

# TRATAMIENTO INTEGRAL DE PURINES

Juan B. Lobera Lössel









# **TRATAMIENTO INTEGRAL DE PURINES**



SERIE TÉCNICA Y DE ESTUDIOS

15

# TRATAMIENTO INTEGRAL DE PURINES

**Juan B. Lobera Lössel**

*Veterinario*

Centro de Capacitación y  
Experiencias Agrarias de Lorca  
Consejería de Medio Ambiente,  
Agricultura y Agua



**Región de Murcia**  
Consejería de Medio Ambiente,  
Agricultura y Agua

© Comunidad Autónoma de la Región de Murcia  
Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua  
I.S.B.N.: 84-87154-53-0  
Depósito Legal: MU-1106-1996  
Fotocomposición: CompoRapid  
Impresión: Imprenta Regional

# SUMARIO

---

<b>1. FUNDAMENTOS Y OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
<b>2. TIPOS DE TRATAMIENTOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS .....</b>	<b>19</b>
3.1. Métodos físicos: Separadores de sólidos-líquidos .....	21
3.1.1. Decantación estática o natural .....	21
3.1.2. Separadores de Sólidos por Medios Mecánicos .....	23
3.1.2.1. Separadores de Canales .....	24
3.1.2.2. Separadores con Alimentación Continua .....	25
3.2. Métodos Físico-Químicos .....	31
3.2.1. Deseccación por Calor: Sistema Evaporadores HBS .....	31
3.2.2. Equipos de Filtración .....	31
3.2.2.1. Filtros de Placas .....	31
3.2.2.2. Microfiltración y Ultracentrifugación Mediante Membranas Cerámicas .....	32
3.2.3. Procedimientos Mixtos .....	33
3.2.3.1. Sistema ORCA .....	33
3.2.3.2. Sistema BIOPURIN .....	33
3.2.3.3. Sistema ECOPURIN .....	33
3.2.3.4. Sistema DENITRAL .....	33
3.2.3.5. Sistema BIOARMOR .....	36
3.2.3.6. Sistema AVDA .....	38
3.2.3.7. Sistema SIRVEN .....	38
3.3. Métodos Biológicos .....	39
3.3.1. Depuración Biológica .....	39
3.3.1.1. Lagunas o Balsas Biológicas .....	39
3.3.1.2. Almacenamiento Aeróbico (Aireación) .....	41
3.3.1.3. Sistema BIO-SPECIFIC .....	41

3.3.1.4. Sistema LICOM II .....	41
3.3.1.5. Lagunas Sistema E.A.Z. ....	41
3.3.1.6. Sistemas FOTOSINTETICOS .....	42
3.3.2. Digestores: Tratamiento Anaeróbico .....	43
3.3.3. Compostaje .....	52
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>59</b>

# 1. FUNDAMENTOS Y OBJETIVOS



---

Existe actualmente una gran preocupación, tanto a nivel de la Administración, como a nivel de los ganaderos, respecto a la problemática que están representando en nuestro país, el incesante acumulo de purines.

Ello es debido, principalmente, a la concienciación medioambiental de todos los sectores de la sociedad, y a unas normas obligatorias de cumplimiento, tanto a nivel nacional como comunitario.

El que no haya habido un control del número, tamaño y ubicación de las granjas, en años pasados, unido a la separación de actividades agrícolas y ganaderas, y la progresiva desvalorización del conjunto de residuos orgánicos, como fertilizantes agrícolas, son las principales causas de que nos encontremos hoy ante este delicado problema; que por otra parte, podría acabar con la actividad de más de un ganadero, si no se toman las medidas oportunas para solucionarlo.

Hoy en día, el ganadero responsable, sabe que los purines son un engorro y, por lo tanto, define a los purines como un residuo, y sabe que la eliminación de un residuo, tiene un coste.

Como cualquier producto, el estiércol es susceptible de diversas transformaciones físicas y químicas, que modifican sus características y composición, lo cual, modifica su poder contaminante. Desde el descubrimiento de que la maduración mejoraba las características fertilizantes del estiércol y disminuía el riesgo de contaminación de los cultivos por las malas hierbas, el hombre ha ido experimentando diversos sistemas de tratamiento, con el fin de mejorar las condiciones de manejo o de utilización de los purines. Posteriormente, al tomar conciencia de los peligros de la contaminación, se han buscado también sistemas que simultáneamente la redujeran y transformasen al estiércol en otros productos más útiles o por lo menos inocuos.

Con una buena utilización de los residuos ganaderos y con una buena redistribución de los mismos, hace que sólo podamos considerar como resi-

duos, los excedentes que no hemos podido reciclar en el ciclo normal de fertilización de nuestras tierras de cultivo. **Así, cuando un residuo ganadero lo utilizamos bien, pasa a ser un SUBPRODUCTO GANADERO**, por el que hoy en día, se paga dinero para poderlo utilizar.

Pero no podemos de ninguna manera, minimizar el problema de la contaminación ganadera, pues si bien, con la **intensificación ganadera** se ha mejorado la eficiencia productiva del ganado, y se han reducido las toneladas de residuos por unidad productiva, esta misma intensificación ganadera, conlleva la instalación de granjas de tipo industrial que no disponen de base territorial, y esto nos ha llevado, a que en los últimos 25-30 años, se haya pasado de unas explotaciones que utilizaban el estiércol producido en la explotación ganadera como fertilizante natural en los campos de cultivo que poseían, en un marco de equilibrio entre ganadería y agricultura; a unas granjas donde surge el problema cuando se da la separación de los sectores ganadero y agrícola.

El sistema intensivo de producción ganadera nos ha llevado a la automatización de las granjas y a la mayor fluidez y dilución de los purines, por la utilización del agua a presión en la limpieza de las instalaciones. Así que nos encontramos en la actualidad, con que muchos ganaderos (que a veces ya no son agricultores) tienen una gran cantidad de residuos ganaderos, para los que no siempre tienen cerca (a veces, ni lejos tampoco) terrenos de cultivo suficientes y/o dispuestos a recibirlos.

Y son estos ganaderos, con el problema de ¿qué hacer con los purines?, a los que se les presenta la necesidad de encontrar una solución a este problema, mediante el tratamiento integral de los purines.

Existen muchos y variados métodos, que veremos individualmente, más adelante; pero todos ellos persiguen una serie de objetivos generales:

- Respetar la Naturaleza: evitando la contaminación ambiental, eliminando la mayor parte del nitrógeno y del fósforo (20-90%) por vía no contaminante.
- Eliminación de Olores Desagradables.
- Utilización de Energías Limpias, que nos permiten recuperar parte de la energía en forma de abonos orgánicos reutilizables en agricultura.

Aunque el motivo que más mueve a la sociedad en general, en la práctica, sea la eliminación de los malos olores de los residuos ganaderos.

Los olores desagradables de los residuos ganaderos y su contaminación ambiental, ya fue tachada de molestia en el año 1611, cuando un tribunal

inglés garantizó la reparación de perjuicios al demandante, por haber construido el demandado una cochiguera tan próxima a la casa del demandante que "*corrompía su ambiente*".

Los desechos animales pueden controlarse por medios químicos, biológicos o físicos. Sin embargo, el control de los olores no se ha logrado aún, en las explotaciones ganaderas. Ningún análisis químico puede explicar totalmente los olores percibidos. En la práctica su evaluación es una respuesta personal basada en la sensibilidad de la persona, en su experiencia previa y en su estado anímico en ese momento.

El olor es una mezcla de componentes, algunos de los cuales puede que ni se detecten a no ser que se perciban mezclados. En el purín se han identificado más de 40 compuestos olorosos que abarcan:

- 7 tipos de alcoholes.
- 5 tipos de ácidos.
- 4 tipos de aminas.
- 4 tipos de gases fijados.
- 11 tipos de aldehidos.
- 7 tipos de ésteres.
- 2 tipos de sulfuros disulfuros.
- 2 tipos de mercaptanos.
- 2 tipos de compuestos heterocíclicos de nitrógeno.

Aun en los casos en que un componente determinado esté presente a una concentración inferior al "valor umbral" (concentración a la que justamente pueden ser percibidos), puede contribuir al olor global mediante un efecto aditivo o sinérgico. Muchos gases poseen un valor umbral bajo y esta concentración varía de individuo a individuo; valor umbral de algunos gases:

- Trimetilamina .....	0,0002 mg/l
- Acido sulfhídrico .....	0,0005-0,005 mg/l
- Sulfuro de dimetilo .....	0,001 mg/l
- Acido butírico .....	0,001 mg/l
- Metilmercaptano .....	0,002 mg/l
- Dimetilamina .....	0,05 mg/l

Naturalmente, estos valores no han de confundirse con los "valores umbrales límites", que son las concentraciones bajo las cuales un hombre puede trabajar, sin consecuencias para su salud. No hay muchos datos acerca de estos valores umbrales límites, aunque podemos citar los valores siguientes:

– Ac. Sulfhídrico .....	10 mg/l
– Amoníaco .....	25 mg/l
– Metilmercaptano .....	20 mg/l
– Dimetilamina.....	18 mg/l

Han de entenderse dos aspectos de la percepción de olores: intensidad y calidad. La **intensidad** está relacionada con la fuerza del olor percibido, mediante una función logarítmica, de tal modo que para que la nariz perciba una diferencia en la fuerza, la concentración ha de disminuir o aumentar considerablemente. La **calidad** es el reconocimiento de lo que se huele. Los adjetivos aplicados al estiércol son: "podrido", "dulzón", "acre", "rancio"; y para la gallinaza, se usan expresiones de: "huevos podridos", "ajo", etc.

Tanto la intensidad como la calidad puede que no sean la suma de los componentes individuales, ya que puede haber efectos sustrativos (contraagentes) por los que un olor enmascara a otro. También puede haber efectos sinérgicos, reforzándose los olores mutuamente. La dilución de un olor puede modificar la calidad, y la fatiga también puede alterar la percepción nasal. No obstante, la nariz es un detector extremadamente sensible y en la actualidad no existe ningún sustituto, ya que generalmente no resulta posible medir concentraciones absolutas de los componentes de un flujo de gas oloroso con métodos instrumentales. Esto puede ser debido a que la concentración es demasiado baja o porque la mezcla es excesivamente compleja, como para poder separarse e identificarse los componentes individuales. Incluso en el caso de que se dispusiera de métodos instrumentales de la mayor sensibilidad, estos solamente podrían medir las diversas concentraciones pero no la fuerza ni la calidad del olor percibido.

