

Módulo: Contaminación de Residuos

RESIDUOS AGRÍCOLAS, FORESTALES Y LODOS

AUTOR: SANTOS CUADROS

Índice

1. INTRODUCCIÓN
 2. RESIDUOS AGRARIOS
 - 2.1. RESIDUOS AGRÍCOLAS
 - 2.1.1. Cultivos generadores de residuos
 - 2.1.2. Residuos disponibles en España
 - 2.1.3. Residuos plásticos de origen agrícola
 - 2.2. RESIDUOS FORESTALES
 - 2.2.1. Residuos forestales actuales
 - 2.2.2. Residuos forestales potenciales
 - 2.2.3. Residuos forestales disponibles en España
 - 2.3. RESIDUOS GANADEROS
 - 2.3.1. Residuos de excretas
 - 2.3.2. Residuos de origen animal
 - 2.4. RESIDUOS DE INDUSTRIAS AGRARIAS
 - 2.4.1. Sectores industriales considerados
 - 2.4.2. Residuos industriales disponibles en España
 3. LOS LODOS DE LAS EDAR
 - 3.1. CLASES DE LODOS O FANGOS
 - 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS
 4. VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRARIOS Y LODOS
 - 4.1. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO
 - 4.1.1. Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales
 - 4.1.2. Aprovechamiento energético de residuos ganaderos de excretas e industriales
 - 4.1.3. Aprovechamiento energético de restos de animales.
 - 4.2. APROVECHAMIENTO GANADERO DE LOS RESIDUOS
 - 4.2.1. Aprovechamiento ganadero de la hoja de olivo
 - 4.2.2. Aprovechamiento ganadero de la paja de cereal
 - 4.3. APROVECHAMIENTO EN SUELOS AGRÍCOLAS
- BIBLIOGRAFÍA

1.- INTRODUCCIÓN

El hombre primitivo se servía de los medios que encontraba en el campo para atender sus necesidades primarias de alimentación, vestido, defensa y vivienda. Con el desarrollo de la agricultura y ganadería, el hombre obtiene una serie de productos de interés que destina con preferencia a su alimentación y vestido. Estos productos, se generan junto con otros subproductos que, el hombre destina a cubrir otras necesidades como fuente energética, materiales para vivienda, alimentación del ganado, utensilios, etc. Es decir, en estas sociedades primarias no se producían residuos y "todo se aprovechaba", fenómeno que se repite en la actualidad en las sociedades no desarrolladas económicamente.

Cuando la sociedad se industrializa, se intensifica la producción y aumenta la concentración de núcleos de población, es cuando los subproductos no tienen ninguna utilidad y se transforman en residuos que "hay que tirar". Estos residuos, que en un principio se descomponían en la naturaleza, van aumentando de volumen, se acumulan sin descomponerse y van originando, cada vez más, problemas a una sociedad exigente. En estas circunstancias, el hombre se va dando cuenta que los recursos que se extraen de la naturaleza, no son ilimitados sino que cada vez son más escasos y es más difícil obtenerlos.

Una solución racional a ambos problemas podría estar en el aprovechamiento de los residuos ya sea con fines agrarios o energéticos. Muchos de los productos considerados como residuos, presentan unas propiedades favorables desde el punto de vista energético o agrario, pero se generan en unas circunstancias, en las que estas propiedades no son estimadas. Así ocurre con las leñas de los montes alejados de los focos de consumo o con la generación de estiércol en grandes granjas que no disponen de suelo agrícola.



En el presente trabajo se hace un análisis de los residuos agrarios y de los lodos y de su posible aprovechamiento, con el fin de reducir el volumen de los vertidos y utilizar unos recursos hasta ahora no aprovechados. La mayoría de los trabajos que aquí se exponen, son proyectos reales en los que ha participado o dirigido el autor, como técnico responsable de proyectos, en programas de aprovechamiento de biomasa, del Ministerio de Industria y Energía y del Ministerio de Agricultura.

eoi

2.- RESIDUOS AGRARIOS

Se entiende por residuo, de forma general, a un producto cuya característica fundamental es que no tiene valor ni estimación en las circunstancias en las que se genera y que se ha de retirar para facilitar o mejorar los procesos de producción o cultivo.

Los residuos agrarios, son los residuos generados en el entorno natural y lo integran un grupo heterogéneo de productos compuestos por las plantas, o parte de ellas, que es preciso separar para obtener el fruto, o el propio producto agrícola. También comprende los residuos de los animales generados en las explotaciones ganaderas intensivas. Para su estudio, en el presente trabajo se dividen los residuos agrarios en los siguientes grupos:

- a) Residuos agrícolas
- b) Residuos forestales
- c) Residuos ganaderos
- d) Residuos de industrias agrarias

2.1.- Residuos agrícolas

2.1.1.- Cultivos generadores de residuos

Como consecuencia de la actividad agrícola, se genera una gran cantidad de residuos. Unos como raíces, hojas o frutos se descomponen y se integran en el suelo mejorando las propiedades agronómicas del suelo cultivado. Otros residuos integrados por tallos y, en general, por la parte aérea de la planta, se aprovechan en ganadería e industria. Por último, se producen unos residuos que no se aprovechan en la zona en que son generados, y que es preciso eliminar para facilitar las labores agrícolas. Estos últimos se producen en los siguientes cultivos:

- a) Cultivos de cereal grano. Los residuos que producen estos cultivos al ser cosechados, son de naturaleza fibrosa como pajas o cañotes. La cantidad de paja generada varía entre 1,4 y 4,3 toneladas por cada hectárea de cultivo, pero estos datos deberán reducirse en zonas donde estos residuos tienen una utilidad local con destino industrial, agrícola o ganadero.
- b) Cultivos denominados "industriales" como son fibras textiles y semillas oleaginosas que producen como residuos los tallos de naturaleza lignocelulósico. Estos residuos no tienen ningún aprovechamiento y es preciso eliminarlos generalmente por medio del fuego en la misma parcela. Las cantidades de residuos varían de 1 a casi 10 T por hectárea de cultivo, concretamente, de los cultivos de girasol y algodón respectivamente.
- c) Cultivos frutales, viñedo y platanera. La poda anual es una exigencia para el cultivo y, por otra parte, constituye una fuente de material combustible de elevado poder calorífico. Los valores medios anuales utilizados, varían de 1'7 t por hectárea en los cultivos de melocotón a 2 t/Ha en olivo, 5'33 en manzano y cifras mayores en algunas zonas vitícolas.

2.1.2.- Residuos disponibles en España

Se recogen datos obtenidos en los diversos inventarios de residuos sólidos de carácter orgánico, realizados por el Centro de Estudios de la Energía, y en otros trabajos referidos en la bibliografía. Las cifras expuestas se han actualizado sobre la estadística oficial del Ministerio de Agricultura. Es de destacar que los datos obtenidos en los inventarios de detalles, se han recogido mediante encuestas a agricultores y técnicos agrícolas, en diversas zonas del agro español.

En España, se generan unos 27 millones de toneladas anuales de residuos de cultivos agrícolas. Los residuos originados en la poda de árboles frutales representan algo más del 58% del total. Con 15'8 millones de toneladas anuales. Destacan Castilla-La Mancha con el 36% y Andalucía con el 20%. De éstos, destaca la vid y el olivo con



el 83% de este capítulo. Solamente Ciudad Real y Toledo producen el 35% de los residuos de la vid, y Jaén y Córdoba concentran el 35% de los residuos del olivo.

El 35'7% de los residuos agrícolas está compuesto por residuos de los cultivos de cereales, que generan unas cantidades que superan los nueve millones seiscientos mil toneladas anuales. La mayoría de estos residuos (43%) lo aporta el cultivo de la cebada, seguido por el del trigo (25%) y del maíz (23%). Poca importancia relativa presenta la avena, el arroz, el centeno y el sorgo, que no llegan al 10% de estos residuos. Menor importancia tienen los residuos generados por los denominados "cultivos industriales" con casi el 6% del total. Dentro de este grupo, destacan los residuos generados por el cultivo del girasol.

2.1.3. Residuos plásticos de origen agrícola

2.1.3.1. GENERALIDADES SOBRE LAS APLICACIONES DEL PLÁSTICO EN LA AGRICULTURA

Las explotaciones agrícolas han ido transformándose progresivamente hacia actividades totalmente intensivas. La agrícola intensiva exige un incremento considerable de los medios de producción y un control de las circunstancias climáticas de los cultivos. Por otra parte los medios modernos de producción de la sociedad actual han incorporado productos, como los plásticos, de gran utilidad y eficacia que han desplazado a otros, que actualmente resultan menos eficaces desde el punto de vista económico y medioambiental.

Las aplicaciones más extendidas del plástico en la agricultura son:

- a) El acolchado de suelos
- b) Los túneles de cultivo
- c) Los invernaderos
- d) Las tuberías para conducción de agua y drenaje
- e) El filme para recubrir forrajes y facilitar su ensilado, para recubrir paquetes de paja y forraje henificado, cortavientos.
- f) Envases y embalajes, cordelería, etc

La instalación de invernaderos destaca entre las distintas técnicas para adelantar e incrementar las producciones de los cultivos bajo cubierta. El plástico es el elemento principal de estos cultivos bajo cubierta. Su empleo en la agricultura experimentó un rápido crecimiento a partir de 1975, fundamentalmente debido al incremento de la superficie con invernaderos. Así en toda España, desde 1976 se ha producido un incremento continuado en el número de hectáreas de superficie empleada en invernaderos. Actualmente según las áreas agrícolas el crecimiento sigue siendo aproximadamente de un 20% y supone una superficie total de más de 30.000 ha.

En España, las principales explotaciones y superficies donde se consume plástico se encuentran localizadas en Levante, Andalucía, y Canarias, destacando sobre todo las zonas de Campo de Dalías y Campo de Níjar en Almería, por la superficie de invernaderos y Sevilla por la de acolchado. No obstante la agricultura intensiva se está implantando en todos los campos españoles.

El acolchado de suelos es la técnica más extendida. Consiste en cubrir total o parcialmente el terreno de cultivo con una lámina de plástico. Se usa, normalmente para el cultivo de melón y sandía, algodón, así como espárragos y fresón.

Los túneles de cultivo consisten en crear pequeños túneles, a ras de suelo y se emplean para muchos cultivos hortícola como melones, sandías, calabacines, pimientos, berenjenas, fresones, etc.. principalmente con la finalidad de conseguir una precocidad en las cosechas.

Los invernaderos consisten en estructuras cerradas, de tipo rectangular, cubiertas de filme de plásticos o placa. Su principal aplicación es la horticultura y los cultivos ornamentales. La mayoría están contruidos con filme de polietileno aunque también se emplean otros polímeros como PVC. Los cultivos de invernadero siguen siendo rentables, ya que algunas zonas cuentan con una privilegiada climatología



para la obtención de cultivos extratempranos, principalmente hortícola, a pesar de la necesidad de realizar grandes inversiones tanto en su instalación, como en el mantenimiento anual.

La expansión de los invernaderos, los acolchados y los túneles, ha provocado la transformación del paisaje tradicional agrario, caracterizado en grandes zonas por unos elementos artificiales donde destacan amplias superficies con láminas de plástico. Además del impacto sobre el paisaje, ha surgido un problema ambiental asociado a una deficiente gestión de los plásticos usados renovados, la mayoría anualmente.

Las tuberías de plástico se están imponiendo en todo tipo de actividades de regadío, desplazando a los materiales clásicos. Muchas de estas tuberías de plástico están fabricadas con material plástico reciclado originario de otras actividades. Es de interés poner de manifiesto la prohibición legal de uso de plásticos reciclados en actividades relacionadas con el consumo directo del agua lo que ha originado dos tipos de tuberías: unas para regadío, fabricada con material reciclado y otra, denominada comercialmente “alimentaría” para uso exclusivo de transporte de agua para consumo humano.

Las láminas de film de polietileno son de uso frecuente en actividades agrícolas o ganaderas para crear recintos aislados que faciliten una fermentación, como ocurre en los ensilados, o que defiendan de agentes climáticos externos, como es la protección de henificados o de paja de cereal.

Los envases y embalajes de plástico, para todo tipo de producto fitosanitario, fertilizante etc., se ha impuesto, desplazando a materiales metálicos. Estos envases deben ser gestionados correctamente, de acuerdo con la legislación de residuos y la Ley de envases y residuos de envases, que exige la gestión directa por el usuario, o su gestión a través de un Sistema Integrado de Gestión de residuos. Recientemente se ha constituido el SIGFITO o sistema integrado de gestión de envases fitosanitarios.

Los plásticos, como elementos ajenos, a diferencia de otros componentes de uso agrícola, no se degradan, y al acumularse en los campos una vez que se procede a una renovación, provocan, además de un gran deterioro paisajístico, una ocupación de suelo. Esto limita el aprovechamiento de la superficie, y en el peor de los casos, ocasiona una gran incidencia ambiental cuando se procede a su quema incontrolada, provocando la contaminación del aire, por la gran emisión de CO al producirse una combustión incompleta.

Surge la necesidad de establecer sistemas de gestión que resuelvan el problema de su eliminación sin provocar daños ambientales. A partir de la necesidad de eliminación, y principalmente en Andalucía y Levante se han aplicado distintos tipos de experiencias de gestión y tratamiento de los plásticos procedentes de la agricultura. La gestión fundamental es la recogida del plástico renovado en puntos determinados, transportado por los agricultores destinándose posteriormente para su reciclado en plantas donde se produce granza, que se emplea en la fabricación de productos de plásticos como tuberías, envases, filme, etc. A medio plazo el principal destino será su aprovechamiento energético, utilizando estos restos como un combustible.

2.1.3.2. Características del plástico utilizado

Prácticamente la totalidad de invernaderos de plástico construidos están cubiertos con polietileno, siendo muy escasa la superficie con placas de poliéster. También se emplean filmes de copolímero EVA (copolímeros de etileno y acetato de vinilo), de bajo contenido en acetato de vinilo y modificado con aditivos que los proporcionan unas excelentes propiedades termo aislantes. Las principales ventajas de filme de polietileno, frente a otros materiales plásticos utilizados en la cobertura de invernaderos son la buena adaptabilidad a cualquier tipo de estructura, gran resistencia al rasgado, buen comportamiento óptico del filme térmico y bajo precio frente al de otros materiales plásticos, mientras que las desventajas principales son que tiene una duración limitada y que deja enfriar el invernadero si el polietileno no es térmi-

co. En cuanto a los tipos de polietileno usados, teniendo en cuenta sus propiedades técnicas (duración y efecto térmico) se están utilizando tres clases:

- filme normal sin aditivos y sin tratamiento alguno
- filme de larga duración (2 ó 4 campañas agrícolas según las zonas) con inhibidores de rayos ultravioletas y
- filme térmico de larga duración (2 ó 4 años según las latitudes)

El filme térmico se obtiene partiendo de un compuesto de polietileno al que se le incorporan los aditivos adecuados para proporcionarles las propiedades termoaislantes y a su vez, la larga duración. La principal ventaja en el empleo de este tipo de filme es que las inversiones térmicas se reducen considerablemente en comparación con el polietileno normal, limitando tanto el enfriamiento como el excesivo calentamiento.

