



**ECOLAGUNAS**

Depuramos Agua  
**Naturalmente**

## GUÍA PARA EL TRATAMIENTO DE PURINES DE CERDO

Ourense, junio de 2019



[www.ecolagunas.com](http://www.ecolagunas.com)

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVO:</b>	<b>8</b>
<b>3. ANÁLISIS GENERAL DEL ENTORNO</b>	<b>8</b>
<b>4. REVISIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA GESTIÓN DE LOS PURINES</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Tratamientos tradicionales</b>	<b>15</b>
<b>4.1.1. Aplicación directa</b>	<b>15</b>
<b>1. Aspersión en abanico*</b>	<b>16</b>
<b>2. Método de rampa multibocanilla</b>	<b>17</b>
<b>3. Método de localización en superficie mediante tubos colgantes</b>	<b>18</b>
<b>4. Método de localización en profundidad mediante sistema de rejillas</b>	<b>19</b>
<b>5. Ventajas y Desventajas</b>	<b>21</b>
<b>6. Factores que condicionan la elección del sistema de aplicación</b>	<b>22</b>
<b>4.2. Tratamientos de carácter intensivo</b>	<b>22</b>
<b>4.2.1. Producción de biogás.</b>	<b>23</b>
<b>1. El proceso</b>	<b>24</b>
<b>2. Tipos de reactores por la temperatura del proceso</b>	<b>27</b>
<b>i. Plantas mesofílicas:</b>	<b>28</b>
<b>ii. Plantas termofílicas:</b>	<b>28</b>
<b>3. Tipos de reactores por las etapas de proceso</b>	<b>28</b>
<b>i. Digestores discontinuos:</b>	<b>29</b>
<b>ii. Digestores continuos</b>	<b>29</b>
<b>1. Digestores de Mezcla Completa:</b>	<b>29</b>
<b>2. Digestor de Flujo Pistón:</b>	<b>31</b>
<b>3. Digestores de Contacto o Reciclado de lodos</b>	<b>32</b>
<b>iii. Sistemas anaeróbicos avanzados</b>	<b>32</b>
<b>1. Digestores de filtro anaeróbico:</b>	<b>32</b>

<b>2. Digestores de Flujo descendente y película fija:</b>	<b>33</b>
<b>3. Digestor Manto de Lodo:</b>	<b>33</b>
<b>4. Digestor de lecho fluidizado:</b>	<b>33</b>
<b>5. Digestor de película fija sobre soporte libre:</b>	<b>33</b>
<b>4. Planta de Biogás de Mouriscade</b>	<b>34</b>
<b>5. Costos</b>	<b>35</b>
<b>4.2.2. Separación de Fases</b>	<b>35</b>
<b>1. Procesos físicos mecánicos</b>	<b>36</b>
<b>i. Separación por rejilla:</b>	<b>37</b>
<b>ii. Separación por prensa de tornillo:</b>	<b>37</b>
<b>iii. Separación por tamizado:</b>	<b>38</b>
<b>iv. Separación por filtro prensa:</b>	<b>39</b>
<b>v. Separación por centrifugación:</b>	<b>40</b>
<b>vi. Separación por filtro de tambor:</b>	<b>40</b>
<b>vii. Separación por decantación natural:</b>	<b>41</b>
<b>b. Procesos fisicoquímicos</b>	<b>42</b>
<b>2. Costes</b>	<b>43</b>
<b>4.2.3. Balsas de Nitrificación – Desnitrificación (NDN)</b>	<b>43</b>
<b>1. El proceso</b>	<b>44</b>
<b>a. Ventajas e inconvenientes</b>	<b>45</b>
<b>2. Costes</b>	<b>46</b>
<b>4.2.4. Producción de compost</b>	<b>46</b>
<b>1. El proceso</b>	<b>47</b>
<b>a. Pilas estáticas con aireación pasiva</b>	<b>48</b>
<b>b. Pilas estáticas con aireación forzada</b>	<b>48</b>
<b>c. Hileras con agitación mecánica</b>	<b>48</b>
<b>d. Reactores o silos</b>	<b>48</b>
<b>2. Etapas</b>	<b>48</b>
<b>3. Efectos sobre el medio</b>	<b>49</b>
<b>4. Ventajas y desventajas</b>	<b>49</b>
<b>5. Costes</b>	<b>50</b>
<b>4.3. Tratamientos de carácter extensivo</b>	<b>50</b>
<b>4.3.1. Almacenamiento de los purines</b>	<b>50</b>

<b>1. Tipos de sistemas de almacenamiento de purines</b>	<b>51</b>
<b>a. Tanques exteriores</b>	<b>51</b>
<b>i. Tanques excavados en el terreno o fosas:</b>	<b>51</b>
<b>ii. Tanques contruidos sobre el nivel del terreno:</b>	<b>52</b>
<b>b. Balsas</b>	<b>53</b>
<b>c. Cisternas flexibles portátiles</b>	<b>54</b>
<b>2. Sistemas de cubrición</b>	<b>55</b>
<b>3. Ventajas y desventajas</b>	<b>56</b>
<b>4. Costes</b>	<b>57</b>
<b>4.3.2. Lagunaje</b>	<b>57</b>
<b>a. Lagunas de estabilización anaerobias</b>	<b>58</b>
<b>b. Lagunas facultativas</b>	<b>60</b>
<b>c. Lagunas de maduración o aeróbicas</b>	<b>61</b>
<b>i. Ventajas y desventajas de los sistemas de lagunaje</b>	<b>62</b>
<b>ii. Costes</b>	<b>62</b>
<b>d. Humedales artificiales</b>	<b>63</b>
<b>i. Procesos de depuración en los humedales artificiales.</b>	<b>64</b>
<b>1. Humedales de flujo superficial horizontal</b>	<b>65</b>
<b>a. Morfología</b>	<b>66</b>
<b>2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal</b>	<b>67</b>
<b>a. Morfología</b>	<b>68</b>
<b>3. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical</b>	<b>68</b>
<b>a. Morfología</b>	<b>69</b>
<b>i. Ventajas y desventajas</b>	<b>70</b>
<b>4.4. Sistemas basados en la combinación de diferentes tecnologías</b>	<b>71</b>
<b>4.4.1. Laguna anaeróbica + Humedal intensivo FBATM + Remoción de fósforo</b>	<b>72</b>
<b>1. El proceso depurativo</b>	<b>72</b>
<b>2. Costes</b>	<b>73</b>
<b>4.4.2. Tecnología Innova</b>	<b>74</b>
<b>1. El proceso</b>	<b>74</b>
<b>2. Costes</b>	<b>76</b>
<b>4.4.3. Tecnología TAYA</b>	<b>76</b>

1. <i>El Proceso</i>	76
2. <i>Rendimientos</i>	79
4.4.4. <i>Proceso de tratamiento experimental de purines de A Chaira.</i>	82
1. <i>El proceso</i>	83
<b>5. ALTERNATIVAS SOSTENIBLES</b>	<b>84</b>
5.1. <i>Criterios de selección de las alternativas sostenibles</i>	84
5.1.1. <i>Recursos naturales</i>	84
5.1.2. <i>Necesidades de infraestructura pública</i>	85
5.1.3. <i>Impacto tecnológico</i>	85
5.1.4. <i>Impacto social</i>	86
5.1.5. <i>Impacto espacial</i>	86
5.1.6. <i>Formas de organización productiva</i>	86
5.1.7. <i>Costos privados</i>	86
5.1.8. <i>Costos sociales</i>	86
5.1.9. <i>Criterios de medición</i>	87
5.2. <i>Análisis de alternativas</i>	88
5.2.1. <i>Aplicación directa de los purines (A)</i>	88
1. <i>Recursos naturales</i>	88
2. <i>Necesidades de infraestructura pública</i>	93
3. <i>Impacto tecnológico</i>	93
4. <i>Impacto social</i>	94
5. <i>Impacto espacial</i>	94
6. <i>Formas de organización productiva</i>	95
7. <i>Costos privados</i>	96
8. <i>Costos sociales</i>	97
5.2.2. <i>Humedales artificiales (B)</i>	97
1. <i>Recursos naturales</i>	97
2. <i>Necesidades de infraestructura pública</i>	100
3. <i>Impacto tecnológico</i>	101
4. <i>Impacto social</i>	101
5. <i>Impacto espacial</i>	102
6. <i>Formas de organización productiva</i>	103
7. <i>Costos privados</i>	103

<b>8. Costos sociales</b>	<b>104</b>
<b>5.2.3. Laguna anaerobia + Humedales intensivos FBA™ + Remoción de fósforo (C)</b>	<b>104</b>
1. Recursos naturales	104
2. Necesidades de infraestructura pública	107
3. Impacto tecnológico	107
4. Impacto social	108
5. Impacto espacial	108
6. Formas de organización productiva	109
7. Costos privados	109
8. Costos sociales	109
<b>5.2.4. Digestión anaerobia – producción de biogás</b>	<b>110</b>
1. Recursos naturales	110
2. Necesidades de infraestructura pública	112
3. Impacto tecnológico	113
4. Impacto social	113
5. Impacto espacial	114
6. Formas de organización productiva	114
7. Costos privados	115
8. Costos sociales	115
<b>5.3. Selección de alternativas viables</b>	<b>115</b>
5.3.1. Análisis comparativo de las alternativas propuestas	116
5.3.2. Conclusión	116
<b>5.4. Descripción de las alternativas viables</b>	<b>117</b>
<b>5.4.1. Laguna anaerobia + Humedales intensivos FBA™ + Remoción de Fósforo</b>	<b>117</b>
1. Proceso de depuración	117
a. Laguna anaeróbica	119
b. Humedal Artificial FBA	119
c. Reducción de fósforo	120
d. Almacenamiento en alberca de riego	120
2. Proceso constructivo	121
3. Labores de mantenimiento y explotación	122

<b>4. Costes</b>	<b>125</b>
<b>5.5. Resumen del proyecto Laguna anaerobia + Humedales intensivos FBA™</b>	<b>126</b>
<b>5.6. Aplicabilidad al entorno del proyecto Life Regenera Limia</b>	<b>127</b>
<b>6. CONCLUSIONES FINALES</b>	<b>128</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>129</b>



# GUÍA PARA EL TRATAMIENTO DE PURINES DE CERDO

## 1. INTRODUCCIÓN

La fase de ejecución del proyecto Life Regenea Limia comienza en enero de 2014 con la finalidad de desarrollar de soluciones demostrativas para reducir la eutrofización de origen agroganadero en la cuenca del río Limia.

Los objetivos concretos fueron:

1. Demostrar que es posible una mejor gestión medioambiental de los terrenos agrarios mediante la optimización del uso de fertilizantes de origen orgánico a través de un sistema de control integrado de condiciones edafológicas. Esto significa que es posible mejorar los resultados económicos y minimizar los riesgos ambientales.
2. Desarrollar soluciones alternativas para la gestión de los residuos ganaderos y reducir su impacto en el ambiente, apostando por humedales artificiales intensivos de macrófitos como forma natural de la depuración. Se determinará la efectividad de este sistema, así como la adecuada relación del coste-eficiencia de las técnicas aplicadas.
3. Demostrar que la recuperación ambiental de cauces fluviales modificados y la regeneración y reconexión de sistemas lagunares son opciones viables que contribuyen a reducir la presencia de nutrientes en el agua y la eutrofización, a la vez que se recupera los ecosistemas locales, de especial trascendencia en espacios incluidos en la Red Natura 2000.
4. Mejorar la información entre el colectivo de ganaderos y agricultores y otros profesionales relacionados con el sector agropecuario en cuestiones relativas a la fertilización y uso de abonos, sensibilizar sobre el efecto que estos tienen en el suelo y agua de la comarca y ofrecer herramientas y asesoramiento que faciliten un menor impacto de la actividad agro- ganadera en el medio.
5. Promover el impacto ampliado de los resultados obtenidos, tanto a nivel local y comarcal, implicando para ello a todas las partes interesadas y haciéndoles partícipes del mismo, contribuyendo a hacer visible al Instrumento LIFE+; como a un nivel más amplio dentro y fuera de Galicia, cooperando con otros agentes a nivel europeo que persigan también mejorar la calidad del agua y la buena gestión del recurso en zonas agrarias.

La empresa Ecolagunas, S.L. participa como socio de este proyecto para el desarrollo de una experiencia piloto con carácter demostrativo, que tras una fase previa de adaptación y combinación de las tecnologías punta en el mercado y la redacción de un proyecto de Obra de una planta piloto de tratamiento de purines de cerdo mediante humedales artificiales intensivos de macrófitos, debía culminar con la construcción y explotación de la misma.

Ante la imposibilidad de finalizar el proyecto piloto realizado en el plazo asignado al proyecto Life Regenera Limia, se adopta por parte de los socios del proyecto la iniciativa



de encargar a ECOLAGUNAS, S.L. la elaboración de una guía que sirva como divulgación de los métodos e instalaciones utilizables para el tratamiento de los purines, y en especial de los purines de cerdo en el entorno de la comarca de Limia; de tal forma que se pueda dar cumplimiento en parte a uno de los principales objetivos de la acción descrita, en lo que respecta a la divulgación de métodos de tratamiento de purines que orienten a los ganaderos, industrias, administraciones públicas y cualquier otro agente interesado relacionadas con la producción pecuaria.

## **2. OBJETIVO:**

El objetivo es disponer de una guía sobre sistemas de tratamiento de purines, que contenga las alternativas de tratamiento de purines sostenibles existentes en este momento, para lo que deberán cumplir las condiciones de viabilidad económica, viabilidad técnica, impacto ambiental y aceptación social.

## **3. ANÁLISIS GENERAL DEL ENTORNO**

Desde la revolución industrial el mundo ha visto como la calidad del agua disponible ha ido reduciéndose por causa del incremento de la contaminación por vertidos, principalmente debida a la producción industrial y la producción de alimentos, hasta llegar a una situación actual de crisis en la que se estima que el 80% del agua utilizada se devuelve al medio sin ningún tipo de tratamiento. Las consecuencias impactan muy negativamente en la salud humana y la de los ecosistemas que a su vez ocasionan trillones de euros de pérdidas directas e indirectas; ya que la disponibilidad de agua, junto con la biodiversidad, son dos de los principales factores, si no los principales, que posibilitan el crecimiento de la economía y el desarrollo y la calidad de vida de las comunidades.

Dentro del sector de la producción de alimentos, la ganadería intensiva, en especial la bovina, porcina y avícola, es la actividad que ocasiona una mayor degradación de la calidad del agua por unidad de volumen consumido.

Si nos centramos en el sector de porcino, solo en el área de la Unión Europea, segunda potencia mundial después de china, produce 23,3 millones de toneladas al año, en 2,2 millones de explotaciones.

Las exportaciones europeas de porcino, con 4 millones de Ton/año, son el equivalente al 16% del volumen total de la producción, siendo así el principal motor del comercio internacional cárnico de la UE, con un balance positivo anual en torno a los 7.700 millones de euros. La importancia estratégica del sector se valora mejor si consideramos que el superávit comercial para el conjunto del sector agroalimentario europeo se sitúa alrededor de los 20.000 millones de euros.

En el caso de España está en un nivel intermedio siendo un país netamente exportador, llegando a alcanzar en 2018 los 5.022 millones de euros, gracias a una elevada producción con los más altos estándares de calidad a un precio competitivo.

Así, el porcino representa el 38% de la producción ganadera con una facturación en torno a los 6.000 millones de Euros (el 2% del producto interior bruto). Es, por lo tanto,

el principal sector ganadero y el segundo en importancia en el sector agroalimentario por detrás de la producción de frutas y hortalizas.

En este contexto, existen importantes retos a los que este sector deberá hacer frente, y para ello, será necesario que la mentalidad del sector siga evolucionando como ya ha venido haciendo en los últimos años, para adaptarse a los cambios normativos en relación con la ordenación, el medioambiente y el bienestar animal.

Algunos de estos retos son recurrentes y comunes con otros sectores cárnicos :

- *“Mejorar el reparto del valor añadido a lo largo de la cadena alimentaria,*
- *Reforzar la posición de los ganaderos a través de sus estructuras organizativas,*
- *Hacer frente a la volatilidad tanto en el precio de los insumos como en el obtenido por el producto final,*
- *La propia reforma de la PAC, cuyas constantes reformas obliga a los agentes involucrados, especialmente a los productores, a constantes adaptaciones a las normas. ”*

Otros son específicos del porcino y resolverlos o no en los próximos años determinará en gran medida la competitividad y pujanza del sector:

- *“Bienestar animal. Existe legislación europea al respecto, que normalmente debería evolucionar hacia normas más exigentes. Y existe la práctica diaria en las explotaciones y los mataderos. Recientes ejemplos muestran la extraordinaria sensibilidad de esta cuestión. Se puede optar entre ir a remolque de la legislación o adelantarse a ella, sabiendo que todo lo que se avance en este ámbito redundará en beneficio del sector. Es fundamental que Europa mantenga en el futuro su liderazgo mundial en un aspecto que forma parte de su imagen de marca.*
- *Medioambiente. Continúa siendo uno de los puntos débiles de una ganadería que ha hecho de la concentración geográfica de la producción, un elemento para ganar competitividad. La gestión de purines y olores es fundamental y ya existen ejemplos en la UE y fuera de ella donde son las normas medioambientales las que han puesto un freno a la expansión de la producción porcina. Todos los avances que se realicen en este campo están justificados.*
- *Cambio climático. Aunque en comparación con las anteriores todavía algunos lo consideran hoy una cuestión menor, la problemática de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la cría de los animales, la elaboración de la carne y la logística de su distribución hasta el consumidor final cobrarán una importancia cada vez mayor.*
- *Acompañar las preocupaciones nutricionales del consumidor y, en la medida de lo posible, anticiparlas. Las exigencias sobre salubridad, sabor, presentación y facilidad de utilización no dejarán de incrementarse en el futuro, y es bueno que eso sea así.”*

Fuente: Carazo – Jiménez, L. (2018). Situación y perspectivas del sector porcino europeo. El sector porcino, de la incertidumbre al liderazgo. Cajamar Caja Rural. España. Páginas 47 - 60



Como sabemos, todas las explotaciones pecuarias intensivas, y por ende las de porcino, llevan aparejadas la producción de estiércol líquido.

Los retos que plantean en los puntos referidos a Medioambiente y Cambio Climático están estrechamente vinculados a la gestión de los purines producidos y su correcto manejo. Ambos aspectos tendrán una gran repercusión en las posibilidades de evolución y crecimiento del sector.

En la siguiente figura pueden verse de forma resumida el conjunto de interacciones asociadas a la producción porcina y su efecto potencial sobre el medio.

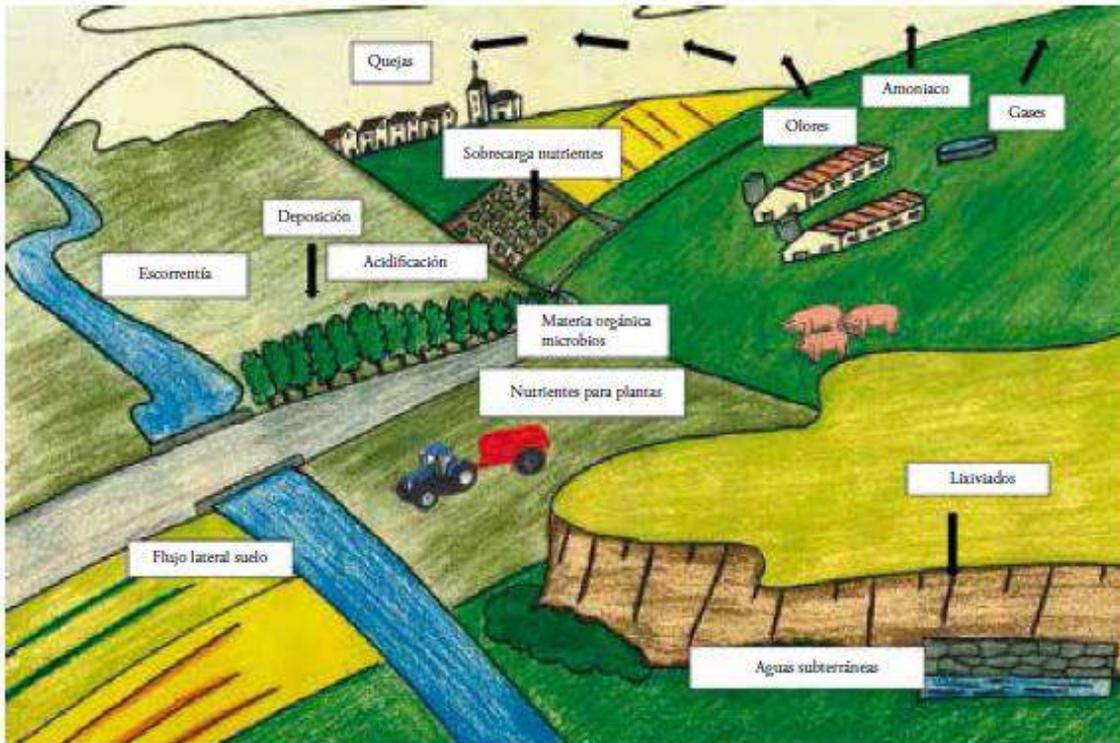


Figura 1 - Fuente: Babot – Gaspa, D., Soldevilla – Novell, C., Bonet – García, J., Coma – Subira, J., Calvet – Sanz, S., Parera – Pous, J., Blanco – Abilla, G., Gallat – Arenal, R. (2018) Innovación en producción porcina y medioambiente. El sector porcino, de la incertidumbre al liderazgo. Cajamar Caja Rural.