Los olores tienden a ser asociados con la porción líquida del estiércol, sin embargo, cuando mayor es el contenido sólido del estiércol, tanto mayor será el olor. El estiércol fresco, huele, pero el olor empeora después de pasar un día. Se observó que al envejecer la gallinaza los componentes volátiles principales eran: *ácido butírico*, *etanol* y *acetina*. Estos compuestos no existían en la gallinaza fresca. BURNETT y DONDERO, recogieron gases y los inyectaron en un cromatógrafo, e identificaron seis picos correspondientes a los ácidos: *acético*, *propiónico*, *isobutírico*, *isovaleriánico* y *n-valeriánico*. Tanto el ácido butírico como el valérico poseen un olor muy desagradable. Asimismo identificaron *indol* y *escatol* que revisten importancia por su fuerte olor acre.

Los olores del estiércol bovino contienen una variedad de: *aminas*, *aldehídos* y *ésteres olorosos*, así como *indol* y *escatol*. Los compuestos olorosos del estiércol del cerdo abarcan: *aminas*, *amidas*, *alcoholes*, *sulfuros*, *disulfuros*, *carbonilos* y *mercaptanos*, entre otros, como comentamos anteriormente.

## **2. TIPOS DE TRATAMIENTOS**



---

## **MÉTODOS FÍSICOS: SEPARADORES DE SÓLIDOS-LÍQUIDOS:**

- **POR GRAVEDAD:** Decantación Natural.
- **MECANICA:** Separadores de Canales
  - Separadores con alimentación continua:
    - Tamices
    - Rodillos prensantes
    - Tambor rotativo
    - Separadores de Tornillo
    - Centrífugas

## **MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS:**

- **POR EVAPORACION:** Sistema Evaporadores-HBS
- **POR FILTRACION:** Filtros de Placas
  - Microfiltración y Ultracentrifugación con Membranas
- **PROCEDIMIENTOS MIXTOS:** Sistema Orca
  - Sistema Biopurín
  - Sistema Ecopurín
  - Sistema Denitral
  - Sistema Bio-armor
  - Sistema Avda
  - Sistema Sirven

**MÉTODOS BIOLÓGICOS:**

- **DEPURACION BIOLÓGICA:**
  - Aeróbica y/o Anaeróbica: Lagunas o Balsas biológicas
    - Aireación
    - Sistema Bio-specific
    - Sistema Licom II
    - Lagunas con Sistema E.A.Z.
    - Sistemas Fotosintéticos
- **DIGESTORES:** Tratamiento Anaerobio
- **COMPOSTAJE**

### **3. DESCRIPCIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS**



Como hemos visto en el cuadro del anterior apartado, hay muchos y variados sistemas para el tratamiento de los purines y que muchos de ellos pueden establecerse conjuntamente, con lo que se mejora el rendimiento de estos tratamientos por separado.

Como ya se ha dicho anteriormente, la concentración de ganado en las explotaciones, implantándose unidades de explotación intensiva y de alta densidad, la utilización de emparrillados o de slats, en los suelos y la consiguiente eliminación de una parte importante de yacija, en las explotaciones actuales de ganado porcino, ha provocado la presentación de un subproducto con una composición muy diferente (modificación del pH, etc...), con un % de líquido muy superior, con más residuos de oligoelementos, que el estiércol tradicional. Y todo esto ayudado por las modificaciones de las instalaciones tradicionales, como por ejemplo: proliferación de puntos de agua, limpieza de las instalaciones con agua a presión, etc... Y si todo lo anterior no bastase, con unas modificaciones en los sistemas de alimentación, y con una variación en la composición de la misma (más rica en proteínas).

Resumiendo: la nueva ganadería, produce como residuo un producto cada vez más agresivo con el medio ambiente y con un mayor volumen. Paralelamente, se produce una disminución de la superficie de cultivo, un aumento del uso de abonos químicos (sobre todo los solubles) y la implantación de nuevas técnicas de mecanización de los cultivos existentes.

A continuación vamos a comentar cada uno de los diferentes sistemas de tratamiento que se pueden aplicar a los purines del cerdo.

### **3.1. MÉTODOS FÍSICOS: SEPARADORES DE SÓLIDOS-LÍQUIDOS**

#### **3.1.1. Decantación estática o natural**

El proceso de decantación o separación de forma "natural" del purín viene provocado por la agrupación de las partículas en suspensión. Esta

decantación tiene un rendimiento de entre el 45-60% (es decir que esta decantación actúa en un 45-60% de las partículas en suspensión susceptibles de sedimentarse, o sea con un diámetro superior a las 400  $\mu\text{m}$ ; teniendo en cuenta que las partículas de menos de 40  $\mu\text{m}$  no sedimentan de manera natural).

En este proceso natural, se observa la formación de varios estratos, que indican que se está produciendo la decantación. Estos estratos, contados desde la superficie al fondo, son:

- COSTRA ..... 10 partes del volumen total
- ZONA ESPONJOSA ..... 70 partes del volumen total
- LIQUIDO ..... 115 partes del volumen total
- SEDIMENTO O POSO ..... 5 partes del volumen total  
(sobre 200 partes del volumen total)

Pero, para utilizar convenientemente este proceso, debemos tener en cuenta una serie de condiciones:

- La entrada de nuevo producto, se debe hacer por debajo de la capa superior o costra, porque así eliminaremos de paso los malos olores y mantendremos más fácilmente el proceso.
- Contar con una capacidad de la fosa para mantener el purín, durante al menos **30 días** (aunque esto puede variar según sean las características físico-químicas del purín).
- La salida del líquido resultante se tiene que procurar que se haga de forma continuada, evitando la **extracción con cubas**, que van a romper el equilibrio de la decantación natural. Asimismo, conviene realizar la extracción del sedimento de forma periódica.
- Tener en cuenta que **el producto resultante no puede aplicarse directamente sobre los cultivos**, ni siquiera el líquido, que deberá diluirse en agua. En cuanto al valor agronómico de los productos resultantes diremos:
  - LIQUIDO: es rico en elementos solubles, con abundancia de nitrógeno en forma amoniacal y de potasio.
  - SOLIDO: además de los anteriores elementos, contiene una proporción rica en fósforo y sales de calcio.
- Por último, hay que recalcar, que el uso de productos bactericidas en las explotaciones porcinas y su incorporación y recogida en los purines,

provoca la paralización de los procesos naturales de degradación, ocasionando reacciones extrañas, no deseadas, rompiendo el equilibrio de la fosa y no decantando convenientemente.

### 3.1.2. Separadores de Sólidos por Medios Mecánicos

Hay en el mercado una gama muy grande de aparatos, pero en todos ellos hay que prever una serie de acciones, antes del proceso propiamente dicho:

- Es muy importante que de la explotación llegue todo el producto (purín) lo más homogéneo posible.
- Que no sea muy amplio el tiempo transcurrido desde su producción a la fase de tratamiento. Se recomienda utilizar el sistema de "evacuación continuada", ya que al mismo tiempo que eliminamos malos olores, facilitamos la separación de los elementos.
- Es de interés realizar un tamizado grosero, para retener y separar los elementos voluminosos que aparecen en las fosas, y que pueden dañar a algunos componentes mecánicos de los aparatos. Esto se puede conseguir con una reja intercalada o colocada en el foso de recepción.
- Es necesario contar con un depósito de recepción y homogeneización del producto, previo al separador. Normalmente, estos depósitos tienen que contar con un elemento mecánico para remover, de forma continuada, todo el producto, y así impedir que se forme una estratificación. Este depósito de recepción no debe de ser muy grande, ya que no tiene que almacenar producto, sólo homogeneizar.

Toda vez superado lo anteriormente descrito, pasará el purín por un elemento mecánico, que separe los sólidos de los líquidos, y el líquido resultante contendrá partículas en suspensión, dependiendo del paso útil de la malla o del tamiz. Los sólidos se pueden aplicar al terreno directamente, de forma natural.

En el caso concreto del tratamiento de purines, y con independencia de su eficacia, los diferentes equipos de separación de sólidos existentes en el mercado, se pueden agrupar en dos grandes categorías:

- Los que no precisan de una regulación en su sistema de alimentación (como es el caso de los que se pueden instalar en canales de desagües).
- Y los que sí necesitan una alimentación uniforme y continua mediante bombeo.

Este factor, que a primera vista parece de escasa trascendencia, en el caso de las granjas de porcino, tiene una importancia capital, ya que actualmente, el manejo de los purines se efectúa vaciando las fosas de los establos de una forma intermitente, lo que obliga a su almacenamiento en depósitos reguladores, para posteriormente tratarlos de una manera continua, mediante bombeo al separador. Ello provoca graves problemas debido al elevado índice de decantación de los sólidos del purín, que dificulta la alimentación de los separadores con un efluente homogéneo y con una concentración de sólidos constante.

En consecuencia, para eliminar del purín los sólidos de mayor tamaño (que en general suelen ser poco uniformes, como es el caso de excrementos, restos de alimentos, etc.) la selección de separadores deberá orientarse hacia equipos que tengan un buen sistema de autolimpieza, y que sea posible su instalación en grandes corrales de desagüe o que no precisen una regulación en su sistema de alimentación.

### *3.1.2.1. Separadores de Canales*

#### A) REJA AUTOMÁTICA DE TIPO LONGITUDINAL

Por su diseño, es ideal para efectuar el desbaste de sólidos en tomas de aguas de canales, acequias, etc. donde el nivel de agua es considerable, estando preparada para aguantar los posibles golpes que pueda sufrir por objetos como piedras, troncos u otros elementos que puedan transportar las aguas.

Este tipo de reja, está concebido para que el mantenimiento sea mínimo. Unas pocas horas al año serán suficientes, para garantizar su servicio y buen funcionamiento. La reja está formada por barrotes de sección rectangular, con paso útil variable según necesidades. En el caso de tratamiento de purines de cerdo, se ha podido comprobar el correcto funcionamiento de una reja con paso útil de 1 mm. (Planta Piloto de La Pomarede, TOULOUSE, FRANCIA).

El sistema de peine limpiador y cadenas, permite el arrastre y limpieza de una carga de obturación muy elevada. En aquellos casos, en que las aguas van muy cargadas de sólidos, es recomendable la instalación de un segundo o un tercer peine limpiador.

## B) TAMIZ DE PLANO INCLINADO MOVIL

Al igual que la reja automática, el diseño de este tamiz de plano inclinado móvil, está pensado para su instalación en canales de agua, siendo ideal para el desbaste de efluentes con diferentes concentraciones y tamaños de sólidos.

El tamiz está formado por un bastidor con dos rodillos en cada extremo, por los que gira una malla con paso útil variable, que puede llegar hasta 0,3 mm.

El sistema de limpieza es mediante agua o aire a presión, siendo recomendable, en el caso de la aplicación al tratamiento de purines de cerdo el sistema de limpieza por aire a presión.