Además de filme de plástico, dentro del sector agrícola también se utilizan mallas, siendo múltiples sus aplicaciones, pasando desde las que se emplean para la defensa contra el granizo, hasta las redes antipájaros, redes mosquiteras, las utilizadas como sistemas de cortaviento, o principalmente, como redes de sombreado. Estas últimas, las más empleadas, se utilizan principalmente en viveros y jardines para dar sombra a las plantas ornamentales, además de en semilleros para proteger las plantas del sol, paliando los efectos negativos de las fuertes insolaciones. En invernaderos se usan con frecuencia, no sólo para proporcionar sombra a las plantas ornamentales, sino también a ciertos cultivos hortícolas, especialmente en provincias de fuerte insolación como ocurre en Canarias. Además, se emplea en invernaderos para crear zonas de ventilación, instalándose en la parte alta de los laterales o en las cumbreiras, mientras que en las Islas Canarias, y en ocasiones en Almería, se utiliza totalmente como lámina para cubrir los invernaderos. En el Archipiélago prácticamente toda la superficie destinada a tomate de exportación se encuentra bajo malla.

El polietileno es el tipo de plástico utilizado para los usos agrícolas, tanto en filme como en malla. Las láminas de polietileno, sin llevar incorporado ningún tipo de aditivo, tienen una duración muy corta en climas de alta radiación solar, como en Canarias. Por otro lado, son muy transparentes a las radiaciones que emite el suelo y las plantas por la noche. Esto hace que en las zonas más altas de las islas, orientadas a barlovento, se empleen láminas de polietileno con propiedades termo aislantes y de larga duración.

2.1.3.3. Duración o período de renovación en los plásticos.

El plástico utilizado en los cultivos bajo túnel o bajo acolchado, se elimina todos los años, por razones del cultivo. Es plástico poco degradado y se presenta más sucio que los plásticos de invernaderos pues al retirarlo arrastra restos de tierras.

En invernaderos, en general, las láminas de polietileno fabricadas con materias primas vírgenes, sin que estén modificadas con otros productos, tienen una corta duración en las zonas de clima soleado. Actualmente existen distintos tipos de plásticos que llevan incorporando aditivos que los protegen de la degradación solar y que, por tanto, les hace aumentar sensiblemente su duración. En función del espesor y la radiación recibida la duración de los plásticos empleados en la agricultura es:

Polietileno normal (sin aditivos) de 720 galgas: 6-8 meses

Polietileno larga duración de 800 galgas: 2 años

Polietileno "térmico de larga duración de 800 galgas: 2 años

En cuanto a las cubiertas de malla éstas presentan una mayor resistencia a las condiciones climatológicas por sus propias características, siendo la duración aproximada de 4-5 años.

2.1.3.4. Consumo de plástico en los cultivos protegidos

Para poder calcular el consumo, se partirá de las superficies dedicadas a estos cultivos intensivos a los que les aplicaremos, el consumo por unidad de superficie

En invernaderos se admite un consumo de $1,2 \text{ m}^2$ de plástico/ m^2 de invernadero. Esta cantidad se incrementa hasta $1,4 \text{ m}^2$ plástico/ m^2 en invernadero de platane-
ra. Se emplea, bien filme de polietileno o bien malla, también de polietileno. Para establecer el peso y la duración media por tipo de producto. Partiendo del valor del peso unitario de $0,23 \text{ gr/galga/m}^2$, el peso de las láminas de filme es:

Filme de 720 galgas: 165.5 gr/m^2

Filme de 800 galgas: 184 gr/m^2

En cuanto a la malla se suele emplear un valor medio de 105 gr/m^2 a partir de los pesos de los dos tipos de mallas usadas:

Tejido mixto de 6×4 : 117 gr/m^2

Tejido de monofilamento de 6×6 : 91 gr/m^2

2.1.3.5. Periodo de renovación

Partiendo de la duración media por el tipo de plástico, en función de su resistencia y según las condiciones meteorológicas, la duración puede ser variable, aunque se suele estimar una media de 2 ó 3 años para el filme de polietileno y 5 años para la malla, al ser éste el período garantizado por las empresas que realizan la venta. Como se trata de estimar pesos para proponer tratamientos, se toma como plazo de cambio del filme 2 años. El plástico con propiedades térmicas representa aproximadamente el 2- 3% del plástico total instalado en los invernaderos, el resto es plástico de distinto espesor, de corta y larga duración. Considerando que parte de la superficie bajo cubierta no está con filme de polietileno sino que se utiliza malla, para la determinación de los restos se adoptan los siguientes supuestos:

Tomate de exportación, bajo malla.

Cultivo de plátano en invernadero (30% bajo malla. 70% con filme).

Cultivos hortícolas (25% bajo malla. 75% con filme).

Según todos estos datos de partida se deberá elaborar una serie de tablas que recogen la generación de residuos de plástico en la actividad

Además del empleo de plástico en los invernaderos hay que considerar otros usos como el que se genera por la utilización de bolsas para cubrir algunos frutos, principalmente las piñas de la platanera. Esta práctica de cultivo es ampliamente utilizada en muchas zonas productoras de plátano del mundo, aunque en Canarias su uso no está muy extendido, existiendo opiniones diversas en cuanto a sus ventajas e inconvenientes. Sin embargo todo hace suponer una expansión en la adopción del embolsado por la mayoría de las explotaciones plataneras y tal práctica debe ser considerada al programar soluciones.

En función de las perspectivas futuras y suponiendo que esta situación puede representar un apreciable volumen de residuos de plástico adicional al de las cubiertas de los invernaderos se deberán realizar cálculos o estimaciones de generación de plásticos. Partiendo de unas características tipo de las explotaciones con 1.800 plantas/Ha. con una producción de 1 piña por planta. utilizando bolsas de 90 galgas y 3 m²/bolsa, la generación de plásticos por este concepto será de:

$$1.800 \text{ plantas/Ha} \times 62,1 \text{ gr/bolsa} = 111.780 \text{ gr/Ha}$$

2.2.- Residuos forestales

Los árboles y, en general, el monte, son una fuente de riqueza de la que se obtiene una gran cantidad de residuos en forma de arbustos, ramas, cortezas, serrín, etc... Estos residuos forestales han sido, durante varios siglos, la fuente energética más importante para uso doméstico y, posteriormente, industrial. El bajo precio y la comodidad de manejo de otras fuentes de energía como el gas butano, han ido transformando esta fuente de energía en residuos forestales. Estos residuos han hecho daño al monte en forma de plagas y sobre todo han sido una de las causas más importantes de los incendios forestales. Para su mejor estudio, los residuos se van a dividir en dos grandes grupos: residuos actuales y residuos potenciales.

2.2.1.- Residuos forestales actuales

Los residuos actuales son los que se generan todos los años en las actividades de las explotaciones forestales, ya sea para la obtención de madera o como consecuencia de las plantaciones forestales.

Residuos en la corta y obtención de la madera

Según valores medios de datos bibliográficos internacionales, para varias especies, las diferentes parte del árbol se distribuyen en:

- 67% tronco
- 15,5% ramas
- 3% hojas
- 14,5% tocones

Las ramas que se producen en las cortas son de muy diversos diámetros. En general, las ramas con diámetros superiores a 7,5 cm, se utilizan en la industria de tableros conglomerados o de celulosa. Las ramas finas son consideradas como residuos y hay que eliminarlas del monte para evitar plagas o incendios.

Referente a la producción de tocones y raíces, puede tener interés en algunos sistemas de explotación del monte, basados en la extracción integral del árbol para su posterior aprovechamiento. No obstante, se han desarrollado algunos trabajos sobre extracción de tocones para su destino a la industria celulosa y a la de tableros conglomerados.

- Residuos obtenidos en los tratamientos silvícolas

Son considerables los residuos que se producen en las claras y clareos que se realizan en los cultivos forestales o en montes repoblados. La finalidad primera de estos trabajos, es ir reduciendo paulatinamente, el número de plantas por hectárea a medida que los árboles van tomando un porte mayor. La eliminación de estos residuos es

obligada por varias razones, destacando las exigencias del cultivo forestal y las sanitarias del monte y para evitar la propagación de incendios.

Otro capítulo importante lo integran los residuos que se generan como consecuencia de los incendios forestales y los generados en los trabajos de recuperación de espacios naturales protegidos.

Hasta ahora, se han venido realizando estos trabajos en invierno y la eliminación de los residuos, cuando se ha efectuado, ha sido por medio de fuego controlado. Cada vez más, se está entendiendo la técnica de astillado en el monte. La astilla obtenida puede ser consumida, como se expondrá en los capítulos siguientes.

2.2.2.- Residuos forestales potenciales

Los montes naturales son una fuente de biomasa donde crece todo tipo de plantas herbáceas y leñosas. El cuidado del monte, para su explotación o para su mejor conservación, exige una serie de trabajos forestales de control de crecimiento de las plantas y la retirada de una cantidad considerable de biomasa que denominamos residuos potenciales. Estos residuos se producen como consecuencia de la ejecución de programas de cuidado de los montes, que los técnicos aconsejan realizar, al menos, cada diez años.

2.2.3.- Residuos forestales disponibles en España

De acuerdo con el inventario citado en los párrafos anteriores, la producción de residuos forestales, incluyendo los residuos de las industrias de la primera transformación de la madera, es de unos 5,1 millones de toneladas anuales. Esta cifra integra la producción de los residuos que se generan en los trabajos de corta y limpia que se realizan en la actualidad, anualmente, en España. Esta cifra podría multiplicarse

casi por 3 si se consideran los residuos potenciales, es decir, los que podrían obtenerse si se limpiasen los bosques españoles con una frecuencia de 10 años.

2.3.- Residuos ganaderos

Comprenden principalmente residuos de los siguientes capítulos de la Lista Europea de Residuos:

02 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos

04 Residuos de las industrias del cuero, de la piel y textil

Dentro de este capítulo se van a comentar dos grandes áreas generadores de residuos derivados de la actividad ganadera, y en general de animales vivos, domésticos o salvajes, que tienen relación con el hombre y que pueden influir en su salud:

- * Residuos de excretas y otros de origen vegetal generados en el manejo de los animales
- * Residuos de origen animal generados después de la muerte de los animales

2.3.1 Residuos de excretas

Este paquete de residuos está integrado básicamente por las excretas de los animales, por los medios de explotación, limpieza y por derramas de piensos y productos de la explotación ganadera. Dentro de la LER pertenece al código: 02 01 06: Heces de animales, orina y estiércol (incluida paja podrida) y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan.

La cantidad de excretas generadas por la ganadería española durante la década 1987-1996, según el Anuario de Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura, ha experimentado un incremento del 12% reflejando así el incremento de la producción ganadera. Solamente las excretas del ganado equino se reducen frente a incrementos en

todas las demás ganaderías. El mayor aumento de sus deyecciones, en estos diez años, corresponde a las aves con un incremento del 100%. La producción media anual de excretas, en el período considerado fue de 74,8 millones de toneladas. En el año, 1995, fue de 79,8. millones de toneladas que produjeron los casi doscientos millones de cabezas de la ganadería española. La Comunidad Autónoma de Castilla y León ocupa el primer lugar con la generación del 17% del estiércol, seguido de Cataluña (15%) y Aragón (12%). Las provincias con mayor producción de estiércol son Huesca (5,8 Mt), Lérida (4,2) y La Coruña (3,9)

2.3.1.1- El concepto de residuo ganadero de excreta

Las excretas del ganado, transformadas en estiércol por fermentación, han sido clásicamente la fuente de nutrientes para los cultivos. En la actualidad, la agricultura intensiva exige elevadas aplicaciones de estiércol y por tanto, no puede considerarse que éste sea contabilizado como residuo ni puede representar un daño para el medio ambiente. Se deberá manipular adecuadamente el estiércol siguiendo el Real Decreto 261/1996 de 16 de febrero relativo a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (BOE 11-03-96), que se comentará posteriormente.

Las excretas del ganado pueden transformarse en un residuo y pueden constituir un daño para el medio ambiente, en las explotaciones intensivas de ganado, donde, las excretas de los animales se retiran de la cuadra, con los procesos de limpieza y por medio de agua a presión. Este es el caso de las explotaciones de ganado porcino y de algunas de ganado vacuno. También en algunas explotaciones intensivas de aves, la gallinaza se produce con un elevado índice de humedad y su retirada constituye un problema ambiental para el avicultor.

2.3.1.2. Cantidad de residuos ganaderos de excretas generados en España

No existen datos estadísticos sobre la generación, en toda España, de los residuos ganaderos, por lo que se van a hacer unas estimaciones en base a determinar el porcentaje de ganadería intensiva, generadora de residuos ganaderos. Otra estimación se puede realizar en base al tipo de ganadería, al número de animales y a su edad. En la primera estimación, se considera que la producción de residuos ganaderos sólo se producen en tres tipos de ganadería intensiva: porcino, bovino y aves y posteriormente se estimará el porcentaje de estas ganaderías, que se explotan en régimen intensivo y se acude a la estadística del Ministerio de Agricultura.

- Ganado Porcino: La casi totalidad de las explotaciones de ganado porcino disponen de sistemas de retirada de las excretas por vía líquida y, por tanto, generan purines. Se deben exceptuar las explotaciones llevadas en régimen abierto de montanera, principalmente las explotaciones de cerdo ibérico. El número de estos animales representa un valor en torno al 3% del censo de ganado porcino. También deberían exceptuarse las explotaciones familiares dedicadas a cebo o a producción, cada vez más escasas. Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, se podría estimar que el 90% de la ganadería porcina española genera residuos ganaderos.
- Ganado Bovino: Se ha considerado que produce residuos ganaderos la ganadería bovina, explotada en régimen intensivo. Se trata de animales de raza frisona y pardo alpina, así como las explotaciones ganaderas, de cualquier raza, destinadas a cebo y sacrificio, antes de 24 meses. Con estas consideraciones, se ha estimado que el 55% de las excretas de ganado bovino se produce en forma de residuo ganadero.
- Aves: La mayoría de las granjas de aves se explotan en régimen intensivo. Para estimar la producción de residuos, del censo total de explotaciones avícolas, se deducen las llevadas en régimen de pequeñas explotaciones camperas. De esta forma se puede estimar que el 80% del estiércol de aves se produce en forma de residuo ganadero.

Siguiendo este criterio y de acuerdo con los datos estadístico del MAPA, en España, que en 1995 se generaron 79,8 millones de toneladas de excretas, se ha estimado que se produjeron 43 millones de toneladas de residuos ganaderos. Tres



Comunidades Autónomas: Castilla y León (19'5%), Cataluña (19'3%) y Galicia (15'6%) producen más de la mitad de los residuos ganaderos.- Por otra parte, las menores generaciones se producen en la Comunidad de La Rioja, con el 0'7% del total.