Tradicionalmente, los residuos procedentes de la ganadería se han utilizado como abono, pero en la actualidad el notable aumento de la producción junto con su alto poder contaminante genera importantes problemas medioambientales, que se pueden resumir en:

- La formación de malos olores y emisión de amoníaco y metano por el almacenamiento de grandes volúmenes en balsas impermeabilizadas. Estos gases contribuyen al efecto invernadero. El metano produce un efecto invernadero hasta 20 veces superior al del CO<sub>2</sub>.
- La oxidación del nitrógeno en nitrato, un anión que no es retenido por el suelo y que puede contaminar acuíferos y aguas superficiales. La Organización Mundial de la Salud (OMS) no recomienda el consumo de agua con una concentración mayor a 25 miligramos de nitrato por litro. La normativa europea, en cambio, permite el consumo con una concentración de hasta 50 mg/l.

- La dispersión de microorganismos patógenos para la salud humana.
- La infiltración de nitratos, fosfatos y otros compuestos en aguas subterráneas que tienen como consecuencia la eutrofización, es decir, un exceso de nutrientes que conlleva el cambio de la composición del suelo y la sustitución de unas especies vegetales por otras.
- La acumulación en el suelo de metales pesados como Cobre y Zinc. Los metales son introducidos en la dieta del cerdo y, aunque una pequeña cantidad es requerida para el desarrollo de las plantas, altas concentraciones son fitotóxicas, es decir, pueden producir daños en las especies vegetales.

En los últimos años se han venido proponiendo distintas alternativas enfocadas a su tratamiento, sin embargo, hasta ahora todas ellas presentan inconvenientes sin resolver, ya sean de viabilidad medioambiental o económica.

Por otro lado, existe ya un marco legislativo en materia medioambiental que condicionan la producción, entre las que cabe destacar:

- La Directiva 91/676/CEE del Consejo (Real Decreto 261/1996), relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Esta normativa dio paso al desarrollo de los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias como guías de aplicación y obligado cumplimiento.
- La Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (Real Decreto Legislativo 1/2016), sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). En ella se establecen las normas para evitar o, cuando ello no sea posible, reducir las emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo, y evitar la generación de residuos con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medioambiente, considerado en su conjunto.
- La Directiva 2016/2284/EU, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, al fijar límites máximos para las emisiones anuales totales de los Estados miembros a partir de 2010, correspondientes al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM) y el amoníaco (NH<sub>3</sub>). En este sentido, cabe destacar el compromiso para España en relación a la necesidad de reducir las emisiones de NH<sub>3</sub> en un 3 % anual hasta 2019 y en un 16 % anual a partir del 2030. Hay que resaltar también el compromiso que supone el Acuerdo de París, de 12 de diciembre de 2015, sobre el cambio climático, de carácter jurídicamente vinculante, por el que todos los países se comprometían a participar en las reducciones globales de gases de efecto invernadero, con el objetivo de frenar el calentamiento mundial.
- Real Decreto 980/2017, de 10 de noviembre, por el que se modifican los Reales Decretos 1075/2014, 1076/2014, 1077/2014 y 1078/2014, todos ellos de 19 de diciembre, dictados para la aplicación en España de la Política Agrícola Común.

En España, las explotaciones porcinas se concentran principalmente en Cataluña (42,2%), Aragón (10,4%) y Castilla y León (13,9%), las cuales abarcan el 66,5% de la producción total de carne de cerdo (MAGRAMA, 2015).

Debido a la distribución geográfica desigual del sector, en algunos casos en pequeñas zonas como sucede en la provincia de Murcia o en la comarca de A Limia en Ourense, origina concentraciones muy altas con una elevada densidad de producción que agrava el problema de la falta de tierra agrícola donde aplicar los purines conforme a la

normativa vigente. Además, como consecuencia de la actuación descontrolada de algunas granjas, parte del terreno antes que antes estaba disponible, actualmente no es apto para recibir purín al ser declarado Zona Vulnerable. Éste es el motivo por el cual se han producido deslocalizaciones a comunidades autónomas con normativas más permisivas y con mayor extensión de tierras donde aplicar los purines.

Con el fin de visualizar mejor este problema hemos calculado el volumen de purín producido en España, Galicia, Ourense y Comarca de A Lima.

Para calcular la producción de purín nos hemos basado en los datos que figuran en el ANEXO I del Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.

Equivalencias en UGM de los distintos tipos de ganado porcino y el contenido en nitrógeno de sus estiércoles al inicio del período de almacenamiento.

<b>Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. ANEXO I</b> <b>Equivalencias en UGM de los distintos tipos de ganado porcino y el contenido en nitrógeno de sus estiércoles al inicio del período de almacenamiento</b>			
Tipo de ganado (plaza)	Estiércol líquido (m <sup>3</sup> /año)	Contenido en Nitrógeno (Kg/plaza/año)	Equivalencia en UGM
Cerda en ciclo cerrado *	17,75	57,6	0,96
Cerda con lechones hasta deslactar	5,1	15	0,25
Cerda con lechones hasta 20 días	6,12	18	0,3
Cerda de reposición	2,5	8,5	0,14
Lechones de 6 a 20 kgs	0,41	1,19	0,02
Cerdo de 20 a 50 kgs	1,8	6	0,1
Cerdo de 50 a 100 kgs .	2,5	8,5	0,14
Cerdo de cebo de 20 a 100 kg	2,15	7,25	0,12
Verracos	6,12	18	0,3

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

En las tablas que se incluyen a continuación se calcula la producción por áreas geográficas a partir del censo ganadero



GUÍA PARA EL TRATAMIENTO DE PURINES DE CERDO

PROYECTO LIFE REGENERA LIMIA. Ourense, junio de 2019



ENCUESTAS GANADERAS, 2018 (PROVISIONALES)								Producción media de Estiércol líquido y similitido (m3/año)
GANADO PORCINO								
Análisis provincial del censo de animales por tipos, NOVIEMBRE 2018 (número de animales)								
Provincias y Comunidades Autónomas	Total animales	Lechones <sup>1</sup>	Cerdos de 20-49 kg (peso vivo)	Cerdos en cebo				
				Total cerdos de cebo (peso vivo)	De 50-79 kg	De 80-109 kg	> 109 kg	
Coruña (La)	336.344	131.862	52.314	114.311	48.778	63.995	1.537	
Lugo	214.477	25.899	58.528	119.481	61.883	55.416	2.183	
Ourense	334.946	90.151	66.037	146.758	65.089	48.292	33.377	
<b>Producción de purín m<sup>3</sup> cerdo/año</b>		<b>0,41</b>	<b>1,80</b>		<b>2,40</b>	<b>2,60</b>	<b>3,00</b>	
<b>Producción total de purín m3/año</b>		<b>36.962</b>	<b>118.867</b>	<b>0</b>	<b>156.214</b>	<b>125.559</b>	<b>100.132</b>	<b>537.734</b>
Pontevedra	315.023	67.228	56.142	171.769	53.636	93.124	25.009	
<b>GALICIA</b>	<b>1.200.790</b>	<b>315.140</b>	<b>233.022</b>	<b>552.319</b>	<b>229.386</b>	<b>260.827</b>	<b>62.106</b>	
<b>Producción de purín m<sup>3</sup> cerdo/año</b>		<b>0,41</b>	<b>1,80</b>		<b>2,40</b>	<b>2,60</b>	<b>3,00</b>	
<b>Producción total de purín m3/año</b>		<b>129.207</b>	<b>419.440</b>	<b>0</b>	<b>550.527</b>	<b>678.150</b>	<b>186.319</b>	<b>1.963.643</b>
<b>ESPAÑA</b>	<b>30.804.102</b>	<b>8.550.742</b>	<b>6.897.156</b>	<b>12.826.785</b>	<b>5.138.342</b>	<b>6.083.326</b>	<b>1.605.118</b>	
<b>Producción de purín m<sup>3</sup>/año</b>		<b>0,41</b>	<b>1,80</b>		<b>2,40</b>	<b>2,60</b>	<b>3,00</b>	
<b>Producción total de purín m3/año</b>		<b>3.505.804</b>	<b>12.414.881</b>	<b>0</b>	<b>12.332.021</b>	<b>15.816.647</b>	<b>4.815.354</b>	<b>48.884.706,65</b>

Provincias y Comunidades Autónomas	Verracos	Cerdas Reproductoras				
		Total Cerdas Reproductoras	Nunca han parido		Han parido	
			Cerdas todavía no cubiertas	Cerdas cubiertas por 1ª vez	Cerdas cubiertas más veces	Cerdas criando o en reposo
Coruña (La)	165	37.692	3.016	1.827	26.257	6.591
Lugo	103	10.466	838	36	7.116	2.475
Ourense	137	31.862	2.785	2.490	20.751	5.837
<b>Producción de purín m<sup>3</sup> cerdo/año</b>		<b>6,12</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>	<b>5,61</b>	<b>4,05</b>
<b>Producción total de purín m3/año</b>		<b>840</b>	<b>6.962</b>	<b>6.225</b>	<b>116.411</b>	<b>23.640</b>
Pontevedra	80	19.803	1.706	1.985	9.673	6.439
<b>GALICIA</b>	<b>485</b>	<b>99.824</b>	<b>8.345</b>	<b>6.339</b>	<b>63.797</b>	<b>21.342</b>
<b>Producción de purín m<sup>3</sup> cerdo/año</b>		<b>6,12</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>	<b>5,61</b>	<b>4,05</b>
<b>Producción total de purín m3/año</b>		<b>2.970</b>	<b>20.863</b>	<b>15.847</b>	<b>357.903</b>	<b>86.436</b>
<b>ESPAÑA</b>	<b>15.927</b>	<b>2.177.670</b>	<b>260.566</b>	<b>235.674</b>	<b>1.269.327</b>	<b>412.105</b>
<b>Producción de purín m<sup>3</sup> cerdo/año</b>		<b>6,12</b>	<b>2,50</b>	<b>2,50</b>	<b>5,61</b>	<b>4,05</b>
<b>Producción total de purín m3/año</b>		<b>97.476</b>	<b>651.414</b>	<b>589.184</b>	<b>7.120.927</b>	<b>1.669.025</b>

A LIMIA			
Concello	Prazas de reproductoras	Prazas de cebo	
Baltar	1.846	9.571	
Blancos, Os	5.500	18.641	
Calvos de Randín		4.993	
Porqueira, A			
Rairiz de Veiga	2.065	10.171	
Sandiás	1.190	19.244	
Sarreaus	525	29.538	
Trasmiras	777	6.818	
Vilar de Barrio		5.150	
Villar de Santos	296	2.300	
Xínzo de Limia	2.824	37.246	
<b>SUBTOTAL</b>	<b>15.023</b>	<b>143.672</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>158.695</b>	
<b>Producción de purín m<sup>3</sup> cerdo/año</b>		<b>5,61</b>	<b>2,15</b>
<b>Producción total de purín m3/año</b>		<b>84.279</b>	<b>308.895</b>
<b>TOTAL A LIMIA</b>	<b>393.174</b>		

Año 2018, producción total de purín de cerdo en m3.	
TOTAL A LIMIA	393.174
TOTAL OURENSE	691.811
TOTAL GALICIA	2.447.662
TOTAL ESPAÑA	59.012.732,73

Tablas e elaboración propia a partir de datos de Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, de INE y IGE.

La importancia de este volumen de purín producido se comprende mejor si decimos que en el territorio español se llenarían de purín 24.000 piscinas olímpicas al año.

Por todo lo expuesto se hace necesaria la investigación y el desarrollo de nuevos métodos de tratamiento de purines que permitan gestionar dichos residuos de un modo sostenible técnica, económica y medioambientalmente.

Ello permitirá al sector adaptarse a las nuevas exigencias en materia de sostenibilidad y competitividad que ya en la actualidad condicionan el desarrollo y crecimiento del sector. Por el contrario, la ausencia de soluciones a la gestión sostenible y económicamente viable de los purines pone en grave riesgo uno de los sectores más importantes de la economía de la UE y en particular de España.

En este entorno, se pone en marcha el Proyecto Life Regenera Limia, cuya finalidad en parte, es plantear alternativas que respondan a esta necesidad.

El resultado en este apartado, finalmente se ha concretado en esta guía orientativa sobre los diferentes sistemas de tratamiento para uso de los agentes involucrados.

## 4. REVISIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA GESTIÓN DE LOS PURINES

Tradicionalmente el ser humano ha criado animales con tres finalidades principales:

- **Animales para consumo doméstico y familiar:** Estos solo se limitan a cubrir las necesidades de alimentación del propietario. En caso de existir excedentes estos se destinan al mercado local o a un intercambio por otros productos.
- **Animales para el trabajo agrícola:** Aquellos animales cuya finalidad principal era la de ser empleados como herramientas de trabajo agrícola, tales como mulas, burros, caballos y vacas.
- **Animales criados para obtener distintos productos de ellos,** como lana, leche, carne o piel, generalmente especializados en uno o más productos de una misma especie, con una finalidad comercial.

En España, a partir de los años 70 del siglo pasado, se produjo un cambio de tendencia hacia un sistema productivo de tipo intensivo que trajo consigo un **cambio en el manejo de los residuos producidos** por estos animales, debido al importante **incremento del volumen** de desechos obtenidos en explotaciones con insuficiente base territorial.

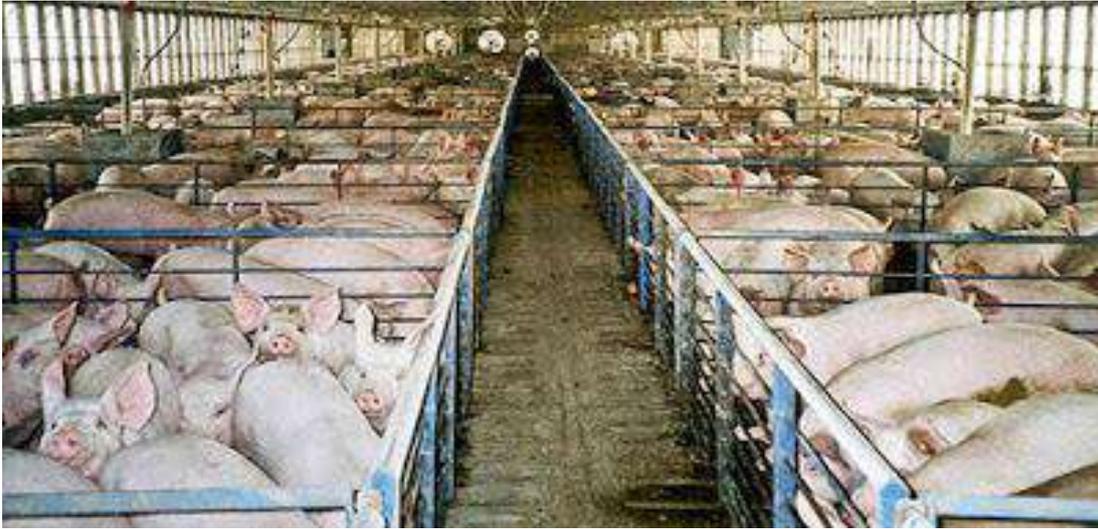
En la actualidad, el **gran crecimiento del número de explotaciones** ganaderas intensivas para la producción de carne o leche, va asociado a la producción de purines cuyo manejo inadecuado ha generado **grandes problemas medioambientales** fundamentalmente por contaminación de suelos y acuíferos, pero también por la disminución de la calidad del aire.

Por ello, la Administración ha desarrollado un **marco legislativo muy estricto**, con la finalidad de frenar los problemas derivados de la mala praxis en la aplicación como



abono, principalmente de aquellos que sobrevienen como consecuencia de la sobredosificación en los suelos.

A día de hoy existen múltiples sistemas para una adecuada gestión de los purines, evitando la aparición de problemas de contaminación asociados a su incorrecta o excesiva aplicación directa sobre el terreno. A continuación, se expone una relación de distintos sistemas de tratamiento.



*Imagen 1- Explotación porcina*

Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/-rcUHijQBbPo/UJr9HBiAtnI/AAAAAAAAAFW4/PAAgo8cdX9g/s1600/Ganader%C3%ADa+Intensiva.jpg>

## 4.1. Tratamientos tradicionales

### 4.1.1. Aplicación directa

El empleo directo del purín sobre el terreno, sin ningún tipo de tratamiento previo, para la fertilización de tierras próximas a las explotaciones agrarias es una técnica que cuenta con miles de años. En ella se da una simbiosis entre ganadero y agricultor y se reducen los costes aprovechando al máximo los recursos de las explotaciones. Sin embargo, los terrenos agrícolas tienen una determinada capacidad de carga de purines, dada tanto por la composición fisicoquímica del suelo como por las condiciones climáticas.

El purín presenta una gran variabilidad en su composición, por lo que es necesario la realización de analíticas antes de su aplicación agrícola, lo que permite conocer su valor agronómico en función de su riqueza en:

- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P) y
- Potasio (K).

Con ello se consigue calcular la dosis de aplicación según el tipo de cultivo de la parcela. En la mayoría de los casos es necesario el transporte del purín hasta las parcelas donde se va a aplicar, generalmente desde las zonas en las que la capacidad de carga del

terreno se ha completado hasta aquellas que soportan una carga de nutrientes inferior. Este transporte del purín sin procesar se puede realizar con medios propios del ganadero / agricultor o bien contratando el servicio de una empresa externa.

A continuación, se muestran los principales sistemas de aplicación directa del purín al medio, que pueden diferenciarse entre ellos de manera general en función de la distancia al suelo a la que se produce la aplicación:



Figura 2: Sistemas de aplicación de purines en función de la distancia al suelo a la que realizan el aplicado

### 1. Aspersión en abanico\*

Es el sistema de aplicación más empleado. Se expulsa un chorro desde una boca o un cono y este impacta en un plato. En función de la posición del cono, la dirección de la fragmentación del purín podrá ser hacia arriba o hacia abajo. La altura de la proyección puede variar generalmente entre los 2 y los 3 metros y la anchura oscila entre los 7 y los 12 en función de la orientación del plato.

En los casos en que es hacia arriba el viento favorece la difusión de olores y el chorro puede resultar desviado en relación al sentido del avance, aunque la anchura útil de trabajo es más amplia. En los casos en que la fragmentación es hacia abajo esos problemas de olores y de desvío se reducen, aunque también lo hace la anchura útil de trabajo.

En cualquier caso, la distribución es de mala calidad y es complicado conseguir una dosis de aplicación precisa. Además se produce una volatilización de amoníaco.