### 3.1.2.2. Separadores con Alimentación Continua

Antes de pasar a describir cada uno de este tipo de separadores, conviene tener en presente algunos aspectos sobre el rendimiento y eficacia de esta maquinarias. Así y desde un punto de vista funcional, y para el caso concreto del tratamiento de purines de explotaciones intensivas de ganado porcino, los separadores o tamices, deben tener una amplia versatilidad para poder tratar unos efluentes con una concentración y tamaño de sólidos muy heterogéneos.

Asimismo, debe tenderse hacia el empleo de separadores con alto rendimiento y que mantengan un alto grado de eficacia cuando trabajan con mallas de paso útil de al menos 0,5 mm. Ello tiene una importancia capital en el manejo de los purines y reducirá considerablemente los costes de los tratamientos posteriores.

Otro factor de gran importancia en la selección de los separadores es su capacidad de adaptación a los sistemas actuales de eliminación de los purines de los establos en las granjas de porcino, que se efectúa de una forma intermitente. Por ello debe tenderse a la utilización de equipos que puedan instalarse con facilidad en los canales de desagüe de las granjas o que tengan un alto grado de independencia a los cambios bruscos en la concentración y el tamaño de los sólidos del purín.

De la experiencia acumulada durante 3 años de trabajo con tamices vibrantes de movimiento excéntrico, dentro del convenio MAPA-ADARO, y para una malla de 0,5 mm., se pudo comprobar que el rendimiento de eli-

minación de la D.Q.O.<sup>1</sup>, se sitúa entre el 20% y el 25%, y para sólidos totales entre el 35% y el 40%. Los fabricantes de algunos de estos tamices o separadores aportan resultados sobre la eficacia en la eliminación de sólidos y D.Q.O., muy superiores a los reseñados anteriormente, y además proponen sistemas de manejo de purines que permiten una alimentación uniforme y estable de los referidos equipos de separación de sólidos.

Teniendo en cuenta que los separadores y tamices suponen un punto crítico en cualquier línea de tratamiento de purines de cerdo, y que además condicionan e inciden directamente sobre el resto del proceso, resulta prioritario un estudio en profundidad para evaluar los diferentes tipos de tamices o separadores con objeto de determinar su eficacia depuradora, costes de funcionamiento y capacidad para adaptarse a los sistemas de manejo de purines que actualmente se realizan en algunas explotaciones intensivas de ganado porcino.

## I. TAMIZ FIJO TIPO "HIDRANET"

El diseño de este tamiz es muy similar al tamiz de plano inclinado que se reseñó anteriormente con la única diferencia de que la malla filtrante es estática, y es alimentada mediante bombeo del efluente en la parte superior del plano inclinado, y el purín cae por la fuerza de la gravedad. Tiene la ventaja de que el coste de funcionamiento es muy bajo (casi nulo, según que sistema de alimentación se monte), pero la separación del sólido resultante, no es muy buena, ya que se presenta cargado de líquido (muy pastoso). Tiene un rendimiento de separación del 19% de la materia seca total.

La malla filtrante está compuesta por un tamiz metálico, con un enrejado especial, instalado sobre un bastidor. La inclinación del tamiz está entre 45° y 65°, y dependerá de esta inclinación, el rendimiento del tamiz (menor rendimiento a mayor angulación). En general y para eliminar los riesgos de contaminación, el paso útil de estos equipos es siempre superior a 1,0 mm.

## II. TAMIZ VIBRADOR HORIZONTAL TIPO "PALSIS" O "SWECO"

Fundamentalmente son tamices casi horizontales, vibrantes; empleando para ello o bien un elemento mecánico vibrador (muelles, en número entre 200-250), o bien un movimiento excéntrico, mediante un dispositivo de

<sup>1</sup> D.Q.O.: Demanda Química de Oxígeno

anillos autolimpiantes, y sistema de regulación para el tratamiento de efluentes con diferentes concentraciones de sólidos en suspensión.

En estudios realizados por el INIA, se ha podido comprobar que el máximo rendimiento, en el caso de tratar purines de cerdo, se obtienen rendimientos de hasta el 40% de la materia seca total, para una inclinación de 25°.

El funcionamiento de estos tamices resulta un tanto problemático en lo que respecta al manejo y a la alimentación constante y homogénea de purín. Asimismo, los tamices fabricados para el tratamiento de altos volúmenes de purín provocan frecuentes averías, como consecuencia de las vibraciones y trepidaciones erráticas. Los modelos de bajo volumen no provocan ningún tipo de problemas en su funcionamiento, resultando muy eficaces, cuando trabajan con mallas de 0,5 mm. de paso útil.

### III. TAMIZ ROTATIVO TIPO "FARMAN"

Funciona a base de un tamiz de banda filtrante de tejido plastificado, con rodillos y paletas giratorias, con cuya rotación se produce un efecto de prensado. Tiene un buen rendimiento en el tratamiento de purines del cerdo y regular en el caso del vacuno. Tiene un rendimiento de hasta el 32% de la materia seca total. El mayor problema en el uso de este tipo de tamiz es, como ya se reseñó anteriormente, diseñar un buen sistema de alimentación constante y homogéneo del purín, lo que en muchos casos, resulta problemático o bien con un alto coste energético y económico.

### IV. TAMIZ TIPO "LIMPIA PROCESS"

Es un tamiz rotativo de alta velocidad, tipo centrífuga, con un sistema de limpieza mediante rasquetas, que puede ser fabricado con mallas de paso útil de hasta 0,1 mm. Se ha podido comprobar que este tipo de tamiz, presenta graves problemas de funcionamiento, cuando no puede ser alimentado con un efluente homogéneo o cuando éste presenta variaciones en la concentración de sólidos.

### V. RODILLOS PRENSANTES

Este tipo de aparato es polivalente. Está accionado por un motor de 1 CV, y es de fácil mantenimiento. Normalmente trabaja con dos tamices de: 800 y 400  $\mu$  con un rendimiento del 30% de la M.S. total.

## VI. TAMBOR ROTATIVO

Estas máquinas sirven para el tratamiento previo de residuos semilíquidos procedentes de explotaciones ganaderas intensivas, tanto vacunas como porcinas, fábricas conserveras, mataderos, fábricas de cerveza y otras industrias similares. Este tipo de separador, convierte al purín que es viscoso y malo-liente y además difícil de manejar, en dos productos: uno líquido, fácil de bombear, útil como fertilizante, relativamente inocuo y poco propenso a la fermentación; y el otro, una materia orgánica semiseca, prácticamente inodora, fácil de manejar, y que una vez sometida a un proceso de COMPOSTAJE, puede tener un valor económico apreciable como suplemento orgánico en tierras arenosas.

Este tipo de máquina realiza la separación eficaz, de alrededor de un 98% de las partículas sólidas, incluso de los purines de características pegajosas y difíciles como los procedentes de granjas intensivas de ganado vacuno. La eficacia del proceso de separación depende no sólo de la máquina sino también del proceso de homogeneización previa del purín. Por esto en algunos casos, hará falta un aporte adicional de líquido para alcanzar la viscosidad óptima y el buen funcionamiento de la máquina, estará condicionado por el diseño del conjunto: AGITADOR-BOMBA DE ELEVACION-SEPARADOR. Este diseño no puede improvisarse y requiere la intervención de técnicos especializados. En cuanto a los rendimientos medios, podemos hablar en los términos siguientes:

	Sólidos Separados	Rdtos. m. <sup>3</sup> /Hora
Purín de Cerdo	28%	20-40
Estiércol Vacuno	20%	10-30

En cuanto a las características mecánicas: el funcionamiento es del todo automático, siendo controlado por sondas de nivel, por lo que no precisa de intervención humana para su arranque y parada.

Es limpio, ya que todo su mecanismo está encerrado por una envoltura de acero inoxidable, y la propia maquinaria incorpora un ciclo de autolimpieza después de cada período de funcionamiento.

Es silencioso, gracias a la robusta construcción de todos sus componentes, eliminándose por completo el sonido de la transmisión y el traqueteo y vibraciones tan típicas de las máquinas.

Es económico, ya que el consumo se limita al motor eléctrico de 1,5 kw, con un mantenimiento sencillo.

## VII. SEPARADORES DE PRENSA CONTINUA CON TORNILLO SINFIN

Existen varios modelos muy similares, que se basan todos ellos en un sistema de separación de prensa a rosca. Estos separadores sólo tienen una parte móvil que es el tornillo, que gira lentamente a menos de 35 revoluciones por minuto, a través de una criba cilíndrica, que se fabrica con aperturas de ranuras de entre 0,20 y 1,25 mm.

Aunque el sistema de alimentación de estos equipos es de tipo continuo, mediante una bomba sumergible, soportan los cambios de concentración de sólidos del efluente, con mayor facilidad que los anteriores separadores.

Los purines entran a presión al cuerpo cilíndrico, y después de una separación en un filtro especial, el concentrado de sólidos pasa por un tornillo sinfín a un filtro cilíndrico. Este consiste en una serie de varillas de acero, agrupadas con una distancia entre ellas de 0,2 a 1,25 mm., según para que finalidad se emplee. A través de los orificios se expulsan los líquidos.

La fase que permanece en el interior del cilindro apretada contra el regulador de expulsión se puede modificar en su contenido en sólidos mediante un brazo palanca, y variar así el contenido de materia seca. Los purines líquidos se escurren a un depósito, que se deberá adosar.

En cuanto a los rendimientos medios:

	Sólidos Separados	Rdtos. m. <sup>3</sup> /Hora
Purín de Cerdo	60%	4-6
Estiércol Vacuno	50%	3-5

Por lo que respecta a las características técnicas:

Caudal: 4-5 m.<sup>3</sup>/hora de purines, lo que equivale aproximadamente a 3.000 kg./día de materia sólida.

Peso: 450 kg.

Altura: 975 mm.

Largo: 2.070 mm.

Ancho: 525 mm.

En cuanto al equipo de separación propiamente dicho, consta de un tamiz cilíndrico con tornillo sinfín incorporado para la separación de fases sólida y líquida, con bastidor de fundición gris, provisto de patas de acero. Taladro del tamiz = 0,5 mm. El tamiz y el tornillo sinfín están contruidos en acero inoxidable con revestimiento antidesgaste.

## VIII. CENTRIFUGAS

El funcionamiento de estos equipos está siendo evaluado actualmente en múltiples instalaciones de tratamiento de purines, existiendo una amplia gama de marcas como: Westfalia, Perialisi, Guinard, Alfa Laval, Humbolt, con las que se están obteniendo unos rendimientos en la reducción de la DQO, llegándose a alcanzar valores entre el 60 y el 70% de reducción de la DQO, cuando se utilizan *polielectrolitos*<sup>2</sup> para favorecer la eficacia de la centrifugación.