Otra medio de cálculo se basa en la estimación de la cantidad de residuos ganaderos en base al número de animales y la generación de residuos por animal. Para realizar este calculo se deberán consultar tablas de generación en función del tipo de ganadería. Para el caso del porcino, se adjuntan los datos contenidos en el Anexo I del R.D. 324/2.000.

| Tipo de ganado | ESTIÉRCOL LÍQUIDO Y SEMILÍQUIDO M ³ /año | Contenido en Nitrógeno Kg/plaza/año | Equivalencia en UGM |
|---|---|-------------------------------------|---------------------|
| Cerda con ciclo cerrado*..... | 17,75 | 57,6 | 0,96 |
| Cerda con lechones hasta destete (0 a 6 kgs)..... | 5,10 | 15,00 | 0,25 |
| Cerda con lechones hasta 20 kg CERDA DE REPOSICIÓN..... | 6,12 | 18,00 | 0,30 |
| Lechones de 6 a 20 Kgs..... | 2,50 | 8,50 | 0,14 |
| Cerdo de 20 a 50 kgs..... | 0,41 | 1,19 | 0,02 |
| Cerdo de 50 a 100 kgs..... | 1,80 | 6,00 | 0,10 |
| Cerdo de cebo de 20 a 100 kgs.. | 2,50 | 8,50 | 0,14 |
| Verracos..... | 2,15 | 7,25 | 0,12 |
| | 6,12 | 18,00 | 0,30 |

* Incluye la madre y su descendencia hasta la finalización del cebo

Composición

ANEXO IV: Valores de producción de nitrógeno por cabeza y año según especies.

| Ganado | Distribución | Producción Kg. N/cab y año |
|----------|---|--------------------------------|
| Bovino | <12 meses | 22 |
| | 12 y 24 meses | 44 |
| | 24 meses | 60 |
| Ovino | Corderos | 3 |
| | Reproductores | 10 |
| Caprino | Chivos | 2 |
| | Reproductores | 9 |
| Equino | | 26 |
| Cunicola | | 1.73 |
| Avícola | Ponedoras | 0.5 |
| | Carne | 0.22 |
| Ganado | Distribución | Producción Kg. N/cab. y año |
| Porcino | Cerda en ciclo cerrado * | 57.60 |
| | Cerda con lechones destete (0-6Kg.) | 15 |
| | Cerda con lechones hasta 20 Kg. | 18 |
| | Lechones de 6/20 Kg. | 1.19 |
| | Cerdo de 20 a 50 Kg. | 6.0 |
| | Cerdo de 50 a 100 Kg. | 8.5 |
| | Cerdo de Cebo de 20 a 100 Kg. | 7.25 |
| | Verracos | 18 |
| | * Incluye madre y su descendencia hasta la finalización del cebo. | |

COMPOSICIÓN DEL ESTIÉRCOL

| Especie | Materia Seca % | N Kg./t | P ₂ O ₅ Kg./t | K ₂ O Kg./t |
|----------|-------------------|------------|--|---------------------------|
| Bovino | 18'0 | 3'4 | 1'3 | 3'6 |
| Porcino | 27'2 | 4'5 | 2'1 | 6'0 |
| Ovino | 38'4 | 8'2 | 2'1 | 8'3 |
| Caballar | 32'6 | 6'7 | 2'3 | 7'2 |
| Aves | 4'2 | 20 | 23 | 12 |

La composición físico-química de los estiércoles y más concretamente, su valoración agronómica medida a través de su riqueza en nutrientes, varía en función de

numerosos parámetros como son, ganadería, tipo de alimentación del ganado, edad de los animales, manejo de la granja, etc. Se aportan unos datos medios, obtenidos de la bibliografía de algunos estiércoles.

2. 3. 1. 3 Características agrarias de los residuos ganaderos de excretas

Se aportan datos medios obtenidos de la bibliografía correspondientes a algunos purines o estiércol líquido de las explotaciones intensivas ganaderas (Tabla 1).

TABLA 1.- RESIDUOS GANADEROS, composición y generación

| | | Cantid. Kg/día | M.Seca % | M.Miner % | N tot. Kg/t | P ₂ O ₅ Kg/t | K ₂ O Kg/t | pH |
|-------------------|---------------|-------------------|-------------|--------------|----------------|---------------------------------------|--------------------------|-----|
| | Orina | 15 | 7 | 3'0 | 7 | 0'05 | 15 | |
| | Sólido | 30 | 17 | 3'5 | 4 | 2'3 | 2 | |
| Bovino | Purín fresco | 45 | 14 | 3'3 | 4'5 | 2'0 | 6 | 6'7 |
| | Purín Líquido | 55 | 10 | 2'8 | 3'5 | 1'6 | 5 | 6'9 |
| | Estiercol | | 22 | 5'0 | 4'6 | 3'0 | 6'0 | 7'9 |
| Bovino Menor | Purín | 5'8 | 8'8 | 2'8 | 1'8 | 0'55 | 0'68 | 7'6 |
| Porcino 100 kg | Orina | 6'7 | 4'0 | | 4 | 0'05 | 5 | |
| | Heces | 3'3 | 23'0 | | 5 | 3'0 | 3 | |
| | Purines | | 5'0 | 1'6 | 4'5 | 2'3 | 3 | 7 |
| Ovino | Orina | | 13 | | 12 | 0'05 | 13'0 | |
| | Heces | | 30 | | 8 | 4'5 | 4'8 | |
| | Purines | 2'5 | 25 | 6'9 | 8 | 8'0 | 9'5 | |
| Aves | Purín | 0'2 | 15 | | 13 | 11 | 6 | |
| Conejos | Purín | 0'17 | 4'0 | | 12 | 10 | 7 | 7'2 |

Como se ha expuesto anteriormente los residuos ganaderos son los vertidos líquidos que se generan en las ganaderías, de tipo intensiva, en los procesos de limpieza. Los residuos ganaderos están integrados por excretas sólidas y líquidas del



ganado, restos del pienso, agua de limpieza y productos usados en la limpieza y desinfección. No integran estos residuos, a diferencia del estiércol, todos los productos que se echaban en el establo para constituir la "cama" del ganado y para absorber las excretas líquidas, como eran la paja, tojo o residuos fibroñosos de monte.

La característica más destacable de estos residuos ganaderos es su elevado grado de humedad, que supera el 75% en aves y el 90% en porcino, lo que dificulta su almacenamiento prolongado y su aplicación agraria. Además, el almacenamiento de estos residuos está limitado a un período corto de uno o dos meses, por dos razones: excesivo volumen de líquidos y riesgo de fermentación con emisión de gases como biogás, amoníaco, etc. Se adjunta los "Valores de producción de nitrógeno por cabeza y año según especies" que figura en el Proyecto de Real Decreto antes mencionado y en el anexo I del Real Decreto 324/2000.

. Características de interés agrario

A la vista de los resultados analíticos, se comprueba que los residuos ganaderos, adecuadamente manipulados, pueden ser una fuente de agua y materia orgánica para los cultivos. Se resume los componentes de mayor interés agrario presentes en los purines o residuos ganaderos:

- * Humedad
- * Materia orgánica
- * *Nutrientes (NPK)*

Características desfavorables para uso agrícola

Como principales componentes que pueden tener repercusiones negativas en la aplicación agrícola de los residuos ganaderos son:

- * Salinidad
- * Cobre y cinc
- * Patógenos



Un exceso en la aplicación agrícola de nutrientes, principalmente el nitrógeno y el fósforo es poco probable que origine daños a los cultivos, pero sin embargo puede tener graves consecuencias medioambientales. En efecto, un exceso de nitrógeno en cantidades superiores a los de extracción del cultivo podría fomentar la lixiviación de nitratos y la contaminación de las aguas residuales, así mismo un exceso en la aplicación de fósforo en suelos con elevada pendiente topográfica, podría fomentar la escorrentía y los arrastres del fósforo hacia los cauce de agua superficiales, fomentando la eutrofización de sus aguas.

La salinidad de estos vertidos, debe vigilarse para evitar los riesgos de salinización de los suelos. Con relación al cobre y cinc, se ha demostrado que más del 70% de la cantidad de estos metales, que toman los cerdos en su dieta alimenticia de engorde, se eliminan en las excretas, por lo cual deberá vigilarse, para evitar daños en los suelos. A corto plazo, y cuando las dosis de aplicación de los purines a los suelos se calcula para, cubrir las necesidades nitrógenas de los cultivos, no se presentan problemas de contaminación de los suelos. Por el contrario y cuando se producen aplicaciones continuas y voluminosas de purines, puede dar lugar a importantes problemas de acumulación. En casos extremos puede ocurrir la muerte de la fauna del suelo y la eliminación de las plantas que no toleren estas concentraciones de elementos pesados.

El estiércol, una vez hecho o estabilizado por fermentación, se aplica en los campos agrícolas en función de las necesidades de los cultivos, principalmente en dos épocas del año. Sin embargo, el residuo ganadero, por exigencia ganadera y no de los cultivos, deberá aplicarse en los campos a lo largo de todo el año. Esta nueva metodología exige la presencia de agricultura de secano, con cultivos de año y vez, es decir, donde se alterna la superficie dedicada a cultivo con la dedicada al barbecho, en la misma parcela, y al año siguiente. En estas condiciones, el residuo ganadero se aplicará en las parcelas de barbecho.

2.3.2 Residuos de origen animal

Este segundo grupo de residuos lo integran animales o partes de ellos, que se obtienen después de la muerte del animal, producida por razones comerciales o sanitarias. Comprende básicamente, los siguientes códigos de la Lista Europea de Residuos:

- 02 01 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca.
 - 02 01 02 Residuos de tejidos de animales.
 - 02 01 06 Heces de animales, orina y estiércol (incluida paja podrida) y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan.
- 02 02 Residuos de la preparación y elaboración de carne, pescado y otros alimentos de origen animal.
 - 02 02 01 Lodos de lavado y limpieza.
 - 02 02 02 Residuos de tejidos de animales.
 - 02 02 03 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración.
 - 02 02 04 Lodos del tratamiento in situ de efluentes.
- 02 05 Residuos de la industria de productos lácteos.
 - 02 05 01 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración.
 - 02 05 02 Lodos del tratamiento in situ de efluentes.
- 04 Residuos de las industrias del cuero, de la piel y textil
 - 04 01 01 Carnazas y serrajes de encalado.
 - 04 01 03* Residuos de desengrasado que contienen disolventes sin fase líquida.
 - 04 01 08 Residuos de piel curtida (serrajes, rebajaduras, recortes, polvo de esmerilado) que contienen cromo.
 - 04 02 10 Materia orgánica de productos naturales (por ejemplo grasa, cera).

Los residuos o subproductos animales se han clasificado, en las legislaciones específicas, considerando su riesgo a transmisión de enfermedades. El Real Decreto

2224/1993 de 17 de diciembre sobre normas sanitarias de eliminación y transformación de animales muertos divide a los residuos en “Material de alto riesgo” y “Material de bajo riesgo”. El Reglamento CE 1774/2002, los divide en tres categorías, creando una categoría intermedia entre las anteriores:

1 Material de la categoría 1, o de alto riesgo

En el Reglamento se denomina material de categoría 1, y son básicamente los materiales de “alto riesgo” de difusión o contaminación por patógenos, definidos en la legislación española, principalmente en el RD 2224/1993.

El material de la categoría 1 corresponde a animales o partes de ellos, de los que se sospecha estar infectados por encefalopatía espongiforme transmisible (EET) o por enfermedades transmisibles a los seres humanos o a los animales.

Comprenden también:

- a) - animales de compañía, de zoológicos y de circos,
- b) - animales de experimentación y animales salvajes sospechosos de estar infectados con enfermedades transmisibles a los seres humanos o a animales.
- c) - animales a los que se les haya suministrado sustancias prohibidas y residuos de contaminantes medioambientales.
- d) - material de origen animal recogido al depurar las aguas residuales de plantas de tratamiento de materiales de esta categoría.
- e) - residuos de cocina procedentes de medios de transporte que operen a nivel internacional.

2 Material de la categoría 2

El material de la categoría 2 incluye los siguientes subproductos animales:

- a) estiércol y contenido del tubo digestivo,
- b) materiales de origen animal recogidos al depurar las aguas residuales de mataderos o de instalaciones de transformación de materiales de categoría 2,

- c) productos de origen animal que contengan residuos de medicamentos veterinarios y contaminantes,
- d) productos de origen animal distintos del material de la categoría 1 importados de terceros países y que no cumplan los requisitos veterinarios para su importación en la Comunidad,
- e) animales o partes de animales, que mueran sin ser sacrificados para el consumo humano, incluidos los animales sacrificados para erradicar una enfermedad epizoótica;

3 Material de la categoría 3

El material de la categoría 3 incluye los subproductos animales que correspondan a la siguiente descripción, o cualquier material que los contenga:

- a) partes de animales sacrificados, aptos para el consumo humano, pero que no se destinen a este fin por motivos comerciales, o que han sido rechazadas por no ser aptas para el consumo humano, pero que no presenten ningún signo de enfermedad transmisible.
- b) pieles, pezuñas y cuernos, cerdas y plumas procedentes de animales aptos para el sacrificio con vistas al consumo humano;
- c) sangre procedente de animales que no sean rumiantes sacrificados en un matadero y que sean declarados aptos para el sacrificio con vistas al consumo humano.
- d) subproductos animales derivados de la elaboración de productos destinados al consumo humano, incluidos los huesos desgrasados y los chicharrones;
- e) antiguos alimentos de origen animal o que contengan productos de origen animal, que no sean residuos de cocina, que ya no están destinados al consumo humano por motivos comerciales que no supongan riesgo alguno para el ser humano ni los animales;
- f) peces u otros animales marinos, con excepción de los mamíferos, capturados en alta mar para la producción de harina de pescado;

- g) subproductos frescos de pescado procedentes de instalaciones industriales que fabriquen productos a base de pescado destinados al consumo humano;
- h) conchas, subproductos de la incubación y subproductos de huevos con fisuras procedentes de animales que no presenten signos clínicos de ninguna enfermedad transmisible a través de ese producto a los seres humanos o los animales;
- i) leche cruda de animales, sangre, pieles, pezuñas, plumas, lana, cuernos y pelo procedentes de animales que no presenten signos clínicos de ninguna enfermedad transmisible
- j) residuos de cocina que no sean los mencionados en el material de categoría 1.