*Imagen 2: Aplicación por aspersión en abanico*

*Fuente: Pérez – de Ciriza Grainza, J. (2005). Purines. Elección de la cisterna de purín y sus equipamientos de reparto. Navarra agraria. 151. Pp: 13 – 19*



*Imagen 3: Distintos tipos de plato para la aplicación en abanico*

*Fuente: <https://www.beguer.es/>*

*\* Aunque actualmente su aplicación se encuentra bajo moratoria en Galicia como en la mayor parte de las CCAA, el Real Decreto 980/2017, de 10 de noviembre, prohíbe a los agricultores y ganaderos que cobran la PAC aplicar purines mediante sistemas de plato, abanico o cañones, por lo que podemos considerar este método como no válido.*

## **2. Método de rampa multiboquilla**

Este sistema emplea una tubería situada en la parte posterior de la cuba que se despliega transversalmente y en la existen un conjunto de boquillas distribuidas uniformemente a lo largo de la misma. Estas boquillas normalmente son entre 2 y 16 por lo que la anchura de trabajo estará condicionada por el número de boquillas, oscilando entre los 10 y los 12 metros en los sistemas más comunes. La distancia de aplicación al suelo varía normalmente entre los 30 y los 50 centímetros.

El principal problema de este sistema radica en la posibilidad de obstrucción por lo que el operario ha de revisar que estas se encuentren en condiciones operativas. Este sistema permite una uniformidad de reparto mayor que en el caso anterior, reduciendo sensiblemente las pérdidas de nitrógeno por volatilización y los olores. Debe contar con dispositivos antigoteo, que en ocasiones va asociado al dispositivo de plegado de la tubería de distribución. Este sistema se aconseja para purines líquidos, y se recomienda el empleo de un repartidor – cortador para impedir las obstrucciones.



*Imágenes 4 y 5: Método de aplicación mediante rampa multibocanilla y detalle de las mismas*  
Fuente: <https://www.joskin.com/es>.

### **3. Método de localización en superficie mediante tubos colgantes**

Este método emplea un sistema de tubería general plegable de la que penden de 20 a 80 tubos flexibles independientes, a través de las cuales fluye el purín hasta el suelo.

Los tubos se separan alrededor de 20 cm entre ellos y son de pequeño diámetro, por lo que es recomendable la instalación de un sistema de trituración que desmenuce los sólidos que pudieran obstruirlos. La anchura de aplicación varía entre los 9 y los 16 metros dependiendo del sistema.

Al aplicarse el purín a pocos centímetros del suelo se produce una reducción muy significativa de los olores y se reduce la pérdida de nitrógeno.





Imagen 6: Método de aplicación mediante rampa con tubos colgantes  
Fuente: <https://www.agromaquinaria.es/>



Imagen 7: Detalle de la aplicación mediante rampa con tubos colgantes  
Fuente: <http://www.taustecge.es/>

#### 4. Método de localización en profundidad mediante sistema de rejas

Estos sistemas aplican el purín directamente bajo el suelo mediante enterradores o inyectores, existiendo distintos modelos en función del cultivo o terreno en el que se apliquen:

- Los **inyectores para pastos** trabajan a una profundidad inferior a la anterior (entre 3 y 5 cm) y permiten que el purín entre en contacto directo con el sistema radicular de las plantas, dejando a su paso tan solo un ligero surco, separado de los contiguos por 25 o 30 cm. La potencia de tracción es inferior al caso anterior.
- Los **inyectores para cultivos** realizan la inyección del purín en el terreno a la vez que tienen lugar los trabajos de arado de vertedera. Este trabajo se realiza con la ayuda de rejas con un sistema de brazos flexibles con puntas escarificadoras. La profundidad del enterrado en este caso es de 10 a 20 cm.

- Los **inyectores mixtos o polivalentes** están preparados para el trabajo en ambos tipos de terreno.

Las principales ventajas de estos sistemas sobre los de proyección y localización en superficie residen en sus menores impactos ambientales, ya que:

- Reducen el riesgo de escorrentía de los purines
- Evitan la emisión de nitrógeno y malos olores a la atmósfera.

Por el contrario sus desventajas:

- La complejidad de distribución es mayor, así como el consumo energético en la aplicación.

La variación principal entre estos métodos reside en:

- La profundidad a la que inyectan el purín (4 a 10 cm en el primer caso y de 10 a 20 en los dos últimos)
- La distancia entre los elementos inyectoros o enterradores (de 20 a 25 cm en el caso de los enterradores en pastos y de 40 a 70 cm en los otros dos).



*Imágenes 8 y 9: Sistema de rejas para la aplicación en profundidad del purín y sistema de rejas y detalle*  
Fuente: <https://unionclm.org/>





Imágenes 10 y 11: Sistema de enterrado de purines mediante discos y detalle de los surcos creados por este sistema

Fuente: <https://www.altemirfebas.com/> ; <https://www.jeantil.com/>

## 5. Ventajas y Desventajas

	Ventajas	Desventajas
Aspersión en abanico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precio económico</li> <li>- No sufre problemas de obstrucción con purines espesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su efectividad se ve condicionada por la lluvia o el viento</li> <li>- Reparto muy heterogéneo</li> <li>- Gran dispersión de olores</li> <li>- Volatilización del nitrógeno</li> <li>- Riesgo de escorrentía en dosis altas o riesgo de escorrentía por pendientes</li> <li>- No se permite su uso en las explotaciones con ayudas de la PAC</li> </ul>
Rampa multiboquilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena anchura de trabajo, de 8 a 12 metros</li> <li>- Reparto del purín más homogéneo que la aspersión en abanico</li> <li>- No requiere gran potencia</li> <li>- Menor emisión de olores y pérdida de nitrógeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor riesgo de obstrucción de las boquillas que en la aspersión por abanico</li> <li>- Coste mayor que en el caso anterior</li> <li>- Problemas de escorrentía en dosis altas</li> </ul>
Rampa de tubos colgantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El viento no influye en la uniformidad de aplicación, debido a que esta se realiza a nivel de suelo</li> <li>- Se reducen en gran medida los olores y la volatilización del nitrógeno</li> <li>- Método muy homogéneo que permite la aplicación en dosis bajas y en una anchura regulable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se necesita un triturador – distribuidor para evitar problemas de obstrucción en los tubos</li> <li>- En caso de aplicar dosis elevadas y existir una pendiente pronunciada existiría riesgo de escorrentía</li> <li>- El coste de este sistema es mayor que en los casos anteriores</li> </ul>
Sistemas de enterrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy buena uniformidad en el reparto del purín</li> <li>- No es necesario realizar un enterramiento posterior</li> <li>- Se evita casi por completo la emisión de olores y las pérdidas de nitrógeno por volatilización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es difícil detectar las obturaciones en las salidas</li> <li>- La anchura de aplicación es inferior a la de los otros métodos</li> <li>- Requiere, por ello, más pasadas para una misma superficie</li> <li>- Elevado coste del apuro</li> <li>- Requiere vehículos/tractores más potentes</li> </ul>

## 6. Factores que condicionan la elección del sistema de aplicación

La elección de estos sistemas de aplicación viene condicionada por una serie de circunstancias. En la siguiente tabla se evalúan los sistemas comentados anteriormente en función de estos factores:

	Aspersión en abanico	Rampa multiboquilla	Sistema de tubos colgantes	Sistemas de enterrado
Coste	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Uniformidad de aplicación	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Conservación del nitrógeno	Baja	Baja – media	Media	Alta
Emisión de olores	Alta	Alta	Media	Baja
Riesgo de escorrentía	Muy alta	Muy alta	Alta	Baja

Más adelante, en la selección de alternativas, se hará una descripción más en profundidad de estos sistemas.

En las situaciones en las que se ha alcanzado la capacidad de carga del terreno o las condiciones para la aplicación del purín no son adecuadas, este se almacena en depósitos individuales o colectivos, como se verá más adelante.

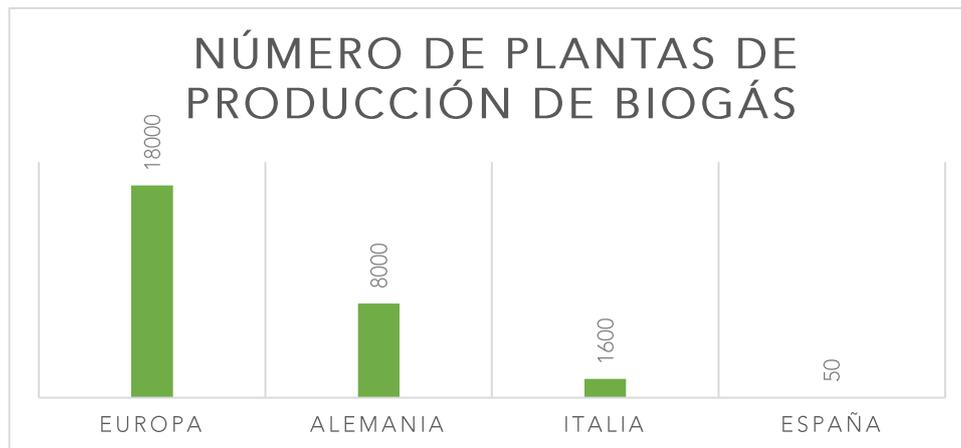
### 4.2. Tratamientos de carácter intensivo



### 4.2.1. Producción de biogás.

La digestión anaerobia de residuos de origen animal o vegetal para la obtención de energías renovables y fertilizantes es una alternativa sostenible a las energías convencionales que se ha demostrado ampliamente eficaz en muchos países, y que ha crecido a gran velocidad tanto en Europa, como en el resto del mundo.

En España, la implementación de este tipo de tecnología se ha visto estancada durante casi una década debido al mayor apoyo en su momento a la energía fotovoltaica y, posteriormente, a las restrictivas regulaciones al autoconsumo energético. En consecuencia, nuestro país cuenta con apenas 50 plantas de producción de biogás.



*Imagen 12: Planta de producción de biogás en Ucrania, la mayor de Europa, que trata 45 toneladas de pulpa de remolacha a la hora.  
Fuente: <http://geniaglobal.com/>*

Mediante este proceso, se obtiene una alta conversión de la materia orgánica en biogás, que se puede emplear para:

- Producción de energía térmica
- Producción de energía eléctrica



Imagen 13: Micro-digestor tipo Bioeléctrico. Granja lechera Dendauw en West-Flanders (Belgica).  
Fuente: "Brochure: SMALL-SCALE ANAEROBIC DIGESTION"

## 1. El proceso

La digestión anaerobia es un proceso biológico que se produce en la naturaleza de forma espontánea como parte del ciclo de la materia orgánica. En él participan microorganismos que en condiciones de ausencia de oxígeno (anaerobias) descomponen la materia orgánica produciendo como resultado un biogás y unos restos sólidos.

La digestión anaerobia para el aprovechamiento del biogás es en esencia el mismo proceso, sin embargo, este tiene lugar en unas estructuras llamadas digestores o biodigestores, que son sistemas diseñados para optimizar la producción de este biogás y convertirlo en energía eléctrica y térmica. El producto que se obtiene de la digestión se conoce como digestato.

El material empleado en los biodigestores puede provenir de industrias o procesos muy variados:

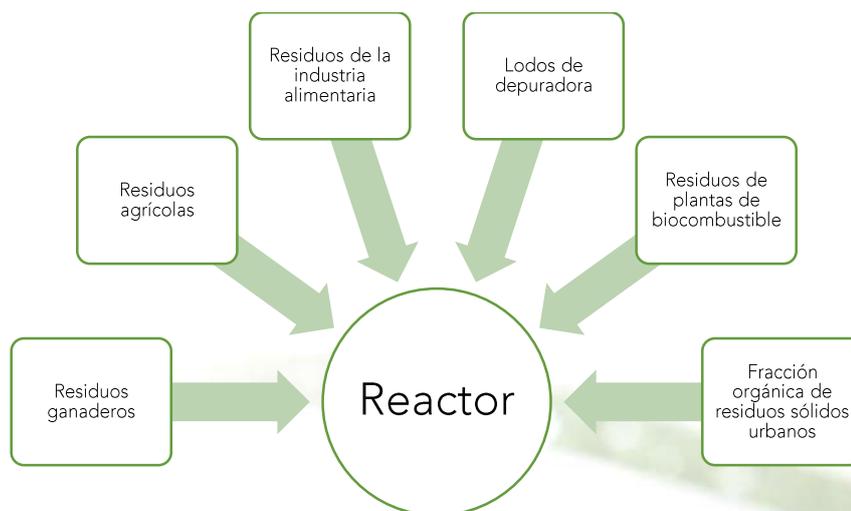


Figura 3: Tipos de residuos válidos para la generación de biogás

A continuación, se realiza una descripción más pormenorizada de las características de estos materiales susceptibles de ser empleados para la producción de biogás:

- **Residuos ganaderos y de granjas:** Como por ejemplo los purines
  - o **La gran abundancia de este recurso,** es el principal factor a favor del empleo de estos materiales para la biodigestión
  - o **Las principales limitaciones** del empleo de estos materiales son:
    - La baja producción de biogás que se da en el proceso, debido a la baja relación Carbono / Nitrógeno (C/N) presente en ellos. Esto es posible paliarlo mediante la codigestión con otros residuos agroindustriales que presenten una mayor relación C/N, como los restos vegetales de otras industrias.
    - Su excesiva liquidez
- **Residuos agrícolas:** Estos restos procedentes de cultivos para el consumo, energéticos o de generación de materias primas para la industria alimentaria son un sustrato adecuado para la digestión anaerobia.
  - o **Su principal potencialidad** es la adecuada relación C/N que en muchos casos no hace necesaria la adición de otros materiales
  - o **Sus principales limitaciones** son:
    - La estacionalidad del recurso
    - La variabilidad de la tipología del material, que genera una gran variabilidad en el potencial del biogás producido.
- **Residuos de la industria alimentaria:** Productos procedentes del procesado en industrias como la conservera, cervecera, láctea...
  - o **Su principal ventaja** es su alta carga orgánica, adecuada para su aprovechamiento.
  - o **La principal limitación** reside en que debido a la variabilidad de tipos de residuo es necesario un pretratamiento para maximizar el potencial de generación de biogás
- **Lodos de depuradora:** Los tratamientos de depuración de aguas residuales generan lodos que son muy difíciles de tratar, muy adecuados para la producción de biogás. Muchas estaciones depuradoras de aguas residuales se autoabastecen con el aprovechamiento térmico del biogás generado.
- **Residuos de plantas de biocombustible:** Este tipo de plantas generan grandes cantidades de glicerina, uno de los residuos de con mayor potencial de generación de biogás, generalmente procedente de plantas de producción de biodiesel.
- **Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos:** Constituyen una buena fuente de sustratos para la producción de biogás, si bien es necesaria una serie de separaciones previas. Ello permite la posibilidad de la reducción del volumen de estos residuos.



- **Biogás de vertedero:** Existen vertederos que disponen de una red de tuberías y chimeneas que conducen el gas generado en los procesos de fermentación de los vertidos hasta motores de generación eléctrica.

El biogás está compuesto principalmente por **metano** ( $\text{CH}_4$ ) y **dióxido de carbono** ( $\text{CO}_2$ ), en una proporción del 50-80% para el primero y del 20 – 50 % el segundo.

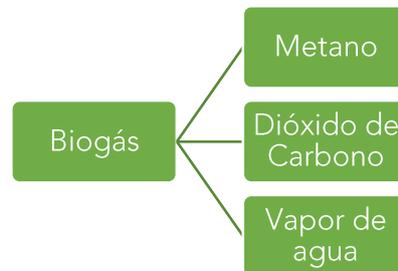


Figura 4: Composición mayoritaria del biogás

El metano posee un **potencial de calentamiento global 23 veces mayor** que el del dióxido de carbono, por lo que su aprovechamiento como fuente de energía supone además una contribución a la mitigación del efecto invernadero.

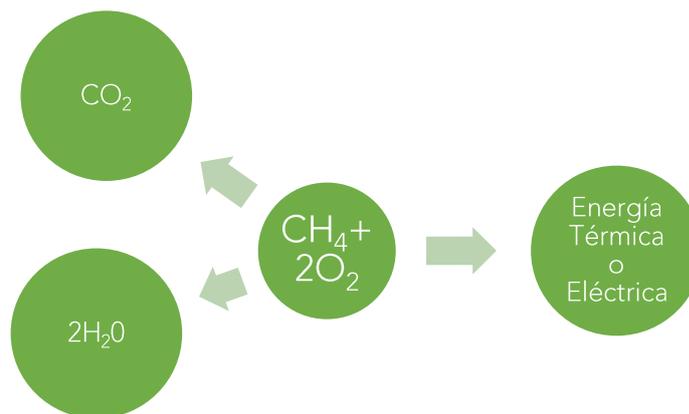


Figura 5: Resultado de la combustión del metano

El metano tiene un poder calorífico de  $5.500 \text{ kcal/Nm}^3$  y por ello se emplea generalmente para la producción de energía térmica en calderas o de energía eléctrica en motores estacionarios.

El proceso biológico mediante el cual se descompone la materia orgánica en el reactor se divide en varias fases consecutivas diferenciadas. En cada una de ellas intervienen distintas poblaciones de microorganismos, que se caracterizan por poseer diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a distintos compuestos inhibidores. Por ello cada etapa presenta diferentes velocidades de reacción según la propia composición del purín.

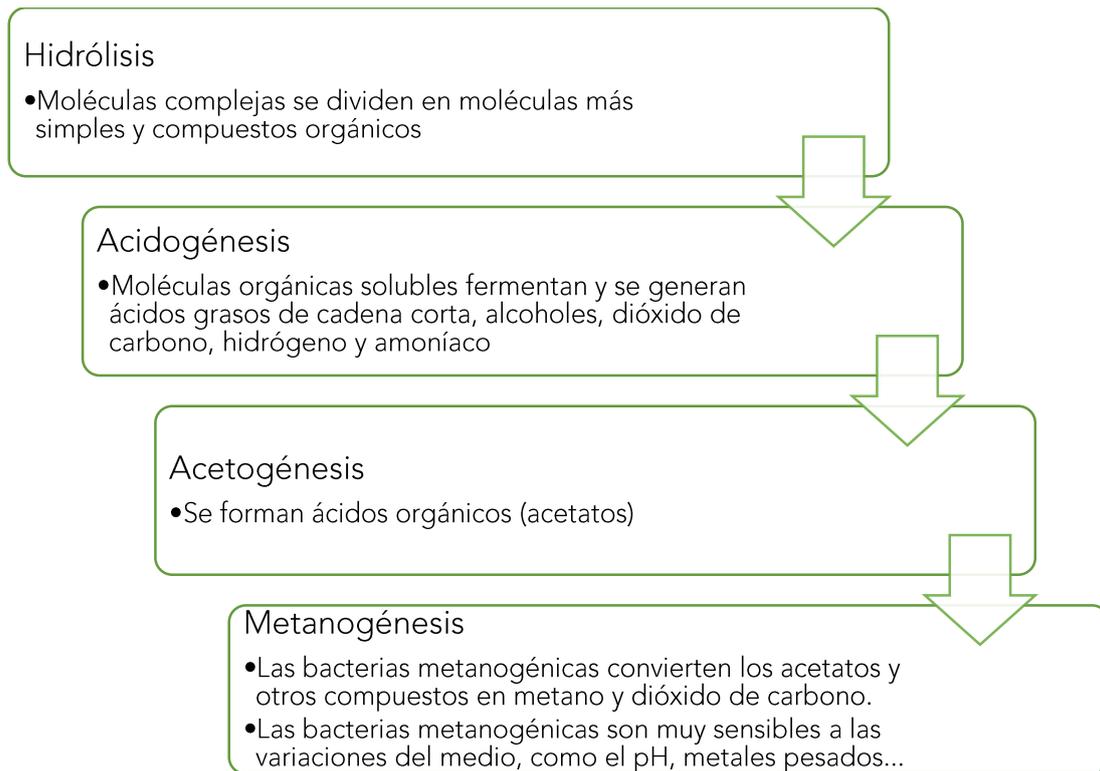


Figura 6: Fases de descomposición de la materia orgánica en los reactores

En este proceso existen además varios parámetros propios del digester y de los residuos empleados que pueden influir en el desarrollo del proceso:

- **La Velocidad de Carga Orgánica o VCO:** Esta es la cantidad máxima de materia orgánica por unidad de volumen y tiempo, que se puede introducir en el digester para su posterior transformación en biogás sin que se produzcan alteraciones en el proceso. Se describe como  $DQO/m^3/día$
- **Tiempo de Retención Hidráulico o Tiempo de Retención de Sólidos (TRH o TRS):** Este es el tiempo que permanece un residuo, líquido o sólido, en el digester para que toda la sustancia orgánica sea transformada en metano.
- **Contenido en Materia Orgánica del Vertido:** Se trata de la cantidad de materia orgánica que se obtiene en el efluente. Si el proceso se ha desarrollado adecuadamente este valor debería ser bajo, habiéndose transformado en biogás la mayor parte de los nutrientes disponibles. En caso de ser alto, el proceso no se habrá desarrollado adecuadamente.
- **Caudal de Metano:** La relación obtenida entre este parámetro y el contenido en materia orgánica del vertido, da una medida del rendimiento del digester.