Aunque no se ha realizado un contraste detallado del grado de eficacia depuradora de las distintas marcas, la información recogida parece demostrar, que no existen grandes diferencias entre los modelos existentes en el mercado. No obstante, y teniendo en cuenta el carácter abrasivo del purín de cerdo, la evaluación de estos equipos, debe orientarse hacia los estudios de los costes de mantenimiento y funcionamiento (incluido el coste de polielectrolitos) para posteriormente correlacionarlo con los costes de inversión de las distintas marcas, entre las que sí existen grandes diferencias económicas.

En estas instalaciones el elemento principal lo constituye la centrífuga, existiendo en el mercado distintas marcas y modelos, como se reseñó anteriormente. En la línea de tratamiento de este sistema de depuración se instala, inmediatamente antes de la centrífuga, un equipo de separación de elementos gruesos, para el desbaste del purín, con lo que se eliminan los problemas de alimentación de las centrifugas y se incrementan los rendimientos. El efluente resultante de la centrifugación está siendo eliminado como agua de riego o, en otros casos, se le somete a un tratamiento posterior de depuración de tipo aeróbico y/o de decantación-filtración.

---

<sup>2</sup> Polielectrolitos: cationes orgánicos que se utilizan conjuntamente con los floculantes incidiendo en la reducción de la DBO y DQO en los procesos de separación sólidos-líquidos.

## 3.2. MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS

Para poder llevar a cabo estos métodos, se ha tenido que llevar a cabo con antelación, una separación de "sólidos-líquidos", con el fin de obtener un producto sólido fácilmente manejable, que proviene de una masa heterogénea, y un líquido *algo* desodorizado, y que puede ser reutilizable para riego, como fertilizante, o en su caso, ser depurado mediante procesos biológicos.

### 3.2.1. Desecación por Calor: Sistema Evaporadores HBS

La tecnología de evaporación de purín se basa en la aplicación del sistema de "núcleo interfase" como soporte físico de intercambio entre AGUA/AIRE (Sistema HBS), para la eliminación de los vertidos de las granjas intensivas de ganado porcino.

Este núcleo consiste en una matriz alveolar, realizada en rejilla plástica, que soporta físicamente el agua y establece la superficie de contacto con el aire. Para el correcto funcionamiento de estos núcleos evaporadores es imprescindible el pre-tratamiento del purín mediante un sistema muy eficiente de separación de sólidos, para que el efluente a evaporar no provoque en los panales una rápida proliferación de microorganismos aeróbicos, los cuales colmatan la matriz de evaporación y obligan a realizar frecuentes y costosas labores de limpieza para su regeneración. Así pues, en función de la eficacia del pre-tratamiento del purín, se dimensiona la superficie de los paneles y la frecuencia de limpieza de los mismos.

### 3.2.2. Equipos de Filtración

#### 3.2.2.1. Filtros de Placas

Se basa en la adaptación de un filtro de placas de tipo industrial, aplicado a la ganadería, con un rendimiento del 80-90% de la M.S. total, lo que favorece el tratamiento posterior del líquido resultante con una depuradora. En este tipo de máquina se hace imprescindible la utilización de floculantes, para obtener una buena separación.

La utilización en el tratamiento integral de purines, de los productos floculantes, mejora el rendimiento de la separación (en algún caso, como es este que nos ocupa ahora, es imprescindible) y además se aconseja su uso, si después, queremos pasar a un proceso de oxidación y depuración de líqui-

dos. En caso contrario, consideramos que es un coste que no queda compensado.

Normalmente se utilizan dos tipos de floculantes:

- MINERALES - Los principales son: calcio, cloruro férrico, sulfato de hierro y sulfato de aluminio.
- ORGANICOS - Que son polielectrolitos en forma de cationes (normalmente se utilizan mezclados con el floculante mineral). El floculante incide en la reducción de la D.B.O. (20%) y en la D.Q.O. (50%), en los procesos de separación sólidos-líquidos.

### 3.2.2.2. *Microfiltración y Ultracentrifugación Mediante Membranas Cerámicas*

Las tecnologías de Microfiltración y Ultracentrifugación mediante membranas han experimentado un rápido desarrollo en los últimos años para el tratamiento de lixiviado de diferentes orígenes, no existiendo experiencia a nivel industrial sobre su aplicación en el tratamiento de purines de cerdo.

En el último trimestre de 1994, se incoaron una serie de actuaciones previas, en cumplimiento de las actuaciones previstas en el Convenio de colaboración firmado por la Secretaría General de Producciones y Mercados Agrarios, el INIA y ANPROGAPOR. Una de estas actuaciones fue la colaboración con la empresa "Proyectos, Acondicionamiento y Servicios del Agua, S.A.", desarrollándose en los laboratorios del INIA, una campaña de pruebas en planta piloto de filtración tangencial sobre membrana cerámica.

En resumen, podemos avanzar que la inclusión de una filtración tangencial en la línea de pre-tratamiento de una estación depuradora de purines produce una disminución extra de eliminación de la D.Q.O. del 75% y una eliminación del 100% de los sólidos en suspensión y de elementos patógenos en el agua producto. Este rendimiento en la eliminación de la D.Q.O. podría aumentarse con la inclusión en línea de tratamiento de un proceso físico-químico de decantación previo a la filtración tangencial.

El siguiente paso en este estudio consistiría en la construcción de una planta piloto a nivel semi-industrial que pudiese tratar el purín producido en una granja de más de 700 madres y que tuviese diferentes líneas de tratamiento de forma a optimizar la línea de agua y fangos, para la obtención de un reciclado superior al 90% del agua tratada y la reutilización agrícola de los fangos obtenidos.

### 3.2.3. Procedimientos Mixtos

A continuación vamos a dar una breve reseña de los diversos sistemas mixtos más empleados en el tratamiento físico-químico del purín.

#### 3.2.3.1. Sistema ORCA

Se basa en el tratamiento físico-químico del purín mediante cloruro férrico más cal, y posteriormente se complementa con un proceso de oxidación y decantación. Previamente el purín es sometido a un pre-tratamiento de desbaste utilizando un separador "Tamiz".

#### 3.2.3.2. Sistema BIOPURIN

La línea de tratamiento de este proceso incluye varias etapas, iniciándose con una separación primaria de sólidos groseros, y se continúa con un tratamiento de floculación, una separación secundaria mediante micromatriz autolimpiante, y se finaliza con una desinfección y desodorización del efluente.

#### 3.2.3.3. Sistema ECOPURIN

Este sistema se basa en el tratamiento físico-químico del purín, y en el proceso se pueden diferenciar cuatro etapas:

- Eliminación de sólidos en tamiz entre 0,2 y 0,5 mm.
- Sistema de coagulación y cámara de coagulación.
- Separación secundaria de sólidos en tamiz rotativo.
- Sistema de clarificación y filtrado de drenaje en filtro de papel.

#### 3.2.3.4. Sistema DENITRAL

Se puede decir que se trata de una estación depuradora, adaptada a los purines, y que además complementa el proceso con una técnica biológica. El proceso en sí, consta de 6 etapas:

A) HOMOGENEIZACIÓN: Del purín y paso en la descarga del mismo por un filtro o tamiz de materias groseras (cajetillas, vidrios, piedras, plásticos, etc.) En esta fase y por término medio, el purín, por cada m.<sup>3</sup> contiene:

48 kg. de materia seca.

5,7 kg. de nitrógeno.

3,2 kg. de fosfatos.

Es importante que el purín sea lo más homogéneo posible, y que no sea muy amplio el tiempo que transcurra desde su producción a la fase de tratamiento. Además esta homogeneización tiene como misión remover de forma continuada el producto para que no se forme una estratificación que favorezca las putrefacciones.

B) **COMPACTACION:** A través de un compactador, que separa líquidos de sólidos. **Por cada m.<sup>3</sup> de purines tratados** con los compactadores se obtiene:

- **90 kg. de sólidos**, compuestos de Materia Orgánica, con 0,6 kg. de nitrógeno y otro tanto de potasio, así como 1 kg. de fosfatos.
- **925 litros de líquido**, con un 18% de Materia Seca, que contiene 5,1 kg. de nitrógeno y otro tanto de potasio y 2,2 kg. de fosfatos.

C) **SEPARACION DE FASES POR DECANTACION:** Los líquidos resultantes de la compactación, pasan a un silo de decantación. Los sedimentos de este silo vuelven a pasar por la fase de compactación, con lo que se recuperan el 60% de las materias en suspensión. El líquido sobrenadante se trata en la siguiente fase o fase de aireación. Este líquido sobrenadante que representa casi los 900 litros, tiene una composición de:

15 kg. de materia seca

0,75 kg. de nitrógeno

0,75 kg. de potasio

2,2 kg. de fosfatos.

D) **AIREACION:** O también denominada de Nitrificación/Desnitrificación. Se trata de una desodorización biológica aerobia, y resulta ser el tratamiento más eficaz para controlar el problema de los olores del purín. Su funcionamiento se basa en la introducción de aire y con él, el oxígeno en la masa del efluente. Dicho oxígeno permite el desarrollo bacteriano y consecuentemente, la materia orgánica capaz de fermentar se degrada, mientras que a la par, se bloquean las fermentaciones pútridas. De dicha Fermentación se obtienen anhídrido carbónico y agua, y una biomasa de bacterias. Dentro de esta fase se pueden diferenciar tres fases:

- I. Mineralización: De la materia orgánica en suspensión, con una degradación del nitrógeno proteico a nitrógeno amoniacal, en un proceso que dura de 8-10 horas, y que se realiza fundamentalmente a través de bacterias.
- II. Nitrificación: Haciendo pasar el nitrógeno amoniacal a nitratos y nitritos, también por medio de bacterias (nitro bacter).
- III. Desnitrificación: Haciendo pasar los nitratos y nitritos a nitrógeno gaseoso que va a la atmósfera. En toda la fase de aireación, se pierde el 75% del nitrógeno inicial.