2.4.- Residuos de industrias agrarias

2.4.1.- Sectores industriales considerados

Sólo se han considerado los residuos de naturaleza orgánica fermentable y, por tanto, en este capítulo sólo se consideran las industrias que generan dichos residuos orgánicos. De todos los sectores industriales se han seleccionado de interés solamente los siguientes grupos de industrias y sus residuos:

- a) Industrias de conservación y envasado de frutas y legumbres
- b) Industrias de fabricación de aceites de oliva
- c) Industrias de fabricación y rectificación de alcoholes y elaboración de bebidas espirituosas
- d) Industrias de elaboración de frutos secos
- e) Industrias de transformación de la madera y fabricación de muebles de madera

Los residuos producidos en las industrias de primera transformación de la madera, están integrados por puntales, costales, viruta y serrín, y se han contabilizado con los residuos forestales. Los residuos de la segunda transformación de la madera son menos voluminosos y están compuestos, principalmente, por viruta, serrín y restos de madera. Estos residuos se aprovechan energícamente en industrias locales y los absorbe la ganadería, principalmente las granjas de gallinas.

2.4.2.- Residuos de industrias agrarias disponibles en España

El cálculo de dichos residuos se realizó en el mencionado "Inventario de residuos orgánicos" en base a deducciones indirectas, considerando, por una parte, la materia prima y, por otra, el producto elaborado, partiendo de información y datos oficiales. La cantidad de residuos industriales de naturaleza orgánica que se generan en España se acerca a los cinco millones de toneladas anuales. Muchos de los residuos considerados contienen un elevado porcentaje de humedad como alpechines, vinazas y conservas vegetales.

Un análisis conjunto de los residuos refleja la mayor importancia de los residuos de frutos secos, con 2,2 Mt, lo que supone el 72% del total. Menor importancia corresponde a los residuos obtenidos en la elaboración de vino, que sólo se alcanzan 1,5 millones de toneladas anuales. Las industrias que elaboran frutos secos se encuentran bastante repartidas geográficamente por toda España. Las mayores producciones de residuos se alcanzan en Baleares, Murcia y Alicante.

Las industrias conserveras se centran, principalmente, en Badajoz, Valencia, Murcia y Navarra, quienes generan el 70% del total. Las almazaras y extractores de aceite se centran, fundamentalmente en Jaén, seguidos de lejos por Ciudad Real. Estas provincias generan el 47% de este sector industrial. Los residuos derivados de la extracción de vino se encuentran repartidos en todo el ámbito nacional, correspondiendo la mayor producción a Ciudad Real, seguida de lejos por Cuenca y Toledo. Referente a las cantidades generadas, ninguna provincia alcanza las 400.000 t/año, siendo Murcia con 368.000 t/año mayor productora, seguida de Baleares y Málaga. Solo siete provincias superan una producción anual de 250.000 t.

3. LODOS DE ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

3.1 Clases de lodos o fangos

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) urbanas o industriales, generan una serie de productos residuales, como son, residuos sólidos, arenas, grasas, lodos o fangos, etc y de agua depurada. Por su posible interés agrícola se van a considerar solamente los lodos o fangos.

Los lodos son productos heterogéneos que destacan por su elevado contenido en humedad y por su riqueza en materia orgánica. La composición de los lodos varía en función de agentes externos e internos a la estación depuradora. La identificación de estos agentes permitirá actuar sobre ellos para obtener una mejor depuración de las aguas residuales y a la vez unos productos residuales o lodos, que sean de interés agrícola para facilitar su aprovechamiento. Una vez que se ha depurado el agua y que se han aprovechado los productos residuales, se puede decir que el proceso de depuración ha concluido. Dentro de los agentes externos el mas importante es el origen de las aguas residuales; urbano, industrial o mixto. Dentro de los agentes internos, los que más inciden en la composición del lodo son los procesos y los productos químicos usados en la EDAR. En una EDAR pueden generarse lodos con diverso grado de humedad y composición, como consecuencia de los procesos y que se analiza en los siguientes apartados, siguiendo el proceso de tratamiento de la planta:

3.1.1 Generación de lodos

* **Lodos primarios.** Obtenidos en los decantadores primarios por sedimentación y decantación de las partículas mas gruesas de las aguas residuales correspondiendo al tratamiento primario, que es el existente, al menos, en las EDAR mas sencillas. Las aguas restantes proseguirán el tratamiento. La concentración en

sólidos, de estos lodos, suele variar entre 3 y 7% y la cantidad de lodo, entre 50 y 60 gramos de materia seca por habitante y día.

* **Lodos secundarios o lodos biológicos.** Las aguas residuales, desprovistas de los lodos primarios, llevan sustancias orgánicas en forma de partículas finas que son metabolizadas por bacterias aerobias, en un proceso de activación por aireación prolongada, originando una flora bacteriana. Esta flora bacteriana constituye el lodo biológico que se separan en el decantador secundario.

Los lodos primarios se mezclan con los secundarios constituyendo los **lodos frescos mixtos**.

* **Lodos de coagulación o lodos químicos.** A veces, en la estación depuradora, las aguas residuales sufren un pretratamiento con reactivos químicos, que actúan como floculantes o coagulantes de los sólidos, que se sedimentarán en el decantador primario. Los lodos obtenidos en este único decantador de las depuradoras físico-químicas se conoce con el nombre de lodo de coagulación o lodo químico.

3.1.2. Estabilización

Los lodos primarios o los mixtos frescos se someten a diversos procesos biológicos o químicos donde se reduce el poder de fermentación de los productos orgánicos contenidos en ellos. Estos procesos originan un **lodo estabilizado**. Los principales procesos de estabilización de los lodos líquidos son:

- **Estabilización biológica aerobia.** Se trata de una oxidación parcial de los productos orgánicos más biodegradables. Se realiza por aireación y el resultado es un lodo aerobio. Los productos nitrogenados se encuentran en formas oxidadas (nitratos).

- **Estabilización biológica anaerobia.** Es una fermentación metánica realizada en un recinto cerrado o digestor. Como producto de la digestión se obtiene biogás y un lodo digerido. El biogás, compuesto básicamente por metano y anhídrido carbónico, tiene interés energético y se consume en los motores de combustión interna de la EDAR para generar energía eléctrica. El lodo con elevada concentración orgánica sale del digestor concentrado en forma de lodo estabilizado. El nitrógeno se encuentra principalmente en formas amoniacales.

- **Estabilización química.** Se realiza a base de reactivos químicos, principalmente cal. La aplicación de cal eleva el pH a valores superiores a 11, lo que bloquea las fermentaciones orgánicas y evita los efectos de malos olores y fermentaciones posteriores. Las principales consecuencias son la obtención de un lodo, donde no se ha destruido la materia orgánica, es un lodo rico en calcio, elevado valor de pH y donde los fosfatos pueden encontrarse en formas no asimilables por las plantas, y los elementos pesados se encuentran en forma de fosfatos, de difícil asimilación por los cultivos.

3.1.3 Desechado de lodos

Los lodos líquidos antes reseñados, presentan una elevada humedad (por encima del 90%) lo que exige someterlos a unos procesos de desecación con el fin de reducir el volumen de agua y facilitar la manipulación y posterior uso o destino de los lodos. Estos procesos exigen un tratamiento previo que facilite su posterior tratamiento mecánico de deshidratación. Los tratamientos mas importantes son el acondicionamiento del lodo y su espesado posterior.

3.1.3.1. Acondicionado

Para facilitar la deshidratación de los lodos, se deberán acondicionar con productos químicos o por vía térmica. Se relaciona las principales técnicas usadas.

Acondicionamiento químico. Se realiza con la incorporación de reactivos químicos que faciliten la floculación de los lodos para mejorar la eficiencia de filtración y desecación. Los reactivos químicos mas utilizados son, polielectrolito y sales minerales y cal. El polielectrolito no modifica las características químicas del lodo, se fija a la fase sólida del lodo y facilita su posterior deshidratación. Normalmente se usan polielectrolitos catiónicos. Aunque no se conoce bien el comportamiento de estos productos en el suelo, la experiencia muestra que no ejerce un efecto desfavorable sobre los cultivos. El acondicionado con sales minerales y cal, normalmente cloruro férrico, sulfato de alumina y oxido de calcio. Los principales efectos de estos reactivos son los siguientes:

- Incremento de la materia sólida por precipitación de hidróxidos de metales pesados en forma de sales, principalmente de hierro y aluminio, y precipitación de carbonato de calcio cuando se añade cal.
- Aumento de la salinidad y del valor de pH. Normalmente en la planta de tratamiento el pH se regula para obtener un medio óptimo de coagulación de los coloides sin preocuparse de las consecuencias de la posible utilización agraria de los lodos. Con frecuencia estos lodos no pueden aprovecharse agricolamente.
- Concentraciones elevadas de elementos pesados, no solo de hierro y aluminio de los reactivos sino de otros metales pesados que pueden ser peligrosos para los cultivos.

Acondicionamiento térmico. Se suele practicar en autoclaves, bajo presión y temperatura controladas, durante un tiempo de 30 a 90 minutos, según la temperatura elegida. Además de la mejora de la deshidratación posterior se consiguen los siguientes efectos:

- Destrucción de gérmenes patógenos.
- Coagulación de coloides, principalmente de proteínas.
- Hidrólisis de una fracción importante de la materia orgánica del lodo y obtención de un líquido con productos orgánicos biodegradables.

3.1.3.2. Concentración de lodos

La separación y eliminación del agua, de los lodos líquidos se realiza para reducir el volumen de los lodos, pero desde el punto de vista de su posterior uso agrario, esta medida representa una pérdida del valor fertilizante del lodo líquido. En efecto se pierden las sales solubles de nitrógeno, fósforo y otros elementos solubles de interés agrícola presentes en la fracción líquida.

La concentración de lodos se logra básicamente por tres procesos

Espesado

Flotación

Centrifugación

El espesado se logra en un depósito cilíndrico cuya base tiene forma cónica. El grado de separación de las fases sólida y líquida determina la composición física y química del lodo espesado. A efectos de su posible posterior uso agrícola, condicionará el manejo, transporte y distribución agrícola. La concentración en sólidos que cabe esperar en lodos espesados, según bibliografía del MOPU (Depuración de aguas residuales) es:

Tipo de lodo

Concentración

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Lodos primarios brutos | 7 - 9 % |
| Lodos secundarios | 2 - 3 % |
| Lodos mixtos brutos | 5 - 7,5% |
| Lodos primarios digeridos | 10 - 15 % |
| Lodos mixtos digeridos | 8 - 10 % |
| Lodos de hidróxidos metálicos | 5 -15 % |

Flotación. Consiste en la inyección de aire a presión al líquido a tratar, lo que origina la formación de burbujas que se adhieren a las partículas en suspensión, las cuales flotan formando, en la superficie una capa de lodo flotado, que se retira

mediante una rasqueta superficial. Este proceso de flotación se utiliza para espesar lodos con una carga ligera, como ocurre con los lodos secundarios de un proceso de lodos activos, o en el tratamiento de aguas de algunas industrias como papeleras. Con este procedimiento se consiguen lodos superficiales con concentraciones superiores al 7% en sólidos.

3.1.3.3. Deshidratación de lodos

Se citan los procesos de mayor interés:

Eras de secado. Es el primer sistema que se utilizó y por su simplicidad y bajo costo, sigue aplicándose para el desecado de pequeñas cantidades. Los lodos se depositan en superficies al aire libre. El buen drenaje y la evaporación concentran los lodos hasta alcanzar una humedad por debajo del 65%, momento en que se retira la "torta de lodos".

Filtros. Existen numerosos sistemas como son, el filtro de vacío, el filtro prensa y el filtro banda, donde se logra la separación de las fases sólida y líquida de los lodos, Se obtiene una torta de lodos con distinto grado de humedad, pudiendo variar entre el 60 y el 75 %.

Centrifugación. La fuerza centrífuga es la base de la separación de las fases sólida y líquida de los lodos.

3.2 - Características de los lodos

Los lodos son unos productos residuales que se caracterizan por su elevada humedad, contenido en sustancias orgánicas y olor característico. Con vistas a su posible aprovechamiento o valorización agraria, conviene analizar sus propiedades favorables y sus componentes desfavorables, con el fin de optimizar sus propiedades

favorables, minimizando y controlando los efectos desfavorables en la cadena alimenticia o en la naturaleza.

3.2.1. Características de interés agrario de los lodos

Los lodos o fangos residuales son dispersiones de dos fases; sólida y líquida. Interesa conocer la proporción relativa, es decir, el porcentaje de humedad y las propiedades de interés agrario de cada una de estas dos fases, para poder determinar su valor agrícola y su metodología de aprovechamiento. Por otra parte la fracción líquida es mucho más móvil que la sólida y los elementos que contiene pueden dispersarse de forma más rápida en el medio natural, ya sea dentro del suelo, por infiltración, como ocurre con los nitratos, o en superficie por escorrentía, como es el caso de los fosfatos. Se analiza, a continuación, los principales componentes de interés agrario sin olvidar que en los países mediterráneos y en general en los países secos, el principal componente apreciado de los lodos es su contenido en agua.

3.2.1.1. Materia seca.

Es la cantidad total de sólidos determinados en estufa a 105 °C hasta sequedad. La concentración en materia seca caracteriza el grado de espesamiento de los lodos y presenta valores similares para procesos y vertidos característicos. Los valores medios para lodos líquidos oscilan entre 3 y 8% de materia seca en peso. Para lodos deshidratados, la concentración en materia seca varía entre el 20 % y el 30 %, en función del proceso de acondicionamiento y del proceso de deshidratación.

3.2.1.2. Materia orgánica total o materia volátil

Es la cantidad de materia orgánica contenida en la materia seca. Se mide como porcentaje de la materia seca volatilizada a 550°C. Las concentraciones de materia volátil varían entre un rango tan amplio del 10 al 80% de la materia seca. Los valores más frecuentes están comprendidos entre el 35 y 55%. De forma general puede apreciarse que los lodos frescos presentan valores más altos que los lodos

estabilizados. Dentro de éstos, los estabilizados por vía aerobia presentan una concentración en materia orgánica superior a los estabilizados por vía anaerobia. Además del proceso de estabilización, tiene gran importancia el proceso de acondicionamiento de los lodos. El acondicionamiento térmico suele destruir entre el 10 y el 15 % de la materia orgánica.

3.2.1.3. Macronutrientes

En los lodos de las depuradoras se encuentran todos los macro y micronutrientes necesarios para los cultivos, destacando el nitrógeno, fósforo y Potasio entre los macronutrientes. Aunque su composición varía en función de numerosos parámetros, los valores medios para un lodo estabilizado, según la Agencia de Protección de Medio Ambiente norteamericana pueden ser del orden de 3,5% de nitrógeno, 2,5% de fósforo y 0,3% de potasio.

En el cuadro adjunto se expone la composición de los lodos de depuradoras, en elementos esenciales, según SOMMERS, 1977. Se va a hacer un comentario sobre la riqueza de los principales macronutrientes.

Nitrógeno. El nitrógeno puede encontrarse en formas minerales u orgánicas, dependiendo de numerosos factores. En los lodos primarios, las formas dominantes del nitrógeno mineral son la amoniacal que representa entre el 5 y el 10 % del nitrógeno total.