## 2. Tipos de reactores por la temperatura del proceso

En función de la temperatura a la que trabajen las bacterias metanogénicas existen dos tipos distintos de plantas de producción de biogás:

### ***i. Plantas mesofílicas:***

- Trabajan a niveles de temperatura de alrededor a 37°C en las que pueden darse variaciones térmicas de hasta 2°C.
- Estas temperaturas son aplicables a cualquier tipo de digestor y el rango de temperaturas más habitual en plantas de biogás individuales
- Proporciona un proceso estable con cierta tolerancia a pequeñas variaciones de temperatura.
- Pueden emplearse para cualquier tipo de sustrato agroindustrial

### ***ii. Plantas termofílicas:***

- Trabajan a niveles de temperatura de en torno a los 52°C o 55 – 60°C admitiendo una variación térmica de 0,5°C.
- Es aplicable también a cualquier tipo de digestor y se obtienen mayores producciones de biogás por m<sup>3</sup> de digestor para un mismo tiempo de retención en comparación con el régimen termofílico.
- Al aumentar la temperatura se aumenta la tasa de hidrólisis, la velocidad de crecimiento de las bacterias y en consecuencia la velocidad de producción de biogás.
- Los microorganismos desarrollados en este rango de temperaturas son más sensibles a ciertos factores inhibidores, como es la presencia de amonio.
- Este tipo de plantas requieren una mayor supervisión y seguimiento.
- Mediante este rango térmico se obtienen unos buenos resultados de higienización.
- Favorecen una disminución de la viscosidad del digestato permitiendo un menor consumo energético en el bombeo y la agitación.

El tiempo de retención del purín durante el tratamiento puede variar entre los 14 y los 50 días.

## ***3. Tipos de reactores por las etapas de proceso***

A continuación, pasan a describirse los principales tipos de reactores, que pueden dividirse en dos grandes grupos: Los primitivos digestores discontinuos y los digestores continuos. Además, existe otra modalidad de digestores que emplean tecnologías más avanzadas.



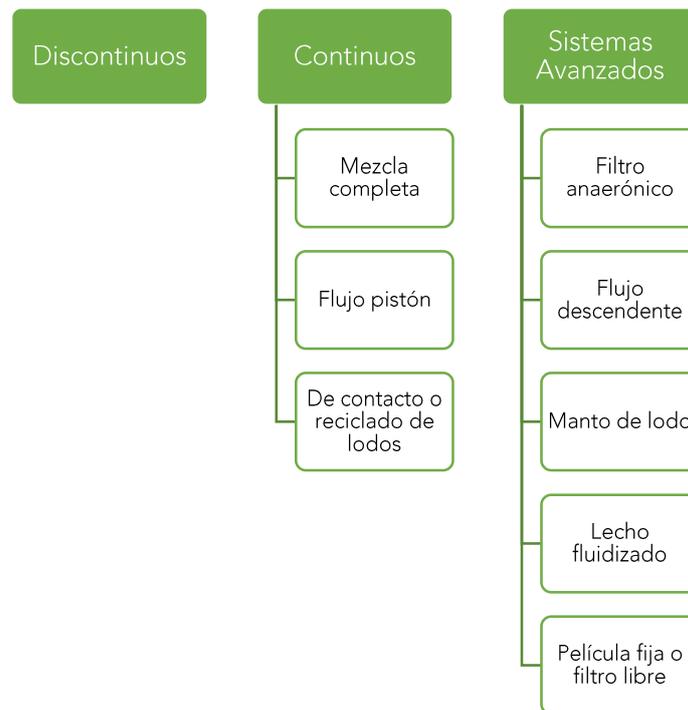


Figura 7: Principales tipos de reactores

### **i. Digestores discontinuos:**

- La principal característica de este tipo de digestores es que la carga del material a digerir se introduce de una sola vez, inoculándose posteriormente con la carga microbiana de la anterior digestión, lo que favorece el arranque de la digestión.
- Estos digestores fueron diseñados preferentemente para el tratamiento de residuos orgánicos con un alto contenido en sólidos, por lo que los tiempos de retención hídrica son bastante prolongados.
- Su mayor desventaja es la producción discontinua de biogás, que trata de reducirse empleando tres o más fermentadores que funcionan de forma escalonada solapándose los momentos de producción de biogás.

### **ii. Digestores continuos**

Este grupo de fermentadores incluyen una amplia gama de digestores:

#### **1. Digestores de Mezcla Completa:**

- Mediante un sistema de agitación (palas, hélices...) se consigue que cualquier substancia o microorganismo presente en el sustrato esté repartida homogéneamente
- Es un tipo de digestor sencillo y es el más ampliamente utilizado en las plantas de biogás agroindustrial de Europa.

- La forma de los digestores es habitualmente cilíndrica y vertical, construidos en hormigón y con una capacidad no superior a los 2.500 m<sup>3</sup> para conseguir mantener más fácilmente la homogeneidad de la biomasa y su temperatura.
- La alimentación de sustrato al digestor puede ser continua, semicontinua o discontinua, siendo las dos primeras las más habituales.
- Se suele aplicar a procesos de digestión por vía húmeda, con un porcentaje de materia seca en el interior del fermentador inferior al 10%. Además, este tipo de digestores pueden funcionar con recirculación.
- En este tipo de digestores no se fija la carga bacteriana en ningún punto del mismo, abandonando el reactor junto con el digestato.

### Ventajas

- Simplicidad de funcionamiento
- Buenos resultados
- Coste reducido
- Versatilidad (pueden funcionar en continuo o discontinuo)

### Desventajas

- Dificultad de operación mayor que en otros sistemas
- Se pueden formar costras que afecten negativamente al proceso
- Las operaciones de mantenimiento requieren el vaciado del digestor

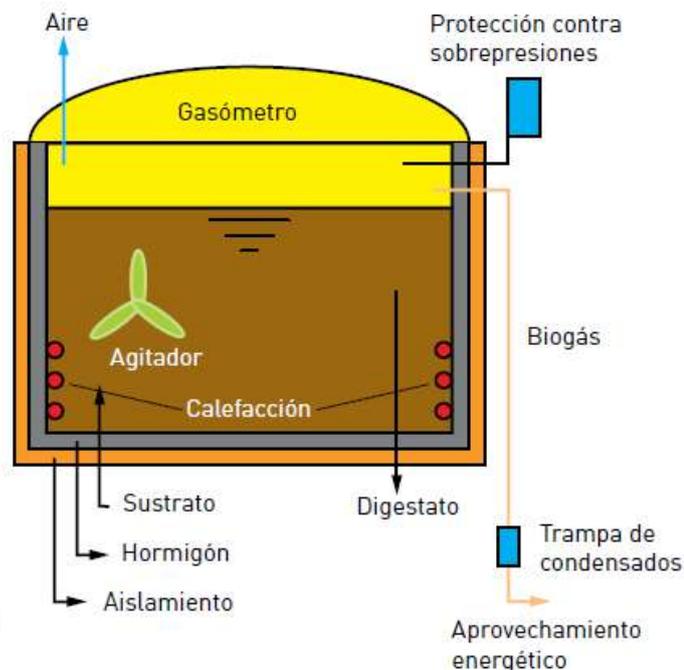


Figura 8 : Diagrama de flujo de un digestor de mezcla completa.

Fuente: IDAE. Situación y potencial de generación de biogás. Estudio técnico PER 2011 – 2020

## 2. Digestor de Flujo Pistón:

- La principal característica es que la concentración de cualquier sustancia varía en cada sección transversal del digestor.
- Se trata de digestores cilíndricos o paralelepípedicos contruidos en hormigón o acero, con una capacidad normalmente de hasta 1.000 m<sup>3</sup>.
- La alimentación de material en este tipo de sistema puede ser continua o semicontinua, introduciéndose el material por un extremo y extrayéndose por el contrario.
- Este tipo de digestores normalmente cuentan con un sistema de agitación lento mediante palas.
  - o En los digestores horizontales tienen la función de favorecer el desplazamiento del material hacia la salida.
  - o En los de tipo vertical el mezclado puede ser realizado también de forma hidráulica, inyectando biogás a presión en la base del digestor.
- Permite mayores concentraciones de sólidos totales que en el caso de los digestores de mezcla completa.

### Ventajas

- Menor riesgo de formación de costras
- Menores tiempos de retención que en los reactores de mezcla completa
- El tamaño necesario es menor que en el caso de los digestores de mezcla completa
- El sistema de calefacción es más eficaz que en los digestores de mezcla completa

### Desventajas

- Se requiere una mayor inversión por m<sup>3</sup> de material tratado



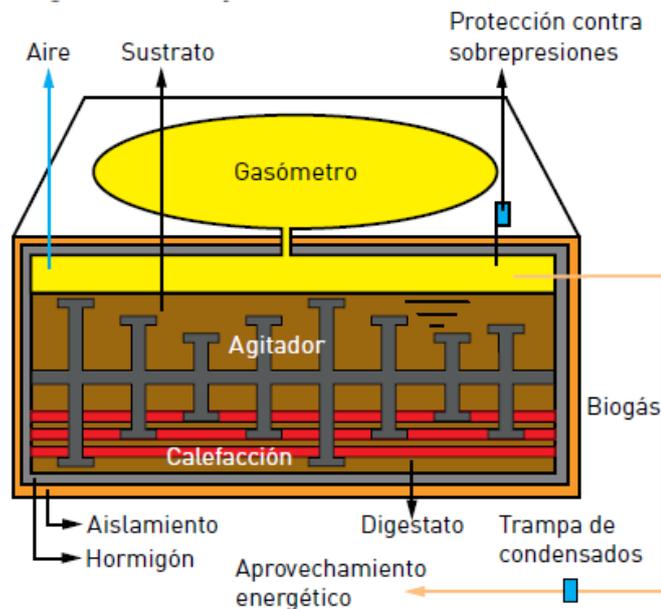


Figura 9: Diagrama de flujo de un digestor de flujo pistón.  
Fuente: IDAE. Situación y potencial de generación de biogás. Estudio técnico PER 2011 – 2020

### 3. Digestores de Contacto o Reciclado de lodos

- Su funcionamiento se basa en recircular parte del digestato obtenido al digestor evitando así parte de la pérdida microbiana.
- El principal inconveniente reside en la dificultad de la mezcla en grandes digestores.
- La decantación de lodos en el proceso de metanización presenta muchas dificultades.

#### iii. Sistemas anaeróbicos avanzados

En este grupo se incluye una serie de digestores con una tecnología más avanzada que los anteriores, cuya finalidad es la de aumentar la concentración de la biomasa microbiana activa mediante la aplicación de diferentes mecanismos. A continuación, se hace una breve descripción de los principales tipos:

##### 1. Digestores de filtro anaeróbico:

- o Las bacterias anaerobias están fijadas a la superficie de un soporte inerte, plástico o cerámico, formando biopelículas.

- Retienen una gran parte de la población de microorganismos en la matriz del filtro, evitando su dilución y disminuyendo los tiempos de retención hidráulica.
- Ha sido ampliamente utilizado como método de tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria

## **2. Digestores de Flujo descendente y película fija:**

- Se emplean para el tratamiento de residuos con una fuerte carga de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y hasta 3 g/l de sólidos en suspensión

## **3. Digestor Manto de Lodo:**

- Se basan en la formación de una película o manta flotante de bacterias en el seno del digestor, que constituye un auténtico filtro en el que se produce la metanogénesis y separa de forma eficiente el gas de la matriz sólida.

## **4. Digestor de lecho fluidizado:**

- La retención de gran parte de la carga microbiana en el digestor se consigue haciéndola crecer sobre partículas de materia inerte en suspensión mediante corrientes hidráulicas.

## **5. Digestor de película fija sobre soporte libre:**

- La mecánica es similar a la de los digestores de flujo descendente y película fija, salvo que el soporte al que se fijan las bacterias se encuentra libre en el interior del digestor y se permite su movimiento.



## 4. Planta de Biogás de Mouriscade

En la finca de Mouriscade, perteneciente a la Diputación de Pontevedra, se inauguró en el año 2013 una pequeña planta de biogás destinada al tratamiento de los purines provenientes de aproximadamente 100 vacas junto con otros restos orgánicos vegetales que permiten una optimización del proceso.

Se trata de una explotación de pequeñas dimensiones, en contraposición a las grandes infraestructuras que generalmente se asocian a este tipo de actividad. Existen varias empresas dedicadas a la implementación de este tipo de sistemas a pequeña escala que aseguran obtener buenos resultados económicos y de tratamiento de los residuos. En este caso la inversión realizada para su construcción fue de 230,000 €.

La planta ocupa una superficie de menos de 90 m<sup>2</sup> y el volumen del digestor es de 257 m<sup>3</sup>, con unos tiempos de retención de entre 20 y 30 días.

Consta de un generador eléctrico de una potencia de 30 kW/h que, gracias al cambio normativo respecto al autoconsumo energético, permite aportar a la explotación el 60% de la energía consumida en la misma. Esto supone un ahorro anual de hasta 19,000 euros.



Imagen 14: Reactor de la planta de biogás de la Finca Mouriscade.  
Fuente: <http://biovec.net/>

La planta cuenta con las siguientes instalaciones:

- **Balsa de recepción:** Se trata de un depósito rectangular en el que se procede a homogeneizar los sustratos antes de que entren en el digestor.
- **Digestor:** Se trata de un reactor de tipo mezcla completa sin recirculación fabricado en hormigón y que cuenta con un mecanismo de agitación.
- **Balsa de almacenamiento del digerido:** Se trata de una balsa en la que se almacena el digerido proveniente del digestor
- **Pozo de condensación**
- **Caseta de control:** Permite realizar las tareas de análisis del biogás y se usa como centro de control y de oficina.
- **Caseta de generación:** Aquí se sitúa el generador eléctrico.

El digestato obtenido en esta explotación se aporta posteriormente a dos parcelas destinadas al cultivo de maíz y hierba, con un aporte anual de aproximadamente 45 m<sup>3</sup> y 25 m<sup>3</sup> por hectárea respectivamente.

## 5. Costos

Diversos autores han estimado el costo aproximado de inversión y mantenimiento de la producción de biogás:

Flotats y Sarquella	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión Unitaria [€/kW] = 16272 x (Potencia Eléctrica [kW])<sup>-0,2114</sup></li> <li>• Supone un mayor rendimiento económico cuanto mayor sea la capacidad de gestión. El biogás sería empleado para producción eléctrica</li> </ul>
Foged	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costes de inversión [€] = 75.000 + 50 €/ tonelada de capacidad anual</li> <li>• El rendimiento sería mayor cuanto mayor fuera la capacidad de gestión. El uso del biogás podría ser para energía eléctrica o térmica</li> </ul>
Gregersen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcula unos costes de inversión de entre 36 y 54 € por m<sup>3</sup> de purín tratado y año.</li> <li>• Calculado para plantas con una capacidad diaria de 300, 500 y 800 m<sup>3</sup> y unos costes operacionales de 9,10, 7,6. y 7,10 €/m<sup>3</sup> respectivamente</li> </ul>

### 4.2.2. Separación de Fases

La separación de fases sólida y líquida en purines permite su posterior gestión por separado con el método más adecuado para cada una.

Con este sistema se consigue que el fósforo y el nitrógeno orgánico se concentren en la fracción sólida mientras que el nitrógeno soluble, así como el amoníaco o los nitratos y el potasio se concentren en la fracción líquida.

A continuación se muestran, a modo de resumen, el tipo de proceso empleado y cada uno de los principales sistemas que engloban:



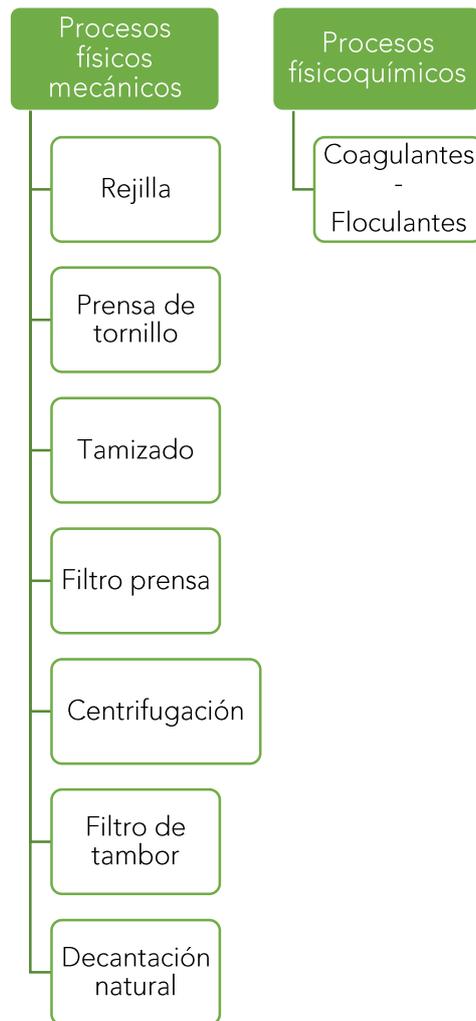


Figura 10 : Tipos de procesos de separación de fases Sólido - Líquido

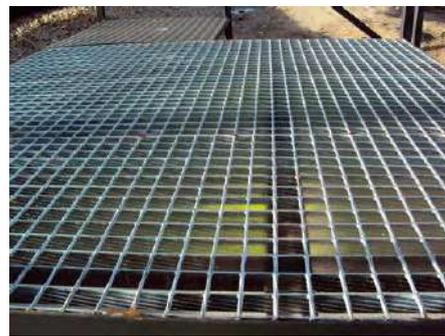
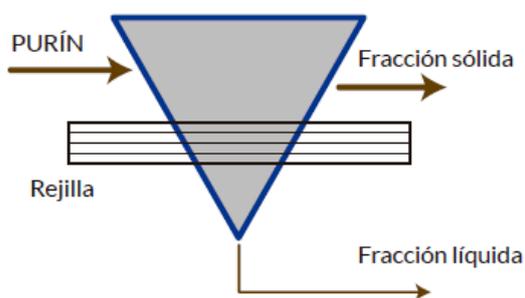
## 1. Procesos físicos mecánicos

En el mercado existen múltiples opciones que pueden adaptarse a las necesidades particulares de cada caso concreto. No obstante, es recomendable la realización de una serie de acciones previas a la entrada de los purines en este tipo de sistemas para evitar daños en ellos y mejorar su rendimiento:

- Procurar que el purín llegue lo más homogéneo posible.
- Evitar que pase mucho tiempo desde que se produzcan los purines hasta que pasen por este tipo de sistemas, ya que además de evitar los malos olores se facilita la separación de los elementos.
- La realización de un tamizado grosero para evitar que elementos que aparezcan en las balsas puedan dañar algunos componentes de los aparatos.

### **i. Separación por rejilla:**

- Se separan los grandes elementos sólidos empleando para ello una rejilla.
- Estos grandes sólidos pueden provocar problemas en elementos de transferencia de la granja, como tuberías o bombas.
- Se pueden emplear rejillas de distinto tamaño en función de las necesidades.
- Se puede considerar como un proceso de protección de las instalaciones y la maquinaria, como se ha visto en el apartado anterior.



*Figura 11 : Diagrama de sistema de separación mediante rejilla y ejemplo gráfico.  
Fuente: MAGRAMA (2015). Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería*

### **ii. Separación por prensa de tornillo:**

- Este proceso consiste en la aplicación de presión para conseguir separar mediante filtración los sólidos en suspensión del purín.
- El purín es introducido en un cilindro cuyas paredes están perforadas, formando un filtro de un grosor de 0.5-1 mm en cuyo interior se sitúa un tornillo helicoidal.
- El tornillo gira a una velocidad de entorno a las 35 revoluciones por minuto. La fase sólida sale por la parte superior del cilindro muy compactada por la pérdida de líquido con un alto contenido en materia seca mientras que la líquida expulsada por el filtro es recogida en un contenedor
- Cuanta más presión se aplique mayor será el contenido en materia seca.
- Esta técnica es aplicable tanto para purines como para digestatos procedentes de las plantas de biogás.
- Presenta un alto rendimiento con bajos requisitos de potencia y mantenimiento.



