



2025 | 16-20
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1685

Organiza





Compostaje de restos vegetales como acción estratégica contra el riesgo de incendios, el fomento de la bioeconomía local y la transición ecológica

HERRERO DE SAN LUIS, E., GARCÍA GONZÁLEZ, M., MOLINUEVO SALCES, B., BUZÓN DURÁN, L., GÓMEZ SOBRINO E., CALVO DE DIEGO, P. y SÁNCHEZ BÁSCONES, M.

Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid (ETSIAA-UVa), Avenida Madrid 44, 34004, Palencia, España.

Resumen

El objetivo del presente trabajo, como primeras acciones del proyecto BIOCOMFOREST, es realizar un diagnóstico de la situación de partida de la zona de trabajo, situada en las comarcas de El Valle y Pinares en el municipio de El Royo (Soria) para fomentar la bioeconomía local y transición ecológica, gestión forestal sostenible, desarrollo económico, emprendimiento y empleo verde. Se dispone del Monte de Utilidad Pública MUP nº 165 “Hermandad” (1.400 ha), donde la masa predominante la forma *Quercus pyrenaica*. Se realizan aprovechamientos en el monte (leña, apicultura, caza, áridos, hongos y pastoreo), aunque tiene especial interés la gestión de los restos vegetales mediante un proceso de compostaje, debido a que actualmente se acumulan *in-situ* sin gestión, suponiendo una amenaza para la comarca, por ser combustible para incendios. Se ha completado una fase inicial de diagnóstico de partida, visitando el monte y puntos clave donde se almacenan restos procedentes del monte que se gestionarán con otros residuos orgánicos de huertos, siegas y podas de jardines. Se ha realizado una caracterización de los residuos disponibles (humedad, pH, conductividad eléctrica, carbono y nitrógeno total, relación C/N) y se han calculado las proporciones de las mezclas para la experiencia piloto de compostaje.

Palabras clave

Compostaje, residuos orgánicos, recursos forestales, educación ambiental y forestal, bioeconomía circular.

1.Introducción

La provincia de Soria es conocida por su tradición forestal y su buena gestión sostenible. Actualmente el aprovechamiento de recursos forestales en la zona se realiza a través de las suertes de leñas para los vecinos del pueblo. La zona destinada al proyecto, situada en el Monte de Utilidad Pública MUP nº165 “Hermandad” y parte de las comarcas de El Valle y Pinares, está formada en su gran mayoría por masas forestales de *Quercus pyrenaica* en monte bajo (Junta de Castilla y León, 2013). Debido al tipo de masa forestal, la corta y saca con fines madereros es nula, realizándose únicamente pequeños desbroces y claras. Este tipo de actuaciones generan residuos que en la actualidad no se gestionan, ocasionando una mala conservación ecológica del entorno, aumentando el riesgo de incendios y el abandono de zonas forestales. Este proyecto se desarrolla fundamentalmente para la mejora en la gestión del monte “Hermandad”, declarado monte de utilidad pública, por medio de la valorización de restos vegetales usando técnicas de compostaje. Una parte de este monte se encuentra en la Red Natura 2000, zona LIC y ZEPA, y cuenta con un Proyecto de Ordenación que se aplica en la actualidad a través del programa de normalización de la planificación forestal en la comunidad autónoma de Castilla y León (Junta de Castilla y León, 2002). El proyecto mejorará el estado de conservación actual del medio donde las masas abandonadas ponen en riesgo la salud del monte y su



hábitat, reduciendo el impacto producido por el aprovechamiento forestal tradicional. Esto se llevará a cabo por los socios del proyecto (Ayuntamiento de El Royo y la Universidad de Valladolid (Campus de Palencia)) en tres fases:

Fase 1. Identificación y valorización de los residuos orgánicos compostables. Identificación de los puntos y determinación de la frecuencia óptima de recogida de los recursos forestales.

Fase 2. Diseño y construcción de la planta de compostaje. Puesta a punto y en funcionamiento de la planta de compostaje. Seguimiento del proceso.

Fase 3. Concienciación y educación ambiental en bioeconomía forestal. Promoción de la micología como vehículo fortalecedor de la economía local.