Los procesos de estabilización y de deshidratación, pueden originar una reducción considerable de la concentración nitrogenada de los lodos. La aireación de los lodos puede llegar a reducir la concentración del nitrógeno amoniacal en un 50%. En la estabilización de los lodos a través de la cal, se logran unos valores elevados de pH lo que origina la formación de amoníaco y su consiguiente pérdida a la atmósfera. En la digestión anaerobia se mineraliza el nitrógeno orgánico a favor de formas minerales que pueden perderse en forma de gases.

COMPOSICIÓN DE LOS LODOS DE DEPURADORA

| Elemento | Intervalo | Mediana | Media |
|-----------|----------------------|---------|--------|
| Nitrógeno | (%) 0,10 - 17,60 (a) | 3,30 | 3,90 |
| Fósforo | (%) 0,10 - 14,30 | 2,30 | 2,50 |
| Potasio | (%) 0,02 - 2,64 | 0,30 | 0,40 |
| Calcio | (%) 0,10 - 25,00 | 3,90 | 4,90 |
| Magnesio | (%) 0,03 - 1,97 | 0,45 | 0,54 |
| Sodio | (%) 0,01 - 3,07 | 0,24 | 0,57 |
| Azufre | (%) 0,60 - 1,50 | 1,10 | 1,10 |
| Hierro | (ppm) 1000 - 153.000 | 11.000 | 13.000 |
| Cinc | (ppm) 101 - 27.800 | 1.740 | 2.790 |
| Manganeso | (ppm) 18 - 7.100 | 260 | 380 |
| Cobre | (ppm) 84 - 10.400 | 850 | 1.210 |
| Boro | (ppm) 4 - 760 | 33 | 77 |
| Molibdeno | (ppm) 5 - 39 | 30 | 28 |

(a) Referidos a materia seca

Fuente: SOMMERS, 1977.

La deshidratación de los lodos permite separar los compuestos solubles, como amoníaco y nitrato, que serán eliminados parcialmente al separar la fase líquida del lodo. La concentración en nitrógeno de los lodos oscila entre 0,1 y 17 % según la bibliografía consultada. En las plantas depuradoras españolas la riqueza en nitrógeno varía entre 0,5 y 4,4 %. Los lodos de estaciones depuradoras de aguas urbanas suelen ser mas ricos en nitrógeno que los de las plantas de tratamiento de aguas de origen industrial. En general los lodos activos suelen contener una mayor concentración que los lodos digeridos.

Fósforo. El fósforo está ligado al contenido en sólidos de los lodos. La alteración en la cantidad de sólidos repercute consecuentemente en el contenido de fósforo. Los lodos presentan unas concentraciones en fósforo que oscila entre 0,1 y 14,3% según Sommers. En las depuradoras españolas los valores están comprendidos entre 0,6 y 4%.

El fósforo se encuentra en los lodos en formas inorgánicas, en un 65 a 85%. La forma predominante es la de fosfatos de cal, hierro y aluminio, aunque a veces se encuentra absorbido en complejos de hidróxidos de hierro, aluminio y manganeso. El fósforo orgánico presente en los lodos, proviene de tejidos microbianos, residuos de plantas y productos del metabolismo de organismos vivos.

A modo de ejemplo se expone que el origen de los fosfatos en las aguas residuales del Reino Unido son: el 29% de origen ganadero, 24% de excretas humanas, 19% detergentes, 14 de excremento de suelos cultivados, el 8% de origen industrial y el 6% a otras fuentes.

Potasio. El potasio en las aguas residuales, se encuentra en solución y por tanto, una gran mayoría se pierde al separar la fracción líquida. La concentración en potasio está condicionada por los métodos de tratamiento de los lodos.

Los lodos presentan unas concentraciones en potasio muy bajas y que oscilan entre 0,02 y 2,6%. En las depuradoras españolas estas cifras son 0,005 y 1%. La casi totalidad del potasio se encuentra en forma inorgánica. El potasio aportado a los suelos agrícolas a través de los lodos, queda retenido en el complejo de cambio, de donde puede ser absorbido por los cultivos o perdido por percolación. El grado de movilidad del K en el suelo, es muy pequeño y, excepto en suelos muy arenosos, es improbable una contaminación en niveles inferiores del suelo.

3.2.1.4. Microelementos

Los lodos de las aguas residuales, contienen una abundancia de elementos traza de los cuales, unas son necesarios para el crecimiento de las plantas, tales como Cu, Fe, Mn y Zn y otras no, como por ejemplo Cd, Cr, Hg, Na, Ni y Pb. En los últimos trabajos sobre el tema, se insiste sobre la importancia de estos micronutrientes en las necesidades nutritivas de las plantas. Sin embargo, debido al incremento progresivo de metales pesados en los lodos, de áreas industriales, se han originado excesos de concentración en el suelo, lo que ha producido síntomas de toxicidad en las plantas.

3.2.2.- Características desfavorables para uso agrario y medios para corregirlas.

3.2.2.1. Salinidad

Las aguas residuales y los lodos, contienen sales solubles de sodio, potasio, calcio y magnesio principalmente, que pueden afectar a los cultivos agrícolas. La concentración salina de los lodos depende del origen de las aguas residuales y de la tecnología de tratamiento aplicada en las depuradoras. El uso de acondicionadores de los lodos como cloruro férrico y cal, van a originar una elevada salinidad de los lodos, lo que podría obligar a desechar su uso agrícola. En los lodos obtenidos en las EDAR españolas, los valores más bajos de salinidad, por debajo de 2,5 milimhos/cm, se obtienen cuando se emplea como floculante polielectrolito. Cuando se usa cal y cloruro férrico el valor del pH sube por encima de 11,4 y la salinidad alcanza valores de 12,8 milimhos/cm.

3.2.2.2. Elementos pesados

La concentración en elementos pesados de los lodos, está en función del origen de las aguas residuales y de la metodología de tratamiento. Algunos elementos presentes en los lodos pueden representar diversos grados de riesgo potencial, debido a su concentración, solubilidad o toxicidad.

Las plantas cultivadas necesitan una serie de nutrientes como N, P y K y otros micronutrientes para satisfacer sus necesidades fisiológicas. El sensible aumento en la concentración en el suelo de estos elementos químicos, puede originar diversos daños, no sólo en el suelo y en las plantas, sino además llegar al hombre. Dentro de estos elementos se deben estudiar los elementos pesados y otros elementos que están presentes en las aguas industriales y que pueden originar daños en los cultivos como Ar, B, Se, etc. Se van a considerar los elementos pesados que pueden llegar al suelo agrícola con las aguas y compost. Sólo se considera que unos diez de estos elementos



están presentes en los vertidos en cantidades que pueden doblar o multiplicar las concentraciones normales presentes en los suelos.

Estos son: Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Sn y Zn.

Algunos elementos están presentes o se convierten en forma química que permanecen inmóviles sin entrar en soluciones en el ciclo vegetal, tal es el caso del Cr con forma de óxido Cr_2O_3 insoluble. La incorporación al suelo de Pb y Hg no parece repercutir sensiblemente en los cultivos ni en las aguas de drenaje. Este hecho contrasta con el medio acuático donde el Hg puede encontrarse en partículas muy finas en suspensión e incluso unirse a la sal marina. El plomo puede contaminar y dañar a los cultivos pero no a través del suelo, sino por contaminación aérea. Es decir, no son contaminantes a través del suelo. El estaño, cuya química en el suelo no es tan bien conocida como en el caso del Pb, no parece entrar en la relación suelo-planta.

El cobalto aunque es un elemento tan tóxico como el Ni, las concentraciones en las que se encuentra en los vertidos industriales suelen ser inferiores a los límites de toxicidad. El Mo no parece representar un daño elevado en los cultivos. Sólo se han encontrado algunos suelos contaminados por concentraciones tóxicas, pero no se tiene referencia de contaminación de Mo vía lodos industriales. Pensando en la contaminación a través de aguas o lodos de origen industrial, los elementos más contaminantes serían: Cd, Cu, Ni y Zn, además de otros como Ar, Se, B y Mn y de los compuestos orgánicos.

A pesar de los mecanismos de defensa o barreras frente a la contaminación, se pueden presentar daños a las personas, al pasar todas esas barreras algunos contaminantes.

La contaminación en los seres vivos puede realizarse por varias vías que van desde la ingestión directa de suelo o de forraje con partículas de suelo, hasta los medios fisiológicos de la planta. En niños también se ha observado la ingestión directa del suelo o del polvo que introducirán en casa como consecuencia de la actividad de

sus padres o del medio en que viven, así se ha detectado la contaminación de niños hijos de mineros

3.2.2.3. Patógenos

Los principales gérmenes patógenos que con mayor frecuencia se encuentran en los residuos urbanos, sólidos y líquidos, son bacterias, virus, protozoos y parásitos intestinales. Durante la depuración de las aguas residuales y en el proceso de estabilización de los lodos, se eliminan cantidades significativas de patógenos, por encima del 90%, pero deberán aplicarse medidas específicas para evitar los posibles riesgos sanitarios a la agricultura. Los microorganismos del suelo actúan como competidores de los gérmenes aportados en el lodo, con lo cual su supervivencia no es muy duradera, oscilando de unas horas a varios meses.

La aplicación agrícola del lodo y su manejo, puede representar un riesgo para la salud por cuanto supone una posible vía de entrada de elementos químicos y de patógenos.

4.- VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRARIOS

El sector agrario deberá seguir las recomendaciones de las diversas administraciones sobre los residuos. En primer lugar, deberá minimizarse la generación de residuos, reutilizarlos y reciclarlos. Las técnicas de minimización son principalmente aplicables en los residuos ganaderos y en los de industrias agraria, aplicando sistemas eficaces de limpieza en granjas o aplicando procesos de recirculación y reciclado en los diversos procesos de industrias agrarias, grandes consumidoras de agua.

La biomasa residual presenta unas características interesantes para poder ser aprovechada con los siguientes objetivos fundamentales:

- Aprovechamiento energético
- Aprovechamiento ganadero
- Aprovechamiento agrícola

No obstante, con frecuencia se pueden presentar aprovechamientos integrales, como es el caso de la poda del olivar, donde la fracción leñosa tiene un aprovechamiento energético y la hoja, ganadero. También se presenta un aprovechamiento escalonado, así los residuos líquidos orgánicos después de un aprovechamiento energético por medio de una digestión metánica, pueden ser usados en los campos agrícolas como fuente de agua y de productos orgánicos y fertilizantes.

El aprovechamiento de los residuos deberá estar precedido por un estudio de viabilidad técnico-económico y que deberá actuarse en función de los precios del mercado y de la tecnología disponible. No hay que olvidar que el aprovechamiento de los residuos, además de planteamientos medioambientales, supone la sustitución de otros productos; materia prima, energía, etc., con los que se entrará en competencia económica. Existen numerosos casos de instalaciones de



aprovechamiento energético de la biomasa que dejaron de ser rentables cuando se redujeron los precios del petróleo.

Se analiza en los capítulos siguientes los principales aprovechamientos de la biomasa residual.

4.1.- Aprovechamiento energético

El aprovechamiento energético de la biomasa residual exige tecnologías sencillas que hagan posible el manejo de los residuos, es decir, de unos materiales inicialmente sin valor, de difícil y costoso manejo por su baja densidad o elevada dilución, y por el difícil acceso para hacer posible su acopio. Sin embargo, su potencial energético o los costos que exige su eliminación para evitar contaminación del medio natural, puede hacer viable estos aprovechamientos.

La tecnología de aprovechamiento energético de residuos se deberá ajustar a las características intrínsecas del residuo y principalmente, a su estado físico y humedad. Para residuos sólidos, las técnicas más aconsejables serán el astillado, la combustión, la pirólisis o carbonización y la gasificación. Para residuos líquidos o pastosos, las técnicas de digestión metánica serían las más adecuadas. Se estudian los diversos residuos y las técnicas de mayor interés.

4.1.1.- Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales

Estos residuos se caracterizan básicamente por una propiedad positiva, su elevado valor energético y por otra negativa, su dispersión de localización, ya que se generan en un medio rural con difícil acceso y acopio.

La utilización de estos residuos exige dos tipos de procesos: uno para su recogida y transporte, y otro para su aprovechamiento.



Procesos de recogida de residuos

Implican todas las operaciones necesarias para acopiar el residuo donde se genera, normalmente en el campo, aumentando su densidad y facilitando su transporte a un centro consumidor o transformador.

Para la recogida de la mayoría de los residuos agrícolas y forestales existen máquinas comerciales que pueden hacer estos trabajos de forma mecánica, sin más limitaciones que la facilidad de acceso a las parcelas de cultivo o monte. Así se detallan las siguientes máquinas:

- 1.- Para productos fibrosos, pajas, cañotes de maíz, etc., existen máquinas empacadoras que concentran los residuos en paquetes de unos 25 kg o grandes paquetes de unos 400 kg.
- 2.- Para residuos leñosos finos, como sarmientos de vid o residuos de cultivos de algodón, además de los tradicionales rastrillos, recientemente están apareciendo máquinas empacadoras que reducen considerablemente el volumen de estos residuos y facilitan su transporte.
- 3.- Para residuos leñosos, como poda de árboles frutales o residuos leñosos originados en el monte, se está empleando la técnica de astillado con máquinas móviles o fijas.

Astillado en España

Cuando los residuos leñosos poseen una densidad elevada, resulta viable su transporte a un centro industrial para ser molturados por máquinas astilladoras fijas. Si por el contrario, la densidad es muy baja, como las ramas de la poda de olivo o leña de monte, se están empleando con éxito máquinas astilladoras móviles, que tratan los residuos en el mismo campo y lo recogen en remolques agrícolas. Existe una extensa gama de máquinas astilladoras que varían desde las astilladoras móviles arrastradas por un tractor, con rendimientos inferiores a la tonelada por hora y con carga manual, a las



astilladoras con carga con brazo mecánico o incluso las cosechadoras de estos residuos, autopropulsadas y con rendimientos superiores a las 5 t/hora.

En España, desde hace varios años, se ha desarrollando considerablemente la técnica de astillado para el aprovechamiento energético de residuos leñosos en cerámicas, fábricas de cemento, celulosas, etc. Se cita como ejemplo el proyecto y la posterior instalación de aprovechamiento energético de la poda del olivo por medio de astilladora fija en Puente Genil (Córdoba), realizado por la Empresa Nacional Adaro, como gestora del Plan Energético Nacional. El estudio de viabilidad fue muy favorable y permitió dimensionar una instalación de astillado con las siguientes características técnicas:

- Capacidad de tratamiento: 50.000 t/año
- Residuos considerados: leña de olivo con un PCI de 4.400 kcal/kg, desechándose en una primera fase el sarmiento de vid, con un PCI de 2.000 kcal/kg.
- Por razones fitosanitarias, la molturación de la leña deberá finalizar el 30 de mayo; es decir, se dispone de 7 meses de trabajo. A partir de esta fecha, el almacenamiento de leña sin astillar puede ser causa de proliferación de plagas, con grave repercusión en la producción del olivar y posibles sanciones municipales.

