



**Universidad**  
Zaragoza



Escuela Politécnica  
Superior - Huesca  
**Universidad** Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Gestión de los Residuos No Peligrosos  
producidos por una industria papelera

Autor

Samuel Franco Luesma

Grado en Ciencias Ambientales

Director

Asunción Usón Murillo

Escuela Politécnica Superior de Huesca  
Noviembre 2012



<b>ÍNDICE.</b>	
<b>RESUMEN.</b> .....	7
<b>INTRODUCCIÓN.</b> .....	8
<u>La industria del papel y la pasta de papel.</u> .....	12
<u>Principales impactos y residuos de la industria del papel y pasta de papel.</u> .....	17
<b>CASO DE ESTUDIO.</b> .....	20
<u>Empresa generadora de los residuos no peligrosos (RNP).</u> .....	20
<u>Empresa gestora de los residuos no peligrosos (RNP).</u> .....	23
<u>Análisis de los lodos.</u> .....	25
<b>OBJETIVOS.</b> .....	28
<b>LEGISLACIÓN APLICABLE.</b> .....	29
<b>ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.</b> .....	31
<u>Aplicación directa.</u> .....	34
<u>Residuos con alto contenido en carbono.</u> .....	37
<u>Enmienda caliza.</u> .....	38
<u>Enmienda orgánica.</u> .....	42
<u>Incorporación a mezclas y compostaje.</u> .....	45
<u>Residuos con alto contenido en carbono.</u> .....	47
<u>Enmienda orgánica.</u> .....	49
<u>Usos energéticos.</u> .....	51
<u>Usos en el sector de la construcción.</u> .....	53
<u>Enmienda caliza.</u> .....	54
<u>Enmienda orgánica.</u> .....	56
<u>Conclusiones de las alternativas de gestión.</u> .....	57
<u>Residuos con alto contenido en carbono.</u> .....	57
<u>Enmienda caliza.</u> .....	58
<u>Enmienda orgánica.</u> .....	59
<b>PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.</b> .....	60
<u>Residuos con alto contenido en carbono.</u> .....	60
<u>Enmienda caliza.</u> .....	62
<u>Enmienda orgánica.</u> .....	65
<b>VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESIDUOS.</b> .....	77
<b>CONCLUSIONES FINALES.</b> .....	84
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

### Índice de Figuras.

<b>Figura 1.</b> Esquema simplificado de la elaboración de pasta de papel.	12
<b>Figura 2.</b> Esquema de la elaboración de papel.	17
<b>Figura 3.</b> Importancia de los lodos en los RNP.	21
<b>Figura 4.</b> Diferentes RNP.	22
<b>Figura 5.</b> Almacenaje de residuos en la planta de AROA S.L.	23
<b>Figura 6.</b> Planta de compostaje AROA. S.L.	24
<b>Figura 7.</b> Lodos calizos (030309) (izq) y Lodos de tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 030310 (030311) (drcha).	24
<b>Figura 8.</b> Distribución superficie comarca Zaragoza.	66
<b>Figura 9.</b> Distribución de superficie de secano vs regadío.	67
<b>Figura 10.</b> Distribución de superficie cultivada de secano vs regadío.	67
<b>Figura 11.</b> Superficie de cultivos de secano vs regadío.	68
<b>Figura 12.</b> Periodo de aplicación prohibido para los fertilizantes del Grupo II.	73
<b>Figura 13.</b> Disponibilidad temporal de enmienda orgánica.	74
<b>Figura 14.</b> Superficie explotación tipo.	76
<b>Figura 15.</b> Área de distribución del compost.	82

**Índice de Tablas.**

<b>Tabla 1.</b> Resultados analíticos de las muestras de residuos.	26
<b>Tabla 2.</b> Contenido en metales pesados.	26
<b>Tabla 3.</b> Valor limite de concentración de metales pesados en lodos destinados a su utilización agraria.	27
<b>Tabla 4.</b> Catalogo Aragonés de Residuos.	31
<b>Tabla 5.</b> Valores de biodegradabilidad de diferentes compuestos.	33
<b>Tabla 6.</b> Valores típicos de aguas residuales urbanas.	36
<b>Tabla 7.</b> Valores típicos de aguas residuales de la industria papelera.	36
<b>Tabla 8.</b> Influencia del pH.	38
<b>Tabla 9.</b> Composición media y relación C/N de algunos materiales utilizados en el compostaje.	48
<b>Tabla 10.</b> Características de los residuos con alto contenido en carbono	60
<b>Tabla 11.</b> Superficie comarca Zaragoza.	66
<b>Tabla 12.</b> Cultivos de secano provincia de Zaragoza.	69
<b>Tabla 13.</b> Cultivos de regadío provincia de Zaragoza.	70
<b>Tabla 14.</b> Calculo enmienda cultivos secano comarca de Zaragoza.	71
<b>Tabla 15.</b> Calculo enmienda cultivos regadío comarca de Zaragoza.	71
<b>Tabla 16.</b> Aporte externo de nitrógeno (kgN/ha y kg enmienda org./ha) para diferentes cultivos.	72
<b>Tabla 17.</b> Distribución de las hectáreas de la explotación tipo.	76
<b>Tabla 18.</b> Características de los estiércoles y enmiendas.	78
<b>Tabla 19.</b> g de nitrógeno y carbono por kg de material.	79
<b>Tabla 20.</b> Toneladas de compost en función de la mezcla.	79
<b>Tabla 21.</b> Costes transporte estiércol a lugar elaboración.	80

<b>Tabla 22.</b> Costes asociados al transporte del material a la empresa.	80
<b>Tabla 23.</b> Beneficios netos de la elaboración de compost sin transporte.	81
<b>Tabla 24.</b> Beneficios netos de la elaboración de compost con transporte.	83

## RESUMEN.

La gestión de un residuo conlleva la búsqueda de las alternativas de gestión más adecuada en función de la tipología de residuo generada y las técnicas disponibles en ese momento para su gestión, por ello es importante realizar una búsqueda y análisis de las diferentes alternativas de gestión posibles, con el fin de encontrar aquellas que satisfagan de manera más adecuada la gestión del residuo.

En este Trabajo Fin de Grado, se plantean diferentes alternativas de gestión para cuatro residuos no peligrosos (RNP) generados en la industria papelera, **030105** Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas distintos de los mencionados en el código 030104, **030301** Residuos de corteza y madera, **030309** Residuos de lodos calizos, **030311** Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 030310.

Para cada uno de estos residuos tras el planteamiento de las diferentes alternativas de gestión contempladas por la ley se seleccionaran aquellas que se consideran más eficientes, teniendo en cuenta aspectos ambientales, económicos y la eficiencia de las alternativas, siendo las alternativas elegidas, incorporación a mezclas y compostaje para los residuos **030105** y **030301**, uso en el sector de la construcción para los residuos **030309** y aplicación directa para los residuos **030311**.

Es necesario modificar el tamaño de partícula (triturar) los residuos con alto contenido en carbono, para poder ser utilizados como material bulking, los residuos calizos deberán ser secados y molidos previo a su utilización en cementeras, y los lodos orgánicos se podrán utilizar directamente en cultivos de cereales de invierno o maíz a dosis entre 4,35 kg/ha para el trigo en secano hasta 305 kg/ha para el maíz en regadío. También podrán ser incorporados en mezclas para la fabricación de compost a razón de 2,57 kg de lodos por kg de estiércol; para este último residuo la opción más rentable es la elaboración de un compost de 21 días en un sistema de producción básico.

### 1. INTRODUCCIÓN.

Una de las problemáticas medioambientales más comunes, es la producción de residuos y desechos generados por el ser humano en el desarrollo del conjunto de sus actividades. Es por ello necesario un control y gestión de los mismos para evitar posibles efectos adversos, tanto al medio ambiente, como a la salud y a las actividades humanas.

En las últimas décadas con el aumento de la población y su concentración en los núcleos urbanos, el desarrollo de la industria, la intensificación de las explotaciones ganaderas, etc., se ha producido un aumento en la generación de residuos con sus consiguientes problemas ambientales asociados. La práctica más habitual para la eliminación de estos residuos o subproductos es el vertido, pero de este modo se desaprovechan los recursos y materias que contienen. (Pomares & Canet, 2001). Desde un punto de vista ambiental, es más conveniente establecer estrategias que favorezcan el aprovechamiento de estos subproductos, de los cuales se puede obtener un beneficio y a la vez minimizar los impactos negativos en el medio ambiente.

En muchos casos es necesario un cambio en la visión del concepto de residuo, es decir, se considera un residuo como el material que queda inservible después de haber realizado un trabajo u operación, pero en la gran mayoría de los casos, estos materiales provenientes de los diferentes sistemas de producción pueden seguir teniendo una utilidad. Es por ello que en la mayoría de los casos, es más apropiado denominar a este tipo de materiales ya no útiles para ciertas operaciones, pero sí para otras, como subproductos. Este cambio de visión requiere una serie de cambios tanto sociales, tecnológicos y en políticas de carácter ambiental.

Teniendo en cuenta que los residuos son recursos de alto valor y baratos, por su condición de residuo o subproducto, siguen siendo una fuente de materia para la producción de energía y aporte de materia orgánica, m.o., y nutrientes para los cultivos, además de la reducción de los costes energéticos y de materias primas asociados a la elaboración de compuestos con similares características desde origen, es decir, nuevos. (Boixadera & Teira 2001).



## 1. INTRODUCCIÓN.

---

En el artículo 3 de la Directiva 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la cual se derogan determinadas Directivas, se definen los concepto de residuo y su gestión. En esta directiva se entiende por residuo, cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse. De igual modo se define gestión de residuo, como la recogida, transporte y valorización, incluida las operaciones de vigilancia de estas operaciones.

En esta norma de carácter comunitario se establecen una serie de medidas sobre la gestión de residuos destinadas a la protección del medio ambiente y de la salud pública, mediante la reducción de los impactos generados en la generación y gestión de los residuos.

Además se introducen dos nuevos conceptos, en el artículo 5, Subproducto, así como las condiciones que ha de cumplir un residuo para poder ser considerado como tal. Se considera subproducto toda sustancia u objeto de un proceso productivo cuya finalidad no sea la producción de esa sustancia u objeto, teniendo que cumplir una serie de requisitos.

- Es seguro que la sustancia u objeto va a ser utilizada.
- Debe poder utilizarse directamente sin someterse a una transformación distinta a la práctica industrial normal.
- Es producido como parte de un proceso productivo.
- Cumple todos los requisitos legales para su uso.

En el artículo 6, se introduce el concepto de Fin de la condición de residuo y los criterios necesarios para llegar a esta consideración. En este artículo se establece que algunos residuos dejaran de tener esta consideración cuando se sometan a una operación incluidas el reciclaje y valorización siempre y cuando se cumpla.

- Se usa para finalidades específicas.
- Satisface los requisitos técnicos y legales.
- Su uso no genera impactos negativos globales en el medio ambiente o la salud.

## 1. INTRODUCCIÓN.

---

Además se establecen una serie de principios generales, junto con una jerarquía operacional para llevar a cabo una gestión eficiente de los residuos, minimizando los impactos.

Estos principios generales establecen en primer lugar que es necesaria la precaución y la sostenibilidad tanto en los sistemas productivos como en la gestión de los residuos, es decir, se considera más importante la reducción del consumo de materia primas y la minimización de los residuos generados frente a la gestión. La mejor manera de evitar posibles problemas derivados de los residuos, es evitar su generación. De igual modo es necesario que las operaciones de gestión seleccionadas deban ser técnica y económicamente viables, así como que tengan en cuenta la protección de los recursos, la salud humana, el medio ambiente y los impactos socioeconómicos generados.

En segundo lugar, además de tener en cuenta los principios generales, es necesaria una jerarquía que establezca que tipo de operaciones son las más adecuadas para cada residuo, esto queda establecido en el Artículo 4 de la Directiva 2008/98/CE. En esta jerarquía se establecen cinco operaciones.

En primer lugar, la **prevención**, es decir, reducir la cantidad residuos generados y que estos sean lo más inocuos posible. Una vez generados es necesaria su gestión la cual se puede realizar de tres grandes formas.

En segundo lugar, **preparación para la reutilización**, preparar los productos convertidos en residuos para poder reutilizarse sin ninguna otra operación previa. Se trata de una de las operaciones de gestión más eficientes.

## 1. INTRODUCCIÓN.

---

En tercer lugar, el **reciclado**, es una de las operaciones de gestión más habituales, el principal problema que posee esta operación es que en muchos casos la tecnología actual no permite un reciclado óptimo de todos los materiales además de tratarse de una técnica que requiere de materias primas y energía para la producción de los nuevos materiales, aunque estos flujos de materia y energía siempre son menores que los necesarios para la fabricación del mismo material partiendo de las materias primas naturales.

En cuarto lugar se encontrarían **otros tipos de valorización**, como la valorización energética.

Y por último la **eliminación** de los residuos, es una técnica que deberá aplicarse en caso de que ninguna de las técnicas anteriores sean útiles para realizar la correcta gestión de un residuo, es decir, no pueda ser reutilizado ni reciclado bien por las características el producto o por la falta de tecnología para realizar estas operaciones.

Es por tanto que siempre debe prevalecer la valorización y uso de los subproductos antes que la eliminación de los mismos.

Estas operaciones de gestión encaminadas tanto a la reutilización, reciclado y eliminación de residuos quedan reflejadas en la legislación estatal mediante la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, vigente hasta julio de 2011 y derogada por la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, y por la Orden MAM/304/2002 de 8 de febrero, en la que se publica la lista europea de residuos y las operaciones de valorización y eliminación de residuos.

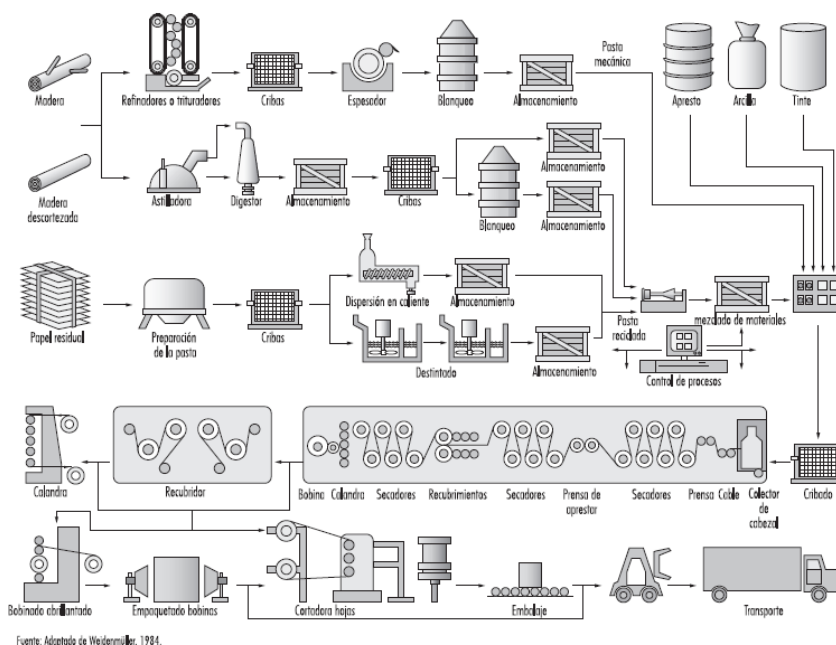
Además de estas leyes, cabe destacar el Decreto 148/2008, de 22 de julio, del Gobierno de Aragón por el que se aprueba el Catálogo Aragonés de Residuos, norma a tener en cuenta dado que el ámbito de trabajo de este Trabajo Fin de Grado es la Comunidad Autónoma de Aragón.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Una vez explicadas las pautas para la correcta gestión de los residuos, es necesario precisar que tipos de residuos se van a gestionar en este Trabajo Fin de Grado. Concretamente el trabajo se centra en la gestión de los residuos no peligrosos (RNP) generados en una industria papelera, es por ello que a continuación se explica brevemente el funcionamiento y los principales impactos y residuos generados por este tipo de industria.

### 1.1. La industria del papel y la pasta de papel.

La industria del papel y de la pasta de papel utiliza como principal materia prima la celulosa, obtenida de diferentes fuentes de origen vegetal. Para obtener esta celulosa son necesarios una serie de procesos. Los pasos seguidos para la obtención de pasta de papel (Figura 1) se explican a continuación (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998; Ministerio de Medio Ambiente, 2006)



**Figura 1. Esquema simplificado de la elaboración de pasta de papel. Fuente: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998**

## 1. INTRODUCCIÓN.

---

En primer lugar es necesaria una manipulación y preparación de la madera a partir de la cual se obtendrán las fibras de celulosa. Esta consiste en un lavado previo de los troncos para la eliminación de impurezas, tras el lavado se elimina la corteza, dado que tiene fibra por lo que no interesa para el proceso productivo.

Tras el descortezado se procede a la adecuación de los troncos para el proceso de fabricación de la pasta. Esta operación dependerá del tipo de sistema de producción que posea la fábrica. Existen dos tipos, el aserrado, para disminuir el tamaño de los troncos a un tamaño manipulable, 1-6 m, o bien el astillado y posteriormente el tamizado para cumplir con los requerimientos del sistema de fabricación.

Tras el procedimiento de adecuación se procede a la elaboración de la pasta, la cual puede hacerse de dos formas diferentes, la pasta mecánica y la pasta química en función de cómo se realice el triturado y separación de las diferentes fibras que componen la madera.

- Pasta mecánica.

La trituración de la madera se realiza de manera mecánica, lo que no separa por completo las diferentes fibras, es decir, la lignina no se disuelve. Un ejemplo de este tipo de técnicas mecánicas es la molienda de la madera sobre una piedra, una las primeras técnicas. Actualmente para facilitar el proceso de obtención de pastas mecánicas se realiza una precocción con vapor y posterior cocción con licores de pasta química previa a la molienda mecánica de la madera, dando lugar a las denominadas pastas mecano-químicas.