Según lo establecido en el Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes, la definición de compostaje es “proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de materiales orgánicos biodegradables que da lugar a diferentes tipos de abonos o enmiendas orgánicas”, siendo la definición de compost “producto higienizado y estabilizado obtenido mediante descomposición biológica aerobia (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas, de materiales orgánicos biodegradables recogidos separadamente”.

Los parámetros principales que se tienen en cuenta en el proceso de compostaje son la humedad, la relación C/N, el tamaño de partícula, la temperatura, la aireación y la conductividad eléctrica (Bueno et al., 2008 en Moreno y Moral 2008). Los valores de humedad óptimos están entre el 50 y 60 % sobre peso húmedo (Moreno y Moral, 2008), el balance C/N equilibrado, entre 25-35 (Jhorar y col. 1991, en Moreno y Moral 2008). La temperatura experimenta variaciones a lo largo del proceso, comenzando con una fase mesófila inicial ($T < 45^{\circ}\text{C}$), seguido de una fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C}$) y una fase mesófila final (Bueno et al., 2008 en Moreno y Moral 2008). Las dimensiones de partícula consideradas óptimas para el compostaje según los criterios de varios autores varían entre 1 y 5 cm (Haung, 2018; Moreno y Moral 2008).

En este Real Decreto se especifican aquellos materiales que se pueden emplear como materias primas para compostar, entre los que se encuentran “madera que no contiene sustancias peligrosas” (200138) y “residuos biodegradables de parques y jardines” (200201) encajando con los restos vegetales que se compostan en este proyecto.

La composición de los materiales vegetales es variable en función de la especie. Entre las especies de *Quercus*, predominantes en la zona del proyecto, no existen grandes variaciones dentro del género, caracterizándose por un pH entre 4 y 5 (Fernández y col., 2017; Volz 1971), un contenido de N entre 2,7 y 13,2 % y de P entre 0,7 y 1,7 % (Castro-Diez y col., 1997), el contenido en C siendo superior, entre 45 y 60 % (Ovington, 1956).



Actualmente existen experiencias previas de compostaje de restos vegetales de diferentes tipos, desde ejemplos donde la materia orgánica compostada es únicamente vegetal (Martínez-Iñigo y Almendros, 1994; Benito y col., 2003; Benito y col., 2005; Benito y col., 2006; Silva y col., 2024), con purines y estiércol de diferentes procedencias (Benito y col., 2009) con lodos de depuradoras (Moretti y col., 2015) y otro tipo de materiales (Suzuki y col., 2004).

2. Objetivos

Los objetivos de estos primeros trabajos que se han llevado a cabo dentro del proyecto BIOCUMFOREST, correspondientes a la Fase 1, son los siguientes:

- Realización del diagnóstico inicial de la zona de trabajo, visitando el MUP nº165 y las masas forestales que rodean el municipio.
- Selección de los puntos de recogida de restos vegetales en monte y dentro del municipio.
- Recogida y caracterización de muestras de los residuos a compostar.
- Diseño de las mezclas para la experiencia piloto de compostaje.

Como resultado del cumplimiento de estos objetivos, se espera conocer la zona de trabajo y los recursos con los que se cuenta para poder llevar a cabo las siguientes acciones del proyecto.

3. Metodología

Para la realización del diagnóstico inicial de la zona de trabajo se han realizado diversas visitas a campo a lo largo de la extensión de la masa forestal que rodea el municipio para el reconocimiento del terreno *in situ*. Durante estas visitas se han tomado fotos, que junto con recursos digitales de información geográfica, se han utilizado en la elaboración de cartografía digital de la disposición del terreno y sus recursos.

Para la selección de los puntos de acopio de restos vegetales en el monte y dentro del municipio se ha tenido en cuenta la accesibilidad de las zonas, considerando la disposición de carreteras, pistas forestales, caminos, orografía del terreno, pendiente, localización con respecto al municipio y los medios disponibles para esa recogida de restos vegetales, tanto personal como maquinaria. Siguiendo estos criterios, las visitas a la zona y los datos obtenidos con recursos digitales se ha elaborado cartografía con la localización de los puntos de acopio.