Considerando las características técnicas de los hornos cerámicos tipo "túnel", se estima necesario que el aprovechamiento de leña debe realizarse en forma de astillas y que el tamaño de éstas debe estar comprendido entre 15 y 20 mm para facilitar su combustión en el horno y evitar focos calientes. La instalación se llevó a efecto y entró en producción a principios del año 1982. Los resultados económicos de la instalación fueron muy favorables, pero se vio obligada a cerrar en 1987 ante la bajada de los precios del petróleo. La fuerte demanda de astilla molida hizo que una vez finalizado en el mes de mayo, el astillado de leña de olivo, se molturase leña de diversos orígenes, como encinas, eucaliptos, olivos viejos, etc.

Procesos de aprovechamiento

4.1.1.1. Combustión directa

La combustión es el proceso de aprovechamiento energético de residuos más favorable, cuando en la zona es posible su utilización directa, sin necesidad de efectuar grandes desplazamientos. Es el proceso más extendido en la actualidad. Muchas instalaciones industriales pueden utilizar los residuos agrícolas, pajas, astillas, etc. en sus sistemas térmicos sin más que realizar pequeñas transformaciones en la alimentación de los hornos. La combustión exige que el poder calorífico del residuo sea mayor de 1.200 kcal/kg, cantidad superada por gran parte de estos residuos

Los residuos agrícolas o forestales suelen sufrir una ligera desecación previa, antes de introducirlos en el horno. Un primer secado suele realizarse en el campo, retrasando su recogida después de ser astilladas. En tiempo seco, la desecación en una semana puede alcanzar cifras de gran interés. El poder calorífico de estos residuos hace posible que pueda sustituirse un kilogramo de fuel-oil por 2,5 a 3,5 kg de residuo agrícola o forestal.

En la actualidad, en el mercado internacional, existen sistemas muy sencillos de aprovechamiento de estos residuos en casas rurales o en explotaciones agropecuarias. Estos sistemas, algunos automatizados, constan de un alimentador compuesto por una tolva seguido de un sistema de aproximación de paquetes de paja o astillas. A continuación, un distribuidor introduce estos residuos combustibles en el horno, según la orden que le envíe el termostato. El horno es la pieza clave y puede alimentarse por diversos tipos de residuos sólidos combustibles, como carbón mineral o vegetal, e incluso en casos de emergencia, puede utilizarse fuel-oil.

Son muchas las industrias que han sustituido el fuel-oil por astillas en sus calderas. Los sectores más consumidores son los más sensibilizados a los problemas energéticos y así se ha podido comprobar en la industria del papel, del cemento, de la

cerámica, de la transformación de la madera y de la destilación de alcoholes. La mayoría de las instalaciones de aprovechamiento energético por combustión van dirigidas a la obtención de calor o de energía eléctrica y calor (cogeneración).

La preparación de la biomasa en estas instalaciones consta de un sistema con las siguientes partes: recogida de la biomasa, molienda y trituración, separación de cuerpos metálicos si procede, y almacenamiento en silo, desde donde partirá el sistema de alimentación de la caldera. Las calderas suelen tener como fluidos térmico, aceite térmico, agua o aire. El calor obtenido se destina a calefacción para usos industriales o para agua sanitaria.

Es de interés comentar la instalación de combustión de biomasa de Sangüesa en Navarra. Se trata de una planta de obtención de energía eléctrica a partir de paja de cereal. Tiene una potencia total de 29 MW, que pretende producir 200 millones de Kwh/año, lo que representa el 6% del consumo eléctrico de Navarra. La planta quemará 160.000 tn/año de paja de cereal.

4.1.1.2.- Compactado o pelletización

Cuando los residuos no pueden aprovecharse energéticamente en la zona y se exigen enviarlos a grandes distancias, los costos de transporte inciden considerablemente sobre el producto, y pueden hacer inviable el aprovechamiento de estos residuos de baja densidad. En estos casos, se exigen tecnologías que consigan reducir la incidencia del transporte en el coste de la energía, mediante dos vías fundamentales.

- Aumento de la densidad del residuo combustible.
- Aumento del poder calorífico del producto por unidad de peso.

La primera vía se logra mediante el proceso de compresión o compactación como son los de briquetado o pelletización. La segunda mediante procesos termoquímicos.

El proceso de briquetado puede aumentar la densidad considerablemente en residuos forestales y agrícolas. En este proceso, después de una molienda, eliminación de inertes y metales, los residuos de naturaleza leñosa, son compactados en briquetas cilíndricas. Este mismo proceso se ha empleado partiendo de residuos agrícolas, fundamentalmente del cultivo de maíz grano, en zonas del sur de España. Durante la crisis energética se desarrollaron las técnicas de compactado de astillas obtenidas en el campo con máquinas astilladoras móviles. Los compactados obtenidos son de diversas formas y tamaños. La forma dominante es la cilíndrica aunque, a veces, se han fabricado compactados de sección cuadrada. Los tamaños varían desde secciones de varios milímetros, denominados pellets o macarrones, hasta secciones de varios centímetros, constituyendo las briquetas. En la fabricación de compactados se pueden presentar problemas, algunos de los cuales, se comentan a continuación.

La heterogeneidad de tamaños y productos y, sobre todo, los diversos grados de humedad pueden ser causa de problemas en la máquina compactadora. La presencia de arenas y, en general, de productos minerales, sobre todo cuando se compacta corteza de árbol, puede originar un desgaste de los elementos mecánicos por excesiva abrasión de sus piezas. Dentro del compactado de astillas de leña de olivo puede desarrollarse plagas de animales, como la denominada "palomilla", con graves repercusiones para la sanidad y productividad de los olivos.

Los compactados de residuos leñosos pueden aprovecharse directamente en las calderas preparadas con parrillas para quemar sólidos. Se han desarrollado numerosos sistemas comerciales para el consumo de estos combustibles en calderas industriales y de uso doméstico. La fabricación de briquetas está tomando gran auge debido a la creciente demanda del mercado consumidor de "fin de semana", para alimentar a las chimeneas o las barbacoas en las casas de campo o segundas viviendas. La fabricación de briquetas dirigidas a un mercado de ocio, origina unos beneficios económicos superiores a los que puedan obtenerse en el mercado industrial, dado que la industria sólo puede valorar el poder calorífico de la briqueta, aspecto que no es primordial en su

consumo en chimeneas. Como ejemplo, se quiere exponer la situación en las zonas próximas a Madrid, donde se están comercializando briquetas cilíndricas con un diámetro de unos 8 cm, en paquetes o cajas de unos 10 a 15 kg. preparadas para su adquisición en las superficies comerciales, a la vez que se realiza la compra semanal. El precio de estas briquetas se sitúa por encima del precio normal del mercado de leña. (En diciembre de 2005 en la zona de Villalba de Guadarrama (Madrid) el precio de la leña en almacén era de 19 pts/kg y el de las briquetas de 34 pts/kg en paquetes de unos 15 kg)

No hay que olvidar que la briqueta, en el mercado del ocio, está sustituyendo al consumo de leña. Con frecuencia, la leña se obtiene de talas abusivas de especies como encinas, con el consiguiente perjuicio ambiental. El CIEMAT ha estudiado el proceso de compactado o briquetado y son muchos los residuos agrarios que sirven de materia prima a estas briquetas.

4.1.1.3.- Pirólisis y Gasificación

Dentro de los residuos agrarios se ha usado, principalmente, con residuos de naturaleza leñosa, ya sean originarios de la poda de frutales o de trabajos de limpieza forestal. Se trata de un proceso termoquímico, por el cual, el producto tratado se descompone en una serie de componentes que están en función de la temperatura de tratamiento y de la presencia o ausencia de oxígeno. En este proceso, se obtienen tres productos: un gas, un líquido y un residuo sólido, coque o carbón vegetal.

La madera está compuesta básicamente de celulosa, hemicelulosa y lignina, ella sola no arde. Con oxígeno y en abundancia de calor, por un proceso de combustión, se transformará en CO₂, agua, cenizas y liberación de calor. Cuando el suministro de oxígeno es inferior al 20% del aire de combustión, el proceso se conoce con el nombre de pirólisis. Si este porcentaje aumenta entre el 25 y 50% del aire teórico de combustión, se denomina proceso de gasificación. En estas circunstancias, los gases

obtenidos están compuestos principalmente por CO, CO₂, H₂, CH₄, etc., conocidos como gases sintéticos.

La gasificación de los residuos leñosos es un proceso de gran interés, pues transforma un residuo sólido de baja densidad en un combustible gaseoso de fácil manejo. Este combustible puede emplearse en las calderas que usan normalmente combustibles líquidos o gaseosos. Por otra parte, después de estos procesos de gasificación, el residuo obtenido, "carbón vegetal", puede utilizarse en muchos procesos térmicos, tales como combustión en barbacoas o utilización como reductor en procesos químicos industriales, sin olvidar la siderurgia de aceros especiales.

Los procesos de pirolización abarcan un amplio campo, que va desde los sistemas antiguos de obtención de carbón vegetal en el monte o "picón" a sistemas más modernos de retortas, donde ocurre un aprovechamiento integral de los residuos leñosos. En un camino intermedio encontramos los sistemas de obtención de carbón vegetal en hornos metálicos de carga discontinua, sistema difundido por FAO en Africa, o los hornos fijos, donde los rendimientos energéticos y la producción de carbón vegetal son mayores.

El residuo forestal constituye, sin duda, una de las fuentes de energía denominadas hoy día "energía verde", de considerable interés. Por otra parte, la retirada de los residuos forestales puede suponer un medio eficaz para combatir los incendios forestales, aumentar el rendimiento maderero del monte y controlar mejor las plagas forestales. Numerosos países del "tercer mundo" basan una gran parte de su economía, en la explotación del bosque, como se ha puesto de manifiesto en la Cumbre de Río. Según FAO, en Africa se están perdiendo anualmente 1,3 millones de hectáreas de monte tropical. En el año 1986 se consumió el 90% de la madera producida en Africa, en forma de leña y carbón vegetal. La explotación racional del bosque con tecnologías adecuadas, permitirá a estos países desarrollarse dentro de un contexto de desarrollo duradero o sostenido. La adopción de tecnologías de carbonización con balances



energéticos más satisfactorios que irán en beneficio de la economía y de los bosques tropicales.

4.1.1.4.- Hidrólisis y fermentación

En España existen trabajos para la obtención del alcohol, a partir de cultivos agroenergéticos. Sin embargo, sólo se han desarrollado pequeños estudios a nivel de laboratorio y planta piloto. El cultivo más estudiado ha sido la patata, con grandes posibilidades de desarrollo en agricultura marginal o en zonas agrícolas de bajo rendimiento en productos clásicos. La patata puede ser base de una industria alcoholera de gran interés en países fríos. En la Diputación General de Aragón se han realizado trabajos experimentales de cultivo de la patata.

Son muy conocidos los trabajos que se vienen desarrollando en Brasil para la obtención de combustibles, a partir de la caña de azúcar y de la mandioca. La obtención de alcohol a partir de la caña de azúcar, que se inició como medida de emergencia ante los excedentes de azúcar, supone en la actualidad, uno de los principales sustitutivos de la gasolina. El producto obtenido es una mezcla de gasolina y alcohol, conocido con el nombre de gasohol. En el Estado de Sao Paulo, toda la gasolina contiene un 20% de alcohol anhidro. Se desarrollaron carburadores adecuados y vehículos movidos por alcohol puro, no anhidro. Se está estudiando la sustitución del gas-oil por aceites vegetales en un programa a más largo plazo. En 1989, Brasil destinó el 90% de la producción de caña de azúcar a la producción de alcohol para automoción. La demanda de alcohol para carburante de vehículo es de unos quince millones de metros cúbicos anuales.

4.1.2.- Aprovechamiento energético de residuos ganaderos de excretas e industriales

La producción y el aprovechamiento de biogas a partir de residuos, se viene practicando desde hace más de cien años, especialmente en países subdesarrollados. Sin embargo, la tecnología utilizada en estos países es muy primitiva y no se puede aplicar



a países desarrollados, debido a una serie de factores: eficacia energética muy baja, riesgos de carácter sanitario, ausencia de mecanismos de control, discontinuidad en la producción de biogas y riesgos de seguridad.

La metanización es un proceso de fermentación anaerobia de los diferentes tipos de residuos. Se distinguen tres etapas: En una primera etapa, los microorganismos anaerobios, fundamentalmente bacteria celulolíticas, actúan sobre las fibras orgánicas, en una reacción de hidrólisis bacteriana. En una segunda fase, o acetogénica, las bacterias actúan sobre los productos obtenidos en la fase anterior y se obtienen ácidos orgánicos de cadena corta fundamentalmente ácido-acética. En una tercera fase, o fase metanogénica, las bacterias actúan sobre los ácidos generados y dan como resultado la obtención de metano y anhídrido carbónico. Este biogás obtenido con un 60% de metano, tiene poder calorífico de unas 5.500 kcal/N m³.

La tecnología, en síntesis, ha seguido los siguientes tipos de digestores.

SISTEMAS DISCONTINUOS

En este tipo de digestión, la carga se realiza de forma discontinua, inoculándola con población microbiana de la digestión precedente para favorecer el arranque de la fermentación. Esta es muy lenta por lo que la eficacia del digestor es muy baja. Una vez terminada cada fermentación es preciso descargar el digestor y volverlo a cargar, lo cual presenta grandes inconvenientes para su manejo. Por otra parte, la producción de biogas es también discontinua y, por lo tanto, su utilización se hace muy poco eficaz. Estos digestores pueden servir para residuos orgánicos con alto contenido en sólidos. Son los que se utilizan preferentemente en países subdesarrollados para uso doméstico.

SISTEMA CONTINUO

La tecnología del digestor continuo es la que se ha desarrollado en los últimos años, puesto que permite alcanzar una mayor eficacia en producción de energía y reducción de los índices de contaminación de residuos orgánicos. Esta tecnología es la que se puede aplicar en países desarrollados. En síntesis, los digestores continuo pueden agruparse en:

Sistema de mezcla total

Es el tipo más convencional de digestores continuos, en el que la carga se realiza por un extremo, descargándose simultáneamente el residuo digerido por otro extremo del digestor. Su mecánica de funcionamiento es simple, pero no permite crear una concentración elevada de bacterias en el interior del digestor, por lo que la producción de biogas y el índice de descontaminación de los residuos son reducidos. A pesar de los problemas reseñados, pueden ser de utilidad en el medio rural debido a su simplicidad. La producción máxima de biogas de estos digestores es del orden de 1:1 (m^3 de biogas: m^3 de digestor).