E) SEPARACION DE LODOS POR DECANTACION: De la base del depósito pueden extraerse los lodos y volver a pasarlos por el compactador repitiendo el ciclo, y después de este segundo ciclo ir a un lugar de almacenaje, o bien ser mezclado con los líquidos obtenidos en la etapa B. Son necesarios 3-4 días para realizar este proceso. El tamaño de las partículas presentes es menor de 60  $\mu$ . Estos lodos representan casi el 30% del volumen inicial. De un metro cúbico de purines, quedan unos **290 litros de lodos** que tienen la siguiente composición:

14,5 kg. de materia seca  
 0,65 kg. de nitrógeno  
 0,65 kg. de potasio  
 1,90 kg. de fosfatos

F) ALMACENAJE: El líquido sobrenadante de la fase anterior va a una laguna de almacenaje. Por cada metro cúbico de purines se obtienen, por término medio, unos 640 litros de agua que contiene:

0,5 kg. de materia seca  
 0,1 kg. de nitrógeno  
 0,1 kg. de potasio  
 0,3 kg. de fosfatos

Así pues, al final del proceso obtenemos 3 productos del purín:

- Materia orgánica sólida: que contiene la mayor parte del nitrógeno, algo de potasio y algo de fosfatos del total que presentaba el purín al principio.
- Lodos semilíquidos: que son de consistencia pastosa, con la mayor parte de los fosfatos, y que se pueden mezclar la materia orgánica sólida.
- Agua: (de color marrón) que no tiene olor, casi sin nitrógeno, con minerales y algo de materia orgánica.

### 3.2.3.5. Sistema *BIOARMOR*

Este sistema presenta una serie de características propias como son:

- Simplicidad de las instalaciones construidas, para ser explotadas en las condiciones existentes en cada explotación ganadera.
- Sencillez de los procesos para asegurar su perfecto manejo por los ganaderos.
- Coste adecuado para adaptarse a las condiciones económicas de la cría del cerdo.
- Montaje del equipo con capacidad para adaptarse a las modificaciones de la cría del cerdo y de la reglamentación vigente.
- La puesta en funcionamiento del proceso, en ningún caso, es fuente de nuevos focos de contaminación derivados del propio sistema de tratamiento.

Con este sistema de tratamiento de purines se pretenden conseguir una serie de objetivos:

- a) Eliminación del nitrógeno, por vía no contaminante, del orden del 20-95%.
- b) Eliminación del fósforo, entre el 20-90%.
- c) Producción de subproductos del tratamiento, fácilmente reutilizables en la agricultura.

Los diversos procesos de tratamientos propuestos, requieren técnicas complementarias muy concretas; este sistema puede ser configurado un sistema de tratamiento para cada situación. El ensamblaje de cada una de las técnicas empleadas se puede hacer con arreglo a las necesidades de cada explotación. La concepción de cada sistema permite luego, el evolucionar a un sistema más elaborado. Pero resumiendo, diremos que el sistema más requerido, consiste en las siguientes etapas:

- I. Fosa de recepción: Esta fosa tiene un doble papel: por un lado actúa como tampón o regulador hidráulico y por otro como zona de homogeneización del purín, esto último gracias a un agitador (de profundidad variable) que incorpora.
- II. Separación de fases: Es un proceso puramente físico, que consiste en separar las materias sólidas en suspensión por un lado, y la fase líquida por otro, del purín en bruto. Según sean las máquinas utilizadas en esta fase, los rendimientos pueden variar del 5 al 90% de retención de mate-

rias en suspensión. Las máquinas más utilizadas son: Tamiz rotativo, Compactador, Separador centrífugo, Decantador centrífugo.

III. Tratamiento biológico: El tratamiento biológico es realizado siguiendo el principio de los "lodos activados" en aireación prolongada a débil carga. Este es el principio en el que se basan la mayoría de las estaciones de depuración construidas desde hace 15 años.

Se trata pues, de crear las condiciones óptimas de desarrollo de los microorganismos (bacterias en particular) que utilizan el purín como alimento.

El purín es enteramente transformado por microorganismos, formando lo que se ha venido en llamar "lodos biológicos o activados".

A continuación vamos a describir los procesos que se originan en un reactor biológico. El reactor biológico no es nada más que un depósito de hormigón en el que se sumergen unas turbinas. Estos aparatos colocados sobre el fondo del depósito cumplen una doble función: *aireación y agitación*.

Estas turbinas permiten crear de manera secuencial un medio aerobio y luego otro medio anaerobio:

- El medio aerobio, originado por la aireación producida por las turbinas, provoca una **nitrificación**, favoreciendo así el desarrollo de bacterias aerobias, en particular de bacterias nitrificantes, que transforman el amoníaco de los purines en nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) (bacterias del género Nitrosomas), y después en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) (bacterias del género Nitrobacter).
- Después el medio anaerobio, cuando detienen la aireación, lo que favorece la **desnitrificación**. Al detener su funcionamiento, se crean rápidamente condiciones de anoxia, gastándose el oxígeno que se encuentra disuelto en el medio. Entonces las bacterias aerobias, no encontrando oxígeno disuelto para su metabolismo, utilizan el oxígeno de los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) para reducirlos a nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y posteriormente a nitrógeno molecular  $\text{N}_2$ , que es un elemento constituyente de las  $\frac{3}{4}$  partes del aire que respiramos, eliminando así el nitrógeno contenido el purín, bajo la forma de nitrógeno gaseoso y no contaminante.

Un control permanente del nivel de óxido-reducción del medio permite poner en funcionamiento y parar las turbinas.

- IV. Decantación: Los lodos biológicos tienen la propiedad de aglomerarse en flóculos, que sedimentan y dejan un sobrenadante clarificado, si se les deja en condiciones de calma total, suprimiendo todas las turbulencias. Esto es realizado en el decantador. El agua sobrenadante es evacuada hacia una laguna de almacenaje antes de emplearse en irrigación.
- V. Concentración de lodos: Los lodos extraídos del decantador son bombeados hacia un silo de concentración. Las materias en suspensión son retenidas en el interior del silo por una **columna filtrante** y el agua obtenida por esta columna es devuelta otra vez, por medio de una bomba, al reactor biológico.

Los lodos concentrados son transferidos hacia una fosa de almacenamiento (sin olor) y que contienen: un 25% del nitrógeno y unos 80 gr./litro de materia sólida (son semilíquidos). Y pueden ser sometidos a una deshidratación más potente con la ayuda de una centrifugadora, por ejemplo, con vistas a su envasado y exportación, o bien a su mezcla con la materia orgánica obtenida en el compactador. Si no se quiere ninguna de estas opciones, se puede proceder a su extensión sobre el terreno agrícola. En estos lodos va la mayor parte del fósforo y algo de nitrógeno.

### 3.2.3.6. Sistema AVDA

Se trata de un tipo de tratamiento de purines centralizado para regiones con una fuerte concentración de ganado. Puede llegar a tratar de 50.000 a 100.000 Tm. al año. Está basado en la coprecipitación del nitrógeno amoniacal del purín bajo la forma de fosfato amónico-magnésico (precipitado mineral). No obstante el costo de los reactivos químicos necesarios para la precipitación (ácido fosfórico y magnesio) es muy elevado, lo que obliga a vender el precipitado mineral obtenido a un precio elevado, para reducir el coste del tratamiento. Existe una planta de estas características, funcionando desde 1994 en St. Jean-Brevelay (Morbihan, Francia).

### 3.2.3.7. Sistema SIRVEN

Es un procedimiento térmico mediante el cual se seca el purín. El efluente tratado, tiene una calidad próxima al agua destilada. Una unidad piloto de este sistema está funcionando desde 1994 en Sizun, Finisterre (Francia), con una capacidad de 24 m.<sup>3</sup>/día.

### 3.3. MÉTODOS BIOLÓGICOS

Mediante los procesos reseñados anteriormente únicamente se separan del purín las materias en suspensión, no obstante permanecen en el efluente una serie de elementos contaminantes disueltos que solamente pueden ser eliminados mediante los tratamientos biológicos.

Puesto que con los tratamientos biológicos convencionales no se alcanzan niveles suficientes de depuración en los purines para que puedan ser vertidos sin problemas, en los últimos años se han incrementado considerablemente los estudios de investigación y desarrollo para la obtención de bacterias específicas, tanto anaeróbicas como aeróbicas, que mejoren los rendimientos de las bacterias indígenas y alcancen unos niveles de depuración que cumplan con los reglamentos de vertidos de aguas residuales.

#### 3.3.1. Depuración Biológica

Bajo este epígrafe se recoge una amplia gama de tecnologías en las que se aplican, bien de forma individual o bien combinadamente, procesos de fermentación aeróbica y/o anaeróbica, en lagunas o en tanques a cielo abierto, o en tanques cerrados, también llamados digestores. En todos los casos, la Depuración Biológica, persigue la eliminación del nitrógeno por mecanismos de nitrificación/desnitrificación de una forma más o menos intensa. Los procesos biológicos se basan en la acción de microorganismos, que actúan sobre la materia orgánica, suspendida, disuelta y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular flotante, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación.

##### 3.3.1.1. Lagunas o Balsas Biológicas

Este proceso se basa en el tratamiento del purín mediante fermentación aeróbica-anaeróbica, en balsa aeróbica con equipos de aireación flotante o mediante turbo-inyectores, balsa anaeróbica y balsa facultativa. En general el purín es sometido previamente a un sistema de desbaste para eliminar los sólidos superiores a 0,5 mm., o de 1 mm., según los casos. Es un procedimiento extensivo, pues las necesidades de suelo es bastante importante (una hectárea, para una granja de 600 cerdas de ciclo cerrado), pero en contra los costes de funcionamiento es prácticamente nulo. Con este sistema se consigue desodorizar el purín y eliminar la mitad del nitrógeno por un tratamiento casi natural.

Este sistema también recibe el nombre de **fangos o lodos activados**. Los microorganismos más importantes presentes en los procesos biológicos son:

- Bacterias
- Hongos
- Algas
- Protozoos
- Rotíferos
- Crustáceos

Dentro de este grupo, las bacterias constituyen el grupo más numeroso y son los responsables fundamentales de la asimilación de la materia orgánica existente en el sustrato. En el proceso de los fangos activados pueden distinguirse dos operaciones diferenciadas:

- La separación sólido-líquido.
- La oxidación biológica.

La oxidación biológica tiene lugar en el reactor biológico o cuba de aireación, donde se favorece el desarrollo de un cultivo biológico formado por un gran número de microorganismos agrupados en flóculos (fangos activos). La población bacteriana se mantiene en un nivel determinado, para llegar a un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos existentes en el reactor.

El proceso de fangos activados, necesita para su desarrollo, un sistema de aireación y agitación, que proporciona el oxígeno necesario para la acción depuradora de las bacterias aerobias, evita la sedimentación de los flóculos y permite la homogeneización de los fangos activos. Una vez la materia orgánica haya sido suficientemente oxidada, lo que requiere un tiempo de contacto suficiente, el licor-mezcla se envía al clarificador o decantador, en el que se separa el agua depurada y los lodos floculados. Las lagunas de sedimentación proporcionan un tiempo de retención de 7 a 15 días, suficiente para producir una buena sedimentación de los fangos aerobios que contiene el efluente de entrada. Estos últimos se recirculan al reactor biológico, para mantener el mismo una concentración suficiente de bacterias. El excedente (fangos en exceso) se extrae del sistema y se evacúa hacia el tratamiento de fangos. El vertido final puede ser evacuado a canales de riego próximos o bien, mediante emisarios, ser incorporado a la red de saneamiento.