Para la recogida y caracterización de muestras de los residuos a compostar se han aprovechado las visitas a campo para la obtención de muestras de las especies más representativas de la zona (*Quercus* sp y *Pinus* sp.) y el Ayuntamiento ha proporcionado muestras de siega, césped y material vegetal de podas de jardín triturado. En la caracterización físico-química de las muestras se analizan parámetros como pH, humedad, conductividad eléctrica, carbono y nitrógeno total, y relación C/N, nitrógeno amoniacal, azufre, potasio, fósforo, metales pesados y biodegradabilidad.

Los análisis de caracterización que se han llevado a cabo hasta la fecha han sido: humedad, pH, conductividad eléctrica, carbono y nitrógeno total y relación C/N, siguiendo la metodología de Moreno y col. (2003). El contenido en humedad se determina sometiendo las muestras a un periodo prolongado de tiempo con temperaturas elevadas (24 h, 60°C) en una estufa. Una vez se han secado las muestras se trituran en un molino de bolas para poder realizar el resto de los análisis. Para la medida de pH se utilizan 3 g de muestra a los que se añaden 25 ml de agua destilada, que se agita durante media hora y se deja reposar para su posterior medida con un electrodo GLP22 (Crison Instruments S.A., Barcelona, España) previamente calibrado. Para la conductividad eléctrica se aprovechan las muestras de la medida del pH añadiendo 25 ml más de agua destilada, seguido de 1 h y 45 min de agitado y centrifugado, el extracto se filtra y se mide con un conductímetro. Para la determinación de C, N y S totales se utiliza un analizador elemental 630-500-700 (LECO Corporation, St Joseph, EEUU).

Una vez se han obtenido estos parámetros se pueden calcular las mezclas para realizar la experiencia piloto de compostaje. Se deben tener en cuenta la relación C/N, y la humedad de la muestra. La relación C/N se obtiene del cociente del contenido de carbono de la muestra entre el contenido de nitrógeno. Los cálculos de las mezclas se hacen considerando una masa total de 100 kg, teniendo que obtener una relación C/N entre 25 y 35 con una humedad del 50%. El diseño de las mezclas se ha realizado a partir de la composición mediante la ley de proporciones que nos da el porcentaje ponderal que representa cada uno de los restos que van a formar parte de la mezcla utilizando la siguiente fórmula:

$$Relación\ C/N = \frac{\sum \left(\frac{Cantidad\ (kg)}{100 - H\%} \times \%C_{total} \right)}{x \left(\frac{Cantidad\ (kg)}{100 - H\%} \times \%N_{total} \right)_n}$$

Siendo:

- Cantidad: es la cantidad de residuo de cada tipo que se utiliza en kg.
- H%: es la humedad en base a muestra húmeda en %.
- n: es cada uno de los tipos de residuo que se utilizan.
- X: Número de residuos que se emplearán en la mezcla.

También se debe tener en cuenta el aporte de agua de cada uno de los residuos a la mezcla para saber si es necesario añadir agua a la mezcla, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Agua\ de\ la\ mezcla\ (kg) = \left(\sum \left(\frac{Cantidad\ (kg) \times H\%}{100} \right)_n \right) + Agua\ añadida\ (kg)$$

No en todos los casos será necesario añadir agua, depende de la composición de los residuos empleados.

Usando estas fórmulas obtenemos la cantidad de cada residuo que se utilizará en la mezcla de las pilas de la experiencia piloto de compostaje. A partir de los cálculos de las mezclas realizados se han montado 3 pilas como experiencia piloto en el municipio de El Royo (Soria), utilizando el material acopiado previamente y un tractor con pala.

4.Resultados

En estas primeras acciones del proyecto se han obtenido los siguientes resultados.

4.1 Realización del diagnóstico inicial de la zona de trabajo media visitas al monte

Durante el diagnóstico inicial de las masas forestales que forman parte del proyecto y de la parcela asignada para la futura planta de compostaje se han realizado una serie de fotografías y cartografía para facilitar el resto de los trabajos del proyecto, como se puede ver en las Figuras 1 y 2.