Figura 12 : Diagrama de sistema de separación por prensa de tornillo. En la imagen, fracción sólida obtenida tras aplicar este sistema.  
Fuente: MAGRAMA (2015). Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería

### iii. Separación por tamizado:

- Consiste en el empleo de un tamiz, estático o dinámico.
- En esta técnica los principales factores a tener en cuenta son:
  - o El tamaño del poro del tamiz
  - o El rendimiento de la separación
  - o El riesgo de obstrucción.
- Esta técnica es recomendable cuando el purín presenta un bajo contenido en sólidos, inferior al 2%.
- Se suele utilizar como tratamiento previo para evitar fenómenos de sedimentación durante el almacenamiento de los purines o el acoplado a otros sistemas de separación más eficientes.
- La principal limitación de este sistema es la obstrucción de los tamices, la cual se reduce mediante el empleo de los tamices vibrantes.

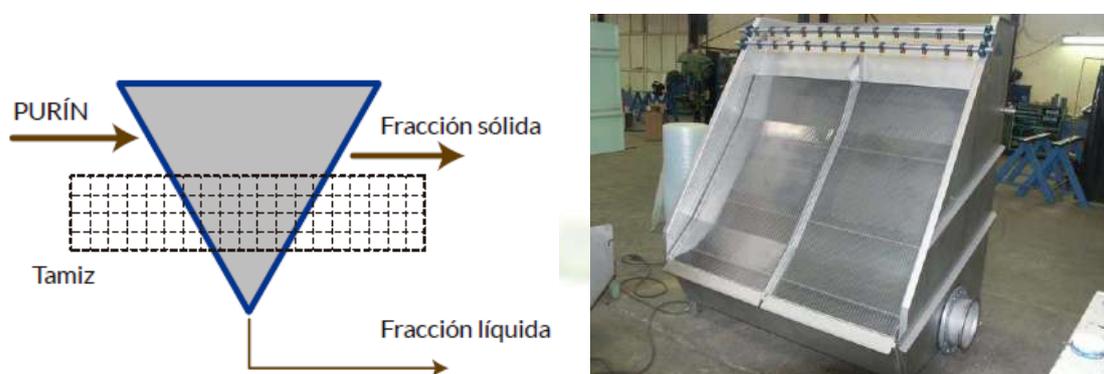


Figura 13 : Diagrama de sistema de separación por tamizado. Imagen de un sistema de tamiz fijo.  
Fuente: MAGRAMA (2015). Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería / <https://www.bidatek.com/>

#### iv. Separación por filtro prensa:

Estos dispositivos pueden tener una gran variedad de diseños, pudiendo diferenciarse dos principalmente:

- o Prensa rotatoria:
  - El purín se deposita de forma continuada sobre el interior de un canal, donde pasa a través de dos placas paralelas giratorias y es prensado lentamente.
  - La fracción líquida se filtrará hacia un sistema de desagüe mientras que la fracción sólida continuará secándose hasta convertirse en una pasta aplanada seca, que se retirará al término del proceso.
- o Cinturón de filtro:
  - El purín se deposita sobre un filtro de banda que se desplaza sobre unos rodillos, que a su vez ejercen presión sobre el mismo. Igualmente, la fracción líquida se evacúa por un sistema de desagüe mientras que la sólida continúa avanzando por el cinturón mientras continúa perdiendo agua.
  - Al final del proceso el material seco prensado se deposita automáticamente en un lugar adecuado para su gestión, mientras que el cinturón retorna al inicio del sistema.
  - Este sistema a menudo se complementa con una separación por tornillo prensa del material seco obtenido, para aumentar todavía más el contenido en materia seca de la fracción sólida.

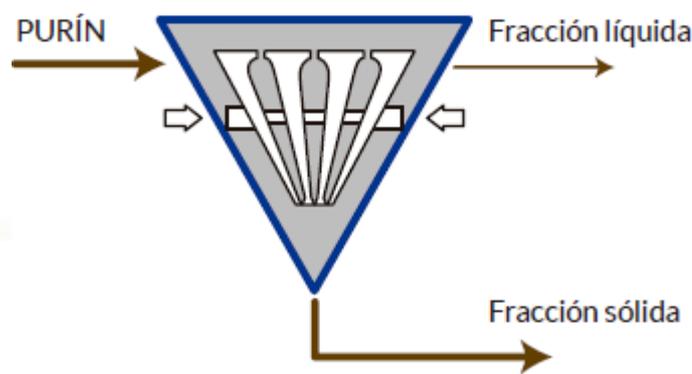


Figura 14 : Diagrama de sistema de separación por filtro prensa.  
Fuente: MAGRAMA (2015). Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería

### v. Separación por centrifugación:

- Este sistema emplea una fuerza centrífuga que provoca la separación de la fracción sólida y la líquida.
- Existen de dos tipos, verticales y horizontales en función de la orientación de su eje rotatorio. En el horizontal se emplea un cono cerrado rotatorio a 3000-4000 rpm aproximadamente. Esta fuerza centrífuga presiona el purín contra las paredes del cilindro, que están divididas en dos capas distintas.
  - o En la capa interna se deposita una elevada concentración de materia seca.
  - o En la externa se deposita la fracción líquida compuesta por una suspensión coloidal, materia orgánica y sales.
- Las partículas sólidas son transportadas hacia el extremo cónico, saliendo de él por las aberturas de descarga de sólidos, mientras que los líquidos se descargan por la zona de desagüe localizadas en el extremo ancho de la centrifugadora.
- Este sistema se emplea principalmente en explotaciones a gran escala debido a su elevado coste.

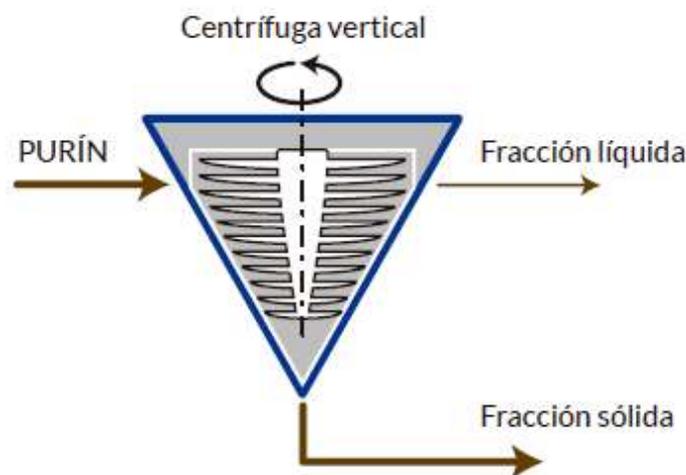


Figura 15: Diagrama de sistema de separación por centrifugación.  
Fuente: MAGRAMA (2015). Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería

### vi. Separación por filtro de tambor:

- El principio de este sistema es el de un tambor rotatorio en cuyas paredes se incorpora una tela filtrante.
- El purín pasa a su interior a través de una abertura en el lateral.

- El giro del tambor sobre su eje central provoca que el purín se presione contra las paredes del mismo, pasando la fracción líquida a través del filtro y quedando dentro la fracción sólida adherida a las paredes.
- En comparación con la centrifugadora es un sistema menos efectivo, pero posee una buena eficiencia de separación si se tiene en cuenta su menor coste.
- Este sistema sirve para el tratamiento previo de residuos semilíquidos procedentes de distintas industrias, tanto la porcina como la vacuna, la conservera, mataderos...
- Se consigue la separación de alrededor del 98% de las partículas sólidas.
- Su funcionamiento está automatizado, siendo controlado por sondas de nivel por lo que no es necesaria la intervención humana.
- Es un sistema limpio, ya que todo su mecanismo está encerrado en una envoltura de acero inoxidable que incorpora un ciclo de limpieza automático después de cada período de funcionamiento.

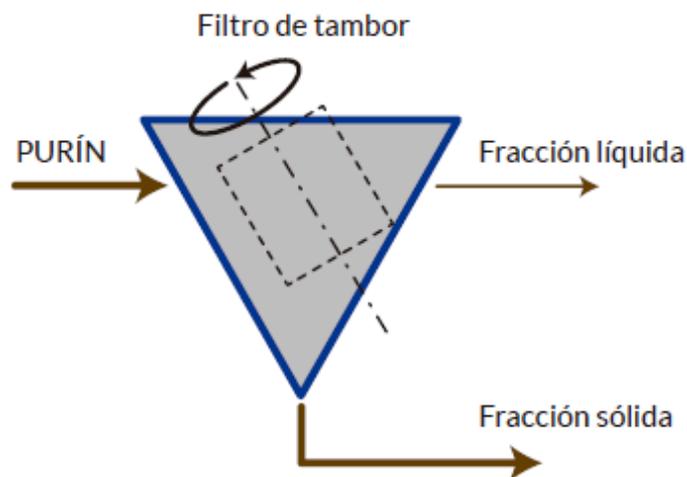


Figura 16 : Diagrama de sistema de separación por filtro tambor.  
Fuente: MAGRAMA (2015). Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería

### vii. Separación por decantación natural:

- Este método emplea recipientes de forma cilíndrica en su parte superior y cónica en su extremo inferior.
- En su interior se depositan los purines, bien en turnos o bien de manera continuada.
- Los sólidos se irán depositando en la parte inferior cónica, desde donde son extraídos.

- Para mejorar la sedimentación de los sólidos que se acumulan en las paredes de la sección cónica, se emplean sistemas vibratorios en el caso de los decantadores más pequeños, o sistemas de rastrillo en el caso de los de mayor tamaño.
- En este sistema se recomienda el empleo de agentes de coagulación o floculación para una mejor separación.

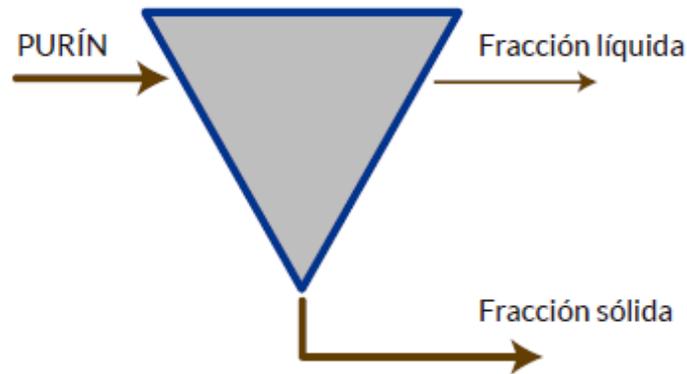


Figura 17: Diagrama de sistema de separación por filtro tambor.  
Fuente: MAGRAMA (2015). Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería

## b. Procesos fisicoquímicos

Mediante estos sistemas se consigue que partículas suspendidas en una solución se transfieran a una fase sólida posteriormente separable mediante algún sistema de separación sólido-líquido.

Estas partículas se las conoce como coloides, suelen ser de un tamaño muy pequeño y, debido a su carga eléctrica superficial generalmente negativa, se repelen entre ellas. Para conseguir la decantación de los coloides es necesaria la ayuda de aditivos químicos, como los coagulantes o los floculantes.

Los coagulantes neutralizan las cargas eléctricas que producen la repulsión entre las partículas, por lo que tienden a juntarse formando flóculos más pesados que sedimentarán. Los floculantes facilitan la agregación de estas partículas previamente coaguladas, formando flóculos más grandes que, por gravedad, decantan o bien por flotación son fácilmente eliminables.

Los coagulantes más empleados son el sulfato de aluminio, y el sulfato o el cloruro de hierro. Producen flóculos de gran tamaño que al sedimentar producen un efecto arrastre de otros compuestos que se encuentren en su trayectoria. Los floculantes presentan una gran variedad de opciones de compuestos orgánicos con carga superficial, llamados polielectrólitos.

Es importante que estos aditivos químicos no aporten compuestos que puedan afectar negativamente a la calidad y al uso posterior de la fracción sólida separada.

## 2. Costes

A continuación, se muestra una relación de costes aproximados de la implementación de cada uno de los sistemas de separación

Separación por rejilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 28.000 € para un tratamiento de 10.000 m<sup>3</sup></li> <li>• En funcionamiento 0.5-0.9 €/m<sup>3</sup></li> </ul>
Tamizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De 3500 a 8000 €.</li> <li>• Para tamizado vibrante alrededor de 15.000 €</li> </ul>
Prensa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede oscilar entre los 25.000 y los 125.000</li> <li>• En funcionamiento alrededor de 1.5 €/tonelada</li> </ul>
Centrifugación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un sistema para tratar un caudal de 1.5 a 2 m<sup>3</sup> / hora oscila entre los 40.000 y los 60.000 €. Prima la economía de escala.</li> <li>• Por m<sup>3</sup> de purín se calcula un coste de entre 0.6 y 2.3 €</li> </ul>
Filtro tambor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25.000 € para un sistema que trate 2 a 3 m<sup>3</sup> de purín / hora.</li> <li>• En funcionamiento se estima un coste de 0.35 € el m<sup>3</sup></li> </ul>
Decantación natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decantador de un volumen de 350 m<sup>3</sup> tiene un costo aproximado de 17.000 euros</li> </ul>
Procesos físicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se estima un costo de implementación de 50.000 € y un precio de funcionamiento de en torno a 0.80 € por tonelada de purín</li> </ul>

### 4.2.3. Balsas de Nitrificación – Desnitrificación (NDN)

El objetivo de estas balsas es la eliminación del nitrógeno que hay en un residuo. En la gestión de los purines generalmente este proceso se integra dentro de un sistema más complejo para la gestión de las deyecciones ganaderas, aplicándose para el tratamiento de la fracción líquida de los purines.



*Imagen 15: Planta de tratamiento NDN.  
Fuente: <http://www.segales.es/>*

## 1. El proceso

Se trata de un proceso realizado por microorganismos en el que el amonio se oxida aeróbicamente primero a nitrito (ecuación 1) y posteriormente este se oxida a nitrato (ecuación 2) mediante bacterias oxidantes de nitrito.



*Ecuación 1ª*



*Ecuación 2*

- Este primer paso (nitrificación) lo realizan bacterias autótrofas en presencia de oxígeno y carbono inorgánico, como puede ser el  $\text{CO}_2$ , o el bicarbonato.
- Posteriormente, mediante la acción de bacterias heterótrofas en ausencia de oxígeno y presencia de carbono orgánico, el nitrato es reducido por bacterias heterótrofas a nitrógeno molecular gas, como se observa en la ecuación 3 (desnitrificación).



*Ecuación 3*

Mediante este proceso se consigue:

- La transformación de nitrógeno orgánico y amoniacal en nitrógeno gas, que es inerte y no contaminante, siendo en realidad el componente mayoritario de nuestra atmósfera.
- La eliminación de la materia orgánica, por lo que se estabiliza el material resultante.
- Si se opera correctamente se reducen los malos olores.
- Alcanzar unas eficiencias máximas en la eliminación de nitrógeno en torno al 70%, separándose el resto del nitrógeno entre la fracción sólida o permaneciendo en el efluente líquido.

- La eficiencia exclusivamente en la fracción líquida, esta puede alcanzar el 90%.

La eficacia de este proceso depende de varios factores:

- La composición de las deyecciones
- La biodegradabilidad de la materia orgánica
- La disponibilidad de la suficiente materia orgánica durante el proceso de desnitrificación.

### a. *Ventajas e inconvenientes*

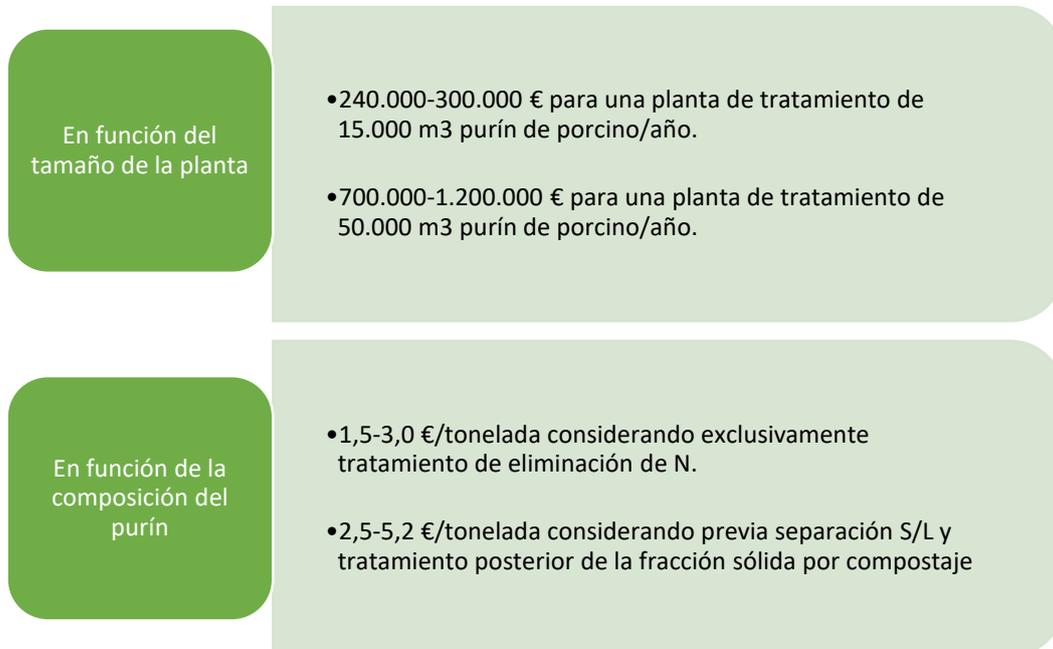
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación del nitrógeno, convirtiendo elevados porcentajes del mismo en nitrógeno gas</li> <li>• Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero</li> <li>• Reducción de los malos olores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado coste de inversión</li> <li>• Elevado coste de explotación, que depende mucho del consumo eléctrico de los sistemas de aireación.</li> <li>• Necesidad de controles técnicos, debido a la gran cantidad de variables que intervienen en él</li> <li>• Sensible a las alternaciones por la presencia de tóxicos o inhibidores que pueden ser el mismo substrato producido durante la nitrificación</li> <li>• Se generan fangos que deben ser gestionados</li> </ul>

- Este sistema se considera que no es aplicable en instalaciones / granjas nuevas debido a los costes y posibles efectos ambientales adversos.
- Es aplicable para instalaciones existentes en los casos que sea necesaria la eliminación del nitrógeno por la limitación de tierras para la posterior aplicación de los purines o compuestos que se obtendrían a través de otros sistemas.
- Se hace imprescindible un control adecuado de todo el proceso, especialmente en lugares de inviernos muy fríos en los que es necesario mantener la temperatura mínima del sistema por encima de determinados niveles, ya que de otra forma la actividad biológica se vería inhibida.
- Este sistema no es aplicable en purines o substratos cuyo contenido de materia seca sea superior al 6%.



## 2. Costes

Como se puede observar a continuación los costes de este tipo de sistema de tratamiento varían en función del dimensionado, siendo más rentable cuanto mayor es la capacidad, y de la composición del purín a tratar.



### 4.2.4. Producción de compost

La producción de compost no se considera un sistema de gestión del purín como tal si no una posible opción para el tratamiento de la fracción sólida proveniente de los purines después de haber pasado por una separación.

El compostaje es un proceso de descomposición biológica en presencia de aire y de estabilización de sustratos orgánicos, bajo unas condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas (entre 50 y 70°C) que se dan como resultado del mismo. La finalidad es la obtención de un producto final estable con un bajo porcentaje de humedad, en el que se conserva el mayor porcentaje de nutrientes del producto inicial sin tratar, libre de patógenos y de semillas. Este producto se denomina compost y posee un volumen y peso mucho más bajo que el inicial, y puede ser aplicado al suelo de forma beneficiosa.



Imagen 16: Pilas de compost procedente de deyecciones ganaderas.  
Fuente: <https://www.3tres3.com/>

## 1. El proceso

Para que el proceso de compostaje pueda tener lugar deben de cumplirse una serie de condiciones de humedad, estructura y composición del material a compostar.

Humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Intervalo óptimo del 30 - 65 %</li> <li>•El exceso o defecto de humedad dificultan o incluso impiden el proceso</li> </ul>
Porosidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Debe ser la adecuada ya que podría haber un exceso o deficiencia de aireación, del 30-60% aproximadamente</li> <li>•Normalmente se le añade materia vegetal para conseguir la porosidad adecuada</li> </ul>
Relación carbono/nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>•El purín suele tener un exceso de nitrógeno</li> <li>•Se suele mezclar con materiales que compensen el déficit de carbono como materia vegetal</li> <li>•La relación C/N idónea es de 25/35</li> </ul>

El sistema más habitual consiste en la formación de pilas o hileras. Estas suelen tener una longitud incluso superior a los 20 metros y 2 de altura, de sección trapezoidal. Para que el proceso de conversión de los purines a compost se desarrolle adecuadamente es necesaria una serie de requisitos de mantenimiento del sistema:

- En primer lugar, es necesario voltear las pilas de compost periódicamente o instalar dispositivos de ventilación forzada que permitan las adecuadas condiciones aerobias o de presencia de oxígeno.
- Es preciso aportar adicionalmente agua que permita compensar las pérdidas de humedad debido a la elevada tasa de evaporación del agua contenida en el sustrato, ya que la supervivencia de los microorganismos responsables del proceso es dependiente de ello

- Se requiere una superficie suficiente para todo el proceso, además de que esta se encuentre impermeabilizada. Se necesita un sistema de recogida de lixiviados, que podrán ser empleados para regar el compost y mantener su humedad.

Este proceso es relativamente sencillo y se puede aplicar empleando la maquinaria habitual existente en una granja, a continuación se describen brevemente otros sistemas:

### ***a. Pilas estáticas con aireación pasiva***

Para garantizar el suministro de oxígeno, se pueden incorporar tubos que atraviesen el montón de forma horizontal o vertical.

### ***b. Pilas estáticas con aireación forzada***

Que acelera la actividad microbiana mediante un sistema de tuberías combinado con un suelo poroso sobre el que se asienta la masa.

### ***c. Hileras con agitación mecánica***

En este caso, el compost se distribuye en montones de mayor longitud, y con un sistema de volteo, se airea y homogeniza.

### ***d. Reactores o silos***

Que combinan la aireación forzada y la agitación mecánica.

## ***2. Etapas***

Al ser un proceso biológico, este sigue una serie de etapas marcadas por la variación de temperaturas en la pila del compost, cada una de las cuales provoca que se desarrollen microorganismos adaptados a ellas.





### 3. Efectos sobre el medio

La producción de compost a partir de purines puede dar lugar a la emisión de gases de efecto invernadero, como el  $\text{NH}_3$  o el  $\text{CH}_4$ , además de compuestos orgánicos volátiles. Esto se puede paliar mediante la utilización de sistemas cerrados, como por ejemplo túneles, o en sistemas de membranas semipermeables, que contarían con mecanismos de aireación que contribuyen a la reducción de emisiones.

La composición inicial de P y K del purín empleado para la producción de compost apenas varía una vez terminado el proceso, y una parte del N se conserva, por lo que su aplicación en suelos en los que ya exista un exceso de nutrientes contribuiría a agravar el problema.

### 4. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se produce una valorización del purín, obteniendo una enmienda orgánica cuya aplicación al suelo supone un importante aporte de nutrientes</li> <li>• Facilidad de transporte del producto obtenido</li> <li>• Higienización y estabilidad del producto obtenido por las temperaturas alcanzadas en el proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere un espacio relativamente amplio</li> <li>• La posible presencia de metales pesados haría perder valor agronómico al compost</li> <li>• La necesidad de añadir restos vegetales u otros restos</li> <li>• Posibilidad de emisión de gases contaminantes como el <math>\text{NH}_3</math> o el <math>\text{CH}_4</math></li> </ul>



## 5. Costes

A continuación se muestran ejemplos de costes aproximados para la aplicación de este tipo de sistemas

<p>Equipos específicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Máquina de creación de la pilas/hileras de compostaje: 30.000 € (100 m3/h) / 100.000 € (1.000 – 1.500 m3/h)/ 180.000 € (2.500 m3/h)</li> <li>•Tractor: 50.000 €, su uso será compartido con otras actividades agrícolas</li> <li>•Mezcladores: 20.000-50.000 € (10-100 m3/h)</li> <li>•Filtros: 70.000 € (100 m3/h)</li> </ul>
<p>Planta de compostaje completa</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Planta de compostaje estándar de pilas/hileras (2.000 t estiércol/año + 1.360 t viruta madera/año): 35.000 – 100.000 € (dependiendo de las instalaciones que se construyan en la planta).</li> <li>•Coste por tonelada de compost producido: 20€</li> </ul>

### 4.3. Tratamientos de carácter extensivo

#### 4.3.1. Almacenamiento de los purines

El almacenamiento de los purines no ha de considerarse como un tratamiento o un modo de gestión de purines como tal, ya que se trata de una fase temporal por la que han de pasar antes de proceder a su aplicación directa o a su tratamiento mediante procesos de depuración, como se verá en apartados posteriores. Durante el almacenamiento los purines sufren procesos químicos que alteran ligeramente sus características iniciales, emitiendo gases como el metano o el dióxido de carbono.

Para el almacenaje de los purines existen distintos sistemas individuales o colectivos. La capacidad de estos sistemas deberá garantizar el almacenamiento de las deyecciones hasta que se puedan valorizar agrónomicamente o pasen a otro tipo de tratamiento. El tipo de sistema empleado, además, dependerá de distintos factores:

- Naturaleza del suelo
- El relieve
- La superficie del terreno



Además, se deben de cumplir una serie de requisitos de impermeabilidad que garanticen que no se produzcan fugas que puedan contaminar las aguas subterráneas o superficiales. En la medida de lo posible también se emplearán sistemas que eviten la emisión de gases de efecto invernadero, como se verá más adelante.

## 1. Tipos de sistemas de almacenamiento de purines

A continuación, se muestran los principales tipos de sistemas de almacenamiento de purines:

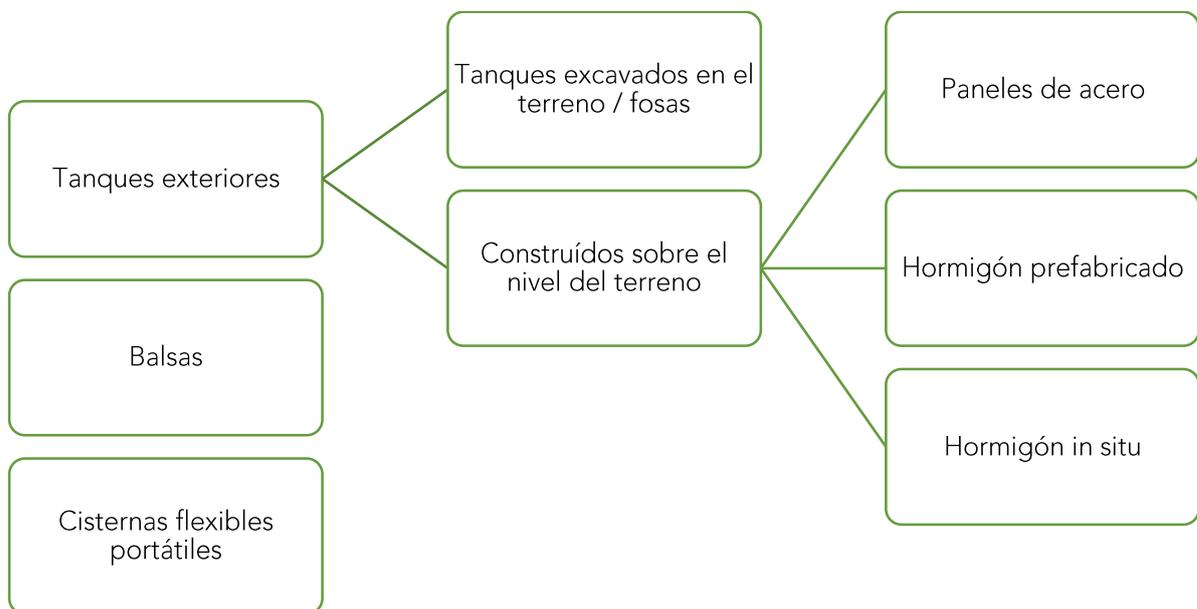


Figura 18: Diagrama de sistema de almacenamiento de purines.

### a. Tanques exteriores

Dentro de esta categoría existen dos sistemas

#### i. Tanques excavados en el terreno o fosas:

Estructuras, normalmente rectangulares o cilíndricas, cuyas paredes están construidas con ladrillos, bloques o paneles de hormigón, de acero o de fibra de vidrio reforzado. En estos casos es necesario revestir las paredes con una capa de material elástico impermeable.



*Imagen 17: Tanque de purín excavado.*  
Fuente: <http://www.campogalego.com>

## **ii. Tanques construidos sobre el nivel del terreno:**

Se trata de estructuras habitualmente circulares cuyo suelo es normalmente de hormigón reforzado. Existen tres tipos principales:

- **Paredes de paneles curvos de acero**, con un revestimiento de pintura o acero vitrificado, compuestos por un conjunto de láminas de acero al carbono a las que se adhiere mediante fusión a alta temperatura vidrio. Esta opción combina la fuerza y flexibilidad del acero con la resistencia a la corrosión del vidrio. En función del uso al que se vaya a someter al depósito y su altura, la anchura de estas placas oscilará entre los 7 y los 16 mm. Las placas se anclan unas a otras formando anillos, que se colocarán verticalmente unos encima de otros hasta alcanzar la altura deseada.
- **Estructuras de hormigón:**
  - Existe la opción de construirlo *in situ*, que requiere la instalación del entramado de hierro, el encofrado y el hormigonado
  - Otra opción es el empleo de bloques prefabricados de hormigón, lo que reduce los costes





*Imagen 18: Montaje de bloques de hormigón prefabricados.*

*Fuente: Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón (2006). Proyecto demostrativo de gestión colectiva del purín en Aragón.*



*Imagen 19: Instalación de paneles de acero vitrificado.*

*Fuente: Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón (2006). Proyecto demostrativo de gestión colectiva del purín en Aragón.*

## **b. Balsas**

Se trata de un sistema de almacenamiento generalmente excavado en el terreno, aunque en ocasiones pueden encontrarse semienterradas. En su construcción es necesario tener en cuenta:

- **La impermeabilización** con tierras arcillosas impermeables, geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD) o caucho sintético (EPDM).

- **Instalación de sistemas de drenaje**, debido al riesgo de contaminación que supondrían las fugas, colocados bajo la lámina impermeable, de manera que de existir escapes puedan ser detectados y reparados.
- **La colocación de una red de recogida de gases**, que evitaría la formación de bolsas de metano bajo las balsas en caso de existir algún escape.

Para el almacenaje de deyecciones sólidas deben contar con un sistema de drenaje que permita gestionar los lixiviados de las deyecciones provocados por la lluvia o por su propia carga líquida.

Los costos de este tipo de sistema son bajos en comparación con otros sistemas de almacenamiento, si bien aumentarían en caso de que el terreno a excavar fuese roca o se requiriese la compra de material para la creación de terraplenes.



*Imágenes 20 y 21: Balsa de almacenamiento y tubería de sistema de drenaje.*

*Fuente: Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón (2006). Proyecto demostrativo de gestión colectiva del purín en Aragón.*

### **c. Cisternas flexibles portátiles**

Se emplean para el almacenamiento a corto plazo de cantidades relativamente pequeñas de purín.

- Están fabricadas en poliéster de alta resistencia y para su colocación es recomendable la preparación previa del terreno.
- Se recomienda la creación de taludes de contención y la instalación de geomembranas sobre una capa de arena que impidan que elementos presentes en el terreno puedan dañarla.

Las cisternas de pequeño tamaño facilitan el traslado de los purines entre distintos lugares en condiciones de vacío, esto es, sin emisiones de ningún tipo. Por otra parte, las cisternas de mayor tamaño pueden estar situadas de una forma más permanente sobre el terreno.





Imágenes 22 y 23: Cisternas flexibles de 200 m<sup>3</sup> de capacidad.  
Fuente: <https://www.labaronne-citaf.es/>

## 2. Sistemas de cubrición

Implementar sistemas cobertores en los depósitos de purines está considerado como una medida eficaz a la hora disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en el momento del almacenaje del purín.

Estos sistemas permiten:

- La reducción de malos olores y de la emisión de amoníaco al entorno
- Se evita la dilución de los purines y su pérdida de valor fertilizante en caso de lluvia si son impermeables.

Existen distintos sistemas de cubrición:

- Los métodos impermeables como los techos rígidos o flexibles tienen una capacidad de reducción de emisiones de amoníaco de en torno al 80%.
- Los métodos en los que se añaden a la balsa bolas de arcilla o piezas geométricas plásticas o lonas plásticas flexibles evitan el 60% de las emisiones.



Imágenes 24 y 25: Cobertura de fosa de purines con bolas de arcilla; Cobertura con lámina impermeable.  
Fuentes: <https://www.labaronne-citaf.es/> ; <http://www.losconstructorestextiles.com/>

### 3. Ventajas y desventajas

	Ventajas	Desventajas
Tanques exteriores in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gran robustez y vida útil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción lenta</li> <li>- Difícil control de estanqueidad y calidad</li> </ul>
Tanques exteriores prefabricados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidez de instalación,</li> <li>- Robustez y vida útil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Una vez diseñadas y construidas, las placas son difícilmente modificables por sus cables horizontales</li> </ul>
Depósitos de acero vitrificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidez de instalación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No pueden instalarse enterrados</li> </ul>
Balsas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se pueden construir bajo o sobre el nivel del suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requieren una gran superficie.</li> <li>- Necesitan control de estanqueidad.</li> <li>- Difícil aplicar sistemas de agitado</li> </ul>
Cisternas flexibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trasladables y fácilmente instalables.</li> <li>- El metano puede ser quemado en una antorcha evitando su emisión al medio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las cisternas grandes necesitan mucho espacio, además la limpieza de los sedimentos de purín es difícil</li> </ul>



## 4. Costes

Depósito de acero vitrificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Muy competitivo en comparación con los depósitos de hormigón prefabricado</li> </ul>
Hormigón prefabricado	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Son más económicos que los depósitos in situ</li> </ul>
Hormigón in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Presentan los costes más elevados de todos los sistemas</li> </ul>
Balsas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Costes bajos, si bien aumentarían considerablemente en caso de existir dificultades en la excavación o se necesitase adquirir material para la creación de terraplenes</li> </ul>
Cisternas flexibles portátiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Después de las balsas, se trata del sistema más económico para volúmenes a partir de 500 m<sup>3</sup></li> </ul>

### 4.3.2. Lagunaje

El funcionamiento de los tratamientos por lagunaje de purines consiste en el almacenamiento de éstas durante un tiempo que depende de la carga aplicada y de las condiciones climáticas, de manera que la materia orgánica resulta degradada mediante la actividad de bacterias heterótrofas presentes en el medio.

En general, previamente a la introducción de los purines en estas balsas se somete a un desbaste para eliminar los sólidos superiores a 1 mm o 0,5 según los casos.

La necesidad de suelo para este tipo de tratamientos se calcula que es de aproximadamente una hectárea para una granja de 600 cerdas de ciclo cerrado.

Por el contrario, los costes de mantenimiento son prácticamente nulos. Mediante este sistema se consigue desodorizar los purines y eliminar entre un 30% y un 50% del nitrógeno.

Los microorganismos presentes más importantes son las bacterias, los hongos, las algas, protozoos, rotíferos y crustáceos.

Debido a que la existencia de oxígeno disuelto en este tipo de sistemas determina qué mecanismo de depuración va a tener lugar, y su presencia está ligada a la profundidad del sistema, disminuyendo exponencialmente con en relación inversa a la distancia a la superficie de la balsa en contacto con el aire.

Estos estanques o lagunas pueden clasificarse en:



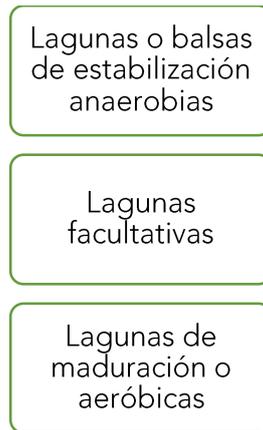


Figura 19: Tipos de lagunaje más empleados en la depuración de aguas residuales

### a. Lagunas de estabilización anaerobias

Normalmente estas lagunas son usadas como un sistema de tratamiento primario para aguas residuales domésticas y municipales, así como para el tratamiento de aguas residuales industriales con una DBO mayor a 1000 mg/l

En estas lagunas el contenido en oxígeno disuelto es muy bajo o nulo, debido a la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual.

Por otro lado, la profundidad de las mismas es generalmente superior a 2 m hasta 5 m, por lo que el contenido de oxígeno por intercambio con el aire es muy reducido.,

El objetivo final es la retención de la mayor parte de los sólidos presentes en el purín, que pasan a incorporarse a una capa de fangos que se acumulan en el fondo.

Los procesos de degradación de la materia orgánica son los siguientes:

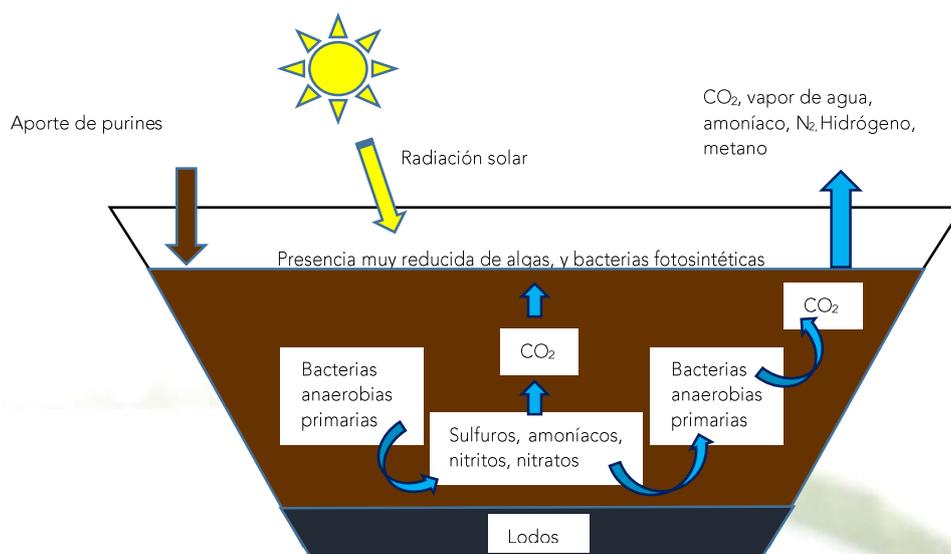


Figura 20: Esquema de funcionamiento de una laguna anaerobia



## - Morfología

Existen dos concepciones básicas para este tipo de sistemas:

- Lagunas de gran tamaño:
  - o Tienen poca profundidad
  - o Los tiempos de residencia del afluente son medios o largos
- Lagunas pequeñas:
  - o Tienen una profundidad media o alta, de 2,5 a 5 metros
  - o Tiempos de residencia del afluente cortos

Generalmente la morfología más aplicada para estas lagunas es la de lagunas pequeñas y profundas ya que:

- El espacio ocupado es de alrededor del 50% menos que en el caso de las poco profundas.

- Al tener menos superficie, la oxigenación en la interfase aire – agua es mucho menor.
- Existe un menor riesgo de arrastre de sólidos en el efluente, que tiene lugar por gravedad en la superficie.



*Imagen 20 : Laguna de estabilización.  
Fuente: <https://sswm.info/>*

### **b. Lagunas facultativas**

Las lagunas facultativas basan su actividad depuradora en la combinación de las bacterias aerobias y anaerobias y las microalgas. En este tipo de lagunas se consigue la biodegradación de la materia orgánica vía aerobia en la superficie y anaerobia en el fondo. Generalmente se emplean para tratar el efluente de las lagunas anaerobias.