- Pasta química.

Proceso que implica la disolución química de la lignina con los denominados licores de cocción. Este procedimiento implica la cocción de las astillas más los reactivos en disolución acuosa, licor de cocción, en un digestor en condiciones de temperatura y presión controladas. Asociado a este tipo de elaboración de pasta de papel están los procesos de recuperación de parte de los reactivos utilizados en el proceso para aumentar la eficiencia y competitividad del proceso.

En función del tipo de licor de cocción se distinguen dos grandes técnicas de elaboración de pasta química, al sulfito y al sulfato.

- Pasta química al sulfito.

Proceso de cocción realizado principalmente en medio ácido aunque también se puede realizar en medios neutros y básicos. El licor de cocción empleado es una disolución acuosa de ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) el cual se suele preparar *in situ* mediante la combustión de azufre elemental (S) dando lugar al dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), que se hace pasar por una torre de absorción donde se adiciona una disolución de agua y una base alcalina. Las base alcalina utilizada puede ser carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), hidróxido de magnesio ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) o una disolución acuosa de amoníaco ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ).

De este proceso se obtiene la pasta de papel que tras ser lavada ya puede ser empleada, quedando como restos del proceso de lavado una disolución denominada licor rojo, cuyas características variaran en función del tipo de base alcalina empleada y por tanto los procesos de recuperación para su posterior reutilización serán diferentes en función del tipo de base empleada.

Se trata de un proceso que ya no se realiza debido a diversos problemas tanto de eficacia y calidad de la pasta obtenida, como por problemas de contaminación.

## 1. INTRODUCCIÓN.

---

### ➤ Pasta química al sulfato o pasta de kraft.

Proceso de cocción realizado en medio básico utilizando como licor de cocción una mezcla de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S) denominado licor blanco. Tras el proceso de cocción en los digestores se obtiene una pasta, que tras ser lavada puede ser ya empleada para la fabricación de papel. Del proceso de lavado además de la pasta de papel limpia, se obtiene una disolución acuosa que contienen restos de los diferentes productos empleados en el proceso, denominado licor negro.

El licor negro se concentra por evaporación hasta contenidos de agua inferiores al 40% de humedad y se pulveriza en una caldera para la recuperación tanto energética como de determinados compuestos.

Las cenizas obtenidas tras la combustión de los licores negros se disuelven en una disolución caustica débil dando lugar a una disolución que contiene principalmente sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S) y carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) denominado licor verde. El licor verde se hace reaccionar con cal apagada (Ca(OH)<sub>2</sub>) proceso por el cual se vuelve a obtener el licor blanco más impurezas de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) que son eliminadas mediante filtrado pudiendo así reutilizarse el licor blanco en el proceso. El carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) obtenido tras el filtrado se porcesa en un horno para la obtención de la cal (CaO).

La pasta de papel, puede ser utilizada directamente o proceder a su blanqueado, la realización o no del blanqueado dependerá del tipo de producto demandado. El proceso de blanqueo consiste en refinar y aclarar la pasta obtenida mediante la disolución o modificación de la lignina no eliminada en el proceso de elaboración de la pasta de papel. Se trata de un proceso que consta de varias etapas, siendo necesario realizar un lavado con disoluciones causticas entre cada etapa para eliminar de este modo restos de agentes blanqueantes y la propia lignina.

## 1. INTRODUCCIÓN.

---

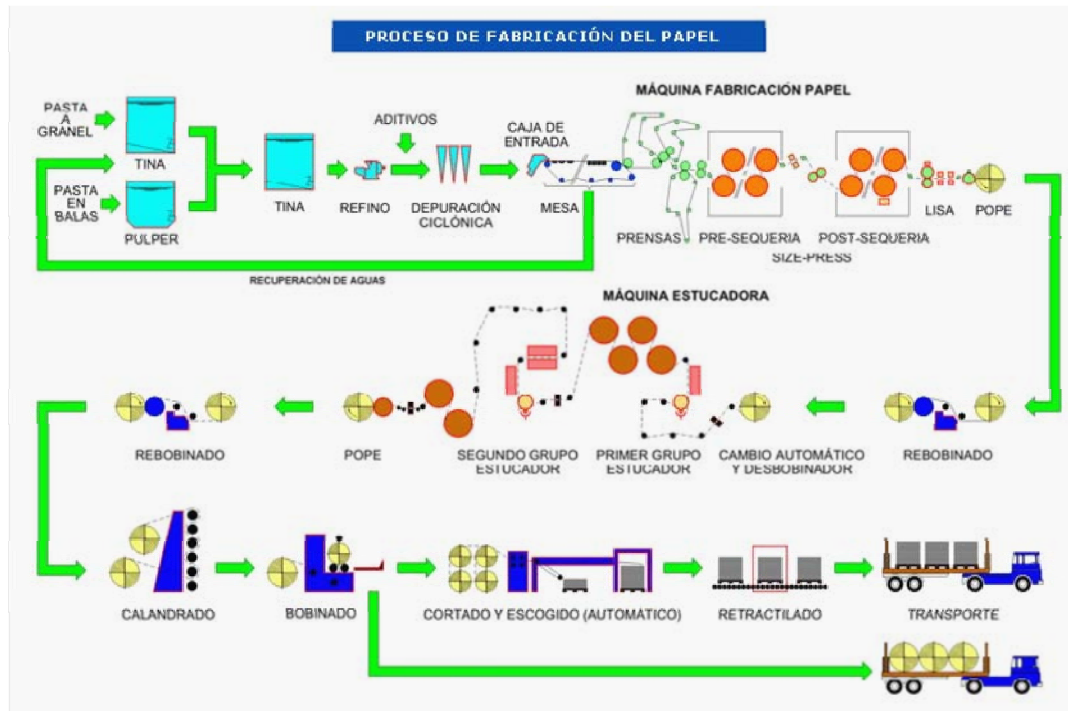
Los métodos más comunes de blanqueo son aquellos que utilizan como agente bloqueantes compuestos con cloro. Debido a la legislación en materia de sustancias organocloradas se ha producido un cambio en los métodos de blanqueo, sustituyéndolos por enzimas, oxígeno, ozono, agentes quelantes etc., métodos limpios.

Tras la elaboración de la pasta se procede a la fabricación del papel, proceso que se divide en una serie de operaciones que se citan a continuación, (Torraspapel:(<http://www.torraspapel.com/Conocimiento%20Tcnico/FormacionFabricacionPapel.pdf>) y que se muestran en la Figura 2.

1. Preparación de la pasta:
  - a. Desintegrado.
  - b. Despastillado.
  - c. Refino.
  - d. Mezcla de aditivos.
  - e. Depuración.
2. Formación de la hoja.
3. Prensado en húmedo.
4. Secado.
5. Estucado.
6. Acabado el papel.
  - a. Calandrado.
  - b. Bobinado.
  - c. Cortado.



## 1. INTRODUCCIÓN.



**Figura 2. Esquema de elaboración del papel. Fuente: Torraspapel. (<http://www.torraspapel.com/Conocimiento%20Tcnico/FormacionFabricacionPapel.pdf>)**

### 1.2. Principales impactos y residuos de la industria del papel y pasta de papel.

Una vez explicados los diferentes sistemas productivos de la industria papelera y dado que la temática de este trabajo es la gestión de una fracción de los residuos generados por esta industria, se considera oportuno mencionar los principales impactos de este tipo de industria en el medio ambiente, así como los residuos generados.

Se trata de un tipo de industria muy característica, esto se debe a que la gran parte de las materias primas que consumen son renovables, degradables y reciclables como es la madera, igual que los productos que se obtiene.

Sin embargo se trata de una industria que consumen y necesita de grandes cantidades de agua y energía, además de productos químicos nocivos, siendo una de las industrias que contribuyen a la contaminación del agua y el aire. (Dolan& Chas 2001).

## 1. INTRODUCCIÓN.

---

Los principales residuos asociados a este tipo de operaciones, son todos aquellos relacionados con el uso y transformación de la madera, así como otros residuos provenientes del mantenimiento de la maquinaria.

En primer lugar, los residuos provenientes de la manipulación de la madera, hace referencia a todos aquellos residuos englobados en código LER 0303 Residuos de la producción y transformación de pasta de papel, papel y cartón. (ORDEN MAM/304/2002).

Dentro de la gran variedad de residuos no peligroso que engloba este código, existen diferencias en la producción de los residuos en función del tipo de industria que se analice, ya que el funcionamiento de una industria dedicada a la elaboración de papel difiere si la materia prima es madera o pasta de papel reciclada.

Además de los residuos anteriormente mencionados, también existen residuos derivados del mantenimiento de la maquinaria, como son aceites de motor, absorbentes, etc. todos ellos residuos peligrosos que no son generados en el propio proceso de producción, pero que igualmente requieren de una gestión por parte de la empresa.

En segundo lugar, los impactos ambientales de la industria papelera se pueden clasificar en función del tipo de residuo que se genera, es decir, el proceso de fabricación de pasta de papel y papel implica emisiones atmosféricas, efluentes líquidos y sólidos

Las emisiones a la atmósfera de una fábrica de pasta de papel y papel se originan en el almacenaje de astillas, el digestor de cocción, el lavado de la pasta, la planta de blanqueo, la preparación química de los reactivos de blanqueo, la recuperación de productos químicos, la evaporación, la caldera de corteza, la caldera de recuperación, la preparación del licor blanco, el horno de cal, los tanques y el secado de la pasta. (Ministerio de Medio Ambiente, 2006)

## 1. INTRODUCCIÓN.

---

Estas emisiones consisten principalmente en óxidos de azufre, causantes de problemas de acidez e implicados en fenómenos de lluvia acida, y compuestos de azufre en estado reducido, como el sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ), el sulfuro de dimetilo DMS ( $C_2H_6S$ ) y otros compuestos a los que se hace referencia como azufre reducido total, TRS, causantes de los malos olores, características de las papeleras que elaboran pasta de kraft.

Otros de los compuestos que se emiten en grandes cantidades son los óxidos de nitrógeno, partículas, compuestos orgánicos volátiles, COV's, derivados de los procesos de digestión de los lodos y compuestos organoclorados derivados de proceso de blanqueamiento que empleen este tipo de compuestos.

El agua es una de las materias básicas para la producción de la pasta de papel y del papel generándose por este motivo un gran volumen de aguas residuales que deben ser debidamente tratadas. Teniendo en cuenta el sistema de producción de una fábrica de papel y las materias que consume, los factores más importantes a controlar para garantizar un buen estado de las aguas y evitar posibles problemas de contaminación son los sólidos en suspensión, la demanda química y biológica de oxígeno, DQO y DBO y la presencia de sustancias toxicas. (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998).

En último lugar estaría la generación de residuos sólidos. Estos residuos provienen de residuos de corteza y de madera de la manipulación de la madera; lodo del tratamiento de efluentes (material inorgánico, fibras y lodo biológico); polvo de calderas y hornos; desechos (principalmente arena), cenizas y material diverso (como material de construcción). (Ministerio de Medio Ambiente, 2006 )

Esta tipología de residuos suele reutilizarse de diversas maneras, como es la combustión de materia orgánica, restos de madera para la recuperación energética, o la aplicación de los lodos de los tratamientos de depuración al suelo entre otras muchas opciones.

Los materiales con características inorgánicas como los residuos de cenizas de los hornos, se pueden emplear como material de construcción, por ejemplo como lecho para carreteras, o como sustancias modificadoras del pH.

## 2. CASO DE ESTUDIO.

Este Trabajo Fin de Grado pretende llevar a cabo la gestión de los Residuos No Peligrosos (RNP) generados por la industria papelera, mediante el análisis y elección de la alternativa o alternativas más adecuada para cada residuo generado.

Con el fin de que la planificación de esta gestión sea lo más real posible, se tomaran con referencia, a partir de donde obtener datos reales, dos empresas de ambos sectores, es decir, una empresas del sector de la industria papelera y una perteneciente al sector de la gestión de residuos.

Las empresas seleccionadas como referencia a través de las cuales obtener datos son, La Montañanesa TorrasPapel S.A. y Agropecuaria de Residuos Orgánicos de Aragón S.L., AROA S.L.

Ambas empresas se encuentra situadas en la Comarca de Zaragoza, provincia de Zaragoza. Se trata de una comarca, que como reflejan los datos del Anuario Estadístico Agrario de Aragón,(Tabla 11, Figura 8) el 54% de la superficie se encuentra destinada a usos agrícolas.

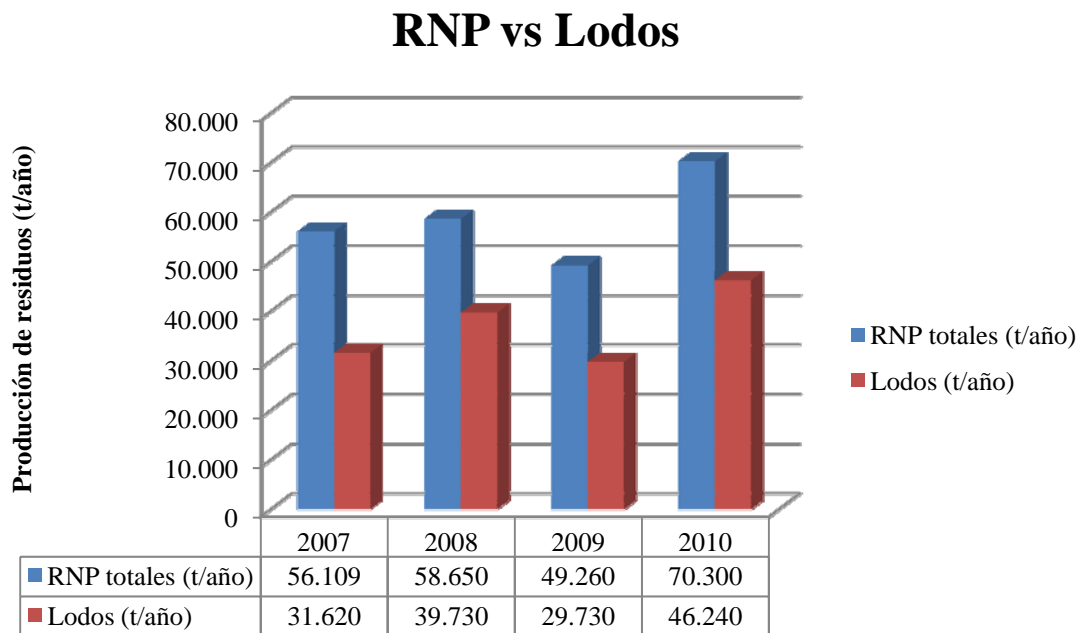
### 2.1. Empresa generadora de los residuos no peligrosos (RNP).

La Montañanesa Torraspapel S.A. empresa ubicada en Montañana (Zaragoza) dedicada a la fabricación de papel y pasta de papel a partir de madera, como se indica en su Autorización Ambiental Integrada (Expediente INAGA/ 500301/02.2005/10222), produce pasta de papel mediante el proceso de fabricación de pasta química al sulfato o pasta de kraft y papel estucado. Esta planta está autorizada a una capacidad nominal de producción anual de 205.000 t/año de celulosa y 160.000 t /año de papel. La materia prima a partir de la cual se obtiene la celulosa para llevar a cabo la producción de la pasta de papel y papel es madera de eucalipto (*Eucalptus globulus*).

## 2. CASO DE ESTUDIO.

En este proceso de fabricación se generan los siguientes residuos no peligrosos,

- **030105** Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas distintos de los mencionados en el código 030104.
- **030301** Residuos de corteza y madera.
- **030309** Residuos de lodos calizos.
- **030311** Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 030310.



**Figura 3. Importancia de los lodos en los RNP. Fuente: PRTR-España 2007.**

Dentro de la diversidad de residuos generados en el proceso de fabricación de la pasta de papel y del papel, como se observa en la Figura 3, los lodos de diferentes procesos suponen aproximadamente entre el 55 y 65% de la cantidad total de residuos no peligrosos generados en un año.

## 2. CASO DE ESTUDIO.

De igual modo si se analiza por separado los residuos no peligrosos generados, Figura 4, se observa que son los lodos procedentes de la depuración de efluentes, código 030311, los que suponen aproximadamente entre el 60 y 70%, de los residuos.

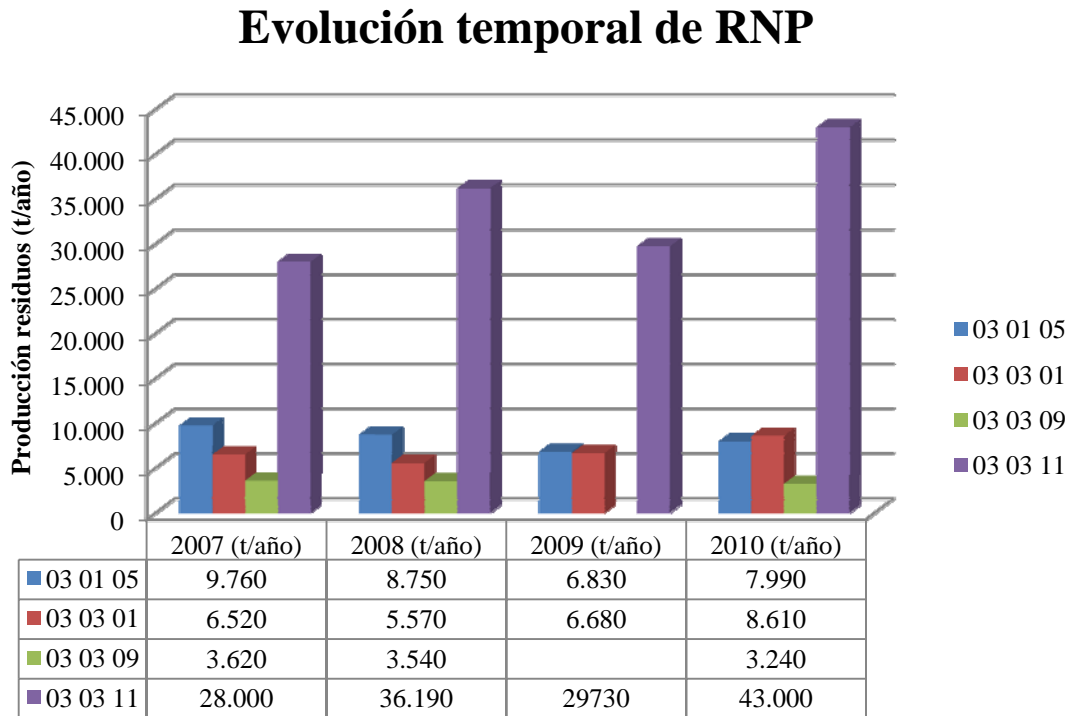


Figura 4. Diferentes RNP. PRTR-España 2007.