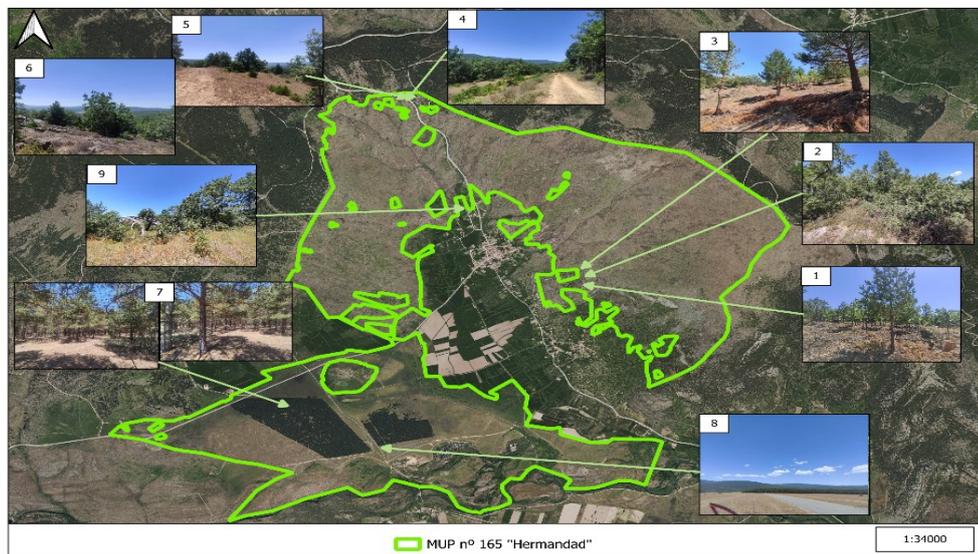


Figura 1. Situación inicial de las masas forestales incluidas en el proyecto.



Figura 2. Situación actual de la parcela para la futura planta de compostaje.

4.2 Selección de los puntos de recogida de restos vegetales en el monte y dentro del municipio

Se han establecido los puntos de recogida de restos vegetales, tanto en monte para restos de tratamientos selvícolas, como dentro del municipio para los restos de huertas, jardines y siegas (Figura 3), para facilitar el acopio de material orgánico para compostar, siguiendo los criterios de accesibilidad previamente mencionados.

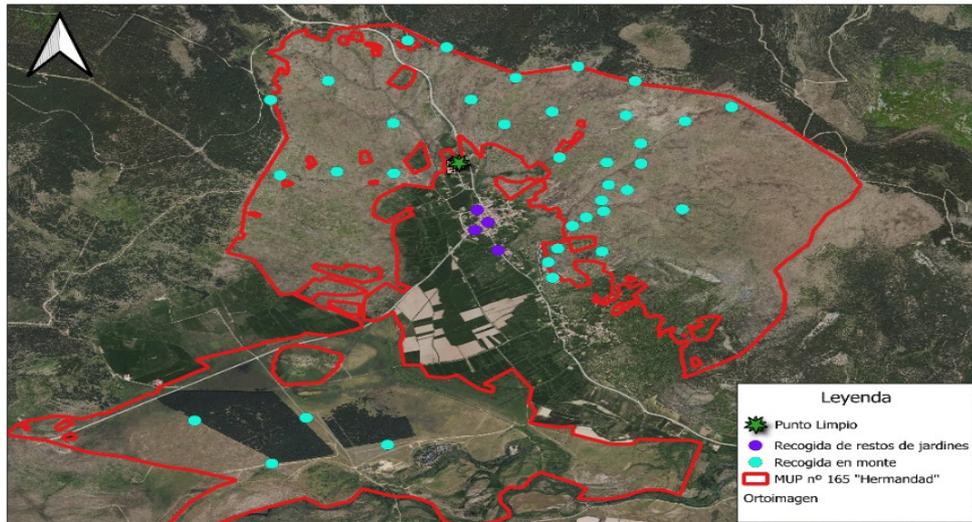


Figura 3. Puntos de recogida de restos vegetal en monte (puntos azules) y dentro del municipio (puntos morados y punto limpio).