Suelen tener una profundidad de entre 1 y 2 metros a lo largo de la cual, de forma natural, se establecen tres estratos claramente diferenciados:

- El fondo: Se acumulan los sedimentos que transporta el afluente formando una capa de fangos, donde se establecen condiciones anaeróbicas y dándose reacciones de este tipo.
- La zona intermedia: Esta zona presenta unas condiciones muy variables, en la que predominan las bacterias facultativas, que pueden desarrollarse tanto en la presencia como en la ausencia de oxígeno.
- La zona superficial: Es la parte de la laguna en la que existen condiciones aerobias, debido principalmente a la presencia y desarrollo de microalgas y a la aireación producida por el viento, en menor medida. Esta capa actúa barrera contra el agua anaerobia del fondo, ya que oxida los productos procedentes de la descomposición de los lodos.

Estos estratos no son inmutables y su anchura o espesor varía dependiendo del momento del día, de las estaciones y del nivel de carga orgánica del afluente. En estas lagunas, las bacterias y las microalgas actúan de manera simbiótica, empleando las

bacterias el oxígeno suministrado por las microalgas para metabolizar aeróbicamente los compuestos orgánicos.

Se liberan así nutrientes solubles como nitratos o fosfatos, y dióxido de carbono que son empleados por las microalgas para la síntesis de nueva materia orgánica y en la producción de oxígeno.

Una coloración verde intenso en este tipo de lagunas es señal de que están funcionando adecuadamente, mientras que, si el color es gris claro, significa que están siendo sobrecargadas.

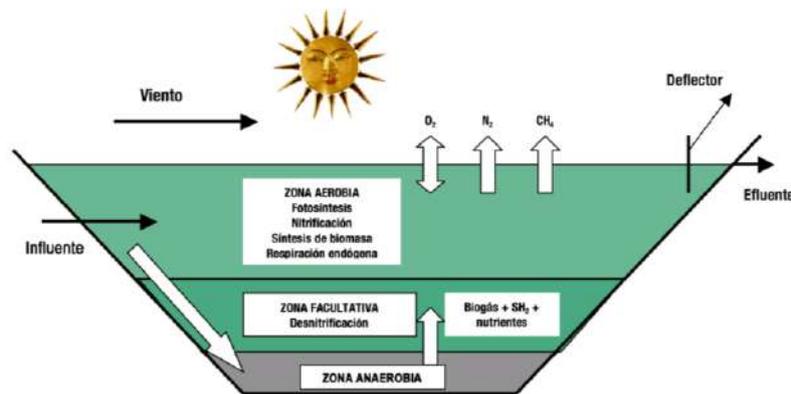


Figura 21: Esquema de funcionamiento de una laguna facultativa

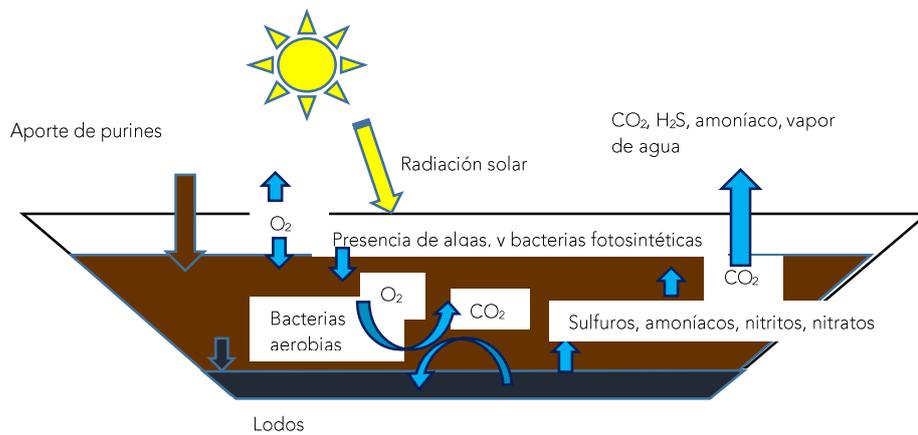
Fuente: Salas – Rodríguez, J. J., Pidre Bocado, J. R., Sardón – Martín, N. (2008). Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua. Capítulo III. Páginas 13 – 155.

### c. Lagunas de maduración o aeróbicas

Las lagunas aeróbicas son grandes depósitos de escasa profundidad, de entre 0,4 y 0,5 metros, en las que prevalecen las condiciones aerobias. El oxígeno se suministra de forma natural mediante la aireación por contacto de la superficie de la laguna y por la fotosíntesis de las algas presentes en el medio.

La finalidad de estas lagunas, que se suelen emplear para tratar el efluente procedente de las lagunas facultativas es:

- **La eliminación de microorganismos patógenos:** La radiación ultravioleta procedente del Sol, causa la inactivación y muerte de muchos microorganismos y bacterias, obteniendo una reducción altamente eficiente de los mismos. La escasa profundidad permite la insolación de casi la totalidad de la capa de agua, permitiendo la proliferación de algas que mediante la actividad fotosintética suministran oxígeno para las bacterias encargadas de la acción degradadora de los contaminantes. Además, esta actividad de las algas incrementa el pH del agua, creando condiciones desfavorables para los microorganismos patógenos
- **Nitrificación:** Por el día, cuando la presencia de oxígeno es elevada debido a la actividad fotosintética de las algas, se produce la nitrificación del nitrógeno amoniacal procedente de la materia orgánica mediante la actividad de las bacterias aerobias nitrificantes. Por la noche, cuando el contenido en oxígeno desciende, se produce la desnitrificación, con una pérdida neta de nitrógeno a la atmósfera.
- **Reducción de nutrientes:** La actividad del fitoplancton y su consumo de nutrientes provoca la disminución de sus niveles.



Igual que en las lagunas facultativas, las bacterias aportan nutrientes de los que se nutren las algas y estas, a su vez, proporcionan el oxígeno necesario para estas bacterias. La presencia habitual de microorganismos como protozoarios y rotíferos que se alimentan de las bacterias, ayudan a mejorar la calidad del efluente.

### **i. Ventajas y desventajas de los sistemas de lagunaje**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo coste de implantación</li> <li>• Bajo coste de explotación</li> <li>• Personal de mantenimiento no especializado</li> <li>• Admite variaciones de carga y caudal</li> <li>• Rendimientos adecuados a bajas temperaturas</li> <li>• Nulo consumo energético</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesitan una gran superficie para su instalación</li> <li>• Recuperación lenta del funcionamiento si se produce un deterioro del sistema biológico</li> <li>• Efluente con elevada cantidad de algas en caso de no emplear la laguna de maduración aeróbica</li> </ul>

### **ii. Costes**

No se dispone de datos específicos, ya que dependen fundamentalmente del dimensionado y este varía en función del afluente a tratar.



### **d. Humedales artificiales**

Esta técnica se considera un tratamiento efectivo para la eliminación de ciertos contaminantes en aguas residuales de la actividad agrícola o ganadera o en el purín.

- Son sistemas de bajo coste, con una alta integración medioambiental y poseen una mayor resistencia a las variaciones de carga que los sistemas tradicionales.
- Tratan de emular a los humedales naturales con el objeto de utilizar los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren de forma natural para la depuración pasiva del agua residual.

Consisten en un monocultivo o policultivo de plantas macrófitas que se disponen en lagunas, tanques o canales poco profundos impermeabilizados a través de los que se hace pasar el purín.

El carácter artificial de este tipo de sistemas de depuración se puede definir mediante las tres siguientes particularidades:

- El fondo de los humedales es una superficie impermeable, que evita que se infiltren las aguas residuales en el suelo
- Varios sistemas substituyen el substrato de tierra del vaso con un medio filtrante generalmente compuesto por gravillas y gravas, que permiten la conductividad hidráulica y minimizan el riesgo de colmatación
- La elección de la vegetación macrófita que colonizará el humedal dependerá del proyectista. Se suele emplear vegetación que coloniza los humedales naturales.



*Imágenes 21 y 22: Humedales artificiales.*

Fuentes: [https://pork.ahdb.org.uk/media/271061/71274\\_study-tour-to-denmark-report-v3.pdf](https://pork.ahdb.org.uk/media/271061/71274_study-tour-to-denmark-report-v3.pdf).  
[http://www.gov.pe.ca/photos/original/af\\_bmp\\_wastemgt.pdf](http://www.gov.pe.ca/photos/original/af_bmp_wastemgt.pdf)





*Imagen 23 : Humedales artificiales con macrofitas*  
Fuente: [http://www.st-amandshof.be/en/our\\_company](http://www.st-amandshof.be/en/our_company)

### **i. Procesos de depuración en los humedales artificiales.**

Este tipo de sistemas de depuración de aguas residuales tienen dos objetivos primarios:

- La **digestión de materia orgánica**, representada por los valores de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y de sólidos en suspensión totales (SS). Este proceso se lleva a cabo mediante la digestión aeróbica y anaeróbica
- La **conversión del amonio en nitrógeno gas (N<sub>2</sub>)** mediante procesos de nitrificación desnitrificación.

Estos objetivos se consiguen mediante los procesos de eliminación de contaminantes, que se pueden dividir entre los procesos:

- **No destructivos:** El descenso en la acumulación de contaminantes en el medio acuoso mediante esta vía se consigue gracias a la relocalización de estos contaminantes en otros medios, como la atmósfera o el suelo
- **Destructivos:** Los contaminantes se degradan en moléculas más simples con menor potencial contaminante, siendo degradados por las plantas o por los microorganismos presentes en las lagunas.



Procesos no destructivos	Procesos destructivos
<p>•<b>Volatilización y fitovolatilización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Se trata de la emisión de ciertos gases a la atmósfera por el contacto directo del medio líquido con el aire.</li> <li>•En los humedales de flujo subsuperficial, al no existir este contacto, las plantas asimilan estos contaminantes y los emitirían a la atmósfera mediante su propia transpiración</li> </ul> <p>•<b>Asimilación y fitoacumulación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Los contaminantes asimilados por la planta no son rápidamente degradados o emitidos al medio, acumulándose en sus tejidos</li> </ul> <p>•<b>Adsorción y sedimentación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acumulación de estos contaminantes en los lodos sedimentados en el humedal, o en la superficie de los materiales sólidos presentes.</li> </ul>	<p>•<b>Fitodegradación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Mediante las enzimas de las plantas se degradan metabólicamente los contaminantes.</li> </ul> <p>•<b>Degradación microbiológica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Mediante la acción de microorganismos, tanto aerobios como anaerobios</li> </ul>

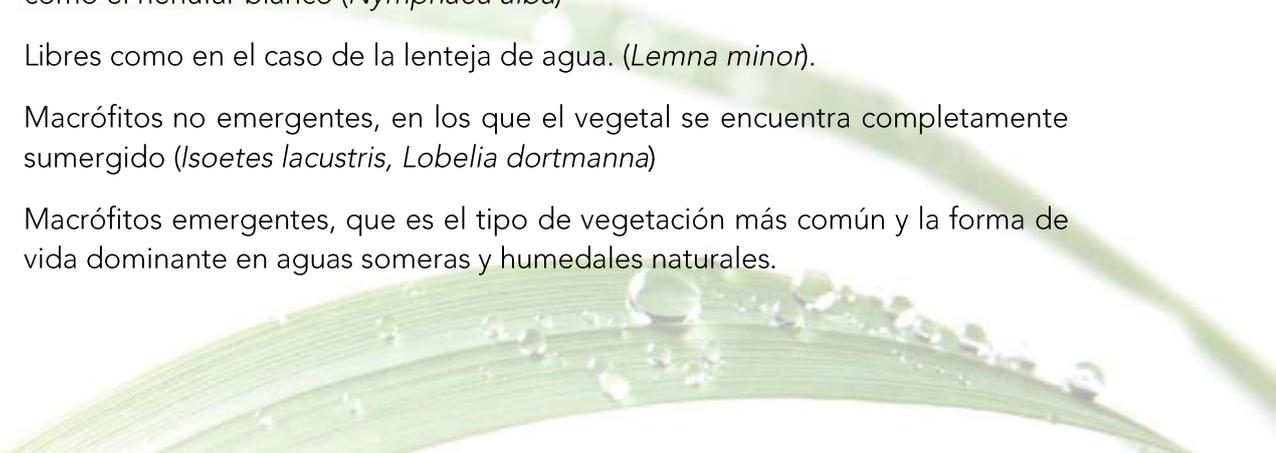
## 1. Humedales de flujo superficial horizontal

Este tipo de humedales están constituidos por una excavación cubierta por una superficie impermeable, sobre la que se puede disponer un sustrato y la vegetación elegida. La profundidad de la lámina de agua debe ser de en torno a 40 cm.

En ellos el agua está expuesta directamente a la atmósfera, circulando preferentemente a través de los tallos de las plantas.

En función del tipo de vegetación presente en este sistema existen pueden diferenciarse:

- Los humedales de flujo superficial de macrófitos flotantes enraizados al sustrato como el nenúfar blanco (*Nymphaea alba*)
- Libres como en el caso de la lenteja de agua. (*Lemna minor*).
- Macrófitos no emergentes, en los que el vegetal se encuentra completamente sumergido (*Isoetes lacustris*, *Lobelia dortmanna*)
- Macrófitos emergentes, que es el tipo de vegetación más común y la forma de vida dominante en aguas someras y humedales naturales.



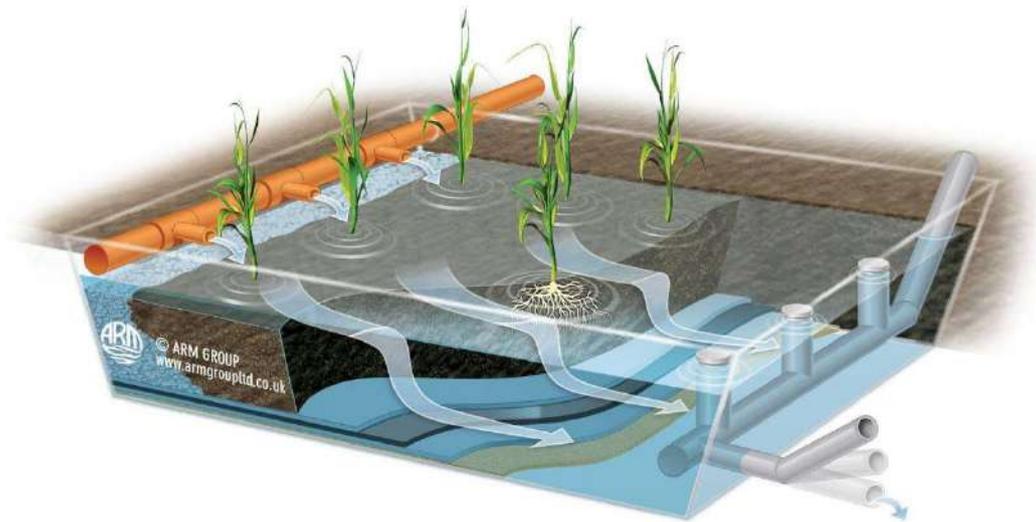


Figura 22 : Esquema de un humedal de flujo superficial con macrófitas enraizadas  
Fuente: Web ARM Reed Beds

En este sistema los tallos, raíces y hojas caídas crean un soporte adecuado para la proliferación de bacterias que realizan los procesos de biodegradación de la materia orgánica.

La parte aérea de las plantas a su vez genera la sombra necesaria sobre la masa de agua que limita el crecimiento de microalgas.

A su vez, la parte superficial de la masa de agua, que se encuentra en condiciones aerobias, propicia el oxígeno necesario para la realización de la nitrificación del amonio.

En el resto del agua, que se encuentra en condiciones anaeróbicas, se producen los procesos de desnitrificación.

El carbono necesario para esta fase lo aportan los restos de vegetación y de microorganismos presentes en el humedal.

### a. Morfología

A continuación, se muestran una serie de datos orientativos acerca de las dimensiones que debería tener uno de estos sistemas

- La superficie del humedal será como mínimo de entre 4 y 6 m<sup>2</sup> por habitante equivalente. Se considera como el valor mínimo a tener en cuenta.
- La relación entre longitud y anchura será de aproximadamente 5/1.
- La profundidad de la lámina de agua será de alrededor de 0,4 m.
- La pendiente del fondo entre entrada y salida será de aproximadamente 0,5%.
- Los taludes laterales se realizarán a 45°.





Imagen 24: Humedal de flujo superficial

Fuente: <https://armreedbeds.co.uk/wp-content/uploads/2017/02/Agriculture.pdf>

## 2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal

Este tipo de sistemas emplean la acción combinada de un sustrato (grava generalmente) junto con plantas acuáticas emergentes.

El sustrato retiene los sólidos en suspensión, además de facilitar una gran superficie de fijación a las bacterias encargadas de la descomposición de la materia orgánica. Por su parte, las plantas acuáticas absorben los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, aportando oxígeno a través de sus raíces, lo que favorece la descomposición bacteriana.

En este tipo de humedales el aporte de fluidos se realiza de forma continua. El agua residual fluye horizontalmente a aproximadamente 10 centímetros bajo el sustrato filtrante de gravilla en el que se fija la vegetación. Es por este tipo de funcionamiento que en estos humedales se producen procesos de desnitrificación.

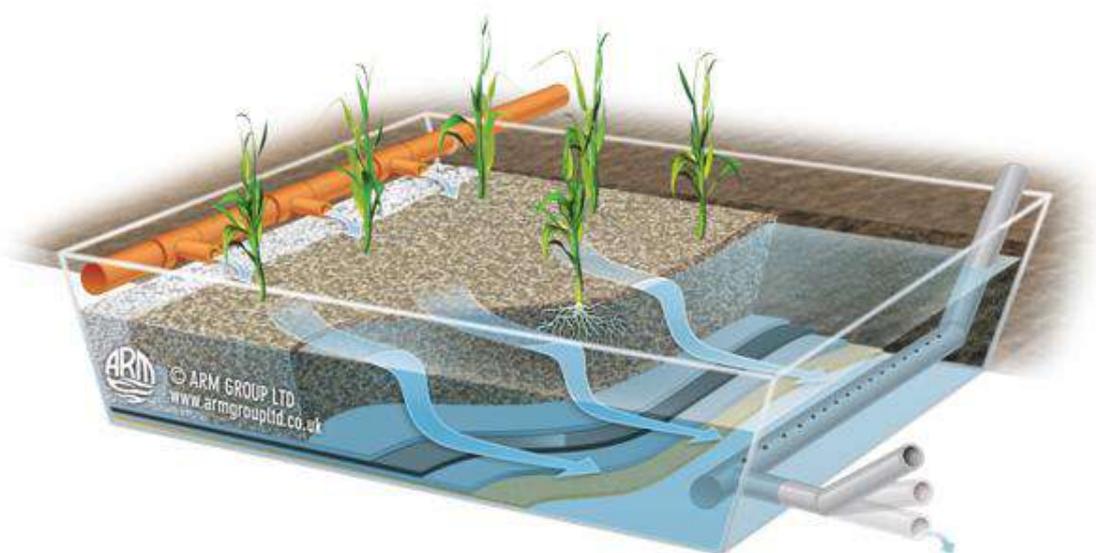


Figura 23: Esquema de un humedal de flujo subsuperficial horizontal.

Fuente: Web ARM Reed Beds

### a. Morfología

A continuación, se muestran una serie de datos orientativos acerca de las dimensiones que debería tener uno de estos sistemas:

- Los humedales artificiales de alta carga (o sea los que reciben aguas provenientes de un pretratamiento y de un tratamiento primario), deberán tener una superficie de 5 m<sup>2</sup> por habitante equivalente. Este dimensionado se considera el mínimo aplicable.
- Los humedales artificiales de baja carga (o sea los que reciben aguas provenientes de un pretratamiento y de un tratamiento primario y de un tratamiento secundario), deberán tener una superficie de 2 m<sup>2</sup> por habitante equivalente.
- La relación entre longitud y anchura será de aproximadamente 2,5/1.
- El sustrato filtrante de gravilla-grava será de aproximadamente 0,6 m de espesor y la pendiente del fondo entre entrada y salida será del 1%.
- Los taludes laterales presentarán una pendiente de 45°



*Imagen 24: Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal*

Fuente: <https://armreedbeds.co.uk/wp-content/uploads/2017/01/Horizontal-flow-tech-specific-HQP.pdf>

### 3. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical

Al igual que en el caso anterior, estos sistemas combinan la acción de un sustrato como la grava junto con la de plantas acuáticas emergentes. El sustrato se encarga de retener los sólidos en suspensión, mientras que proporciona una gran superficie de fijación para las bacterias que descomponen la materia orgánica.