---

## 2. CASO DE ESTUDIO.

---

### 2.2. Empresa gestora de los residuos no peligrosos (RNP).

Agropecuaria de Residuos Orgánicos de Aragón S.L., AROA S.L. empresa ubicada en Ontinar de Salz, municipio de Zuera (Zaragoza), gestor autorizado para la gestión de residuos no peligrosos mediante compostaje, dedicada a la gestión y distribución de diferentes productos con fines fertilizantes.

Esta empresa inscrita en el Catálogo Aragonés de Recicladores y Valorizadores de Residuos, está autorizada a la gestión de diferentes productos mediante la técnica del compostaje. Posee una capacidad total de gestión de 100.000 t, destinadas a la producción de abono y biomasa como materias primas de segunda generación.

Posee autorización para llevar a cabo la gestión de diferentes residuos, todos ellos con posibilidad de llevar a cabo un proceso de compostaje, entre los que se encuentran diferentes residuos procedentes de la industria papelera como son los residuos anteriormente mencionados, serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas, residuos de corteza y madera y lodos del tratamiento in situ de efluentes.



**Figura 5. Almacenaje de residuos en la planta de AROA S.L.**



**Figura 6. Planta de compostaje AROA. S.L.**



**Figura 7. Lodos calizos (030309) (izq) y Lodos de tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 030310 (030311) (drcha).**



### 2.3. Análisis de los lodos. .

Además de situar el problema, describiendo las empresas implicadas como la situación geográfica, es conveniente realizar una caracterización de los subproductos que van ser objeto de gestión con el fin de determinar sus características más importantes.

Esto será de gran utilidad para llevar a cabo la elección de la mejor operación de gestión. Para ello se realiza un ensayo de caracterización de los lodos, Tabla 1. Análisis realizado en el Laboratorio Tecnológico Cinco Villas.

De los 23 parámetros analizados, se prestará especial atención a 6 de ellos, los cuales se consideran los parámetros básicos para diferenciar un lodo de otro, estos seis parámetros son el pH, materia seca, materia orgánica, relación C/N, nitrógeno total y óxido de calcio o cal.

Observando los valores presente en la Tabla 1. para estos parámetros se observa que el lodo considerado como enmienda orgánica (código LER 030311) posee valores de materia orgánica y nitrógeno total mayores que el lodo denominado como enmienda caliza (código LER 030309), además una relación C/N más adecuada.

En el caso del lodo considerado como enmienda caliza, se caracteriza por poseer unos valores elevados tanto de pH como de contenido de óxido de calcio o cal, además de valores bajos para parámetros como el nitrógeno total y la materia orgánica.

Teniendo en cuenta estas características de cada uno de los lodos es posible diferenciarlos y establecerlos como subproductos diferentes y que por consiguiente puedan tener diferentes operaciones de gestión.

## 2. CASO DE ESTUDIO.

**Tabla 1. Resultados analíticos de las muestras de residuos. Fuente: (Usón & Soler, 2012).**

Parámetro	Método analítico	Enmienda orgánica	Enmienda caliza
pH (1:5)	u. de pH Electrometría	7,54	10,97
Conductividad (1:5)	Conductivimetría	0,779 mS/cm	2,60 mS/cm
Materia seca	Desecación a 105 °C	30,82%	74,85%
Materia orgánica	Calcinación a 550 °C	55,99%	1,51%
Relación C/N	Cálculo aritmético	52,5	175,2
Nitrógeno total	Kjeldhal	0,85%	0,01%
Nitrógeno amoniacal	Kjeldhal	0,16%	<0,001%
Nitrógeno orgánico	Kjeldhal	0,62%	0,01%
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Espectrofotometría UV-VIS	0,35%	0,23%
Potasio (K <sub>2</sub> O)	E. Absorción Atómica	0,15%	0,26%
Calcio (CaO)	E. Absorción Atómica	24,05%	58,09%
Magnesio (MgO)	E. Absorción Atómica	0,19%	0,33%
Hierro	E. Absorción Atómica	0,14%	0,12%
Manganeso	E. Absorción Atómica	122,0 mg/kg	47,0 mg/kg
Boro	Espectrofotometría UV-VIS	57,2 mg/kg	8,9 mg/kg

Además de los parámetros usados para diferenciar un lodo de otro, es necesario realizar un análisis de los compuestos tóxicos o perjudiciales, en este caso los metales pesados, con el fin de determinar si se trata de residuos que cumplen con la normativa y es posible proceder a su gestión.

**Tabla 2. Contenido en metales pesados. Fuente: (Usón & Soler, 2012).**

Parámetro	Método analítico	Enmienda orgánica	Enmienda caliza
Cadmio	E. Absorción Atómica	2,3 mg/kg	4,9 mg/kg
Cobre	E. Absorción Atómica	9,0 mg/kg	7,0 mg/kg
Cromo	E. Absorción Atómica	2,0 mg/kg	11,8 mg/kg
Níquel	E. Absorción Atómica	5,2 mg/kg	22,9 mg/kg
Plomo	E. Absorción Atómica	11,6 mg/kg	18,4 mg/kg
Zinc	E. Absorción Atómica	80,4 mg/kg	23,2 mg/kg
Mercurio	Vapor frío	<0,2 mg/kg	<0,2 mg/kg
Cromo (VI)	Espectrofotometría UV-VIS	<0,1 mg/kg	<0,1 mg/kg

## 2. CASO DE ESTUDIO.

---

Tabla 3. Valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización agraria.(mg/kg de materia seca). Fuente: R.D. 1310/90.

Parámetros	Valores límite	
	Suelos con pH menor de 7	Suelos con pH mayor de 7
<b>Cadmio</b>	20	40
<b>Cobre</b>	1.000	1.750
<b>Níquel</b>	300	400
<b>Plomo</b>	750	1.200
<b>Zinc</b>	2.500	4.000
<b>Mercurio</b>	16	25
<b>Cromo</b>	1.000	1.500

Como se observa en la Tabla 2 ningún metal supera el valor límite de metales pesados en lodo establecido en el Real Decreto 1310/90, Tabla 3, por lo que es posible uso con fines agrícolas.

### 3. OBJETIVOS.

General:

- Análisis, selección y planificación de la alternativa o alternativas de gestión más eficiente para la gestión de los Residuos No Peligrosos generados por una industria papelera.

Específicos:

- Estudio y análisis de las posibles alternativas de gestión para cada uno de los subproductos.
- Optimización de los recursos en la gestión de los residuos generados.
- Planificación de la alternativa más adecuada para cada subproducto.

#### 4. LEGISLACIÓN APLICABLE.

En este apartado se citaran las diferentes normas que establecen el régimen de gestión de los residuos que se pretenden gestionar, siguiendo la jerarquía normativa establecida, resaltando en cada una de estas normativas los aspectos que más han condicionado para la elaboración de este trabajo.

- DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (Directiva 2006/12/CE; Directiva 91/689/CE; Directiva 75/439/CE).

Concepto de subproducto y fin de la condición de residuo, así como el establecimiento de unos principios generales y una jerarquía de gestión incluyendo esta, prevención, preparación, reciclado, otras formas de valorización y eliminación.

- LEY 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- DECRETO 148/2008, de 22 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Catálogo Aragonés de Residuos.

Estas tres normas de diferentes ámbitos, las dos primeras de carácter nacional y la tercera de carácter autonómico, establecen los diferentes residuos generados por la industria papelera, así como su codificación LER y las diferentes operación de gestión autorizadas.

#### 4. LEGISLACIÓN APLICABLE.

---

- REAL DECRETO 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.

Conceptos y definiciones de lodo de depuración y tratado, actividad agraria y utilización. Gracias a él se establecen los criterios a partir de los cuales determinar la aptitud de los lodos para su posterior uso en actividades agrarias. Valores límites de metales pesados en lodos.

- REAL DECRETO 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.

Conceptos y definiciones de enmienda orgánica y enmienda caliza.

- ORDEN de 5 de septiembre de 2005, del Departamento de Agricultura y Alimentación, por la que se aprueba el II Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables a la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en la Comunidad Autónoma de Aragón.

Concepto y definición de fertilizante del Grupo II, así como los periodos de tiempo donde queda prohiba la aplicación de este tipo de fertilizantes.

**5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.**

Como ya se ha mencionado con anterioridad la problemática sobre la gestión de los residuos es uno de los grandes retos actuales. Para poder abordar estas operaciones es necesaria una legislación de referencia, ya explicada, a partir de la cual poder establecer cuáles son las mejores alternativas de gestión para cada residuo.

Se trata de subproductos o residuos recogidos en el Decreto 148/2008 y que por consiguiente se les asignan las operaciones de valorización y eliminación más adecuadas.

Teniendo en cuenta la Lista de Residuos Europea traspuesta mediante el Decreto 148/2008, Tabla 4, los códigos LER asignados a los residuos o subproductos a gestionar en este trabajo son los siguientes.

**Tabla 4. Catálogo Aragonés de Residuos.**

Código LER	Descripción	Operación de tratamiento	
		Valorización	Eliminación
030105	Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas distintos de los mencionados en el código 030104	R3/R1*	D5
030301	Residuos de corteza y madera	R3-R10/R1*	D5
030311	Lodos de tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 030310	R3-R10/R1*	D5-D9
030309	Residuos de lodos calizos	R5-R10	D5

\*Cuando el % humedad de lodos sea inferior al 30% y el Poder Calorífico permita balance de E positivo.

Siendo las operaciones de tratamiento las siguientes:

R1: Utilización principal como combustible o como otro medio para generar energía.

R3: Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidas las operaciones de formación de abono y otras transformaciones biológicas).

R5: Reciclado o recuperación de otras sustancias inorgánicas.

R10: Tratamientos de suelos, produciendo un beneficio a la agricultura o mejora ecológica de los mismos.

D5: Vertido en lugares especialmente diseñados (por ejemplo, colocación en celdas estancas separadas, recubiertas y asiladas entre sí y el medio ambiente, etc.).

D9: Tratamiento fisicoquímico no especificado en otros apartados del presente anejo y que de como resultado compuestos o mezclas que se eliminen mediante uno de los procedimientos enumerados entre D1 y D12 (por ejemplo, evaporación, secado, calcinación, etc.).

Dentro de las operaciones de gestión que plantea el Catálogo Aragonés de Residuos, son prioritarias aquellas que implican la valorización de los residuos, es por ello que en este caso, las principales operaciones de gestión a tener en cuenta serían R3, R5, R10 y R1.

Teniendo en cuenta las operaciones de tratamiento presentes en la legislación se plantean las siguientes alternativas de gestión para los subproductos problema.

Se plantean 4 posibles operaciones de gestión en función de lo establecido en la legislación, las cuales son, Aplicación directa, Incorporación a mezclas y compostaje, Usos energéticos y Usos en el sector de la construcción, coincidiendo estas con las operaciones de valorización R10, R3, R1 y R5 respectivamente.

En adelante se hará referencia a los subproductos o residuos a gestionar con los siguientes nombres:

Los subproductos correspondientes a los códigos LER 030105 Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas distintos de los mencionados en el código 030104 y 030301 Residuos de corteza y madera, se les denominará como *Residuos con alto contenido en carbono*. Este se debe a que son residuos de madera, compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y ligninas, todos ellos caracterizados por poseer valores de carbono y de relación C/N elevada y una degradabilidad elevada, como se muestra en la Tabla 5.



## 5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

Tabla 5. Valores de biodegradabilidad de diferentes compuestos. Fuente: (Haug, 1993). Extraído de (Bueno *et al*, 2008).

Componente	Degradabilidad (%)
Celulosas	70
Hemicelulosas	70
Ligninas	0
Otros Azúcares	70
Lípidos	50
Proteínas	50

El subproducto 030311 Lodos de tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 030310, se denominará en adelante como *Enmienda orgánica*, siendo una enmienda orgánica, enmienda procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizada fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar también sus propiedades o actividad química o biológica, cuyos tipos se incluyen en el grupo 6 del anexo I. (Figura 7).

De igual modo el subproducto 030309 Residuos de lodos calizos, se considerará como *Enmienda caliza*, entendiéndose por esta, enmienda que contiene calcio y/o magnesio, esencialmente en forma de óxido, hidróxido, carbonato o silicato, utilizada principalmente para mantener o aumentar el pH del suelo o para modificar sus propiedades físicas, cuyos tipos se incluyen en el grupo 5 del anexo I.

Ambas definiciones para la enmiendas se establecen en el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. (Figura 7).

### 5.1. Aplicación directa.

Esta alternativa pretende realizar la gestión de los residuos no peligrosos generados mediante su aplicación directa al suelo para mejorar las propiedades de este. Se trata de una alternativa de valorización recogida en el Decreto 148/2008 como operación de gestión R10: Tratamiento de suelos, produciendo un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos.

Los residuos no peligrosos susceptibles de gestionarse mediante esta operación son los residuos con alto contenido en carbono y la enmienda orgánica.

El uso de lodos de depurados como material fertilizante o para la rehabilitación de suelos degradados, es una práctica habitual en los últimos años. Este tipo de subproductos aportan una mejora de las propiedades físico-químicas del suelo debido a la mejora que proporcionan en la fertilidad física, por ejemplo favoreciendo la formación de agregados, como en la fertilidad química u orgánica, aumentando la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica en el suelo, disminución de la compactación, aumentando la capacidad de almacenamiento de agua etc. (Ojeda *et al*, 2003; Ingelmo & Rubio, 2008).

Para poder llevar a cabo esta alternativa, en primer lugar es necesario conocer las características del lodo, así como la existencia de algún tipo de legislación que limite o estipule como realizar la aplicación de los lodos al suelo.

Dado que se trata de un lodo procedente de una Estación Depuradora de Aguas Residuales, EDAR, es el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuradora en el sector agrario, la norma que determinara la viabilidad de la aplicación de estos lodos como enmienda para la mejora de las propiedades del suelo.

En el Real Decreto 1310/1990 se establece que las definiciones de lodo de depuración, lodo tratado, actividad agraria y utilización.

“Artículo 1.º

A los efectos del presente Real Decreto se entenderá por:

- a. *Lodos de depuración.* Los lodos residuales salidos de todo tipo de estaciones depuradoras de aguas residuales domésticas, urbanas o de aguas residuales de composición similar a las anteriormente citadas, así como los procedentes de fosas sépticas y de otras instalaciones de depuración similares utilizadas para el tratamiento de aguas residuales.
- b. *Lodos tratados.* Son los lodos de depuración tratados por una vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o por cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzca de forma significativa su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización.
- c. *Actividad agraria.* La encaminada a la producción de especies vegetales con finalidad alimentaria, para el consumo humano o ganadero, o con otras finalidades no alimentarias.
- d. *Utilización.* Cualquier sistema de aplicación de los lodos al suelo, tanto en superficie como en su interior realizada con fines agrarios.”

Para poder determinar si los lodos producidos por la papelera pueden ser aplicados con fines agrícolas, es decir, se les puede considerar como lodos de depuración, es necesario realizar una comparación entre las aguas residuales urbanas y las aguas residuales de la industria papelera para determinar si poseen o no una composición similar como se establece en el artículo 1º de R.D. 1310/1990.

## 5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

En las Tablas 6 y 7 se muestran valores típicos de aguas residuales urbanas y de papelera.

**Tabla 6. Valores típicos de aguas residuales urbanas. Fuente: Extraído de (Metcalf & Eddy, 2000).**

Constituyente	Concentración, mg/l		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos en suspensión totales	350	220	100
DBO <sub>5</sub> *	400	220	110
DQO**	1000	500	250

\* Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20°C \*\* Demanda química de oxígeno

**Tabla 7. Valores típicos de aguas residuales de la industria papelera. Fuente: Extraído de (<http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-3.PDF> [29/09/2012]).**

Constituyente	Concentración, mg/l
	Nivel recirculación bajo
Sólidos en suspensión totales	11-44,5
DBO <sub>5</sub> *	46-284
DQO**	83-530

\* Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20°C \*\* Demanda química de oxígeno

Comparando ambas tablas, se observa que la composición de ambas aguas puede considerarse como similar, ya que las concentraciones de los parámetros en las aguas procedentes de la industria papelera se encuentran dentro de los rangos para las aguas residuales urbanas.

Por tanto los lodos producidos por la industria papelera podrían considerarse como lodos de depuración como se establece en el artículo 1º de R.D. 1310/1990, y pueden ser usados con fines agronómicos y su aplicación al suelo.

De igual modo en este mismo Real Decreto se establece que los lodos podrán ser utilizados en la actividad agraria:

“Artículo 2.º

Sólo podrán ser utilizados en la actividad agraria los lodos tratados y amparados por la documentación mínima que se establece en el artículo 4 del presente Real Decreto.”