### 3.3.1.2. Almacenamiento Aeróbico (Aireación)

Es uno de los principales procedimientos para la lucha contra los malos olores del purín. Este método se realiza con la ayuda de aireadores de superficie, lechos bacterianos y de un sistema de inyección de aire, dispuestos en el depósito de almacenamiento del purín. Esta técnica está bien adaptada para almacenamientos de purín relativamente cortos y a volúmenes de almacenamiento pequeños (< de 1.000 m.<sup>3</sup>). En el caso de un volumen de almacenamiento más grande, la eficacia del aireador deberá ser reforzada por la acción sincronizada de un agitador. La puesta en marcha o bien la desconexión del aireador por medio de una sonda REDOX permiten una optimización de los costes de funcionamiento.

### 3.3.1.3. Sistema BIO-SPECIFIC

Se basa en la aplicación de microorganismos aeróbicos naturales seleccionados específicamente para cada medio contaminante con objeto de maximizar la eficacia de oxidación por bioestimulación y bioaumentación selectiva.

El proceso incluye un tratamiento previo de desbaste y centrifugación, así como un tratamiento complementario del efluente del bio-reactor mediante nitrificación/desnitrificación y clarificación final.

### 3.3.1.4. Sistema LICOM II

También llamado "Estabilización Aeróbica Mesófila" y se debe realizar antes del almacenamiento. Esta técnica ha estado comercializada por Alfa Laval. Puede ser puesta en marcha cuando la duración del almacenamiento del purín sea muy prolongado. Se necesita de un tamizado del purín, antes de que éste pase al tratamiento aerobio en los depósitos específicos. La desodorización del purín es completa y la reducción del nitrógeno puede llegar del 30-40% esencialmente por volatilización del nitrógeno amoniacal.

### 3.3.1.5. Lagunas Sistema E.A.Z.

El elemento fundamental de este proceso es la digestión anaeróbica fría, desarrollada a cielo abierto, mediante la aplicación de bacterias específicas metanogénicas. El proceso se completa con un tratamiento previo de separa-

ción de sólidos mayores de 1 mm., y con un tratamiento aeróbico posterior que puede ser de lodos activados, filtro bacteriano o mixto.

### 3.3.1.6. *Sistemas FOTOSINTETICOS*

Además de los métodos más o menos tradicionales, anteriormente descritos, existen otras alternativas basadas en la acción fotosintética de microalgas y macrofitas acuáticas, capaces de:

- Eliminar el elevado contenido en nutrientes, especialmente amonio.
- Facilitar un entorno adecuado para la degradación de los compuestos orgánicos.

La producción de microalgas se realiza en piscinas poco profundas (0,2-0,9 m.) en las que el medio es sometido a una mezcla mecánica, con objeto de facilitar un entorno aerobio: son las llamadas lagunas de alto rendimiento. Los principales procesos bioquímicos que se presentan en estos sistemas son la respiración y la fotosíntesis. En presencia de oxígeno disuelto, las bacterias aerobias oxidan los compuestos orgánicos del medio hasta convertirlos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Por su parte, las algas (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Oscillatoria*, *Spirulina*, etc...), aprovechan estos productos finales, junto con la luz y los nutrientes disueltos en el medio, para generar subproductos y oxígeno.

En los sistemas de tratamiento de purines que emplean esta metodología, el diagrama de flujo, comenzaría con una sedimentación del purín, ya que su elevado contenido en sólidos en suspensión dificultaría un tratamiento de este tipo. De este modo se generan dos residuos:

- Uno sólido, que se digiere anaeróbicamente y cuyo efluente es tratado mediante lagunaje.
- Un sobrenadante que es el principal aporte a los sistemas de microalgas.

En definitiva, además de un método de gestión de residuos animales, los sistemas de lagunaje de alto rendimiento, generan un subproducto que puede ser empleado en diversos usos. Lo más frecuente, es la utilización de dicho subproducto para la alimentación animal, por su contenido proteico.

Existen otras técnicas en la acción de plantas macrofitas, en que no se precisan métodos de separación del efluente depurado. Concretamente, el jacinto de agua (*Eichlornia crassipes*), basadas en zonas tropicales o in-

vernaderos, ha demostrado una gran eficiencia en la eliminación del nitrógeno de los purines. La eficiencia de estos sistemas se basa en:

- La asimilación de los elementos minerales para el crecimiento de la planta.
- El secuestro en la raíz de sólidos en suspensión.
- El desarrollo de bacterias nitrificantes transformadoras del amonio en nitrato, en la zona radicular de las plantas.
- La degradación aerobia de compuestos orgánicos a partir del oxígeno producido por la macrofitas.

### 3.3.2. Digestores: Tratamiento Anaeróbico

Para resolver la problemática creada por la intensificación y concentración del sector ganadero, que ha creado la aparición de un progresivo desequilibrio entre ganadería y medio ambiente, y para crear una vía adecuada para eliminar los efluentes contaminantes, a principio de la década de los 80, se despertó a nivel mundial y también en nuestro país un interés creciente por el desarrollo de sistemas específicos para la depuración de residuos ganaderos, tomándose como modelo las metodologías y los planes que ya habían sido desarrollados en la depuración de efluentes urbanos. En concreto los estudios se centraron básicamente en la aplicación de la digestión anaeróbica para el tratamiento de los purines, ya que este proceso tiene la ventaja añadida de generar una energía renovable en forma de biogás, que podía sustituir parte de los combustibles de origen fósil de la granja, lo que en unos momentos de crisis energética, representaba también un objetivo prioritario.

Como referencia de la aplicación de esta tecnología con fines energéticos se contaba con la experiencia de más de 100 años, en explotaciones familiares de países como China y la India, en donde las instalaciones de fermentación anaeróbica de carácter eminentemente rural, han tenido por objeto autoabastecer energéticamente las explotaciones familiares, mediante la metanización de los residuos de origen humano y animal. Concretamente los programas de desarrollo, en estos países, dieron como resultado que, en la década de los sesenta y setenta, crecieran espectacularmente el número de digestores rurales, la mayoría entre 7 y 15 m.<sup>3</sup>, que tratan los residuos familiares y los de un censo ganadero entre 5 y 10 vacas.

La digestión anaerobia, es el proceso que tiene mayor desarrollo en el mundo; en algunos países de nuestro entorno, es casi un sistema en exclusiva, como en Inglaterra, donde este método se emplea en un 96% de la masa

de sólidos que se estabilizan anualmente, en un 95% en Suiza, un 66% en Holanda, un 55% en Suecia, un 50% en Finlandia, y en un 40% en Noruega. Consiste en la transformación de la materia contenida en el fango en una mezcla de gases y dióxido de carbono, en ausencia de oxígeno.

Componentes	Porcentaje
Metano	50-70%
Dióxido de carbono	10-30%
Sulfuro de hidrógeno	0,1-2%
Nitrógeno	0-1%

Con un poder calorífico de  $5.500 \text{ kcal/m}^3$  ( $70 \text{ m}^3$  de este gas equivale a unos 45 litros de gasoil. Este gas puede ser recogido y utilizado como combustible.

En los países desarrollados, cuando se iniciaron los trabajos de prospección para evaluar las modernas tecnologías de depuración de efluentes orgánicos que existían en el mercado, se comprobó que para el tratamiento de los efluentes urbanos, así como los derivados de la industria agroalimentaria, como mataderos, queserías, vinificadoras e industrias conserveras, se contaba en la mayoría de los casos, con tecnologías ampliamente contrastadas. No obstante, dadas las peculiaridades características de los purines, no existían a nivel mundial sistemas de depuración específicos, y por ello, en aquellos momentos se iniciaron en la mayoría de los países programas de investigación que tenían por objeto adaptar los sistemas de depuración existentes o diseñar nuevas tecnologías, que permitieran el tratamiento de los efluentes generados por las explotaciones de porcino.

En España, con objeto de aplicar estas tecnologías a la problemática de nuestro sector agrario, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), inició en 1982, a través de la Dirección General de la Producción Agraria (DGPA) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) una serie de actuaciones sobre el tema, tanto a nivel de investigación como de aplicación de plantas semiindustriales.

En los países desarrollados, el interés por la digestión anaeróbica (DIGESTORES), ha revivido cuando se hizo incierto el suministro de petróleo y desde que comenzó a prestarse más atención a los graves problemas ecológicos, que producen infinidad de vertidos incontrolados con alta carga contaminante. Este es el caso de las explotaciones de porcino, que junto con otras explotaciones e industrias, que son productoras de unos efluentes con

alto contenido en Demanda Química de Oxígeno (DQO), los cuales están produciendo una contaminación de cursos de agua superficiales y subterráneos muy superiores a la capacidad regenerativa de esos cursos, o alternativamente se derivan hacia estanques que son fuente de malos olores y que además transforman en cenagosa, extensiones que antes eran perfectamente aprovechables.

La digestión anaerobia, como método de tratamiento de residuos, permite reducir la cantidad de materia orgánica contaminante y, al mismo tiempo, producir energía. El que uno de estos dos objetivos predomine sobre el otro depende de las necesidades de descontaminación del medio y/o la naturaleza y origen del residuo.

Para que este proceso se lleve a cabo se requieren al menos dos tipos de microorganismos:

- Por un lado las bacterias productoras de ácido, que degradan la materia orgánica a elementos más sencillos como los ácidos, alcoholes y aldehídos (fosa de homogeneización).
- Por otro lado, las bacterias productoras de metano (bacterias metanogénicas), que utilizan los productos formados por las bacterias anteriores, y producen metano y dióxido de carbono.

Las bacterias metanogénicas son organismos claves en el digestor, su desarrollo es muy lento y son extraordinariamente sensibles a las variaciones que se producen en el medio que las alberga. Está totalmente comprobado que la digestión de los lodos se realiza a cualquier temperatura; sin embargo, el tiempo que se tarda en completar la digestión es variable y está en relación con ella. En este sentido, existen dos grandes clases de bacterias metanogénicas, cuyas temperaturas de desarrollo son muy diferentes:

- Las bacterias **mesófilas**, cuya temperatura óptima está entre 33 y 45 °C.
- Las bacterias **termófilas**, para las que la temperatura óptima oscila de 50 a 60 °C.