4.3 Caracterización de muestras de los residuos a compostar

A partir de los análisis llevados a cabo en el laboratorio hasta ahora para la caracterización de las muestras orgánicas, se han obtenido los siguientes valores de humedad, pH, conductividad eléctrica, carbono, nitrógeno y azufre totales, y relación C/N mostrados en la Tabla 1. Los datos de C, N y S están expresados sobre materia seca.

Tabla 1. Caracterización de los restos compostables.



Especie	Humedad	(%)	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)	C total	(%)	N total	(%)	S total	(%)	Ratio C/N
<i>Quercus</i>	33,7	4,4	1850	45,6	1,3	0,1			33		
<i>Pinus</i>	35,7	3,9	1680	50,4	0,9	0,1			53		
Césped	81,9	6,0	1180	43,0	2,8	0,6			14		
Siega	59,2	5,9	5	42,6	1,4	0,3			28		
Triturado verano	43,3	4,6	800	42,6	1,4	0,2			28		
Triturado invierno	31,0	5,8	380	46,2	0,4	0,0			88		

A partir de los resultados obtenidos se puede apreciar como la relación C/N de los residuos a compostar es bastante alta, a excepción del césped, lo que puede suponer un problema a la hora de realizar las mezclas que se usarán y que deben de tener un balance C/N equilibrado, entre 25-35 (Jhorar y col. 1991, en Moreno y Moral 2007). Una vez completadas las mezclas de estos residuos, se analizarán de nuevo para evaluar la relación C/N y establecer las mezclas óptimas a compostar, si se diera una situación donde la relación C/N fuera muy elevada se añadirían a la mezcla residuos de ganaderías de la zona. Respecto a los valores de pH entran dentro del rango esperado, entre 4,5 y 6 (Fernández y col., 2017; Volz, 1971; Calvo, 2020).

4.4 Diseño de las mezclas para la experiencia piloto de compostaje

Para el cálculo de las mezclas destinadas a la experiencia piloto de compostaje se han agilizado los cálculos utilizando Excel. En esta herramienta se muestran una primera tabla con parámetros de las muestras de residuos vegetales y una segunda tabla con el cálculo de las cantidades específicas de cada residuo para que se cumplan los parámetros iniciales que debe de tener la mezcla (entre en 50-60% de humedad y una relación C/N entre 25 y 35) (Tabla 2).

Tabla 2. Diseño de la mezcla de la experiencia de compostaje para una cantidad total de 100kg de materia. Aporte de agua, N y C de cada uno de los materiales.

Especie	Cantidad (kg)	Agua	(Kg)	Materia seca (%)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	C/N
<i>Pino</i>	10	3,57	6,43	0,06	3,24	53	
<i>Quercus</i>	20	6,74	13,26	0,18	6,05	33	
Siega	30	0,18	12,24	0,18	5,21	28	
Césped	25	20,48	4,53	0,12	1,89	15	
Triturado	15	6,49	8,51	0,04	3,73	88	
Agua				15			
Total	100	52,46	44,96	0,59	20,13	34	
Humedad de la mezcla				52,46			
Relación C/N de la mezcla					34		

Con la mezcla calculada al obtener una relación C/N de 34, no será necesario el aporte de nitrógeno con otro tipo de residuos, sin embargo, la humedad no llega al valor mínimo, por lo que será necesario el aporte externo de agua, concretamente de 15 kg.

4.5 Montaje de la experiencia piloto

Se ha montado la primera experiencia piloto de compostaje, formada por tres pilas de material vegetal compuesto por *Quercus* sp., *Pinus* sp. y triturado de otras especies (acacia, olmo, setos de jardín...) mezclados.



Figura 4. Montaje de las tres pilas para la experiencia piloto de compostaje.

5. Conclusiones

Siguiendo los cuatro objetivos marcados se ha conseguido obtener cartografía de la zona de trabajo a partir de las diversas visitas al MUP nº165, para conocer el punto de partida del proyecto y los recursos disponibles. Además, se han estudiado y establecido los puntos de recogida de material compostable tanto dentro del municipio como en las zonas de monte. Se ha realizado una caracterización físico-química inicial de los restos vegetales usando las muestras tomadas *in-situ* y facilitadas por el ayuntamiento. Según esa primera caracterización se han calculado las mezclas para la experiencia piloto de compostaje en el municipio y se han montado las tres primeras pilas.