### 5.1.1. Aplicación directa: Residuos con alto contenido en carbono.

Dentro de los residuos con alto contenido en carbono, solamente los residuos de corteza y madera, código 030301, se considera la posibilidad de llevar a cabo su gestión mediante la operación de valorización R10.

Dado que se trata de compuestos con altos contenidos en carbono, pero principalmente lignina, es un carbono poco asimilable por los organismos y por tanto su aporte de fertilidad al suelo será muy bajo.

Teniendo en cuenta que se establecen otras operaciones de valorización como son la recuperación energética o la recuperación de sustancias orgánicas incluidas la formación de abonos, se considera que gestionar estos subproductos mediante su aplicación directa al suelo no es la operación más adecuada.

5.1.2. Aplicación directa: Enmienda caliza.

La aplicación de este tipo de enmiendas se realiza con el fin de corregir los valores del pH del suelo, en este caso valores por debajo de siete, es decir pH ácidos, recibiendo el nombre de encalado.

El pH es un factor de gran importancia en suelo, ya que en función de sus valores pueden darse diferentes situaciones tanto beneficiosas como perjudiciales, como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8. Influencia del pH. Fuente: (Porta *et al*, 2003).**

<b>pH</b>	<b>Evaluación</b>	<b>Efectos esperables en el intervalo</b>
<4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al y Mn
5,1-5,5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Suelos sin carbonato cálcico. El hormigón ordinario resulta atacado. Actividad bacteriana escasa.
5,6-6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de cultivos.
6,1-6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes.
6,6-7,3	neutro	Minimitos efectos tóxicos. Por debajo de pH=7,0 el carbonato cálcico no es estable en el suelo.
7,4-7,8	Medianamente básico	Suelos generalmente con CaCO <sub>3</sub> .
7,9-8,4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B. Deficiencia creciente de: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Suelos calizos. Clorosis férrica debida a HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .
8,5-9,0	Ligeramente Básico	En suelos con carbonatos, estos pH altos pueden deberse al MgCO <sub>3</sub> , si no hay sodio intercambiable. Mayores problemas de clorosis férrica (Russell, 1978).
9,1-10,0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico.
>10,0	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable (ESP>15%). Toxicidad: Na, B. Movilidad del P como Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> . Actividad microbiana escasa. Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo.

Tanto la acidez como la basicidad de un suelo afectan a diversas propiedades de este, no siendo posible el cultivo o revegetación en intervalos de pH inferiores a 4,5 y superiores a 10,0.(Porta *et al*, 2003). Algunas de las propiedades edáficas que se ven afectadas por el pH son: (Alvarado *et al*, 2010; Porta *et al*, 2003)

- Propiedades físicas.
  - Estructura.
  - Porosidad
  - Régimen de humedad
- Propiedades químicas.
  - Disponibilidad de nutrientes.
  - Descomposición de la materia orgánica.
  - Movilidad de elementos tóxicos, biodisponibilidad.
- Propiedades biológicas.
  - Población bacteriana.
  - Fijación de nitrógeno.
  - Movilidad y absorción de nutrientes.

En este caso, dado que se posee una enmienda caliza, se prestará especial atención a los problemas derivados de pH ácidos.

La acidificación de un suelo es un proceso que conlleva el aumento de la concentración de iones  $H^+$  en suelo, provenientes de diversas fuentes como, aluminio intercambiable, ácidos orgánicos, alcoholes etc., teniendo como principales efectos negativos la menor disponibilidad de nutrientes en el suelo (P,K,Ca y Mg) y favoreciendo la movilización de elementos tóxicos como el aluminio ( $Al^{3+}$ ) y metales pesados. (Alvarado *et al*, 2010; Porta *et al*, 2003)

En las ocasiones donde el pH del suelo es un factor limitante, como por ejemplo en la puesta en funcionamiento de un cultivo, revegetación forestal, la rehabilitación de áreas mineras o en zonas de polders (terreno pantanoso ganado al mar), la aplicación de este tipo de enmiendas proporcionan un medio adecuado para el crecimiento de las plantas, favoreciendo la presencia de nutrientes en el medio e inmovilizando los elementos tóxicos. (Porta *et al*, 2003).

El objetivo de las enmiendas calizas es modificar el pH del suelo hasta alcanzar unos niveles en el que la mayoría de los elementos tóxicos sean insolubles, y por tanto no estén disponibles. Así como que los nutrientes esenciales se encuentren en una forma disponible y asimilable, considerando que la función de los programas de encalado es eliminar los factores limitantes del crecimiento y no alcanzar un cierto valor de pH.

Un programa de encalado debe constar de una serie de puntos para garantizar su éxito,

- Diagnóstico.
  - Información del suelo:
    - Órdenes.
    - Niveles inferiores.
    - Régimen de humedad.
  - Muestreo y análisis del suelo, estériles o sedimentos.
    - pH.
    - % Al en relación a CICE.
    - % saturación de bases.
    - Contenido piritita/carbonato calcio equivalente.
    - Necesidades de cal.
    - Poder de amortiguación.
- Recomendaciones.
  - Características del suelo, estériles o sedimentos.
  - Cultivos: selección de especies tolerantes al Al y Mn.
  - Abonos basificantes.
  - Enmienda a utilizar: tipo/cantidad/frecuencia.
  - Método de encalado: de fondo/ de cobertera.  
De saneamiento/ de mantenimiento.
  - Información sobre las enmiendas.
    - Disponibilidades en la zona.
    - Poder neutralizante.
    - Equivalente en Oca/ % Ca elemental.
    - Características físicas: granulometría.
    - Eficiencia neutralizante.

(Porta *et al*, 2003).



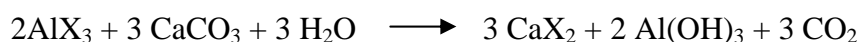
## 5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

Es pues un proceso en el cual las bases presentes en los compuestos usados como enmiendas, liberan al medio cationes básicos y bases,  $\text{OH}^-$ . Los cationes básicos sustituyen a los cationes ácidos de las sedes de cambio, liberándolos al medio. De este modo las bases  $\text{OH}^-$ , reaccionará con los cationes ácidos provocando su inmovilización y consiguiente disminución del pH.

Ejemplo de reacción de reemplazo del aluminio de las sedes de cambio por calcio.

X= sedes de cambio



Hay que tener en cuenta que este es un proceso reversible, es decir, en función de las condiciones el medio, climas húmedos donde se produce un gran lavado de sales, procesos antrópicos, aplicación de fertilizantes nitrogenados amoniacales, es posible que de nuevo los cationes ácidos como el aluminio pasen de a ocupar las sedes de cambio produciendo por tanto una disminución de los valores de pH del suelo. (Alvarado *et al*, 2010).

Teniendo en cuenta los efectos positivos de la aplicación de enmiendas calizas anteriormente explicados se puede concluir que la aplicación de este tipo de subproductos con contenido mineral, en este caso calcio (Ca), aumentan el pH y reducen la disponibilidad de elementos tóxicos como el aluminio (Al) y el manganeso (Mn), reduciendo de igual modo valores de otros metales presentes en el suelos ácidos. Observándose también un aumento de la relación Ca/Mg sin alterar los niveles de metales pesados. (Balbinot *et al*, 2006).

Por tanto a la vista de lo expuesto, se considera que la alternativa de aplicación directa para la enmienda caliza es factible. Sin embargo teniendo en cuenta la ubicación espacial del problema coincidente con la Depresión media del Valle del Ebro, no se considera la opción más adecuada.

Esta consideración es debida a la tipología de suelos presentes en la Depresión media del Valle del Ebro, caracterizado por suelos calizos y presencia de yesos y areniscas. (Quirantes,1972; Ministerio de Agricultura. Dirección General de la producción Agraria, 1978).

### 5.1.3. Aplicación directa: Enmienda orgánica.

La principal gestión de los residuos o subproductos de carácter orgánico es su aplicación al suelo, generalmente como enmiendas en tierras agrícolas y en la recuperación de suelos de minas a cielo abierto. (Norris & Titshall, 2010), siendo más difícil otros tipos de gestión como la incineración, vertido en vertederos etc. Este tipo de gestión se considera como la más adecuada y sostenible, ya que permite la recuperación o reciclado de nutrientes, m.o. etc. además de una reducción del consumo de energía y materias no renovables, necesarias para la elaboración de otros tipos de fertilizantes. (Boixadera & Teira, 2001).

En los últimos años los tratamientos que reciben estos residuos o subproductos, no han tenido en cuenta las características del medio receptor, lo que dificulta en gran medida su gestión mediante la aplicación como enmienda. (Boixadera & Teira, 2001).

La aplicación de fertilizantes tanto orgánicos como inorgánicos debe realizarse de forma que la mayor parte del producto llegue a su destino, evitando pérdidas de nutrientes que lleguen a otros destinos como los niveles freáticos. Para minimizar los impactos ambientales es necesario planificar las aplicaciones de este tipo de enmiendas en función de las necesidades del sistemas, tipo de suelo, tipo de vegetación etc. (Usón & Boixadera, 2010).

La materia orgánica es uno de los componentes con mayor importancia en el suelo, pudiendo variar su contenido desde valores entorno al 1% en zonas áridas hasta valores entorno al 10% en suelos de praderas y máximos del 30% en suelos orgánicos. El contenido de m.o. depende de varios factores como son,

- Vegetación. Determinará la necromasa aportada.
- Clima: factor que condiciona diferentes aspectos de gran importancia:
  - Especies presentes.
  - Producción de biomasa.
  - Actividad microbiana.
- Organismos del suelo: intervienen en la alteración de la m.o.
- Ladera: influencia en el efecto solana/umbría, erosión.
- Drenaje: afecta a la descomposición.
- Textura del suelo.
- Estructura. (Porta *et al*, 2003).

La cantidad y calidad de la m.o. presente en el suelo afecta directamente a determinadas propiedades tanto físicas, químicas como biológicas del mismo, directamente relacionadas con la fertilidad y productividad de un suelo,

- Propiedades físicas;
  - Estructura.
  - Porosidad y aireación.
  - Prevención de los procesos erosivos, etc.
- Propiedades químicas:
  - Capacidad tampón.
  - Estabilización de nutrientes.
  - Papel depurador, etc.
- Propiedades biológicas:
  - Formación del suelo.
  - Fuente macronutrientes.
  - Contiene reguladores del crecimiento, etc.
- Interacciones:
  - Aumenta y permite definir la calidad del suelo.
  - Componente clave para la sostenibilidad/sustentabilidad de agrosistemas, etc.

(Porta *et al*, 2003; Ortiz, 2001).

## 5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

Con esta alternativa de gestión se pretende la valorización de unos residuos a través de su uso en agrosistemas o en labores de restauración de suelos degradados, a la vez que una reducción del volumen de residuos orgánicos. Este tipo de alternativas deben estar diseñadas y planificadas para la mejora de las propiedades del suelo, gracias a la mejora orgánica y al aporte de nutrientes, y no exclusivamente como técnica para la eliminación de residuos. (Ortiz, 2001).

Por tanto como muestran diversos autores (Hereter *et al*, 2003; Jorba & Vallejo, 2008; Norris & Titshall, 2010; Ingelmo Rubio, 2008), la aplicación de enmiendas orgánicas aporta una serie de beneficios al suelo a largo plazo, como son una mejora de sus propiedades físicas debido al aumento de carbono en el suelo, ayudando a la integración de la vegetación. Reduce la erosión y favorece la estabilidad de los agregados, produce un beneficio de propiedades de gran importancia como son el pH, favorece un incremento del contenido de m.o, la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y el fosforo, y producen un beneficio en el comportamiento hidrológico de los suelos.

Por consiguiente, dado los beneficios que aporta al suelo la aplicación de enmiendas orgánicas, se considera que este tipo de alternativa de gestión es adecuada.

### 5.2. Incorporación a mezclas y compostaje.

La incorporación a mezclas y compostaje de los subproductos provenientes de la industria papelera, es una alternativa planteada a partir de la operación de valorización R3 del Catálogo Aragonés de Residuos. Estable como operación el reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidas las operaciones de formación de abono y otras transformaciones biológicas). Por tanto en este punto se va a estudiar la viabilidad de utilizar los subproductos como materia prima para la elaboración de compost.

Una posible definición de compostaje es, técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables que produce un producto que es un factor de estabilidad y fertilidad de los suelos. (Soliva *et al*, 2008).

Se trata de un proceso complejo en cual interviene diferentes procesos tanto de carácter físico, químico como biológico. Los principales factores controladores del proceso y que determinaran la viabilidad y el buen proceso de compostaje son, temperatura, humedad, pH, aireación, relación C/N, nutrientes, materia orgánica y conductividad eléctrica. (Bueno *et al*, 2008).

La temperatura es un factor de gran importancia, ya que es clave para la actividad microbiana, además de ser un mecanismo de control tanto de los microorganismos que actúan en cada momento como de la evolución del proceso de compostaje.

La importancia de la humedad está ligada a la necesidad de una matriz líquida a través de la cual los microorganismos puedan obtener las sustancias necesarias para realizar sus procesos vitales, a través de los cuales se realizan el compostaje. Es un factor importante, ya que tanto un déficit como una saturación de humedad afecta negativamente al proceso de compostaje.

El pH afecta principalmente a la dinámica de los procesos microbianos, pudiendo llegarse a detener estos para valores de pH bajos, en los cuales se produce una inhibición de la descomposición de la materia orgánica.

## 5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

La aireación es clave, debido a que los organismos que intervienen en el proceso son aerobios, por tanto la presencia de oxígeno es fundamental, ya que un déficit del mismo provocará la aparición de procesos anaerobios que afectan a la calidad del proceso.

La relación C/N influye en la velocidad del proceso, porque la disponibilidad de nitrógeno es básica para el desarrollo de los organismos.

La materia orgánica es factor clave, ya que en función de sus características, es decir, si está compuesta por moléculas con un mayor o menor grado de biodegradación afectará a la velocidad y viabilidad del proceso.

Una vez explicados los factores que afectan o controlan el proceso de compostaje, es necesario realizar un análisis de la viabilidad de esta operación con los subproductos presentes, teniendo en cuenta para ello tanto lo especificado en la legislación como las características de los subproductos a tratar.

### 5.2.1. Compost con: Residuos con alto contenido en carbono.

Como ya se ha explicado anteriormente, uno de los factores de gran importancia a la hora de elaborar y determinar la calidad de un compost es su relación C/N. Esta relación indica la cantidad de carbono y nitrógeno que necesitan los organismos para poder llevar a cabo el proceso de compostaje.

Este tipo de materiales con relaciones C/N altas no son una buena materia prima para ser compostada, ya que los elevados valores de carbono influyen en la actividad biológica, dado que los organismos deben oxidar el exceso de carbono teniendo un déficit de nitrógeno. Este hecho ha de ser corregido, normalmente mediante la adición de más organismos, los cuales al morir incorporan nitrógeno reduciendo el valor de esa relación. (Bueno *et al*, 2008).

Además se trata de materiales en los cuales gran parte de la materia orgánica es poco biodegradable, formada principalmente por restos de lignina y celulosa, donde la cantidad de carbono asimilable por los organismos es menor, lo que favorecerá un proceso de compostaje que evolucionara más rápido pero que solo afectara a una proporción de la masa total. (Bueno *et al*, 2008).

Sin embargo, estos productos son de gran utilidad a la hora de realizar el compostaje de residuos con relaciones C/N bajas, como los estiércoles.

En la Tabla 9 se muestran diferentes materiales con sus valores de relación C/N, entre los cuales se encuentran materiales con relaciones bajas como los estiércoles y otros con relaciones elevadas como los serrines.

## 5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Tabla 9. Composición media y relación C/N de algunos materiales utilizados en el compostaje. Fuente: (O'Ryan & Riffo, 2007).

Material	Humedad (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
Residuos de fruta	80	1.4	40
Huesos de aceitunas	8-10	1.2-1.5	30-35
Residuos de vegetales	-	2.5-4	11-13
Residuos de maíz	12	0,6-0,8	56-123
Residuos de tomate	62	4.5	11
Residuos de frutas	80	1.4	40
Residuos matadero	10-78	13-14	3-3.5
Residuos de pescado	76	10.6	3.6
Estiércol de gallina	37	2.7	14
Estiércol de vacuno	81	2.4	19
Estiércol ovino	69	2.7	2.7
Estiércol de caballo	72	1.2	41
Purines	80	3.1	3.1
Maíz de ensilado	65-68	1.2-1.4	38-43
Heno	8-10	2.1	15-32
Paja cereales	12	0.7	80
Residuos papel periódico	3 8	0.06-0.14	398-852
aserrín	39	0.24	442
Cortes de pastos	82	3.4	17
Hojas	38	0.9	54
Poda de árboles	70	3.1	235-496

Por tanto estos materiales con relaciones C/N altas, se suelen utilizar para realizar un mejor compostaje de residuos con relaciones bajas. Esto se debe a que el compostaje de residuos con relaciones bajas, 18-19 o menores, es más rápido, el exceso de nitrógeno se desprende en forma de amónico consiguiendo así una autorregulación de la relación C/N.

La emisión del amónico no afecta negativamente al proceso de compostaje, pero sí que posee dos grandes problemas, el primero está relacionado con la pérdida de nitrógeno, nutriente principal de los cultivos y en el segundo está relacionado con los posibles impactos ambientales derivados de la emisión de este gas de efecto invernadero. (Bueno *et al*, 2008).



### 5.2.2. Compost con: Enmienda orgánica.

El compostaje de la enmienda orgánica, es una alternativa de gestión contemplada en la legislación como operación de gestión R3, recuperación de sustancias orgánicas. Pese a ser una alternativa contemplada por la legislación es necesario realizar un breve análisis sobre la aptitud de este subproducto como materia prima para el compostaje y de este modo determinar si esta es una buena alternativa de gestión para este subproducto.

