>Agave americana</i>	31. <i>Eucalyptus</i> sp.	58. <i>Opuntia ficus-indica</i>
5. <i>Aligostrum japonica</i>	32. <i>Euphorbia</i> sp.	59. <i>Phoenix canariensis</i>
6. <i>Prunus dulcis</i>	33. <i>Euonymus</i> sp.	60. <i>Phoenix dactilifera</i>
7. <i>Aloe ciliaris</i>	34. <i>Schinus molle</i>	61. <i>Pinus pinea</i>
8. <i>Aralia japonica</i>	35. <i>Ficus benjamina</i>	62. <i>Pistacea lentiscus</i>
9. <i>Araucaria</i> sp.	36. <i>Ficus elastica</i>	63. <i>Pittosporum tobira</i>
10. <i>Atriplex halimus</i>	37. <i>Ficus nitida</i>	64. <i>Platanus x hispanica</i>
11. <i>Bignonia capensis</i>	38. <i>Grevillea robusta</i>	65. <i>Plumbago capensis</i>
12. <i>Bougainvillea</i> sp.	39. <i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	66. <i>Poligola myrtifolia</i>
13. <i>Brachychiton carruthersii</i>	40. <i>Hibiscus siriacus</i>	67. <i>Populus alba</i>

14. <i>Callistemon viminalis</i>	41. <i>Hedera helix</i>	68. <i>Prunus domestica</i>
15. <i>Catalpa bignonioides</i>	42. <i>Jacaranda mimosifolia</i>	69. <i>Prunus cerasifera</i>
16. <i>Celtis australis</i>	43. <i>Jasminum officinale</i>	70. <i>Punica granatum</i>
17. <i>Ceratonia siliqua</i>	44. <i>Juniperus horizontalis</i>	71. <i>Pyracantha coccinea</i>
18. <i>Cestrum nocturnum</i>	45. <i>Lagunaria patersonii</i>	72. <i>Robinia pseudoacacia</i>
19. <i>Chamaerops humilis</i>	46. <i>Lantana camara</i>	73. <i>Rosa sp.</i>
20. <i>Cica revoluta</i>	47. <i>Laurus nobilis</i>	74. <i>Styphnolobium japonicum</i>
21. <i>Cineraria maritima</i>	48. <i>Ligustrum lucidum</i>	75. <i>Sorbus sp.</i>
22. <i>Cupressus macrocarpa</i>	49. <i>Citrus limon</i>	76. <i>Strelitzia reginae</i>
23. <i>Citrus sinensis</i>	50. <i>Lonicera sp.</i>	77. <i>Tamarix africana</i>
24. <i>Cortaderia selloana</i>	51. <i>Malus communis</i>	78. <i>Teucrium maritimum</i>
25. <i>Cupressus sempervirens</i>	52. <i>Myoporum tinuiform</i>	79. <i>Thuja orientalis</i>
26. <i>Cupressus glabra</i>	53. <i>Morus alba</i>	80. <i>Viburnum tinus</i>
27. <i>Dodonaea viscosa</i>	54. <i>Myoporum laetum</i>	81. <i>Washingtonia robusta</i>