Sistema de flujo pistón

Es un digestor de funcionamiento continuo en el que se fuerza el desplazamiento del vertido a tratar en flujo horizontal a lo largo del digestor.

Existen varios tipos de digestores de flujo horizontal variando entre ellos la forma en que se fuerza el flujo del residuo y la forma de recogida del gas producido que puede ser sacado fuera del digestor por un sistema adecuado o mantenerlo en el interior por medio de una tapadera a base de membrana flexible.

Estos digestores suelen operar con agitación mecánica y calefacción por resistencias eléctricas o inyección de vapor. Pueden llegar a obtener una producción de gas del 1,3 veces el volumen del digestor al día.

Sistema de Contacto y Reciclado

La tecnología boinas de contacto se basa en mantener una concentración de biomasa bacteriana en el digestor por el reciclo de los lodos bacterianos separados del efluente en decantador externo, pudiendo provocarse la separación sólido-líquido por distintos procedimientos: enfriamiento, desgasificación, flotación a adición de floculantes.

Estos digestores pueden actuar con cargas que varían entre 1-15 kg DQO/m³, con tiempos de retención hidráulica entre 7 y 30 días con una producción de 1-2 m³ biogas/m³ digestor, obteniéndose una concentración bacteriana de 10-25 g/l. Esta tecnología se presenta adecuada para efluentes con cargas orgánicas medias, admitiendo alta concentración de sólidos en suspensión, detectándose problemas en los sistemas de decantación.

Sistemas Anaerobios Avanzados

Este grupo incluye la 2ª generación de digestores cuyo objetivo común es aumentar la concentración microbiana, lo cual permite elevar su rendimiento, lograr una producción de biogas más constante y reducir el tamaño del digestor, pudiendo abordar así el tratamiento de cantidades elevadas de residuos con unos volúmenes de digestor menores que los de mezcla total y contacto.

Según la tecnología empleada, estos sistemas pueden a su vez agruparse en: digestores de flujo ascendente, Sistema UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Bed), en los que se produce un gradiente de concentración en biomasa bacteriana, que constituye una especie de filtro biológico cuyo mantenimiento es la principal dificultad.

Biomasa adherida

- Digestores de filtro anaerobio, que contienen en su interior, un material poroso que retiene gran parte de la población bacteriana, evitando su dilución y pérdida. Según el sistema utilizado, se dan diferentes filtros: filtro anaerobio de soporte fijo no orientado de carga ascendente o descendente (F.A) y filtro anaerobio con soporte orientado de flujo descendente (Down-flow).
- Digestores de lecho fluidizado, en los que la retención de biomasa bacteriana se logra promoviendo su crecimiento sobre partículas de materiales inertes que se mantienen en suspensión mediante corrientes hidráulicas. Entre éstos, podemos citar los sistemas AAFEB (Anaerobic Attached Film Expanded Bed) y el AFF (Anaerobic Fixed Film).



- Digestores de lecho recirculado, que resultan de la combinación de un sistema de lecho fluidizado y de un sistema de contacto con reciclo.

Sistema Filtro-PFSM

- Tecnología de filtro anaerobio con flujo descendente, en los que la biomasa bacteriana se encuentra fijada en forma de película fija en soporte móvil (PFSM), con objeto de evitar atascos y vías preferenciales.

Consigue elevados rendimientos en producción de biogás, 3-4 m³ por m³ de digestor, con TRH de 4-10 días, siendo adecuado para el tratamiento de efluentes con bajo nivel de sólidos.

4.1.3.- Aprovechamiento energético de residuos de animales

El Reglamento CE nº 1774/2002, exige para las Plantas de biogás:

1. Las plantas de biogás estarán sujetas a la autorización de la autoridad competente.
2. Para poder ser autorizadas, las plantas de biogás deberán:

a) Cumplir los siguientes requisitos

Ubicación, Locales

La planta de biogás, deberá estar a una distancia adecuada de la zona en la que se encuentran los animales y, en cualquier caso, deberá haber una separación física total entre la planta y los animales, su pienso y sus camas, con vallas si es necesario.

Equipamiento

La planta de biogás deberá estar equipada con:

- a) una unidad de pasteurización/higienización de paso obligatorio con:
- b) instalaciones adecuadas para la limpieza y desinfección de los vehículos y contenedores a la salida de la planta de biogás.

Sin embargo, no es obligatoria una unidad de pasteurización/higienización para las plantas de biogás que transformen sólo subproductos animales que hayan sido sometidos al método de transformación 1, que implica reducción de la granulometría no

superior a 50 mm, temperatura interna superior a 133°C a una presión absoluta de al menos 3 bares, durante un período mínimo de 20 minutos.

Tampoco es obligatoria una unidad de pasteurización/higienización para las plantas de biogás que transformen sólo materiales de la categoría 3 que hayan sido sometidos a un proceso de pasteurización/higienización en otro lugar.

3. Cada planta de biogás deberá disponer de su propio laboratorio o recurrir a un laboratorio externo.

b) manipular y transformar los subproductos animales de conformidad con:

Condiciones de higiene

4. *Sólo los subproductos animales siguientes podrán ser objeto de transformación en una planta de biogás:*

- a) material de la categoría 2
- b) estiércol y contenido del tubo digestivo, leche y calostro y
- c) material de la categoría 3.

5. Los subproductos animales deberán transformarse lo antes posible después de su llegada. Deberán almacenarse adecuadamente hasta su transformación.

6. Los contenedores, recipientes y vehículos utilizados para el transporte de material no tratado deberán limpiarse en una zona designada a tal efecto

7. Se tomarán sistemáticamente medidas preventivas contra pájaros, roedores, insectos y otros parásitos.

8. Deberán fijarse y documentarse los procedimientos de limpieza para todas las zonas de las instalaciones.

9. El control de la higiene deberá incluir inspecciones periódicas del entorno y el equipo. Deberán documentarse los programas de inspección y sus resultados.

10. Las instalaciones y el equipo deberán mantenerse en buen estado de conservación; el equipo de medición deberá calibrarse periódicamente.

11. Los residuos de fermentación deberán manipularse y almacenarse en la fábrica mediante procedimientos que excluyan su recontaminación.

Normas de transformación

12. El material de la categoría 3 utilizado como materia prima en una planta de biogás equipada con una unidad de pasteurización/higienización deberá cumplir las siguientes condiciones mínimas:

- a) dimensión granulométrica máxima antes de entrar en la unidad: 12 mm;
- b) temperatura mínima de todo el material en la unidad: 70 °C, y
- c) permanencia mínima en la unidad sin interrupción: 60 min.

13. Las muestras de los residuos de fermentación deberán cumplir las normas siguientes: Salmonella: ausencia en 25 g: $n = 5$, $c = 0$, $m = 0$, $M = 0$

Enterobacteriaceae: $n = 5$, $c = 2$, $m = 10$, $M = 300$ en 1 g

donde:

n = número de muestras que deben analizarse,

m = valor umbral del número de bacterias, el resultado se considera satisfactorio si el número de bacterias en todas las muestras no es superior a m ,

M = valor máximo del número de bacterias, el resultado se considera insatisfactorio si el número de bacterias en una o más muestras es igual o superior a M , y

c = número de muestras cuyo contenido bacteriano puede estar entre m y M ; la muestra se seguirá considerando aceptable si el contenido bacteriano de otras muestras es igual o inferior a m .

4.2.- Aprovechamiento ganadero de los residuos

En este apartado se van a tratar dos casos frecuentes en el sector agropecuario: el aprovechamiento ganadero de la hoja separada de la poda de olivo, que se viene practicando por los ganaderos andaluces en invierno después de las labores de poda, y el aprovechamiento ganadero de la paja de cereal que se viene realizando en algunas zonas cerealistas y ganaderas españolas, principalmente en las dos Castilla, León y Andalucía.

4.2.1. Aprovechamiento de la hoja de olivo

En las zonas olivareras españolas, la poda del olivo se efectúa cada 2 ó 3 años, cortándose ramas de gran tamaño. Actualmente, una vez hecha la poda, se separan dos fracciones por una parte, la gruesa denominada "leña", que son ramas de diámetro superior a 8-10 mm y, por otra parte, el "ramón", que son las ramas más finas. La leña, por su densidad, es posible su transporte y comercialización como combustible de reducido consumo, mientras que el ramón debe destruirse en el campo, normalmente, por medio del fuego aunque, a veces, se da a pastar al ganado.

El aprovechamiento integral de la poda de olivo exige el tratamiento de la fracción "leña" y el de la fracción "ramón" o fracción ligera. La de tamaño leña por medio de una instalación fija como la descrita en Puente Genil, de donde saldría una astilla con valor como combustible. El aprovechamiento de la fracción ligera de la poda, denominada ramón, comienza con las máquinas astilladoras móviles. Estas máquinas, arrastradas por un tractor agrícola, picarán en el campo los ramones y recogerán este picado en el remolque situado detrás de la máquina astilladora. Es decir, el sistema está compuesto por un tren tractor-máquina astilladora-remolque. Esta picadura heterogénea es conducida a un centro de selección donde una máquinas separa la hoja de la astilla. La astilla posee un valor energético y la hoja un valor ganadero.

Se ha investigando la importancia ganadera de esta hoja de olivo, con el fin de plantear su aprovechamiento ganadero. A juzgar por los datos analíticos, la hoja del olivo posee un elevado valor alimenticio para el ganado; sin embargo, su digestibilidad es muy baja, por lo que, a efectos prácticos, se comporta como un forraje de baja calidad. Se están estudiando técnicas de tratamiento con urea o amoníaco para aumentar la digestibilidad y se espera que en un futuro pueda representar un valor ganadero más interesante. En la actualidad, se estima que la hoja de olivo puede representar un interés coyuntural en una época del año en la que los pastos son escasos y sobre todo en épocas de sequía otoñal.

4.2.2. Aprovechamiento ganadero de la paja de cereales

4.2.2.1. Características de la paja de cereales

Desde el punto de vista de la alimentación de los rumiantes, la paja de cereales se caracteriza por su escaso valor nutritivo, a pesar de que, a juzgar por su composición química tiene un alto potencial energético. Además tiene una baja digestibilidad y un pequeño coeficiente de ingestión voluntaria.

a) Composición químicas Son características generales de la composición química de la paja, su alto contenido de fibra (40 - 45%), su bajo contenido en materias nitrogenadas, su bajo contenido en minerales (excepto en potasio), y su escaso contenido vitamínico. La composición química varía, en muy pequeña medida, en función de la época de cultivo y de las variedades.

b) Digestibilidad.- La baja digestibilidad de la paja se debe a que parte de sus componentes, lignina y sílice, son indigestibles, y otra parte, la celulosa y hemicelulosa, que en estado puro pueden ser aprovechados por los rumiantes al igual que por ejemplo el almidón, se hallan rodeados de lignina y sílice dándolas una gran rigidez y actuando sobre ellas como una especie de barrera física que impide o dificulta la reducción enzimática por parte de los microorganismos de la panza. Esta circunstancia hace que la celulosa y hemicelulosa, potencialmente aprovechable por los rumiantes en su totalidad, no lo sea más allá de un 40% de la cantidad que contenga la paja. Con respecto a la materia nitrogenada, su digestibilidad es también muy baja. Si a esto se une el bajo contenido de la paja en esta materia, no se debería estimar la materia nitrogenada digestible de la paja a la hora de calcular raciones alimenticias para el ganado, sobre todo en aquellas en que la paja entra a formar parte en una gran proporción de la materia seca total de la ración.

Así como en la composición química no existe diferencia para las distintas variedades, no ocurre lo mismo en cuanto a la digestibilidad. Los datos recogidos sugieren una digestibilidad, para la fibra en la paja de cereales de primavera del 54% frente a sólo el 38% en la de invierno. Otro tanto sucede para la digestibilidad de la materia

orgánica con valores comprendidos entre el 36,2% y 48% para la digestibilidad de la materia orgánica.

e) Ingestión.- La lignina y sílice además de disminuir la digestibilidad de la materia seca de la paja, disminuyen también la velocidad de tránsito de la misma por el aparato digestivo de los rumiantes, haciendo que la paja permanezca mucho tiempo en la panza. Como consecuencia de ello la cantidad que los animales pueden ingerir diariamente es baja, varía con las características de la propia paja, con la edad, peso, y sistema de alimentación a que los animales se hallen sometidos. Normalmente la ingestión de materia seca está relacionada con el coeficiente de digestibilidad de la misma y con el porcentaje de materias nitrogenadas que contenga. Cuando la ración está equilibrada en materias nitrogenadas, la ingestión depende más de la digestibilidad de la materia seca que del contenido en materias nitrogenadas. Cuando la ración es deficitaria en materias nitrogenadas, la cantidad de paja ingerida depende más del contenido en materias nitrogenadas que de la digestibilidad de la materia seca.

Los bóvidos en períodos de pocas necesidades alimenticias vienen a consumir 1,2 Kg. de materia seca por cada 100 Kg. de peso vivo. Cuando la paja constituye el único forraje de la ración, las novillas de un año, con 200-300 Kg. de peso vivo, pueden llegar a consumir diariamente de 3 a 5 Kg. de paja, las novillas de 2 años con 400 - 450 Kg. de peso vivo de 5 a 7 Kg. y el ganado adulto 8 Kg., siendo muy raro el llegar a sobrepasar dichas cifras. Cuando se aportan heno, ensilados y otros tipos de forrajes, el consumo de paja disminuye a medida que se incrementa la aportación de los otros productos. Cuando se aporta concentrado, contrariamente a lo que ocurre con la aportación de forrajes, se incrementa la cantidad de paja ingerida hasta que las cifras de concentrado alcanzan el 20-30% del total de la materia seca de la ración. A partir de esas cifras el consumo de paja va descendiendo y es peor aprovechada.

d) Valor nutritivo Como consecuencia del bajo contenido en materias nitrogenadas y la poca digestibilidad, tanto de las proteínas como de los hidratos de carbono, el va-

lor nutritivo de la paja es muy bajo. Se puede decir que la paja de cereales es pobre en:

- Energía.
- Proteínas. (Prácticamente no tiene proteína digestible).
- Minerales, excepto en potasio. Su pobreza es acentuada fundamentalmente en fósforo, calcio y magnesio, así como en oligoelementos.
- Vitaminas A, D y E, y especialmente en vitamina A.

El valor nutritivo de la paja está sometido a una gran variabilidad, se puede encontrar paja de trigo desde 0,11 U.A. a 0,28 U.A. El valor nutritivo de la paja depende de una serie de factores a través de los cuales podemos servirnos para la elección de la paja que vayamos a utilizar en la alimentación de los animales. Entre dichos factores figuran:

- La naturaleza del cereal. En términos generales se puede decir que la calidad de las pajas está en el siguiente orden: maíz, sorgo, avena, cebada, trigo y centeno.
- De las variedades. Las variedades de invierno son menos digestibles que las de primavera y por consiguiente su valor nutritivo es menor.
- De la altura a la que se efectúe el corte de las plantas. Cuanto más bajo se realice el corte más bajo será el valor nutritivo de la paja, ya que las partes terminales son más ricas y tienen una digestibilidad mayor.
- Del momento de la recolección. A medida que se vaya retrasando el mismo el valor de la paja va disminuyendo.
- De las condiciones de recolección. Cuanto más hojas se pierdan más disminuirá su valor alimenticio.
- De la naturaleza del suelo, abonado y clima.