Como ya se ha explicado son varios los factores que determinan la idoneidad de un producto para ser usado en el proceso de compostaje, entre ellos cabe destacar la relación C/N y el contenido de materia orgánica.

En este caso, la enmienda orgánica presenta unos valores para la relación C/N un tanto elevados, 52,5 ya que se considera como óptimos valores cercanos a 40 (Bueno *et al*, 2008). Como se ha explicado en el caso de la enmienda caliza, estos valores se pueden corregir mediante la adición más microorganismos, de modo que conforme estos mueran, aportaran nitrógeno al medio modificando la relación C/N.

El segundo factor a tener en cuenta sería la materia orgánica, en este caso pese a presentar valores 56% en contenido de materia orgánica, se trata de una materia orgánica principalmente compuesta por lignina, compuesto muy poco biodegradable, lo cual hará que el proceso de compostaje sea más rápido y solo afecta a una pequeña proporción de la masa a compostar. (Bueno *et al*, 2008).

Por tanto, dado que los lodos de EDAR de las instalaciones papeleras poseen un contenido orgánico principalmente de lignina y celulosa y con bajos contenidos de nitrógeno suelen ser un buen complemento para el compostaje de residuos con un mayor contenido de nitrógeno como residuos ganaderos. (Gea *et al*, 2005).

## 5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

Pese a tratarse de una alternativa de gestión óptima y viable, dado que las características de esta enmienda orgánica permiten su aplicación directa, se considerara la opción del compostaje como una opción secundaria, prevaleciendo en primer lugar la aplicación directa. Utilizándose este subproducto como material de mezcla para compostaje en caso de tomarse como primera alternativa el compostaje.

### 5.3. Usos energéticos.

La utilización de estos subproductos como material para usos energéticos queda reflejada en el Catalogo Aragonés de Residuos, mediante la operación de valorización R1: Utilización principal como combustible o como otro medio para generar energía.

De igual modo, esta alternativa solo podrá ser aplicada cuando el porcentaje de humedad de los subproductos a gestionar sea inferior al 30%, y posean un Poder Calorífico que permita un balance energético positivo. La limitación del porcentaje de humedad implica que los lodos que vayan a ser usado en proceso de aprovechamiento energético deberán ser lodos secados, condición que en muchos casos influirá en la rentabilidad del proceso. Con respecto a la limitación del PC, este variará en función de las características del propio residuo.

Este tipo de alternativas que implican una recuperación energética de los residuos o subproductos, bien sea de forma directa mediante su incineración, mezcla con otros combustibles como carbón, etc. o indirecta generando combustibles secundarios como biogás, poseen diversos beneficios, como es la recuperación energética, la minimización del uso de combustibles fósiles, una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, GEI, etc.. Además de estos procesos se obtienen subproductos, lodos digeridos, cenizas, que en función del material de partida pueden ser utilizados como material fertilizante, en especial en el caso de lodos de EDAR, siempre que cumplan los límites establecidos para los metales pesado. (Colomer *et al*, 2009; Velasco *et al*, 2008).

Pero a su vez se trata de una operación de gestión que posee una serie de inconvenientes o problemas, el principal de ellos es la heterogeneidad del material, así como los costes de las instalaciones necesarias para llevar a cabo este tipo de operaciones. (Colomer *et al*, 2009).

## 5. ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

Dado que se trata de una alternativa, que para determinar la aptitud de los subproductos, es necesario poseer información sobre el poder calorífico y su porcentaje de humedad, que no se poseen, se considera que no es posible determinar si es viable o no la valorización energética de estos subproductos. Pese a ello las operaciones de gestión encaminadas a la valorización energética de este tipo de residuos están cada vez más presentes debido a las actuales necesidades energéticas.

Por tanto dado que se poseen alternativas de gestión más adecuados o con mayor información para determinar su idoneidad para los subproductos, no se plantea la alternativa de usos energéticos.

### 5.4. Usos en el sector de la construcción.

En esta alternativa plantea el uso de los subproductos en el sector de la construcción, es decir, utilizar estos subproductos como materiales de construcción o como materia prima para la elaboración de materiales que pueden ser usados en la construcción. Este aprovechamiento está contemplado por la legislación en el Catálogo Aragonés de Residuos, mediante la operación de valorización R5, reciclado o recuperación de otras sustancias inorgánicas.

La importancia de esta alternativa está relacionada con la actual tendencia en la construcción, encaminada hacia la denominada construcción sostenible. Este nuevo enfoque de la construcción se basa en el uso de materiales sostenibles energéticamente, como sería el uso de materiales naturales, reutilización de materiales y subproductos de otros sectores y reutilización y reciclado de residuos. (Matas, 2010).

Una de las opciones que se plantea en este nuevo modelo de construcción es el uso de subproductos como los lodos en la elaboración de materiales de construcción. En el caso de los lodos procedentes de la industria papelera se plantea diferentes alternativas como son la elaboración de morteros, hormigones, cementos, ladrillos etc. (Matas, 2010; Raut *et al*, 2012; Quinchía *et al*, 2007; García-Valles *et al*, 2011; Rodríguez *et al*, 2009), posibles alternativas que se valoraran a continuación teniendo en cuenta el subproducto del cual se dispone.

### 5.4.1. Usos en el sector de la construcción: Enmienda caliza.

Para este subproducto, es posible plantear dos vías de uso en el sector de la construcción, uno de ellos estaría relacionado con su uso en la elaboración de materiales de construcción, como ladrillos, paneles estructurales etc. (Matas, 2010; Quinchía *et al*, 2007), pero de igual modo, este subproducto podría utilizarse como materia prima a partir de la cual obtener materiales como el caolín para la elaboración de cementos y hormigones. (Vegas *et al*, 2006; Rodríguez *et al*, 2009).

El uso de este subproducto como material para la fabricación de ladrillos, paneles estructurales, etc. es una de las posibles formas de llevar a cabo la valorización de los residuos. Se trata de un procedimiento en el que no influye tanto la composición de los lodos como su porcentaje de humedad. (Quinchía *et al*, 2007).

Diferentes estudios muestran que es viable el uso de lodos de papeleras para la fabricación de diferentes materiales estructurales como ladrillos, obteniéndose un producto que cumple con la normativa de calidad y posee características de resistencia similares a los materiales convencionales, además de presentar una serie de ventajas. (Matas, 2010; Quinchía *et al*, 2007)

Entre las ventajas cabe destacar, la posibilidad de fabricar materiales que poseen hasta un 80% de material reciclado (Quinchía *et al*, 2007), lo cual disminuye notablemente su peso con respecto a los materiales convencionales. La reducción del peso a su vez posee ventajas como son una mayor facilidad de transporte y una reducción de la carga estructural que ha de soportar la construcción. (Matas, 2010; Quinchía *et al*, 2007)

Una segunda posibilidad de gestión dentro de esta alternativa para la enmienda caliza, es uso para la elaboración de cementos y hormigones mediante un tratamiento térmico de los lodos.

El uso de lodos en la elaboración de cementos posee una serie de ventajas, principalmente relacionadas con la temática ambiental, como es la reutilización de un subproducto o la reducción de las emisiones atmosféricas al sustituir la combustión de la caliza por la incineración de lodos, para la obtención de materiales con actividad puzolánica. (Sabador *et al*, 2007).

Diversos autores muestran la viabilidad de llevar a cabo este proceso, obteniéndose cementos en los cuales se observa un aumento de la actividad puzolánica, una mayor resistencia a la compresión y un aumento de la porosidad, cumpliendo todos ellos con la normativa establecida. (Vegas *et al*, 2006; Rodríguez *et al*, 2009; Sabador *et al*, 2007).

Por tanto se considera que el uso de la enmienda caliza como material para la elaboración de cementos y hormigones es una de las posibles alternativas de gestión, siendo esta posiblemente la más adecuada ya que como se analizo con anterioridad su uso como enmienda caliza para el suelo, no es la alternativa más adecuada dadas las características que presentan los suelos del Valle del Ebro, situación geográfica del problema.

### 5.4.2. Usos en el sector de la construcción: Enmienda orgánica.

El uso de este subproducto en esta alternativa queda descartado por la legislación, ya que no se contempla la recuperación de sustancias inorgánicas para este material.

De todos modos es posible su uso como material de construcción en la fabricación de ladrillos y paneles estructurales, caso ya explicado para la enmienda caliza.

Pero dado las características de esta enmienda, se aconseja que sea utilizada en otras alternativas estudiadas como su aplicación directa como enmienda al suelo o su uso para la elaboración de compost.



### 5.5. Conclusiones de las alternativas de gestión.

Tras haber analizado cuatro posibles alternativas de gestión para los subproductos, se cree necesario determinar cuál o cuáles son las operaciones de gestión más eficientes para cada uno de los dos subproductos analizados.

En primer lugar hay que tener en cuenta que la elección de la alternativa depende de varios factores como son la eficiencia, la rentabilidad económica, la disponibilidad de tecnología necesaria y el lugar geográfico donde se sitúa el problema.

Teniendo en cuenta estos factores se considera que las mejores operaciones de gestión para los residuos no peligrosos son su uso en el sector de la construcción, su aplicación directa al suelo, y su uso en el proceso de compostaje.

La elección de estas alternativas se basa en los siguientes argumentos.

#### 5.5.1 Residuos con alto contenido en carbono:

En el caso de los residuos con alto contenido en carbono, se considera que la mejor alternativa de gestión es su incorporación a mezclas y compostaje ya que se trata de materiales que con unas propiedades que facilitan el compostaje de residuos con relaciones C/N bajas como son los estiércoles.

Se considera esta operación de gestión ya que dentro las posibles operaciones de gestión que plantea la legislación para este tipo de materiales, su aplicación directa al suelo solo sería viable para uno de los residuos, residuos de corteza y madera, y como ya se ha explicado se trata de materiales compuestos principalmente por lignina, compuesto poco biodegradable.

Por otro lado, su posible valorización energética es posible, pero dado que no se poseen datos suficientes para determinar la viabilidad de esta operación de gestión, es una operación de gestión que no se considera.

Por tanto la operación de valorización más adecuada para los residuos con alto contenido en carbono es su incorporación a mezclas y compostaje.

### 5.5.2 Enmienda caliza:

En el caso de la enmienda caliza se ha elegido como alternativa su uso en el sector de la construcción por diversos motivos.

En primer lugar, pese a ser viable su uso como enmienda caliza para la mejora de los suelos, dada la ubicación geográfica del problema, Valle del Ebro, la presencia de suelos ácidos que requieran de un encalado en las proximidades es muy baja, por lo que no se considera esta como una buena alternativa de gestión.

En último lugar, la alternativa relacionada con el uso en el sector de la construcción, como ya se ha explicado, es posible utilizar este tipo de lodos para la elaboración de cementos, sustituyendo de este modo parte de las necesidades de combustión de roca caliza. Dada la presencia de industria cementera en la CC.AA. de Aragón y que la aplicación de esta alternativa implica una serie de ventajas ambientales como son la valorización de un residuo, la disminución de las necesidades de roca caliza, una reducción de las emisiones atmosféricas y de los consumos energéticos, se considera que esta es la mejor alternativa para la gestión de la enmienda caliza.

### 5.5.3 Enmienda orgánica:

Para la enmienda orgánica la alternativa seleccionada es su uso aplicación directa al suelo, esto se debe a que se trata de un subproducto con unas características óptimas para su uso como material fertilizantes. Además se trata de la alternativa más eficiente dado que la zona donde se ubica el problema es una zona eminentemente agrícola o con gran presencia del sector primario.

En segundo lugar también cabría destacar su uso como material para la elaboración de compost, pero se trata de una alternativa que en este caso se considerara secundaria, es decir, es una alternativa como ya se ha analizado viable y eficaz para la gestión de este subproducto, pero que requiere unos mayores plazos de tiempo así como unas instalaciones donde realizar el compostaje, por ello siempre que sea posible realizar la gestión mediante su aplicación directa, el compostaje será una alternativa secundaria.

En tercer lugar con respecto a los usos energéticos, no se disponen de los datos suficientes para valorar de forma correcta la viabilidad de esta alternativa.

6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Tras haber realizado el análisis de las diferentes alternativas planteadas y haber seleccionado la más indicada para cada subproducto, es necesario especificar cómo se van a llevar a cabo esas alternativas.

6.1. Residuos con alto contenido en carbono.

En el caso de los residuos con alto contenido en carbono Tabla 10, la alternativa elegida es su incorporación a mezclas y compostaje, con el fin de facilitar el compostaje de otros subproductos o residuos.

- **030105** Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas distintos de los mencionados en el código 030104.
- **030301** Residuos de corteza y madera.

Tabla 10. Características de los residuos con alto contenido en carbono.

Código	Material	% Humedad	% Nitrógeno	Relación C/N
<b>030105</b>	<b>Serrín*</b>	39	0,24	442
<b>030301</b>	<b>R.M.D.<sup>1*</sup></b>	-	0,09	641
	<b>R.M.B.<sup>2*</sup></b>	-	0,09	560
	<b>C.M.D.<sup>3*</sup></b>	-	0,241	223
	<b>C.M.B.<sup>4*</sup></b>	-	0,14	496

<sup>1</sup>Residuos de madera dura, <sup>2</sup>Residuos de madera blanda, <sup>3</sup>Cortezas de madera dura, <sup>4</sup>Cortezas de madera blanda. \* Extraído de (Negro *et al*, 2000).

Como se trata de subproductos, todos ellos con una relación C/N elevada, son productos que son usados en de diferentes mezclas para la elaboración del compost.

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

En el caso de los materiales correspondientes a los códigos 030105 y 030301, se trata de materiales con elevadas relaciones C/N, secos y con gran tamaño de partículas, lo que proporciona una excelente estructura pero baja degradabilidad. Teniendo en cuenta estos factores, este tipo de materiales son usados como material “bulking” en compostajes con aireación forzada, habiendo que eliminarlo tras el proceso. (Negro *et al*, 2000).

En función de las características de los diferentes materiales de partida para la elaboración del compost, este tipo de materiales deberán ser pretratados, es decir, modificar el tamaño de partícula, hasta alcanzar el tamaño requerido para el proceso.

### 6.2. Enmienda caliza.

La alternativa de gestión elegida para la enmienda caliza es su uso en el sector de la construcción, siendo su uso la fabricación de cementos. Este subproducto podría ser enviado a diferentes plantas de fabricación de cementos, pero dado que dentro de la gestión de los residuos, la eficiencia es uno de los factores a tener en cuenta, es aconsejable buscar empresas próximas a la empresa generadora de los residuos que puedan usarlos.

Este tipo de subproductos tiene autorizado su uso como materia prima alternativa autorizada en fábricas de cemento, en la planta cementera de Morata de Jalón (Zaragoza) CEMEX España S.A. (Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente, 2009; RESOLUCIÓN de 9 de marzo de 2012, del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, por la que se renueva la autorización ambiental integrada de la fábrica de cemento gris de Morata de Jalón (Zaragoza), promovida por Cemex España. S. A. (Nº Expte. INAGA/500301/02.2010/10730). Por tanto dado que su uso en esta empresa es posible y que se trata de una empresa situada en la misma CC.AA. se considera que es la mejor alternativa de gestión.

La enmienda caliza o residuos de lodos calizos, es un subproducto con un alto contenido en óxido de calcio (CaO), 58,09% como se muestra en la Tabla 1. Este tipo de materiales con elevados contenidos minerales pueden usarse en la elaboración de cementos sustituyendo a la roca caliza en el proceso de obtención del clinker.

Antes de poder usarse en este proceso, los lodos han de ser pretratados hasta adquirir unas propiedades que permitan su uso, principalmente es necesaria que se trata un producto con contenido de humedad máxima del 12% y se encuentre en un tamaño de partícula adecuado para el proceso. (Husillos, 2012)

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

En este caso los lodos calizos poseen una humedad del 25,15% (materia seca 74,85% Tabla 1), por ello será necesario un secado previo de los mismos y un triturado para adecuar el tamaño de partícula a las especificaciones de fabricación del cemento.

Por tanto con respecto a la implantación de esta alternativa, es necesario determinar las posibles vías que permitan el transporte y uso de este material en las instalaciones de la empresa cementera. Además también deberá determinarse como deberán ser enviados estos lodos calizos, es decir, si enviran previo secado de los mismos o será la propia cementera la que realizara ese proceso.

El transporte de estos residuos es uno de los factores claves, al ser uno de los factores que determine la viabilidad económica de la gestión de estos residuos, ya que en función de los costes asociados al transporte la empresa cementera deberá estimar la rentabilidad del uso de estos lodos. De igual modo como ya se ha mencionada con anterioridad, el secado de los lodos para su uso en hornos, es otro de los factores claves para determinar la viabilidad económica de esta operación de gestión.

De todos modos el uso de este tipo de materiales en la elaboración de cementos posee una serie de ventajas, (Husillo, 2012).

Se produce un ahorro energético debido a que las necesidades energéticas para la descomposición de la roca caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) son menores que las que requiere el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), además de tener en cuenta que la combustión de la fracción de materia orgánica que poseen los lodos aporta un calor adicional.

De igual modo se produce una reducción en los costes, al disminuir el uso de roca caliza ya que se disminuye el proceso de molienda de la misma, así como también una reducción en los costes e impactos de extracción de la roca caliza de las canteras.

## **6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.**

---

En último lugar se produce una reducción de las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en el proceso de clinkerización. Esto se debe a que la descomposición del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en este proceso supone una emisión del 50% de las emisiones totales de  $\text{CO}_2$  del proceso de fabricación de cementos, por tanto la sustitución de parte del  $\text{CaCO}_3$  proveniente de la roca caliza por otras fuentes de calcio como son los lodos, puede suponer una reducción en las emisiones de  $\text{CO}_2$ .