6. Agradecimientos

Este proyecto está financiado por la Fundación Biodiversidad REF: BF171, a través de la convocatoria: Apoyo a proyectos transformadores para la promoción de la bioeconomía ligada al ámbito forestal y la contribución a la transición ecológica en el Marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia - financiado por la Unión Europea - NEXTGENERATIONEU para el ejercicio 2023. B. Molinuevo-



Salces agradece a la AEI la financiación recibida a través de la ayuda RYC-2020-029030-I/AEI/10.13039/5011000110.

7. Bibliografía

BENITO, M., MASAGUER, A., MOLINER, A., & DE ANTONIO, R. (2005). Carbon mineralization of pruning wastes compost at different stages of composting. *Compost science & utilization*, 13(3), 203-207.

BENITO, M., MASAGUER, A., MOLINER, A., & DE ANTONIO, R. (2006). Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource technology*, 97(16), 2071-2076.

BENITO, M., MASAGUER, A., MOLINER, A., ARRIGO, N., & PALMA, R. M. (2003). Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biology and fertility of soils*, 37, 184-189.

BENITO, M., MASAGUER, A., MOLINER, A., HONTORIA, C., & ALMOROX, J. (2009). Dynamics of pruning waste and spent horse litter co-composting as determined by chemical parameters. *Bioresource Technology*, 100(1), 497-500.

CALVO DE DIEGO, P. (2020). Formación y seguimiento de pilas de compostaje y diseño de planta de compostaje para el tratamiento de deyecciones ganaderas. Universidad de Valladolid.

CASTRO-DIEZ, P., VILLAR-SALVADOR, P., PÉREZ-RONTOMÉ, C., MAESTRO-MARTÍNEZ, M., & MONTSERRAT-MARTÍ, G. (1997). Leaf morphology and leaf chemical composition in three *Quercus* (Fagaceae) species along a rainfall gradient in NE Spain. *Trees*, 11, 127-134.

FERNÁNDEZ, A. C. H., PARRA, A. C., BUCIO, F. E. P., BUCIO, R. H., & ALBARRÁ, P. L. (2017). Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encinos (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*). *Ciencia Nicolaita*, (72).

HAUG, R. (2018). *The practical handbook of compost engineering*. Routledge.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN; 2013. Proyecto de Ordenación del monte "Hermandad" n°165 del C.U.P. de la provincia de Soria.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN; 2002. Plan Forestal de Castilla y León. <https://medioambiente.jcyl.es/>

MARTÍNEZ-IÑIGO, M. J., & ALMENDROS, G. (1994). Kinetic study of the composting of evergreen oak forestry waste. *Waste management & research*, 12(4), 305-314.

MORENO CASELLES, J., DOLORES PÉREZ MURCIA, M.D., MORAL HERRERO, R., PÉREZ ESPINOSA, A., PAREDES GIL, C. (2003). Manual de técnicas de laboratorio para análisis de aguas, suelos, residuos orgánicos y plantas. Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández.

MORENO CASCO, J; MORAL HERRERO, R. (Edit. Cient.). *Compostaje*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2008. ISBN: 978-84-8476-346-8

MORETTI, S. M. L., BERTONCINI, E. I., & ABREU-JUNIOR, C. H. (2015). Composting sewage sludge with green waste from tree pruning. *Scientia Agricola*, 72, 432-439.

REAL DECRETO 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

OVINGTON, J. D. (1956). The composition of tree leaves. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 29(1), 22-28.



SILVA, M. E. F., SAETTA, R., RAIMONDO, R., COSTA, J. M., FERREIRA, J. V., & BRÁS, I. (2024). Forest waste composting—operational management, environmental impacts, and application. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17.

SUZUKI, T., IKUMI, Y., OKAMOTO, S. T., WATANABE, I., FUJITAKE, N., & OTSUKA, H. (2004). Aerobic composting of chips from clear-cut trees with various co-materials. *Bioresource technology*, 95(2), 121-128.

VOLZ, K.R. 1971. *Holz-Zentralbl.* 97, 1783.