La digestión mesófilica es la más empleada hoy día. Con un espesamiento previo del fango se consigue reducir el volumen a manejar, y en consecuencia, operar con digestores de menor tamaño, con el consiguiente ahorro económico que esto supone. El efluente sufre un proceso de calentamiento, hasta elevar su temperatura por encima de los 35 °C, de modo que el digestor pueda mantenerse a la temperatura media de 35 °C, estimada como idónea para el desarrollo de las bacterias mesófilas. El biogás producido en el di-

gestor de contacto, es conducido a un gasómetro de almacenamiento previo, que elimina la humedad. En este punto tiene lugar la dosificación de cloruro férrico, con objeto de eliminar el ácido sulfhídrico producido durante el proceso.

La fermentación anaerobia de residuos ganaderos tiene un triple efecto:

- La depuración y estabilización del residuo (eliminación de DQO, agentes patógenos, olores,...)
- Valor agronómico del efluente (fertilizante).
- Obtención de energía (biogás). Esta producción neta de energía puede aumentar sensiblemente la rentabilidad de las explotaciones ganaderas, especialmente las de gran tamaño.

Los estudios que se han realizado para mejorar el rendimiento del proceso de fermentación anaeróbica de residuos orgánicos, se han centrado en tres objetivos fundamentales:

- Lograr un incremento de la eficacia en la actividad microbiana de las distintas fases de la fermentación anaerobia.
- Determinar el rango óptimo de los parámetros externos que regulan la digestión anaeróbica.
- Mejorar el diseño de los digestores y los sistemas mecánicos de funcionamiento.

Dada la complejidad del proceso biológico que se compone de múltiples etapas y de una población heterogénea de microorganismos que interactúan entre sí, los resultados obtenidos hasta el momento sobre la mejora de la actividad microbiana no han resultado, en la mayoría de los casos, muy eficaces o tienen un alto coste.

No obstante, se conocen ya con exactitud los parámetros fundamentales que regulan la fermentación anaeróbica (temperatura, pH, relación C/N, tiempo de retención hidráulica y problemas de toxicidad). Este conocimiento ha permitido en los últimos años alcanzar un gran progreso en el diseño de digestores, mejorándose notablemente su eficacia, y muy resumidamente, se exponen a continuación las principales tecnologías existentes, así como la evolución que han experimentado desde los primitivos digestores discontinuos a los sistemas continuos avanzados.

**DIGESTORES DISCONTINUOS:** La característica principal de este grupo de fermentadores es, como su propio nombre indica, la carga discontinua,

la cual se efectúa de una vez y se inocula con biomasa microbiana de la digestión precedente, para favorecer el arranque de la fermentación. Estos digestores se han diseñado preferentemente para tratar residuos orgánicos con alto contenido en sólidos y por tanto los períodos de retención hidráulica son bastante prolongados. Tienen el problema de la producción discontinua de biogás, la cual se ha eliminado en lo posible, dividiendo la capacidad total de digestión entre tres o más fermentadores, los cuales funcionan de una manera escalonada, solapándose las curvas de producción de biogás.

**DIGESTORES CONTINUOS:** En este grupo de fermentadores se incluye una amplia gama de digestores que se han desarrollado en los últimos años, con objeto de alcanzar una mejora en la producción energética y una mayor eficacia en la reducción de los índices de contaminación de distintos tipos de residuos orgánicos. Las principales tecnologías de este tipo existentes en el mercado pueden agruparse en tres categorías:

- A) **Digestores de "Mezcla Total":** En este grupo se incluyen los digestores convencionales, cuya característica principal es que la biomasa metanogénica se elimina periódicamente a medida que lo hace el residuo orgánico digerido. Esta mecánica de funcionamiento no permite una alta concentración de bacterias en el interior del digestor lo que provoca una reducción de su eficacia.
- B) **Digestores de "Contacto" o "Reciclado de lodos":** La mecánica de funcionamiento de estos reactores implica la concentración del efluente digerido, que en parte es recirculado al digestor con lo que se evita la pérdida de biomasa microbiana. Tiene el inconveniente de la dificultad de la mezcla en grandes digestores, especialmente cuando la cantidad de sólidos en suspensión es alta, y por otra parte la decantación del lodo en proceso de metanización, presenta muchas dificultades y en cualquier caso es muy lenta.
- C) **Sistemas anaeróbicos avanzados:** En este grupo se incluye una generación de digestores que se han desarrollado en los últimos años y que tienen como objetivo común, aumentar la concentración de la biomasa microbiana activa mediante la aplicación de diferentes mecanismos, los cuales han dado nombre a los distintos sistemas de digestión.

A título de resumen, hacemos una descripción de las principales características de los reactores de este grupo, que presentan mayores posibilidades de desarrollo a gran escala:

- **Digestores de "Filtro anaeróbico"**: Retienen gran parte de población bacteriana en la matriz del filtro, evitando su dilución y en consecuencia reduciendo los tiempos de retención hidráulica.
- **Digestor de "Flujo descendente y película fija"**: Constituye la tecnología más avanzada para el tratamiento de residuos con fuerte carga de DQO, y hasta con 3 gr./l., de sólidos en suspensión. Las innovaciones principales que presenta, es la dirección de flujo y el empleo de una matriz fija.
- **Digestor U.A.S.B. o "Manto de Lodo"**: Se basan en la formación de una manta flotante de bacterias en el seno del digestor que se alimenta de abajo a arriba. Esta manta constituye un auténtico filtro en el que se produce la metanogénesis y separa de forma eficiente el gas de la matriz sólida.
- **Digestor de "Lecho fluidizado"**: La retención de buena parte de la población bacteriana en el seno del digestor se logra promoviendo su crecimiento sobre partícula de materia inerte que se mantiene en suspensión mediante corrientes hidráulicas.
- **Digestor de "Película fija sobre soporte libre"**: Esta tecnología tiene una mecánica de funcionamiento similar a la del "Reactor de flujo descendente y película fija", y la única diferencia es que el soporte de PVC, al cual se fijan las bacterias, está totalmente libre en el interior del digestor y por tanto, permite su movimiento, evitando de esta forma los riesgos de entupimiento y/o la formación de vías preferenciales.

A continuación, y de forma muy resumida vamos a comentar las aplicaciones de la "Digestión Anaerobia" en España.

Desde 1982 el M.A.P.A. ha venido trabajando en esta materia, mediante una serie de convenios, en una serie de instalaciones piloto en diferentes explotaciones ganaderas, seleccionándose para cada una de ellas, distintas tecnologías de fermentación anaerobia, las cuales fueron modificadas para adaptarlas a las características específicas del residuo y tratar, estudiándose el funcionamiento de digestores del tipo de "Mezcla Total", "Contacto" y "Filtro Anaeróbico".

Paralelamente y con objeto de mecanizar en lo posible el funcionamiento de las instalaciones piloto, se diseñaron una serie de innovaciones tecnoló-

gicas para el manejo y pretratamiento de los purines y asimismo se estudiaron diferentes sistemas de aprovechamiento del biogás generado en el proceso.

Los resultados obtenidos en las instalaciones piloto de digestión anaeróbica, demostraron la existencia de distintos grados de estabilidad del proceso biológico, que fue mayor para los digestores con tecnología "Filtro anaeróbico" y menor para los de "Contacto" y "Mezcla Total" por este orden. Asimismo, pudo comprobarse que los digestores de "Filtro anaeróbico" presentaron menos problemas de funcionamiento cuando fueron sometidos a período de sobrecarga y también recuperaban el régimen normal de funcionamiento en un período de tiempo de entre 3 y 6 días, después de paradas prolongadas en la alimentación.

Los digestores de "Filtro anaeróbico" y concretamente la tecnología de "Película fija sobre soporte libre" tenía a priori el inconveniente de no soportar el tratamiento de efluentes con alta carga orgánica en suspensión, ya que existía el riesgo de colmatación y la creación de vías preferenciales en la matriz del digestor. Teniendo en cuenta que el purín de cerdo posee una elevada concentración de sólidos en suspensión y además también tiene un elevado índice de decantación, se diseñó para esta planta piloto un sistema de pretratamiento mediante tamiz y en el digestor se instalaron: un sistema suplementario de agitación mediante recirculación del efluente de su parte inferior, y un sistema de inyección de biogás en el fondo del digestor que permitiera el movimiento suplementario de la matriz móvil, con lo que se evitaba la decantación de sólidos y los riesgos de entupimiento y la creación de vías preferenciales. Dos años de funcionamiento han podido demostrar que esta tecnología se adapta perfectamente para tratar efluentes generados en granjas intensivas de ganado porcino, y el proceso de fermentación puede considerarse estable, representando este tipo de matriz a base de "Flocor-R", una garantía como agente de retención de la flora microbiana en el interior del digestor.

A continuación vamos a ver los resultados obtenidos en las distintas instalaciones piloto, compuestas por:

- Un digestor de Filtro anaeróbico de película fija sobre soporte móvil de 25 m.<sup>3</sup> (Soria).
- Un digestor de Filtro anaeróbico de película fija sobre soporte móvil de 100 m.<sup>3</sup> (Toledo).
- Un digestor de Contacto de 500 m.<sup>3</sup> (Mérida).
- Un digestor de Mezcla Total de 50 m.<sup>3</sup> (Madrid).

Como vemos en el cuadro siguiente, el grado de eficacia en la transformación de biogás con respecto a la DQO introducido en los diferentes tipos de digestores es muy similar en todos ellos.

<b>Tipo de digestor</b>	<b>m<sup>3</sup> BG/m<sup>3</sup> dig. día</b>	<b>MJ/m<sup>3</sup> dig. día</b>	<b>m<sup>3</sup> BG/Kg M.O.</b>	<b>R. Hidra.</b>
Filtro anaeróbico	3,0 - 3,9	58,6 - 64,1	0,32 - 0,40	3 días
Contacto	1,2 - 3,3	????	????	6 días
Mezcla Total	1,1 - 1,8	26,1	0,22	12 días

En el cuadro anterior podemos observar que la mayor producción de biogás referida a m.<sup>3</sup> de digestor y día se ha obtenido en las plantas con sistema de "Filtro anaeróbico" y la menor producción a los digestores de "Mezcla Total". De este biogás producido, el autoconsumo para el mantenimiento de la temperatura mesófila de los digestores, se situó entre un 70-80% durante los meses invernales, dependiendo de la zona climática, reduciéndose en los meses de verano hasta unos valores que oscilaron entre el 30-45%.

Respecto a la depuración obtenida, los valores obtenidos son similares para los tres tipos de tecnología estudiados, situándose entre un 50-60% la reducción de la carga contaminante.

Para el mantenimiento de estos índices de eficacia en la producción energética y niveles de depuración, los resultados sobre los tiempos de retención hidráulica para los distintos digestores fueron de 3 días para los de "Filtro anaeróbico", 6 días para los de "Contacto" y 12 días para los de "Mezcla Total".