### 6.3. Enmienda orgánica.

En último lugar teniendo en cuenta que la aplicación directa es la alternativa elegida para la enmienda orgánica, se considera útil la realización de un plan de aplicación.

Con este plan de aplicación, se pretende establecer un ejemplo de las consideraciones que se deberían tener en cuenta para llevar a cabo la alternativa anteriormente mencionada. Entre esas consideraciones cabe destacar, el cálculo de la dosis necesaria para cada cultivo y la dosis aplicable, así como indicar los mejores momentos para realizar estas aplicaciones.

La información para la elaboración del plan de aplicación se ha obtenido del Anuario estadístico agrario de Aragón junto con el Código de buenas prácticas agrarias (I) (Sección de estadísticas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón, 2008-2009; Orús *et al*, 2000).

En primer lugar antes de realizar un plan de aplicación, es necesario conocer la ubicación, es decir, saber si en las proximidades del lugar donde se generan y gestionan estos subproductos existe una demanda de productos.

En este caso el problema se encuentra ubicadas en la comarca de Zaragoza, es por ello que a continuación se realiza un breve análisis acerca de los usos del suelo de la comarca de Zaragoza, con el fin de determinar si realmente existe una demanda potencial de producto con fines agrícolas como es la enmienda orgánica.

En la Tabla 11 y Figura 8, se muestra la distribución de superficie de la comarca de Zaragoza, considerándose los principales usos del suelo, así como su superficie total, en secano y en regadío.

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Tabla 11. Superficie comarca de Zaragoza. Fuente: Sección de Estadística del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2008-2009).

Usos del suelo	Superficie total(ha)	Superficie secano(ha)	Superficie regadío(ha)
Tierras de cultivo	267.497	207.343	60.154
Praderas y pastizales	16.845	16.845	0
Terreno forestal	68.920	68.734	186
Otras superficies	144.871	144.871	0
<b>Total</b>	<b>498.655</b>	<b>437.793</b>	<b>60.862</b>

### Distribución de Superficie.

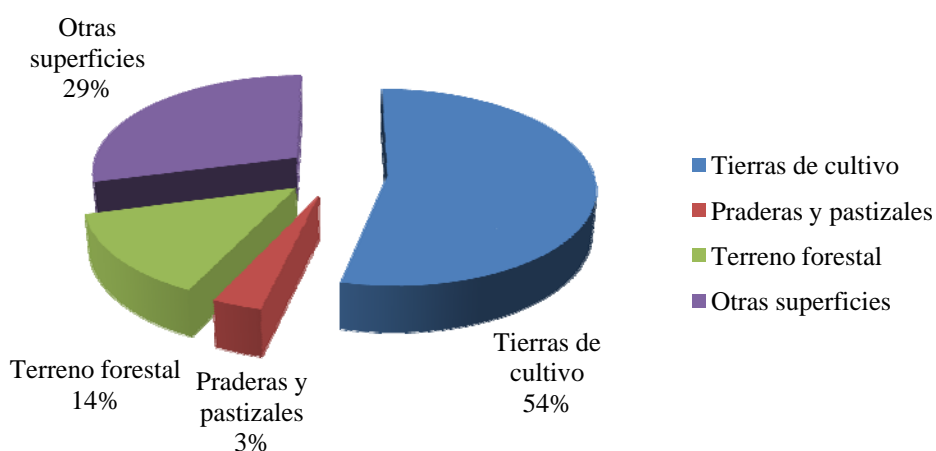


Figura 8. Distribución superficie comarca de Zaragoza. Fuente: Sección de Estadística del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2008-2009).

Como se observa, las tierras de cultivo suponen el uso mayoritario del suelo, siendo esto un factor determinante a la hora de llevar a cabo la alternativa de la aplicación directa. Esto se debe a que la gran importancia de este tipo de uso del suelo, nos puede indicar la existencia una demanda potencial de productos con fines agrícolas.

Además de estimar los usos del suelo, también es de gran utilidad determinar dentro de la superficie, que fracción está destinada al secano y cual al regadío, tanto en la superficie total como en la superficie cultivable. De este modo se puede estimar la importancia de los regadíos, sistemas agrícolas intensivos y con mayores necesidades de fertilizantes.

## Superficie total. Secano vs Regadío.

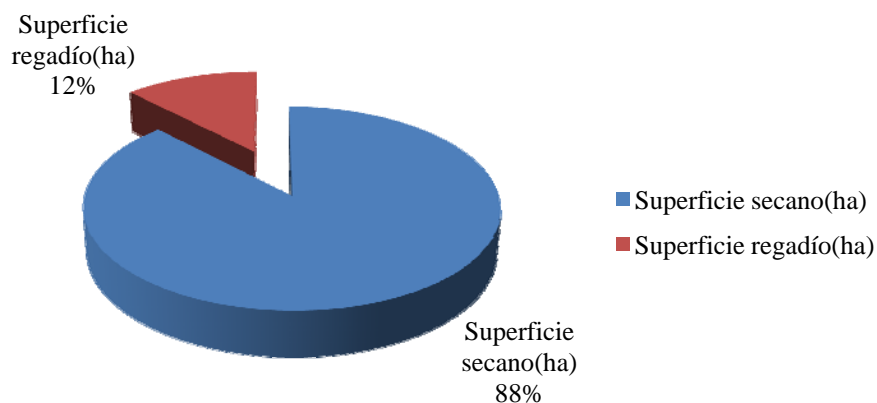


Figura 9. Distribución de superficie de secano vs regadío. Fuente: Sección de Estadística del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2008-2009).

## Superficie Cultivada Secano vs Regadío.

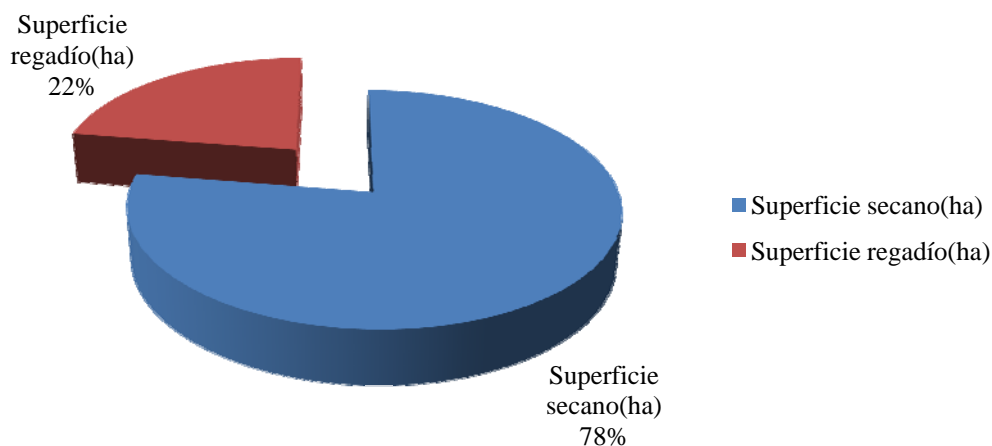


Figura 10. Distribución de superficie cultivada de secano vs regadío. Fuente: Sección de Estadística del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2008-2009).

Como se muestra en las Figuras 9 y 10, la superficie de regadío en la comarca de Zaragoza posee un peso importante llegando a suponer un 22% de la superficie cultivada total.

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Una vez analizados los usos del suelo del lugar donde se va a llevar a cabo el plan de aplicación, es importante determinar aquellos cultivos mayoritarios, y que por tanto evaluar las necesidades de fertilizantes.

En la comarca de Zaragoza, como se observa en la Figura 11, el cultivo con mayor importancia es el trigo en secano con mayor diferencia. De igual modo dentro de los cultivos de regadío, a excepción de la cebada, todos poseen una superficie similar.

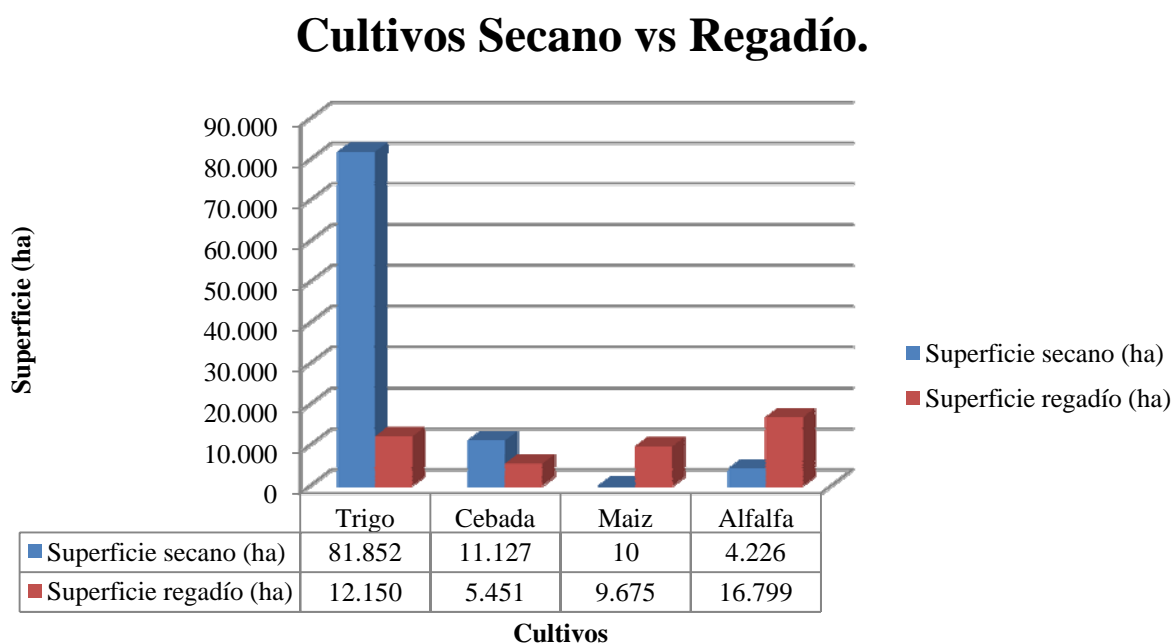


Figura 11. Superficie de cultivos de secano vs regadío. Fuente: Sección de Estadística del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2008-2009).

Por tanto a la vista de lo anteriormente expuesto, se considera que la comarca de Zaragoza, ubicación física del problema, es una zona apta donde realizar un plan de aplicación de residuos con elevado contenido en materia orgánica, dado la importancia de la superficie de cultivo que hay, así como por la presencia de diferentes cultivos y sistemas productivos que garantizan la demanda potencial de productos fertilizantes.

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

Una vez analizados los diferentes usos del suelo, así como los principales cultivos de la zona y por consiguiente determinado la idoneidad o no de la zona para llevar a cabo el plan de aplicación, se procede a la determinación de la cantidad de enmienda que será capaz de absorber un cultivo.

A continuación se muestran los cálculos, a partir de los cuales se determina la cantidad máxima de enmienda orgánica que pueden llegar a absorber los diferentes cultivos considerados en un año. En estos cálculos no se ha tenido en cuenta el cultivo de la alfalfa, ya que al tratarse de una leguminosa, capaz de fijar nitrógeno atmosférico, no requiere de elevadas dosis de fertilizantes nitrogenados.

En las Tablas 12 y 13, se muestran los diferentes cultivos que se han tenido en cuenta para cada situación, así como valores referentes al rendimiento de los cultivos, consumos de nitrógeno y cantidades de fertilizantes a aplicar.

A partir de los datos de las Tablas 12 y 13, así como del contenido en nitrógeno de la enmienda orgánica, Tabla 1, es posible calcular de forma aproximada las necesidades de nitrógeno requeridas por estos cultivos, teniendo en cuenta otros factores para realizar este balance de nitrógeno como es el aporte de materia orgánica propia del suelo, 10-15 kg/ha año y la propia tasa de mineralización del subproducto a aplicar, 30-40% (Orús *et al*, 2000).

**Tabla 12. Cultivos secano provincia de Zaragoza. Fuente: (Sección de estadísticas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón, 2008-2009; Orús *et al*, 2000).**

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Producción (t)</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	<b>Extracciones de N (kg N/t)</b>
<b>Trigo</b>	81.852	49.229	601,4	27,0
<b>Cebada</b>	11.127	10.670	958,9	23,0
<b>Maíz</b>	-	-	-	28,0
<b>Alfalfa</b>	4.266	101.424	24.000	4,5

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Tabla 13. Cultivos regadío provincia de Zaragoza. Fuente: (Sección de estadísticas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón, 2008-2009; Orús *et al*, 2000).

Cultivo	Superficie (ha)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)	Extracciones de N (kg N/t)
Trigo	12.150	52.064	4.285,1	27,0
Cebada	5.451	21.646	3.971,0	23,0
Maíz	9.675	93.933	9.708,8	28,0
Alfalfa	16.799	1.091.935	65.000	4,5

Aporte anual de m.o. (A) = 12,5 kg N/ ha año x 81.852 ha = 1.023.150 kg N/año

Necesidades de nitrógeno (N) = 49.229 t x 27 kg N/t = 1.329.183 kg N

Por tanto para calcular las necesidades de fertilizante (F),

$$N=A+F \quad F=N-A$$

$$F= 1.329.183 \text{ kg N} - 1.023.150 \text{ kg N/año} = 306.033 \text{ kg N/año}$$

Teniendo en cuenta el contenido de nitrógeno total de la enmienda orgánica, 0,85% y la tasa de mineralización de este residuo, aproximadamente 35%, se puede calcular que fracción del nitrógeno aplicado mediante esta enmienda es liberado el primer año y por tanto conocer la cantidad de enmienda a aplicar para cubrir esa necesidad.

Por tanto teniendo en cuenta un 35% de tasa de mineralización, el primer año solamente se mineraliza un 0,3% del 0,85% de nitrógeno total presente en la enmienda orgánica.

De este modo se obtiene que la cantidad de fertilizante capaz de absorber las 81.852 ha de trigo de secano de la comarca de Zaragoza es la siguiente,

$$\text{Fertilizante a aplicar} = 306.033 \frac{\text{kg N}}{\text{año}} \cdot \frac{100 \text{ kg fert.}}{0,3 \text{ kg N}} = 102.011.000 \frac{\text{kg fert.}}{\text{año}}$$

Es decir, el cultivo de trigo presente comarca de Zaragoza, es capaz de asimilar una cantidad anual de 102.011 t de enmienda orgánica.

Procediendo de la misma manera se calculan las necesidades para los demás cultivos tanto en secano como en regadío. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 14 y 15

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Tabla 14. Cálculo enmienda cultivos secano comarca de Zaragoza.

Cultivo	Consumo (N)(kg N)	Aporte m.o (A)(kgN/año)	Fertilizante (F)(kgN/año)	Aporte enmienda (t)
Trigo	1.329.183	1.023.150	306.033	102.011
Cebada	245.410	139.088	106.323	35.441
Maíz	-	-	-	-

Tabla 15. Cálculo enmienda cultivos regadío comarca de Zaragoza.

Cultivo	Consumo (N)(kg N)	Aporte m.o (A)(kgN/año)	Fertilizante (F)(kgN/año)	Aporte enmienda (t)
Trigo	1.405.728	151.875	1.253.853	417.951
Cebada	497.858	68.138	429.721	143.240
Maíz	2.630.124	120.938	2.509.187	836.396

Como se observa en las tablas anteriores, aquellos sistemas productivos con una mayor capacidad de absorción son los regadíos, este se debe a ser sistemas de producción intensivos con mayores producciones como se observa en las Tablas 12 y 13.

Dentro de los cultivos en regadío, el maíz es el cultivo con mayores necesidades y que por consiguiente mayor cantidad de enmienda es capaz de absorber, llegando a ser aproximadamente el doble de la cantidad que puede absorber el trigo a pesar de poseer este mayor superficie en regadío.

Tras realizar los cálculos y determinar la cantidad de enmienda orgánica que podrían absorber los cultivos expuestos anteriormente de la comarca de Zaragoza, se plantea el dimensionamiento de una posible explotación tipo.

Con el dimensionamiento de esta explotación tipo, se pretende estimar las hectáreas que podrían ser fertilizadas mediante esta enmienda, teniendo en cuenta la cantidad de enmienda que es generada en un año.

Para realizar los cálculos necesarios se tomara el valor medio de la generación de lodos, código 030311 de la empresa la Montañanesa Torrapapel S.A., lo que supone un total de 34.230 t/año, valor calculado a partir de los valores presentes en la Tabla 2.

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Conociendo la cantidad de enmienda orgánica que se posee anualmente, se puede estimar que cantidad de nitrógeno que se mineraliza, como ya se ha explicado antes, por tanto si se disponen de 34.230 t enmienda orgánica/año y conociendo que el nitrógeno que se mineraliza es 0,3%, la cantidad de nitrógeno disponible en una año será la siguiente,

$$\text{kg N} = 34.230 \text{ t enmienda org./año} \times \frac{0,3}{100} \times \frac{1000\text{kg}}{1 \text{ t}} = 102.690 \text{ kg N/año}$$

Si se asume una generación mensual constante, se tienen 17.115 kg N cada mes.

Por tanto si se considera que la necesidad del cultivo, es decir, su consumo tiene que ser igual al aporte de fertilizante, se puede calcular el aporte mínimo por cultivo y superficie.

Consumo = Aporte

Teniendo en cuenta que,

Consumo = rendimiento (t/ha) x extracción de N (kg/t)

Aporte = aporte m.o. del suelo (kg N/ha) + aporte externo (kg N/ha)

Siendo el aporte m.o. del suelo = 12,5 kg N/ha

Aporte externo (kgN/ha) = rendimiento x extracción de N – aporte de m.o. del suelo.