Un factor muy importante que afecta al valor nutritivo de la paja, es la cantidad en que es ingerida. El valor nutritivo disminuye al elevarse el nivel de ingestión. En la alimentación de los rumiantes, la eficacia de la paja es reducida para la producción de carne, algo más elevada para la producción de leche, siendo en las raciones de mantenimiento donde es mejor aprovechada.

e) Normas de utilización.- Para la utilización de la paja en la alimentación del ganado, es imprescindible complementar la alimentación con otros productos que la hagan más aprovechable y que permitan cubrir al animal las necesidades mínimas en cada caso. En general, un régimen a base de paja como único alimento, sólo cubre el 50-70% de las necesidades energéticas y proteicas de mantenimiento de los animales. La utilización de la paja, en gran proporción, sólo debe hacerse durante períodos limitados, a fin de que no afecte la capacidad productiva de los animales, y procurando que dichos períodos de utilización correspondan a los de menores necesidades alimenticias. En este sentido las raciones con paja como único componente de la ración base, solamente pueden destinarse a animales en sostenimiento o con pequeñas necesidades, (novillas de recría y vacas secas o en los últimos períodos de lactación, cuando la producción láctea es muy baja) y durante un período de tiempo no muy prolongado.

4.2.2.2.. Tratamiento de la paja

a). *Fundamento del tratamiento.* Para que los productos fibrosos sean utilizados eficientemente por los rumiantes es preciso que las sustancias incrustantes (lignina y sílice) que están entre las celulosas se hagan solubles, con lo cual éstas se hacen sensibles al ataque bacteriano. Se conocen muchos tratamientos para mejorar la calidad de la paja: físicos, como el tratamiento al vapor, troceado y/o molienda, enzimáticos (en fase de experimentación) y finalmente químicos. Dentro de los tratamientos químicos los más eficaces son los que se basan en el empleo de ciertos álcalis, destacando los tratamientos con sosa cáustica y amoníaco.

El modo de acción de los álcalis, es fundamentalmente por:

- Hidrólisis de las uniones lignina-celulosal, por saponificación
- Destrucción parcial de las hemicelulosas y de las uniones hemicelulares-lignina.



- Destrucción parcial de la estructura cristalina de la celulosa.
- Hinchamiento de las fibras celulósicas.

Estas modificaciones de composición y estructura de las membranas celulares contribuyen a “liberar”, de la lignina una parte de las celulosas y hemicelulosas y favorecer la penetración de las celulosas bacterianas por hinchamiento de las fibras.

1. Tratamiento con sosa

El procedimiento más utilizado es por vía seca y en esencia consiste en rociar con 4-8 Kg. de sosa cada 100 Kg. de paja previamente picada. De acuerdo con la concentración de la sosa en la solución tendremos que dosificar la cantidad de líquido por 100 Kg. de paja. La efectividad del tratamiento con sosa, sobre el aumento de la digestibilidad de la paja, depende de los siguientes factores:

- Cantidad y grado de concentración de sosa.
- Presión bajo la cual se produce la reacción química.
- Duración del tratamiento.
- Fragmentación, temperatura y humedad de la paja.

El tratamiento por vía seca es el único recomendable. El método consta esencialmente de las siguientes fases:

1. Picado de la paja.
2. Distribución y mezcla de la solución de sosa.
3. Prensado con prensa de rodillos o de pistones a alta presión (150-250 bar.) y elevada temperatura (80-120° centígrados).
4. Refrigeración de las pastillas o gránulos, que son aptas para el almacenamiento con un contenido de humedad de hasta un 20%.

A veces se incluyen otros pasos como puede ser el melazado ó la adición de otros nutrientes (urea, minerales).

La sosa cáustica puede utilizarse en forma de polvo o en forma de líquido, diluido en agua. Utilizando la forma líquida el reparto es más uniforme.

Por lo general, la sosa se utiliza a una concentración del 30 al 50%.



Cuando se dispone de una cantidad importante de paja puede realizarse el tratamiento con sosa en la propia finca, utilizando las máquinas apropiadas para el tratamiento. En este caso, el proceso se reduce a los siguientes pasos:

- Picado de la paja.
- Distribución y mezcla de la solución de sosa.
- Almacenamiento.

La máquina es bastante simple, consta de un elevador de pacas, un triturador para picar la paja, un distribuidor para añadir la sosa, un mezclador y un elevador para lanzar la paja al almacén. Debido al efecto de la sosa, en el montón de paja tratada se eleva la temperatura hasta unos 60°C y el proceso dura unos 3 días y a partir de entonces se puede suministrar al ganado.

Características de la paja tratada con sosa

a) Composición química. El efecto del tratamiento con sosa, en términos generales, reduce el contenido en hemicelulosa, lignina, sílice y materia orgánica, aumenta el contenido en cenizas, y permanece constante el de celulosa.

b) Digestibilidad. El tratamiento de la paja con sosa incrementa la digestibilidad de la materia orgánica por término medio en un 20-25% lo que viene a suponer un aumento de alrededor de unas 12 unidades sobre la paja sin tratar.

c) Ingestión. El incremento en el consumo de la paja tratada con sosa sobre la paja natural se ve influenciado por varios factores:

- Concentración de sosa en el tratamiento. Para unos autores el nivel máximo de consumo se encuentra con las dosis de sosa bajas (33 gr./Kg.), mientras que otros encuentran el máximo consumo a dosis más altas (50 gr./Kg.). Todos están de acuerdo en que a dosis más elevadas el consumo desciende hasta llegar un momento en que se hace más bajo que en la paja sin tratar.
- De la forma física de presentación del producto. Se incrementa el consumo del 90% para la paja picada y un 50% para la paja molida.

- De la adición de nitrógeno o no a la paja. Se ha encontrado un consumo mayor de 31 gr./Kg. 0,75 para la paja a la que se había adicionado un 2,5% de urea que para la paja sin urea.
- Del tipo de suplemento proteico utilizado. Se ha encontrado un incremento en el consumo del 48% empleando soja y un 35% empleando urea como suplemento alimenticio.
- Del individuo.
- De la mayor o menor reducción del contenido en sílice.

d) *Valor nutritivo.* El tratamiento de la paja con sosa aumenta el valor energético de la misma. Dicho incremento depende de varios factores entre los que se pueden indicar:

- Valor energético que tenga la paja antes del tratamiento
- Proceso de tratamiento
- Digestibilidad de la paja antes y después del tratamiento.

e) *Normas de utilización.* Prácticamente son las mismas que las dadas para la paja natural, pues necesita la misma complementación en cuanto a proteínas, minerales y vitaminas y algo menor en lo que a energía se refiere. Hay que advertir que con las pajas tratadas con sosa, los animales beben mucho más que con las no tratadas, detalle a tener en cuenta a la hora de suministrarles agua. Actualmente se está comercializando la paja en forma de pellets.

2.Tratamiento con amoniaco

El amoníaco se puede aplicar en diferentes formas: produciéndolo a partir de la urea, aplicado en solución de sosa, y finalmente, el método mas práctico que consiste en introducir directamente el líquido/gas comercial dentro del montón de paja.

a). Ventajas del tratamiento con amoníaco en relación con el tratamiento con sosa



- Es un tratamiento sumamente fácil, que puede hacerse en cualquier explotación ganadera.
- Con el amoníaco aportamos un nitrógeno que el animal va a necesitar y utilizar con bastante eficiencia.
- El tratamiento con sosa aplicado en granja requiere un troceado previo de la paja y una mezcla muy cuidadosa, complicada y costosa; el amoníaco se aplica directamente sobre la paja larga empacada.
- El tratamiento con sosa exige una inversión previa en maquinaria y posterior manejo de la paja a granel en la explotación.
- La sosa puede ocasionar efectos de contaminación (acumulación de iones Na+).
- *El amoníaco y la sosa actúan químicamente (mejora de la digestibilidad) con parecida eficacia.*

b). **Sistemas de tratamiento:** Existen dos técnicas diferentes de tratamiento, que se diferencian en el método elegido para conseguir un medio herméticamente estanco, en el cual se introduzca la paja y el amoníaco.

- *Método noruego.*- Para conseguir el confinamiento del amoníaco, se utilizan láminas de plástico. El proceso se realiza a temperatura ambiente y su duración es de 4 a 8 semanas, según se realice el tratamiento en verano o invierno.
- *Técnica del túnel.*- En este caso el confinamiento se consigue con unos contenedores o túneles, se suele aportar calor al proceso y su duración es de 23 horas. Tiene el inconveniente, con respecto al método noruego, de necesitar una inversión inicial.

c) *Plazo de utilización de la paja después del tratamiento.* Los trabajos prácticos sugieren esperar un tiempo de reacción de 4 a 6 semanas. No obstante, para tratamientos de verano, probablemente se pueda recomendar en el futuro, tiempos mucho más cortos.

Es aconsejable que la paja antes de ser ofrecida a los animales se deje airear 24 horas, con objeto de que el amoníaco que no ha sido retenido pueda escapar y de esa



forma evitar molestias, tanto para las personas que manipulan el material como para los animales que van a consumirlo.

d). Características de la paja tratada con amoníaco.

- *Digestibilidad.* El efecto químico del amoníaco sobre la paja es doble, por una parte rompe los enlaces ligno-celulósicos. (Los enzimas de los microorganismos de la panza van a tener más facilidades para atacar a la celulosa), y por otra diluye o solubiliza parte de la hemicelulosa. Ambos factores hacen que aumente la digestibilidad de la materia orgánica de la paja y con ello su valor alimenticio. La digestibilidad media de la paja pasa a ser del 42% en la paja natural al 61,5% en la paja tratada con amoníaco. En cuanto a la digestibilidad de la materia seca, se han obtenido valores entre el 50% para paja de trigo tratada hasta 60% para paja de cebada tres semanas después del tratamiento frente a valores del 36 y 47 % respectivamente para las mismas pajas no tratadas. También se han encontrado incrementos de digestibilidad de la materia orgánica comprendidos entre 10 y 20 unidades, lo cual supone unas diferencias bastante considerables, que atribuyeron a las diferentes condiciones de realizar los tratamientos y su influencia en los efectos de amonización de la paja.

- *Ingestión* Como consecuencia de su mayor digestibilidad, su velocidad de tránsito por la plaza es mayor y por lo tanto aumenta el consumo porcentual de ingestión voluntaria debida al tratamiento con amoníaco.

- *Valor nutritivo.*- Como consecuencia de su mayor digestibilidad y de la adición de amoníaco, el valor alimenticio de la paja se ve incrementado considerablemente, tanto en energía como en proteína, pasando a ser un alimento comparable a un heno de mediana calidad en cuanto a estos dos factores se refiere, no siendo así en cuanto al contenido de minerales y vitaminas. Se puede estimar que la paja tratada con amoníaco puede cubrir, por si sola, las necesidades de mantenimiento de los bóvidos, sin necesidad de complementación nitrogenada, mientras que la paja sin tratar no cubre más allá del 60-65% de las necesidades.



4.3.- Aprovechamiento en suelos agrícolas

Muchos residuos de naturaleza orgánica poseen un alto contenido en agua y elementos fertilizantes, sustancia cada día más cara y escasa. Por el contrario, contienen también elementos nocivos para los cultivos. El uso adecuado de estos residuos puede suponer una mejora agraria y un medio para evitar la contaminación del medio ambiente. Se hacen unos comentarios sobre las técnicas a seguir en el caso de aprovechamiento de residuos, los sólidos o pastosos mediante su compostaje y, en el caso de los vertidos líquidos, mediante su aplicación directa al suelo agrícola.

Compostaje. La fracción orgánica de los R.S.U después de sufrir una fermentación aeróbica y termofílica, se transforma en un producto orgánico estable con características óptimas para su utilización en cultivos agrícolas. La técnica del compostaje cada vez más conocida debido a la experiencia que se está adquiriendo y a las nuevas maquinarias y procesos.

Aplicación directa de vertidos en suelos

Existe una gran cantidad de residuos líquidos que por su elevada concentración orgánica y química, pueden ser aplicados a los suelos agrícolas y contribuir a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Los residuos líquidos más interesantes son:

- Lodos de depuradoras
- Estiércol líquido o purines de granjas
- Residuos líquidos orgánicos de industrias agrarias como alpechines, vinazas, aguas de bodegas, etc.

El aprovechamiento agrario de estos vertidos exige una tecnología que analice todos los medios como suelos, vertidos, cultivos y laboreo adecuado. Se optimizará el aprovechamiento de la humedad, materia orgánica y grado de fertilidad (N P K) de los vertidos y se reducirán los posibles riesgos de contaminantes para el suelo, los cultivos, animales y el hombre.

BIBLIOGRAFÍA

CALVIN, M. "Energy and Materials via Photosynthesis". Amsterdam, 1977

CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGIA:

- * Conversión de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos en metanos por el proceso de digestión anaerobia. Di. 1978.
- * Inventario de residuos sólidos de carácter orgánico para su aprovechamiento energético.
- * Inventario de detalle de producción de residuos orgánicos. 1979.

CENTRO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INDUSTRIAL: Aprovechamiento energético de la biomasa. 1983.

COMISION DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS: Composting of agricultural and other wastes. 1984.

COMITE CONJUNTO HISPANO-NORTEAMERICANO PARA LA COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA: La degradación anaerobia con producción de metano aplicada a la materia orgánica. 1980.

FAO BOLETÍN EDAFOLOGICO Nº 27: Empleo de la materia orgánica como fertilizante.

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J. "Agroenergética: la agricultura como fuente de energía". 1979.

GARCÍA BUENDIA, A. Diversas comunicaciones.

IDAE Energías Renovables en España: Anuario de Proyectos 1997

JEWELL, W.J. Y AL. Anaerobic fermentation of agricultural residue. 1980.

JUNTA DE CASTILLA Y LEON, Consejería de Agricultura, Ganadería y Montes: La paja de cereal en la alimentación de los rumiantes 1985

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN: Anuario de Estadística Agraria

PEN-M.A.P.A. (Dirección General de la Producción Agraria):

- * Aprovechamiento energético y ganadero de los residuos de la poda del olivar. 1982.
- * Abastecimiento energético de instalaciones agrarias. 1984.
- * Aprovechamiento energético de residuos forestales para la obtención de carbón vegetal. 1984

U.S. DEPARTEMENT OF ENERGY. Solar Energy. an evaluation of the use of agricultural residues as an energy feedstock. 1977-78.