En el caso de los digestores de "Mezcla Total", se incrementa considerablemente el rendimiento energético y de depuración cuando el sistema de carga-descarga tiene un sentido "unflow", ya que ello permite la decantación de la flora microbiana incrementándose su concentración. Este proceso también se ve favorecido cuando no se hacen coincidir períodos de agitación con proceso de carga-descarga, y cuando el sistema de alimentación del digestor es continuo.

En relación con los estudios efectuados sobre manejo y pretratamiento de los purines los resultados obtenidos en las instalaciones piloto se resumen en los siguientes puntos.

- La experiencia obtenida durante los primeros meses de funcionamiento obligó a una modificación general del diseño original de condiciones, corrigiéndose en el sentido de eliminar todas las curvas pronunciadas de las tuberías, así como los puntos de estrangulamiento de las mismas para evitar los riesgos de entupimiento.
- Se comprobó que el purín bruto tiene un alto índice de decantación, resultando difícil y costoso energéticamente el resuspenderlo. En consecuencia se modificó el sistema de manejo del purín para retener el purín bruto en la balsa de recepción el menor tiempo posible, almacenándose, el producto a digerir, en forma de **purín tamizado**.
- La eliminación de la fracción sólida del purín mediante el tamizado con malla de 1 mm., permite reducir entre un 10 y un 15% la carga contaminante y a la vez se mejora considerablemente el manejo del purín. Esta eliminación de parte de la fracción carbónica del purín no repercute significativamente en el rendimiento energético, ya que el residuo sólido eliminado son restos de alimentos sin digerir, de cadena larga de carbono, que resultan difícilmente metanizables.

## CONCLUSIONES

Como conclusiones al tema de los digestores diremos que, los resultados obtenidos en España, que se han reseñado anteriormente, así como los alcanzados en otros países, han demostrado que las tecnologías de fermentación anaeróbica sólo eliminan entre un 55 y un 65% de una elevada carga contaminante como es la de los purines de cerdo, y por tanto estas tecnologías deben ser complementadas con otros sistemas de depuración para que el efluente pueda ser vertido al medio natural.

Asimismo, en los estudios sobre balance energético de la fermentación anaeróbica se pudo demostrar que la producción de biogás era consumida en casi su totalidad para el mantenimiento de la temperatura mesófila de la fermentación, especialmente durante los meses invernales de algunas zonas climáticas en donde el autoconsumo fue del 85% y por tanto este combustible no podía ser utilizado en la calefacción de la granja en los momentos de mayor demanda energética.

Otro factor importante a tener en cuenta, es el grado de tecnificación, las exigencias de mantenimiento y los controles de seguridad que se requieren

y que precisan una cualificación muy diferente a la que se posee en las granjas de ganado porcino, lo cual sería económicamente costoso alcanzar en la mayoría de los casos.

Teniendo en cuenta toda esta problemática, en los últimos años se ha cambiado la orientación general de los sistemas de depuración de los efluentes de ganado porcino y actualmente se tiende hacia el diseño de instalaciones de fácil manejo, de bajo coste económico-energético y con reducido mantenimiento. Paralelamente, se ha vuelto a prestar una mayor atención a la eliminación de los purines mediante la reutilización agrícola como abono orgánico-mineral de los cultivos.

### 3.3.3. Compostaje

Consiste básicamente en la fermentación aeróbica de purines mezclados con distintos tipos de biomasa (restos de podas de arbolado, destríos hortícolas, etc...), que al tener distintos grados de humedad permiten obtener una mezcla con humedad inferior al 65%, la cual puede ser sometida a un proceso de fermentación aeróbica, y una vez finalizado el proceso se obtiene un compost con una humedad del 25-30%. Esta reducción de la humedad es debida a que la temperatura de la mezcla alcanza los 70 °C a lo largo de los 60 días que dura el proceso y ello favorece el desprendimiento de vapor, el cual es favorecido también por los volteos diarios a los que es sometida la referida mezcla.

Existen algunos sistemas que utilizan la depuración biológica y el compostaje de forma mixta. Vamos a explicar brevemente este sistema mixto de tratamiento de purines.

Para eliminar los aspectos negativos del purín, se provoca una fermentación anaeróbica, facultativa aeróbica, en las mismas fosas de deyecciones, que están debajo de los animales, mediante la adición, sin diluciones ni preparaciones a temperaturas templadas, de un complejo bacterio-enzimático, diseñado específicamente para tal fin y que se aplica directamente sobre la superficie del purín.

Las bacterias, al alimentarse de amoníaco y de azufre, captan los malos olores, convirtiendo el amoníaco a forma nítrica, liberando a su vez enzimas que descomponen la materia orgánica en suspensión, que acabará siendo digerida en el interior celular, dando un purín fluido, que evita obstrucciones y facilita su extracción y distribución.

Así pues, la solución consiste sencillamente en eliminar los efectos negativos de los purines y potenciar los positivos, para ser empleado, bien sea directamente, en el caso de que haya suficientes hectáreas de cultivo para asimilarlo o por procedimientos de separación de fase y posterior compostaje, en los casos en los que la densidad de animales de la granja, es superior a la capacidad de absorción de purines de la tierra que se posee.

En cualquier caso, se emplea como fertilizante agrícola, aportando la base de las unidades fertilizantes necesarias, que en ciertos cultivos o terrenos serán completados con fertilizantes químicos.

El purín que no huele, es un factor muy importante de higiene en la salud de los animales, desfavoreciendo la presencia de enfermedades respiratorias, entre otras patologías, y creando un ambiente más agradable para el desarrollo de los animales. También es mejora de la calidad de las condiciones de trabajo, para quienes han de trabajar en la granja y para los vecinos de la explotación o de aquellos habitantes que estén próximos a los lugares en donde se distribuirá el purín posteriormente, evitándose así casos de denuncias.

Para que el purín no huelga al ser distribuido, y que a su vez la proteína de los restos de pienso no digeridos se conviertan en aminoácidos y parte de la materia orgánica en ácidos húmicos, es preciso que transcurra un tiempo mínimo de **un mes**, entre el momento en que se realizó la siembra en los purines y el momento en que se extrae de la explotación para su uso agrícola. Por supuesto los restos de correctores se convierten mediante fermentación bacteriana en presencia de materia orgánica en quelatos minerales, asimilables directamente por las plantas. Con todo esto se evita que el purín quemara a las plantas, ya que éste quemaba por tres razones:

- Por el amoníaco, que en este caso estará ya en forma nítrica.
- Porque si el purín no fluye, impide en el haz de la hoja la función clorofílica, por opacidad, mientras que al fluir, quedará el haz traslúcido.
- Por la salinidad, dado que un mínimo de materia orgánica que se transforme en ácidos húmicos, es suficiente para que se rompan las moléculas de sal, como lo demuestran los análisis realizados después de un mes, del purín tratado, en el que se observa una reducción del 25% de su salinidad.

Utilizando el purín tratado en las dosis correctas, y evitando un uso abusivo de fertilizantes químicos, es además de capital importancia a la hora de respetar el ecosistema y permite ahorrar, en gran parte, importaciones de fertilizantes, aprovechando lo que tenemos en nuestras granjas.

Sin embargo en ciertos casos, como en aquellos en los que la concentración y tamaño de las granjas es tal que no hay suficientes tierras para absorber la producción de purines, hay que recurrir a la elaboración de abonos orgánicos sólidos, a partir de los purines. Este tipo de abonos sólidos permiten un almacenaje más fácil, una distribución por abonadora, pero sobre todo permiten que los purines puedan viajar, puesto que pueden soportar unos portes razonables (5 pts./kg.), hasta lugares en donde la agricultura no disponga de este tipo de abono.

Para la obtención de este tipo de abono, se precisa de una instalación fija o móvil de separadores de fases, con el fin de obtener una fase sólida con el menor contenido de líquidos posible, y comenzar el compostaje del sólido mediante una compostadora volteadora, que reseca el material a la vez que lo composta. A los dos meses se obtiene un excelente abono orgánico con un 35% de humedad, que puede repartirse por los terrenos agrícolas con abonadora y si se desea se puede hasta pelletizar o mezclar con las dosis necesarias de abono químico, para la obtención de un abono orgánico-mineral completo.

## 4. CONCLUSIONES



Aunque resulta prioritario el profundizar en el estudio de nuevos equipos y en la mejora de los sistemas de depuración anteriormente reseñados para los sistemas tradicionales, el tratamiento de efluentes contaminantes como el purín de cerdo, resulta imprescindible que, paralelamente a estos trabajos, ha de iniciarse en las principales zonas productoras de ganado porcino, un plan de gestión sobre reutilización agrícola de purines, que permita lanzar un puente entre los productores de purines y los consumidores. Dentro del grupo de consumidores deberán incluirse, tanto los propietarios de terrenos agrícolas como los forestales, ya que en la reutilización agrícola de los purines ha de contemplarse su potencial fertilizante como sustituto de los abonos sintéticos y su carácter de compuesto orgánico de gran utilidad para la regeneración de suelos y la mejora de su estructura.

Los esfuerzos en el campo del diseño de sistemas de depuración de purines han sido muy intensos en los últimos años, no obstante, no se ha encontrado todavía ningún equipo que individualmente elimine todos los problemas, siendo necesario complementar diferentes equipos y procesos para alcanzar un grado de eficacia que permita su vertido al medio ambiente natural. Esta complejidad de la línea de tratamiento de purines de cerdo, repercute directamente sobre los costes de depuración, que en la mayoría de los casos, sólo los gastos de operación superan las 300 pts./m.<sup>3</sup> lo que las hace antieconómicas a nivel práctico.

Por ello, en tanto no se encuentren sistemas que permitan una reducción de los costes de depuración del purín, es imprescindible que, junto a estos planteamientos estrictamente de desarrollo tecnológico, se ponga en marcha un Plan Nacional de Gestión de Residuos Ganaderos, que permita una coordinación y colaboración entre los distintos organismos, tanto estatales como autonómicos y locales, con competencia en Medio Ambiente, y que desarrolle un programa de reutilización agraria de los purines de una forma que permita cumplir con la Directiva 91/676/CEE.



## BIBLIOGRAFÍA



BIGERIEGO, M. *"Depuración, reciclado y reutilización de purines"*.

M.A.P.A. *"Proyecto de investigación y desarrollo para la depuración, reciclado y reutilización de residuos de explotaciones intensivas de ganado porcino"*.

VEGA, M. y DE LAS FUENTES, L. *"Metodología para el manejo integral de purines de cerdo"*.

CEMAGREF. *"Maîtrise et prévention des pollutions dues aux élevages"*.

S.E.A. *"Desodorización del estiércol por tratamiento químico"*.