Aporte externo (kg enmienda org./ha) = Aporte externo (kgN/ha)/contenido N enmienda org.

Aplicando esta igualdad se obtienen los resultados presentes en la Tabla 16.

**Tabla 16 .Aporte externo de nitrógeno (kg N/ha y kg enmienda org./ha) para diferentes cultivos.**

<b>Cultivo</b>	<b>Aporte externo ( kg N/ha)</b>	<b>Aporte externo (kg enmienda org./ha)</b>
<b>Trigo seco</b>	3,7	4,3
<b>Cebada seco</b>	9,5	11,2
<b>Maíz regadío</b>	259,3	305,1



## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Teniendo en cuenta las restricciones de aplicación de fertilizantes nitrogenados establecidas en la ORDEN de 5 de septiembre de 2005, del Departamento de Agricultura y Alimentación, por la que se aprueba el II Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables a la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en la Comunidad Autónoma de Aragón, se establece un calendario en el cual se determinará los meses en los cuales es posible la aplicación de la enmienda orgánica.

En esta orden, se clasifican los diferentes fertilizantes en diferentes grupos, siendo los lodos de depurados, componente principal de la enmienda orgánica, un fertilizante perteneciente al Grupo II. Entendiéndose por este tipo de fertilizantes, fertilizantes orgánicos de nitrógeno fácilmente mineralizable: Estiércol fluido de bovino sin cama, de porcino, gallinaza, así como lodos de depuradora, abonos organominerales con Nitrógeno de liberación lenta o con inhibidores de actividad enzimática.

Cultivo	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Trigo				G. II	G. II	G. II	G. II			Siembra		
Cebada				G. II	G. II	G. II	G. II			Siembra		
Maíz	G. II	G. II				Siembra		G. II	G. II	G. II	G. II	G. II

Figura 12. Periodos de aplicación prohibida para fertilizantes del Grupo II. Fuente: Adaptado de Andreu *et al*, 2006.

Como se observa en la Figura 12, queda prohibida la aplicación de cualquier fertilizante perteneciente al grupo II entre los meses de abril y julio, para los cereales de invierno y de agosto a febrero para el maíz.

Conociendo los periodos de siembra de estos cultivos, octubre y/o noviembre para el trigo y cebada en secano y mayo e inclusive junio para el maíz, se puede establecer los meses donde la demanda de enmienda orgánica será mayor.

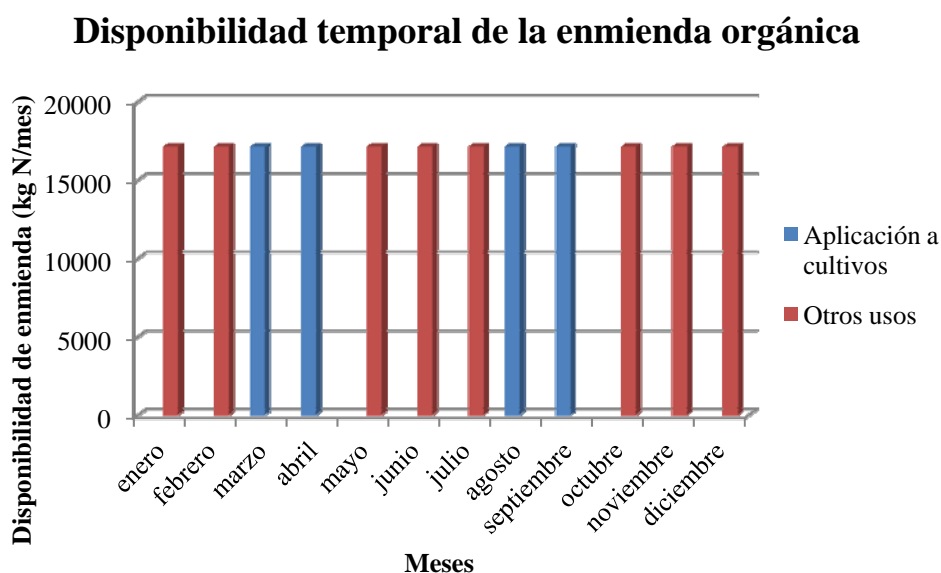
## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

Si se tiene en cuenta que la demanda potencial de enmienda orgánica para su uso en agricultura coincide con los periodos previos a las siembra, como se muestra en la Figura 12, se observa que durante un periodo de tiempo correspondiente a los meses de enero, febrero, mayo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre no existe una demanda potencial de enmienda orgánica para fines agrícolas.

El hecho de que durante 8 meses no exista tal demanda de enmienda, es un factor clave para intentar implementar otras alternativas de gestión para este periodo de tiempo.

Dentro de esas alternativas cabría la posibilidad de realizar un compostaje de la enmienda.

La disponibilidad temporal de la enmienda orgánica se muestra en la siguiente figura.



**Figura 13. Disponibilidad temporal de la enmienda orgánica.**

Por tanto una vez conocidos los meses donde queda prohibida la aplicación de la enmienda orgánica y los meses de siembra de los cultivos considerados, se puede determinar durante que meses habrá una demanda potencial de enmienda orgánica para su aplicación directa y que meses serán los más adecuados para realizar el compostaje de la misma, como se muestra en la Figura 13.

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

---

En caso del cereal de invierno, trigo y cebada, los meses con una mayor demanda potencial de enmienda serán los meses previos a su siembra con el fin de realizar un abono de fondo que suministre nutrientes a lo largo del proceso de crecimiento de planta. Como se observa en Figura 13, los meses previos a la siembra en los que está permitido la aplicación de este producto son agosto y septiembre.

En el caso del maíz, la disponibilidad de enmienda se extiende desde los meses de octubre hasta abril, sin embargo se considera que con aplicar la enmienda generada a lo largo de los dos meses previos a la siembra podrían satisfacerse las necesidades del cultivo, es decir aplicar la enmienda generada en los meses de marzo y abril como se muestra en la Figura 13.

En definitiva, si se asume que la demanda potencial de enmienda orgánica para su aplicación directa como material fertilizante se extiende durante los meses marzo, abril, agosto y septiembre, los meses restantes del año, la enmienda generada podrá utilizarse para la elaboración de compost que podrá ser aplicado en meses posteriores o ser comercializada.

Si se tienen en cuenta las restricciones anteriormente expuesta sobre la demanda de enmienda orgánica, es posible diseñar una explotación tipo, a partir de los datos de la Tabla 14 y mediante la estimación de la superficie que ocupan los cultivos anteriores con respecto a total de la suma su superficie en la comarca de Zaragoza.

Tomando como referencia la superficie total de cada uno de estos cultivos en la comarca de Zaragoza, se plantea la distribución de la superficie de la explotación tipo. Dado que en el trigo y la cebada se aplica la enmienda en el mismo periodo de tiempo, se estima el porcentaje que supone cada cultivo dentro de la explotación tipo a partir de su importancia en la comarca de Zaragoza, como se muestra en la Figura 5.

## 6. PLAN DE APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE GESTIÓN.

El caso del maíz al sembrarse antes que el trigo y la cebada, dispone de la misma cantidad de enmienda que ambos cultivos, por tanto en caso, únicamente será necesaria determinar cuántas hectáreas de maíz se pueden fertilizar con la enmienda generada en dos meses. Estos datos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Distribución de las hectáreas de la explotación tipo.

Cultivo	Superficie (ha)	% superficie cultivo	kgN/ha	ha fertilizadas	kgN/año disponibles
Trigo seco	81.852	88	3,7	3.405	12.691
Cebada seco	11.127	12	9,5	463	4.424
Maíz regadío	9.675	-	259,3	66	17.115
<b>Total</b>	<b>102.654</b>			<b>3.934</b>	<b>34.230</b>

Por tanto a la vista de los resultados mostrados en la Tabla 17, la distribución de la superficie de la explotación tipo queda reflejada en el Figura 14.

### Distribución de la superficie de la explotación tipo.

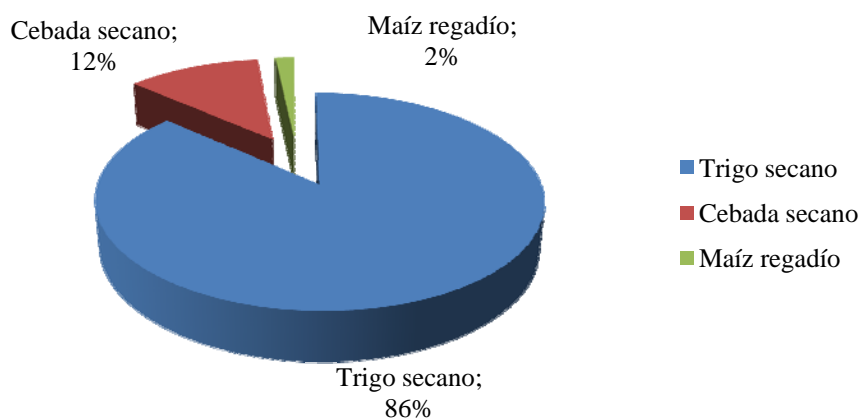


Figura 14. Superficie explotación tipo.

### 7. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESIDUOS.

En este punto se pretende estimar, los beneficios económicos que tendría llevar a cabo algunas de las alternativas de gestión anteriormente explicadas.

Dentro de las alternativas seleccionadas para llevar a cabo esta valorización económica, se elige la realización de compost, ya que se trata de una alternativa que permite elaborar una materia prima de segunda generación que puede ser comercializada.

Otras alternativas como, el uso de la enmienda caliza en fábricas de cemento y la aplicación directa de ambas enmiendas, también reportan beneficios directos, pero dado que no se poseen datos sobre esos mercado, no se realizara la valorización económica de estas alternativas.

En primer lugar, antes de estimar los beneficios que reporta el compostaje de algunos de subproductos generados, es necesario definir en qué consiste esta valorización económica y que subproductos participan en ella.

Se trata de estimar el valor en mercado que podría alcanzar el compost generado a partir de estos subproductos. Los compost y otras enmiendas suelen alcanzar precio entorno a los 49 €/ tonelada. (Ministerio de Medio Ambiente Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Calidad\\_Ambiental/Gestion\\_De\\_Los\\_Residuos\\_Solidos/compost/EstudioMercadoCompleto.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/EstudioMercadoCompleto.pdf) 05-10-12)

## 7. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESIDUOS.

Una vez definido en qué consiste la valorización económica planteada, se procede a determinar las toneladas de compost que pueden producirse a partir de los residuos aptos para tal fin.

Pese a que dentro de los residuos destinados a la elaboración de compost, se han considerado los residuos con alto contenido en carbono, al tratarse de materiales que se utilizan como “bulking” y que son retirados tras la elaboración del compost, es decir, no son transformados en compost, no se tendrán en cuenta para esta valorización económica. De todos modos en caso de que fuese necesaria adicionar este tipo de materiales para la elaboración del compost, habría de estimarse los costes asociados a su transporte a fábrica y la manipulación de los mismos en el proceso de compostaje.

Por tanto el subproducto considerado para la elaboración de compost es,

- **030311** Lodos del tratamiento in situ de efluentes, distintos de los especificados en el código 030310.

Como ejemplo se plantea la elaboración de compost, a base de mezcla de la enmienda orgánica con otros residuos orgánicos mostrados en la Tabla 18, siendo la enmienda orgánica el material siempre presente en todas las mezclas.

**Tabla 18. Características de los estiércoles y enmienda orgánica**

Material	% Humedad	% Nitrógeno	Relación C/N
Estiércol ovino*	69	2,7	2,7
Estiércol gallina*	37	2,7	14
Enmienda org.	69	0,85	52,5

\* Extraído de (Negro *et al*, 2000).

A partir de los datos de la Tabla 18 y la siguiente ecuación se calcula la proporción de enmienda orgánica para elaborar un compost con una relación C/N de 25:1.

$$S = \frac{(C \text{ en } 1\text{kg de B}) - (\text{relación C/N deseada}) \times (N \text{ en } 1\text{kg de B})}{(N \text{ en } 1\text{kg de A}) - (\text{relación C/N deseada}) \times (C \text{ en } 1\text{kg de A})}$$

## 7. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESIDUOS.

Tabla 19. g de nitrógeno y carbono por kg de material compostable.

Material	g N	g C	S (kg)
Estiércol ovino	8,37	22,60	2,57
Estiércol gallina	17,01	238,14	2,58
Enmienda org.	2,64	138,34	-

En la Tabla 20 se muestran las toneladas de estiércol necesarias para realizar el compostaje de la cantidad de enmienda orgánica de que se dispone.

Como ya se ha explicado, existe un periodo de 8 meses, donde no existe una demanda potencial de enmienda, por tanto a lo largo de este periodo de tiempo, es posible su uso como material para la elaboración de compost, teniéndose de esto modo una cantidad de 22.820 t de enmienda orgánica.

Tabla 20. Toneladas de compost en función de la mezcla.

Mezclas compost	t de enmienda	t estiércol
Enmienda org.-estiércol ovino.	22.820	8.879
Enmienda org.-estiércol gallina.	22.820	8.845

A partir de las toneladas de compost que se pueden producir con los residuos disponibles en un año, periodo de 8 meses, se puede calcular el beneficio neto en función del tipo de mezcla y del sistema de producción.

En primer lugar para conocer los beneficios que se pueden obtener de la elaboración y distribución del compost, es necesario estimar los costes de su elaboración y distribución. Para ello es necesario tener en cuenta el coste del transporte de los residuos al lugar de producción, el coste de producción del compost y por último el coste de la distribución.

En las siguientes tablas, Tabla 21, 25, 26, 27, se muestran los diferentes costes y beneficios de este conjunto de operaciones.

## 7. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESIDUOS.

Tabla 21. Costes transporte estiércol a lugar elaboración compost.

Materia	t	Precio transporte (€/km t)*	Costes transporte (€/km)
<b>Estiércol ovino.</b>	8.859	0,27	2.392
<b>Estiércol gallina.</b>	8.838	0,27	2.386
<b>Enmienda orgánica</b>	22.820	0,27	6.161

\*Fuente: ([http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Gestion\\_de\\_residuos/Transporte\\_de\\_tierras/Transporte\\_de\\_tierras\\_con\\_camion/Transporte\\_de\\_tierras\\_con\\_camion\\_2.html](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Gestion_de_residuos/Transporte_de_tierras/Transporte_de_tierras_con_camion/Transporte_de_tierras_con_camion_2.html)-23-10-12)

El precio de transporte, 0,27€/km t, se ha obtenido a partir de la valor de 5,44 €/km en camión de 20 t, por consiguiente se obtiene el precio de 0,27€/km t dividiendo por las 20 t.

Si se tienen en cuenta las distancias entre los lugares de generación de los diferentes subproductos a la empresa donde se va a realizar el compostaje, es posible estimar los costes del transporte de los mismos.

Dado que en la provincia de Zaragoza en el año 2010, había censadas un total de 1.161 explotaciones de ganado ovino y 245 granjas de gallina, se considera que en un radio de 25 km, habrá suficientes granjas de donde obtener el estiércol necesario para llevar a cabo el compostaje. De igual modo hay que considerar el coste del transporte de la enmienda orgánica desde la Montañanesa Torraspapel S.A. hasta la empresa AROA S.L., para poder estimar los costes de transporte. Estos costes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 22. Costes asociados al transporte del material a la empresa.

Materia	Distancia empresa (km)	Costes transporte (€/km)	Costes transporte (€)
<b>Estiércol ovino.</b>	25	2.392	59.800,17
<b>Estiércol gallina.</b>	25	2.386	59.653,47
<b>Enmienda orgánica</b>	38	6.161	234.749,34



## 7. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESIDUOS.

Teniendo en cuenta lo anteriormente citado, es posible estimar los beneficios de la elaboración del compost. En la siguiente tabla se muestran los beneficios que se obtendrían de elaboración de compost bajo diferentes condiciones, y asumiendo que coste de la distribución del producto deberá ser sufragado por el comprador, por tanto en los beneficios presentes en esta tabla tan solo se tiene en cuenta el transporte de los materiales a la empresa, los costes de producción y el precio final de venta.

**Tabla 23. Beneficios netos de la elaboración de compost sin transporte.**

<b>Compost de baja eficiencia (21 días)</b>						
<b>Mezclas compost</b>	<b>t compost</b>	<b>Precio venta (€/t)*</b>	<b>Costes producción (€/t)**</b>		<b>Beneficio neto (€)</b>	
			<b>Básico<sup>1</sup></b>	<b>Deluxe<sup>2</sup></b>	<b>Básico</b>	<b>Deluxe</b>
<b>Enmienda org.- estiércol ovino.</b>	31.699	49	14,58	24,52	796.583	481.479
<b>Enmienda org.- estiércol gallina.</b>	31.665	49	14,58	24,52	795.559	480.749
<b>Compost de baja eficiencia (49 días)</b>						
<b>Enmienda org.- estiércol ovino.</b>	31.699	49	15,58	30,25	764.729	299.670
<b>Enmienda org.- estiércol gallina.</b>	31.665	49	15,58	30,25	763.740	299.179

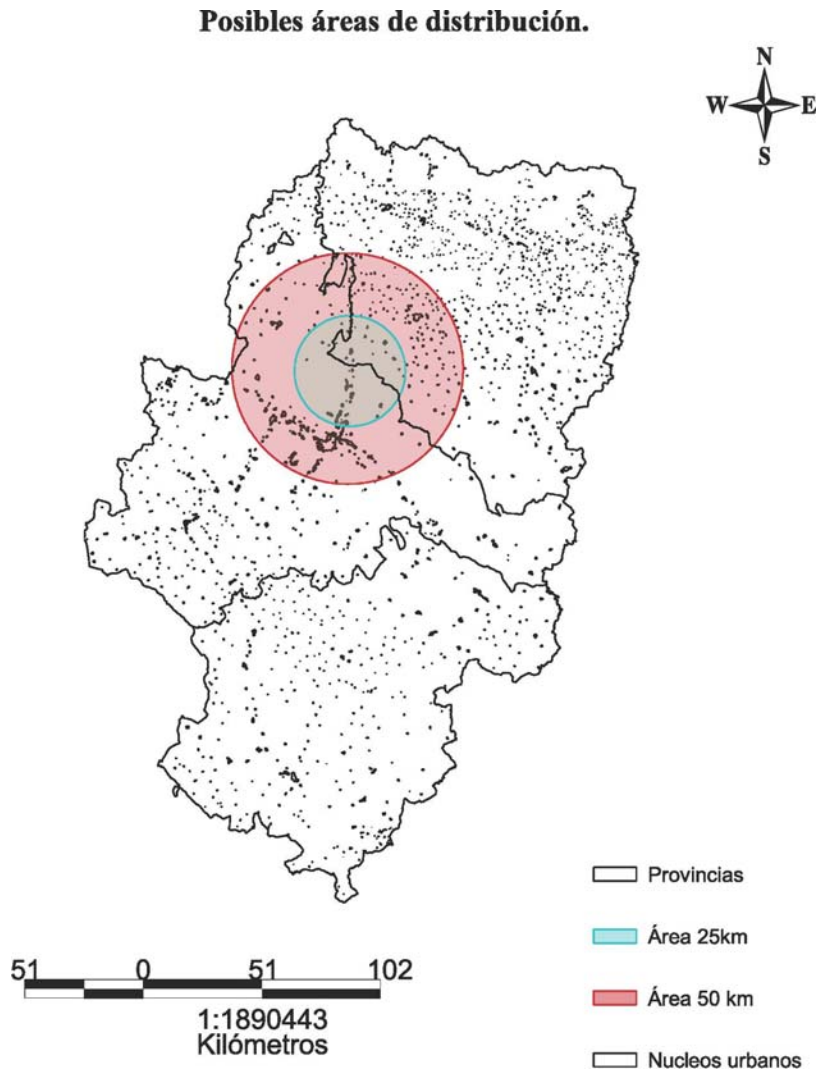
\*(Ministerio de Medio Ambiente Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Calidad\\_Ambiental/Gestion\\_De\\_Los\\_Residuos\\_Solidos/compost/EstudioMercadoCompleto.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/EstudioMercadoCompleto.pdf) 05-10-12)

\*\* (Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 1996).

<sup>1</sup>Sistema en hilera con tractor y tunner. <sup>2</sup>Sistema en hilera con tractor, tunner, área de superficie dura y edificios para compostaje, secado y almacenamiento.

Si además de tener en cuenta, no solamente los beneficios netos de la elaboración del compost, se estima los costes del transporte del mismo, en caso de que sea el propio productor quien tenga que hacer frente a esos gastos, se obtienen los siguientes beneficios netos de la elaboración del compost.

Considerando dos distancias de distribución en función de la existencia de cultivos, siendo el lugar de partida de estas distancias la empresa AROA S.L.



**Figura 15. Áreas de distribución compost..**

Como se observa en la Figura 15, se obtienen dos áreas de distribución en función de la distancia elegida, bien 25 o 50 km. Estas distancias han sido seleccionadas debido a la presencia de regadíos y otros sistemas agrarios en la zona, como son los presentes en torno a la ribera del río Gallego o en el sur de la provincia de Huesca.

## 7. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESIDUOS.

Teniendo en cuenta los costes del transporte, se obtienen los siguientes beneficios netos de la elaboración y distribución del compost.

**Tabla 24. Beneficios netos de la elaboración de compost con transporte.**

<b>Transporte hasta distancia máxima de 25 km</b>				
<b>Mezclas compost</b>	<b>t compost</b>	<b>Precio transporte (€/km t)</b>	<b>Beneficio neto (€)</b>	
			<b>Básico</b>	<b>Deluxe</b>
<b>Enmienda org.- estiércol ovino.(21)</b>	31.699	0,27	582.614	267.511
<b>Enmienda org.- estiércol ovino.(49)</b>	31.699	0,27	550.761	85.702
<b>Enmienda org.- estiércol gallina.(21)</b>	31.665	0,27	581.820	267.055
<b>Enmienda org.- estiércol gallina.(49)</b>	31.665	0,27	550.001	85.441
<b>Transporte hasta distancia máxima de 50 km</b>				
<b>Enmienda org.- estiércol ovino.(21)</b>	31.699	0,27	368.646	53.543
<b>Enmienda org.- estiércol ovino.(49)</b>	31.699	0,27	336.793	-128.266
<b>Enmienda org.- estiércol gallina.(21)</b>	31.665	0,27	368.082	53.316
<b>Enmienda org.- estiércol gallina.(49)</b>	31.665	0,27	336.262	-128.298

A la vista de los datos presentes en las Tablas 26 y 27, es posible determinar qué tipo de compost y con qué proceso de producción es más rentable, compost de 21 con gastos de elaboración básicos.

También se observa que en caso de que sea el propio productor quien tenga que hacer frente a los costes del transporte del compost, deberá incrementar el precio de venta o grabar los costes del transporte en el precio final del compost, ya que el margen de beneficios disminuye notablemente e incluso da lugar a la generación de pérdidas económicas como es la elaboración y distribución de un compost de 49 con gastos de elaboración deluxe.

### 8. CONCLUSIONES FINALES.

- Los residuos con alto contenido en carbono, códigos **030105** y **030301**, serán gestionados mediante su incorporación a mezclas de compostaje como material bulking, que favorece el proceso de compostaje de diferentes materiales.
- La enmienda caliza, código **030309**, será gestionada mediante su uso para la fabricación de cementos, disminuyendo el consumo de materias primas naturales.
- La enmienda orgánica, código **030311**, posee dos posibles vías de gestión en función de los meses del año. Podrá realizarse su aplicación directa como enmienda orgánica con fines fertilizantes los meses previos a la siembra de diferentes cultivos, o también, cuando la demanda de este tipo de enmienda disminuya, podrá ser utilizada como material compostable con el fin de obtener un compost que pueda ser comercializado.
- De los diferentes tipos de compost que se producen en función de los gastos de elaboración y su posterior transporte o no por parte de la empresa, el compost más rentable es el compuesto por una mezcla de estiércoles tanto ovinos como de gallina junto con la enmienda orgánica, en un sistema de elaboración básico y un periodo de elaboración de 21 días, sin que el productor haga frente a los gastos de distribución.
- El compost que no resulta económicamente rentable es el compost elaborado a partir de la mezcla de estiércoles de ambos tipos junto con la enmienda orgánica en un sistema de elaboración deluxe durante un periodo de 49, siendo el productor el encargado de asumir los costes de distribución del producto para una distancia máxima de 50 km.

### 9. BIBLIOGRAFÍA.

Alvarado, A., Molina, E. & Cabalceta, G. (2010): “Acidez y encalado de suelos.” en Usón Murillo, A., Boixadera Llobet, J., Bosch Serra, Á. & Enrique Martín, A.-editores. *Tecnología de suelos: estudio de casos*. Ed. 1ª. Zaragoza: Prensa Universitaria de Zaragoza; Lérida: Edicions de la Universitat de Lleida. Pp:515.

Balbinot Junior, A.A.; Loula Tôrres, A.N., da Foseca, J.A., Ribeiro Teixeira, J. & Nunes Nesi, C. (2006): Chemical traits alteration of an acid soil by lime and recycling paper residue application. *Revista de Ciències Agroveterinàries*. vol. 5. nº. 1. Pp. 16-25.

Boixadera Lobert, J. & Teira Esmatges, Mª.R. –editores- (2001): *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Edicions de la Universitat de Lleida. Lleida. pp 356.

Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M.J. & Cabrera Capitán, F: (2008): “Factores que afectan al proceso de compostaje.” en Morreno Casado, J. & Moral Herrero, R. – editores- *Compostaje* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

CYPE Ingenieros S.A.: Generador de precios. España.  
[http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Gestion\\_de\\_residuos/Transporte\\_de\\_t ierras/Transporte\\_de\\_t ierras\\_con\\_camion/Transporte\\_de\\_t ierras\\_con\\_camion\\_2.html](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Gestion_de_residuos/Transporte_de_t ierras/Transporte_de_t ierras_con_camion/Transporte_de_t ierras_con_camion_2.html)-  
[23-10-12].

Colomer Mendoza, F.J., Carlos Alberola, M., Herrera Prats, L., Gallardo Izquierdo, A. & Bovea: M.D. (2009): Viabilidad de la Valorización energética de lodos procedentes de distintos tipos de depuradoras. *Residuos*. nº 110. pp. 32-37.

Doldán, X.R. & Chas, Mª.L.(2001): La contaminación de la industria de pasta-papel en Galicia: un análisis de flujo de materiales y energía. *Estudios de Economía Aplicada*. nº 18. pp: 143-158.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

---

Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente. (2009): Reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España. <http://www.fundacioncema.org/Uploads/docs/EstudioRV.pdf> [1/10/2012]

García-Valles, M., Aly, M.H., El-Fadaly, E., Hafez, H.S., Nogués, J. & Martínez, S. (2011): Materiales vitrocerámicos a partir de lodos de una estación depuradora de aguas residuales urbanas. (Ciudad de El-Sadat, Egipto). *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. vol. 50. pp. 261-266.

Gea Leiva, M.T., Barrena Gómez, R., Aguilera Riba, F., Artola Casacuberta, A. & Sánchez Ferrer, A. (2005): El compostaje como vía de tratamiento de R.S.U. Aplicaciones y limitaciones de la tecnología. *Ingeniería Química*. vol. 37. nº 420. pp. 234-242.

Hereter, A., Jorba, M. & Josa, R. (2003): Efectos de la aplicación de lodos de depuradora en la restauración de suelos de canteras de piedra caliza sobre la fertilidad de los sustratos. *Edafología*. vol.10 nº. 3. pp. 115-121.

Husillos Rodríguez, N. (2012): “Valorización de residuos de estaciones de tratamiento de agua potable y residual en la industria del cemento.” Directores: Blanco Varela, M.T. & Martínez Ramírez S. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias.

Ingelmo Sánchez, F. & Rubio Delgado, J.L. (2008): “Efectos de la aplicación del compost sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.” en Morreno Casado, J. & Moral Herrero, R. –editores- *Compostaje* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Jorba, M. & Vallejo, R. (2008): La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riesgos. *Ecosistemas*. vol. 17. nº 3. pp. 119-132.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

---

Matas Cabrera, F. (2010): La selección sostenible de los materiales de construcción. *Tecnología y Desarrollo*. vol. 8. pp. 13

Ministerio de Agricultura. Dirección general de la producción agraria (1978): Evaluación de recursos agrarios. Mapas de cultivo y aprovechamientos. Escala 1:50.000.

Ministerio de Medio Ambiente. (2006): “El proceso de fabricación de pasta kraft (sulfato).” en Ministerio de Medio Ambiente. *Prevención y control integrados de la contaminación (IPCC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la industria de la pasta y el papel*. Madrid. pp 17-128.

Ministerio de Medio Ambiente Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Calidad\\_Ambiental/Gestion\\_De\\_Los\\_Residuos\\_Solidos/compost/EstudioMercadoCompleto.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/EstudioMercadoCompleto.pdf) [05-10-12]

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (1998): “Capítulo 72. Industria del papel y de la pasta de papel.” En Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Ed.:3ª. Vol. III. Madrid. pp.22.

Ministry of Agriculture, Food and Fisheries. (1996): Economics of composting. *Composting FACTSHEET*. British Columbia. Canada

Negro, M.J., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R., Ciria, P., Cristobal, M.V., De Benito, A., García Martín, A., García Muriedas, G., Labrador, C., Lacasta, C., Lezaún, J.P., Meco, R., Pardo, G., Solano, M.L., Torner, C., & Zaragoza, C. (2000): Producción y gestión de compost. *Informaciones Técnicas*. Dirección General de Tecnología Agraria. nº88.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

---

Norris, M. & Titshall, L. (2010): “The potential for direct application of papermill sludge to land: a greenhouse study” en Norris, M. & Titshall, L. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Australia.

Ojeda Castro G., Alcaniz Baldellou J.M., Ortiz Perpina O., & Tarrason Cerda, D. (2003): Escorrentía y granulometría de sedimentos en suelos tratados con diversos tipos de lodos de depuradora. *Edafología*. vol. 10. nº. 2. pp. 135-145.

Ortiz, C., Bosch, Á. & Boixadera J. (2010): “Efectos de la fertilización nitrogenada con purín porcino en cereal de secano en el valle del Ebro(Cataluña, NE España).” en Usón Murillo, A., Boixadera Llobet, J., Bosch Serra, Á. & Enrique Martín, A.-editores. *Tecnología de suelos: estudio de casos*. Ed. 1ª. Zaragoza: Prensa Universitaria de Zaragoza; Lérida: Edicions de la Universitat de Lleida. pp:51

Ortiz, O. (2001): “Uso de la materia orgánica como criterio de aplicación de residuos” en Boixadera Lobert, J. & Teira Esmatges, Mª.R. –editores- (2001): *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Edicions de la Universitat de Lleida. Lleida. pp 356.

Orús, F.; D. Quílez y J. Betrán. (2000): El código de buenas prácticas agrarias (I). Fertilización nitrógenada y contaminación por nitratos. Informaciones Técnicas. Dirección General de Tecnología Agraria. nº93. (2ª ed.).

O’Ryan Herrera, J. & Riffo Pardo, M. Olivia. (2007): El compostaje y su utilización en agricultura. Santiago, Chile.

Pomares, F. & Canet, R. (2001): “Los residuos orgánicos utilizables en agricultura: origen, composición y características.” en Boixadera Lobert, J. & Teira Esmatges, Mª.R. –editores- *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Edicions de la Universitat de Lleida. Lleida. pp 356.



## 9. BIBLIOGRAFÍA.

---

Porta J., Lopez-Acevedo M. & Roquero C. (2003): “Acidez, basicidad y reacción del suelo” en Porta J., Lopez-Acevedo M. & Roquero C. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. 3ª Ediciones Mundi-Prensa Madrid.

Porta J., Lopez-Acevedo M. & Roquero C. (2003): “Compuestos orgánicos del suelo” en Porta J., Lopez-Acevedo M. & Roquero C. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. 3ª Ediciones Mundi-Prensa Madrid.

Porta J., López-Acevedo M. & Roquero C. (2003): “Degradación de suelos y calidad ambiental” en Porta J., López-Acevedo M. & Roquero C. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. 3ª Ediciones Mundi-Prensa Madrid.

PRTR-España 2007. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.  
[http://www.prtr-es.es/informes/fichacomplejo.aspx?id\\_complejo=2770](http://www.prtr-es.es/informes/fichacomplejo.aspx?id_complejo=2770)

Quinchía, Adriana M., Valencia, M. & Giraldo, J. M. (2007): Uso de lodos provenientes de la industria papelera en la elaboración de paneles prefabricados para la construcción. *Revista EIA*. nº 8. pp. 9-19.

Quirantes Puertas, J: (1972): El cuaternario en la parte central de la depresión del Ebro. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*. nº2. pp. 63-68.

Raut, S.P., Sedmake, R., Dhunde, S., Ralegaonkar, R.V. & Mandavgane, S.A. (2012): Reuse of recycle paper mill waste in energy absorbing light weight bricks. *Construction and Building Materials*. vol.27 pp. 247-251.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

---

Rodríguez, O., Frias, M., Sánchez de Rojas, M.I., García, R. & Vigil, R. (2009): Efecto de la adición de lodos de papel activados térmicamente en las propiedades mecánicas y de porosidad de pastas de cemento. Effect of thermally activated paper sludge on the mechanical properties and porosity of cement pastes. *Materiales de Construcción*. vol.59. nº 294. pp. 41-52.

Sabador, E., Frías, M., Sánchez de Rojas, M.I., Vigil, R., García, R. & San José, J.T. (2007): Caracterización y transformación de un residuo industrial (lodo de papel estucado) en un material con propiedades puzolánicas. Characterization and transformation of an industrial by-product (coated paper sludge) into a pozzolanic material. *Materiales de Construcción*. vol. 57. nº 285. pp. 45-59.

Sección de Estadística del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2008-2009): Anuario Estadístico Agrario de Aragón.

Solvia Torrentó, M., López Martínez, M. & Huerta Pujol, O. (2008): “Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje.” en Morreno Casado, J. & Moral Herrero, R. – editores- *Compostaje* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Usón Murillo, A., Boixadera Llobet, J. (2010): “Información de suelos y principios del manejo de suelos.” en Usón Murillo, A., Boixadera Llobet, J., Bosch Serra, Á. & Enrique Martín, A.-editores. *Tecnología de suelos: estudio de casos*. Ed. 1ª. Zaragoza: Prensa Universitaria de Zaragoza; Lérida: Edicions de la Universitat de Lleida. Pp:515.

Usón, A. & X. Soler. (2012): Informe preliminar del estudio agronómico para la valoración de dos subproductos como enmiendas. Sin publicar, comunicación personal.

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

---

Vegas, I., Frías, M., Urreta, J. & San José, J.T. (2006): Obtención de una adición puzolánica a partir de la calcinación controlada de lodos de destintado de papel: estudio de prestaciones en matrices de cemento. Obtaining a pozzolanic addition from the controlled calcinations of paper mill sludge. Performance in cement matrices. *Materiales de Construcción*. vol. 56. nº 283. pp. 49-60.

Velasco, F., Urhán M. & Acuña J. (2008): Evaluación de la combustión de mezclas de carbón con lodos de EDAR. Técnicas termograviméticas. *Ingeniería Química*. nº 455 pp. 108-112.