Por su parte las plantas acuáticas absorben los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y aportan oxígeno a través de sus raíces, lo que favorece la descomposición bacteriana.

La principal diferencia con el sistema anterior es que en este sistema la alimentación se efectúa de forma intermitente, es decir, en fases de llenado, reacción y vertido.

En él las aguas circulan verticalmente a través de un substrato de arena – gravilla de un espesor aproximado de 1 metro, en el que se fija la vegetación.

En el fondo del humedal existe una red de drenaje que permite la recogida del efluente depurado. En algunos casos se conectan a la red de drenaje un sistema de chimeneas que sobresalen por encima del nivel de las gravas, con el objetivo de incrementar la oxigenación de la capa del substrato filtrante. Al igual que en el caso anterior, en este sistema se producen procesos de nitrificación.

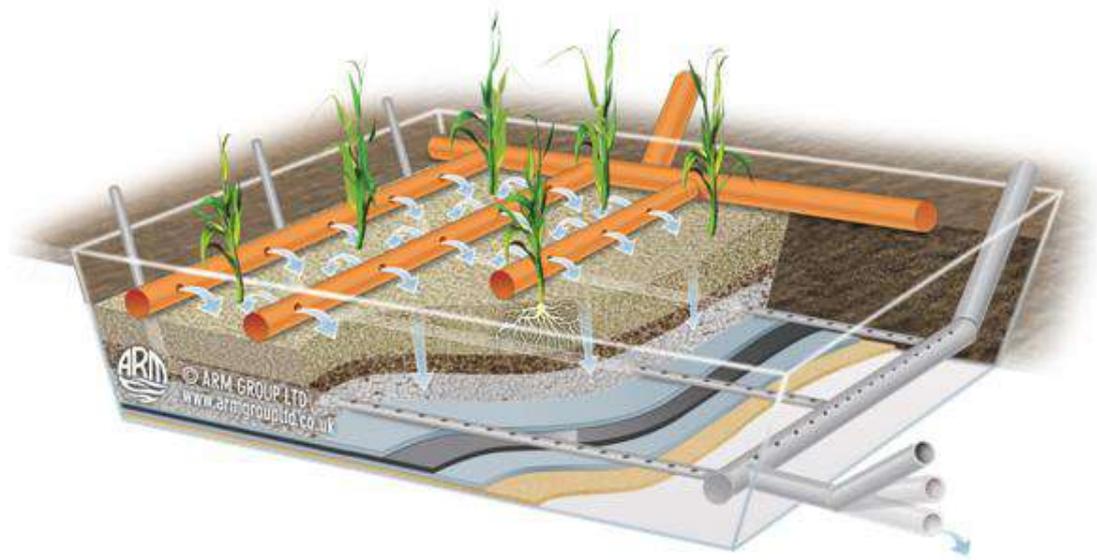


Figura 24 : Esquema de un humedal de flujo subsuperficial vertical  
Fuente: Web ARM Reed Beds

### a. Morfología

- Los humedales artificiales de alta carga (o sea los que reciben aguas provenientes de un pretratamiento y de un tratamiento primario), deberán tener una superficie de aproximadamente 5 m<sup>2</sup> por habitante equivalente.
- Los humedales artificiales de baja carga (o sea los que reciben aguas provenientes de un pretratamiento y de un tratamiento primario y de un tratamiento secundario), deberán tener una superficie de 2 m<sup>2</sup> por habitante equivalente.
- La relación entre longitud y anchura será de aproximadamente 2,5/1.
- El substrato filtrante de arena-gravilla será de aproximadamente 1 m de espesor.
- La pendiente del fondo entre entrada y salida será de aproximadamente el 1%
- Los taludes laterales se realizarán a 45°.



Imagen 25: Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical

Fuente: <https://armreedbeds.co.uk/wp-content/uploads/2017/01/verticflow-tech-specific-HQP.pdf>

### **i. Ventajas y desventajas**

#### Ventajas

- Elevadas tasas de reducción de la DBO, sólidos en suspensión, metales pesados y microorganismos patógenos
- Capacidad de absorber cambios en la carga contaminante
- Bajos costes de explotación e instalación
- Bajos requerimientos energéticos

#### Desventajas

- Costes asociados a la ocupación del terreno necesaria
- Complejidad biológica e hidrológica del sistema
- Suele requerir un sistema previo de almacenamiento y de separación sólido/líquido

#### 4.4. Sistemas basados en la combinación de diferentes tecnologías

Las técnicas de gestión de purines anteriormente descritas pueden combinarse entre ellas de distintas formas con la finalidad de lograr una mayor eficacia total del sistema.

Mediante estas combinaciones se puede lograr mejorar las características del producto a tratar a lo largo del proceso, como por ejemplo disminuyendo su volumen o variando su carga orgánica, y también se puede conseguir una reducción de costes, la eliminación del nitrógeno (objetivo fundamental), disminuir la emisión de gases de efecto invernadero...

Existen diversos estudios en los que se valoran distintos sistemas de combinaciones de varias tecnologías, como por ejemplo el propuesto por el Institute of Subtropical Agriculture – Chinese Academy of Sciences, que propone un tratamiento de purificación mediante biomasa, en el cual se conjuga la acción de un tanque en el que se introduce cierta cantidad de biomasa (paja) junto con la fracción líquida del purín, para posteriormente pasar a través de un conjunto de humedales artificiales.

En la actualidad existen distintas combinaciones de tecnologías que se han demostrado efectivas o que, según sus estudios, ofrecerían una buena capacidad para el tratamiento de los purines:

Laguna anaeróbica +  
Humedal intensivo  
FBA™ + Remoción  
de fósforo

Tecnología Innova

Tecnología TAYA

Planta de  
tratamiento de A  
Chaira

A continuación, pasan a describirse cada una de ellas:



### 4.4.1. Laguna anaeróbica + Humedal intensivo FBATM + Remoción de fósforo

En este sistema, propuesto como alternativa en el proyecto Life Regenera Limia, no cuenta con experiencias reales de aplicación, si bien por los estudios que se han realizado se considera como una alternativa viable para la gestión de purines provenientes de explotaciones porcinas.

#### 1. El proceso depurativo

Al purín procedente de las explotaciones porcinas se le aplicarían una serie de tratamientos de acuerdo al siguiente esquema, que se verá con más detalle en apartados posteriores de esta misma guía:

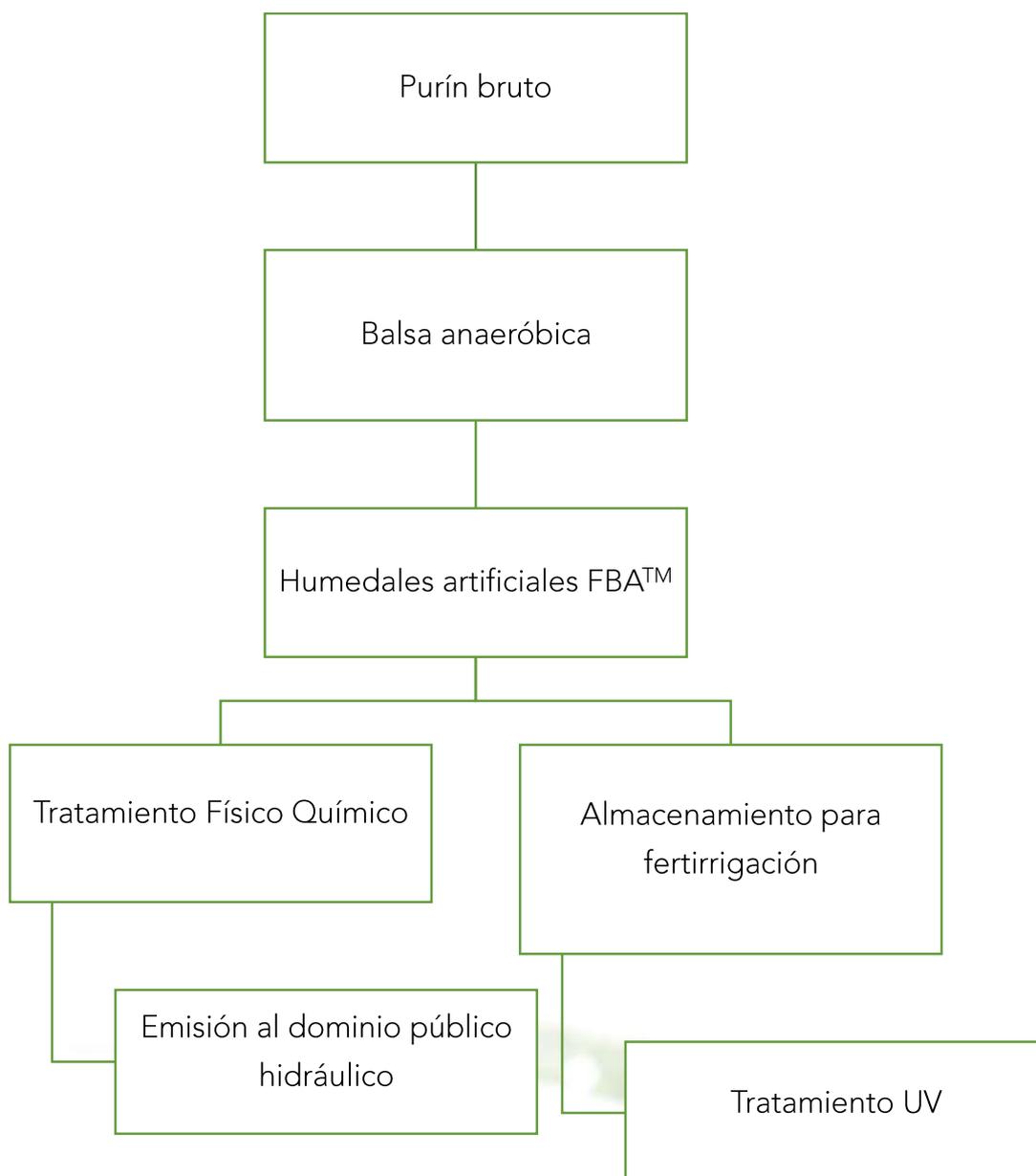


Figura 25: Esquema básico de funcionamiento

- En la laguna anaeróbica, como ya se vio anteriormente, tiene lugar la acción de bacterias anaerobias y en ella se consigue la decantación de buena parte de los sólidos en suspensión y con ello la estabilización de la materia orgánica presente en el purín.
- El efluente que sale de la laguna anaeróbica pasa a un humedal artificial de flujo subsuperficial (FBA™) en el que se integra un sistema de soplado en el fondo del mismo, aportando oxígeno que favorece el proceso de depuración del afluente. Las plantas macrófitas, a su vez, también participan en este proceso depurativo
- La fracción del efluente del Humedal Artificial FBA™ destinada a incorporarse al dominio público hidráulico se hace pasar por un tratamiento fisicoquímico que permite un descenso en los niveles de fósforo, de acuerdo a los parámetros establecidos por la legislación vigente.
- La otra parte del efluente que se va a dedicar a la fertirrigación no se hace pasar por este tratamiento físicoquímico, ya que los niveles de fósforo son adecuados para su empleo como fertilizante. Sin embargo se le hace pasar por un filtro de radiación ultravioleta, que elimina los microorganismos patógenos que pudieran existir en el mismo.

Según las estimaciones, a través de este sistema se consigue una gran reducción de parámetros de contaminantes como:

- DBO<sub>5</sub>
- Sólidos en suspensión
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- Fósforo



Imagen 26: Humedal FBA™  
Fuente: Ecolagunas, S.L

## 2. Costes

En este sistema, el coste estimado por la gestión de 1 m<sup>3</sup> de purín es de en torno a 6,5 €, teniendo en cuenta la posible comercialización del efluente destinado a la fertirrigación.

La situación ideal en este sistema es la de su ubicación en las proximidades de la explotación porcina, ya que de esta forma los costos asociados al transporte del purín serían despreciables.

#### 4.4.2. Tecnología Innova

Esta tecnología combina tratamientos primarios del purín junto con un posterior tratamiento intensivo y extensivo con humedales artificiales. Con ello se consigue un completo tratamiento del purín y una calidad de efluentes de acuerdo con la legislación aplicable.

Este sistema se emplea en la región de Flandes en donde existen más de media docena de este tipo de instalaciones, obteniendo buenos resultados en la depuración de purines.

##### 1. El proceso

Al purín procedente de las granjas se le aplica en primer lugar una separación física, mediante la que se obtiene una fracción líquida y una fracción sólida. El principal sistema aplicado es la separación por centrifugación, aunque también se emplean técnicas como el tambor rotatorio o separación mediante prensas. De esta separación se obtiene una fracción líquida que representa de un 80 a un 85 % del total y una fracción sólida de en torno al 15 – 20 %. Se emplean también coagulantes o floculantes que ayudan al proceso, que también resulta efectivo en la reducción de P en la fracción líquida.

La fracción sólida se destina a la producción de compost, que posteriormente es valorizado como fertilizante en suelos.

La fracción líquida se somete a una reducción de nutrientes mediante un tratamiento biológico de nitrificación desnitrificación en tanques. El efluente obtenido puede destinarse a la fertilización mediante sistemas de aplicación directa a las tierras de cultivo, el cual presenta unos bajos valores de N y P (se pasa de 8 g/l de N y 5 g/l de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a unos valores de 0,5 en ambos casos).

Al digestato obtenido se le realiza de nuevo una separación física. La fracción sólida se somete a un proceso de donde se exporta en gránulos que podrán ser empleados como fertilizantes, mientras que la fracción líquida se la vuelve a someter a otro proceso de aprovechamiento.

Este efluente procedente del proceso de nitrificación - desnitrificación también puede pasar a someterse a un tratamiento terciario mediante humedales artificiales. Este sistema consta de un conjunto de varios humedales en los que la intensidad del tratamiento varía. Los resultados obtenidos en el efluente después de su paso por el sistema de humedales artificiales demuestran la eficiencia del sistema:



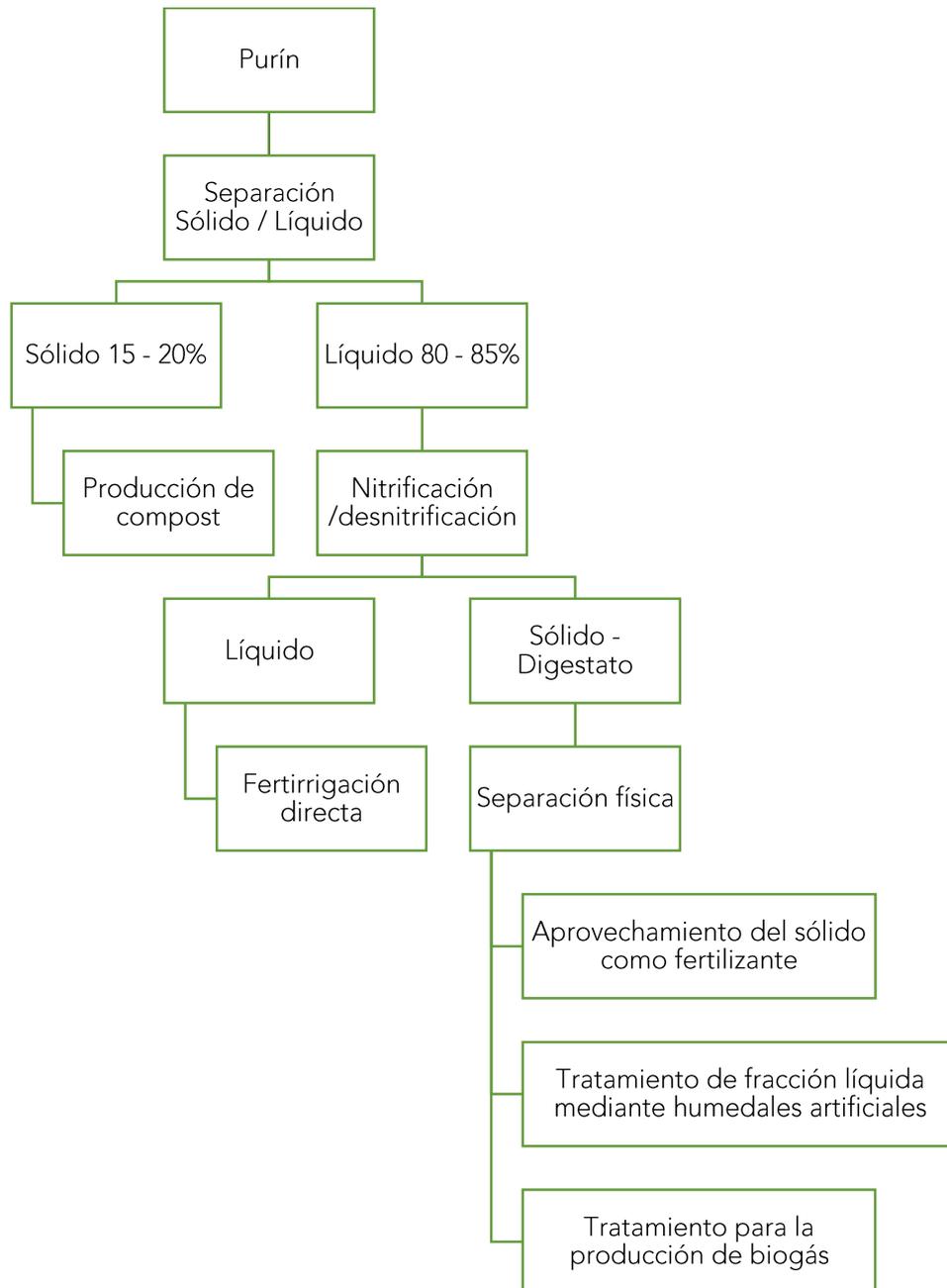


Figura 26: Esquema del proceso

	Fracción líquida antes del tratamiento de nitrificación – desnitrificación (mg/l)	Efluente posterior al paso por el sistema de humedales (mg/l)
Nitrógeno	300	< 15
Fósforo	250	< 2
DOO	3000	< 125

Resultados en distintos parámetros tras el tratamiento mediante sistema de humedales artificiales





Imagen 27: Construcción de humedales en la planta de West-Vlaanderen  
Fuente: <http://innova-manure.com/>

## 2. Costes

La planta de Ichtegem fue la primera de estas características en ponerse en funcionamiento en el año 2006. Esta dimensionada para procesar adecuadamente una media de 325.000 litros de purín al mes (entre 250.000 y 400.000 l/mes). Está ubicada junto a la granja de cerdos a la que da servicio, por lo que los costos de transporte son mínimos. Ocupa un área de aproximadamente 0,5 hectáreas por lo que aproximadamente cada m<sup>2</sup> del sistema de tratamiento es capaz de depurar adecuadamente 83 litros de purín de media al mes.

Los costos de funcionamiento se calcula que oscilan entre los 3 y los 5 € por tonelada de purín tratado.

Caudal / mes	Superficie total	Litros /mes m <sup>2</sup>	Coste m <sup>3</sup> tratado
325.000	0,5 ha	83	3 – 5 €

### 4.4.3. Tecnología TAYA

Este sistema patentado combina los beneficios del tratamiento de agua mediante humedales extensivos junto con la tecnología de los tratamientos intensivos electromecánicos. Sus principales beneficios residen en los buenos resultados del tratamiento de amoníaco y nitrógeno total y el bajo coste de mantenimiento y de consumo energético.

#### 1. El Proceso

Este sistema se puede emplear tanto para aguas residuales domésticas como para efluentes provenientes de la industria ganadera.

Su tecnología se basa en la aireación pasiva del agua mediante un sistema de bombeo del flujo subsuperficial, situado entre dos balsas, y que aprovecha en parte el efecto de

la gravedad. En cada una de ellas, existe una estructura en forma de panal que crea una gran superficie en la que se desarrollan organismos beneficiosos para el proceso.

El agua del purín pasa al sistema a través de la primera balsa, donde pasa un tiempo antes de ser bombeado a la contigua y viceversa, produciéndose una aireación pasiva del agua que ahorra hasta el 85% del coste eléctrico de un sistema de aireación convencional, además consumir un 15% menos de energía que un sistema de tratamiento biológico intensivo convencional.

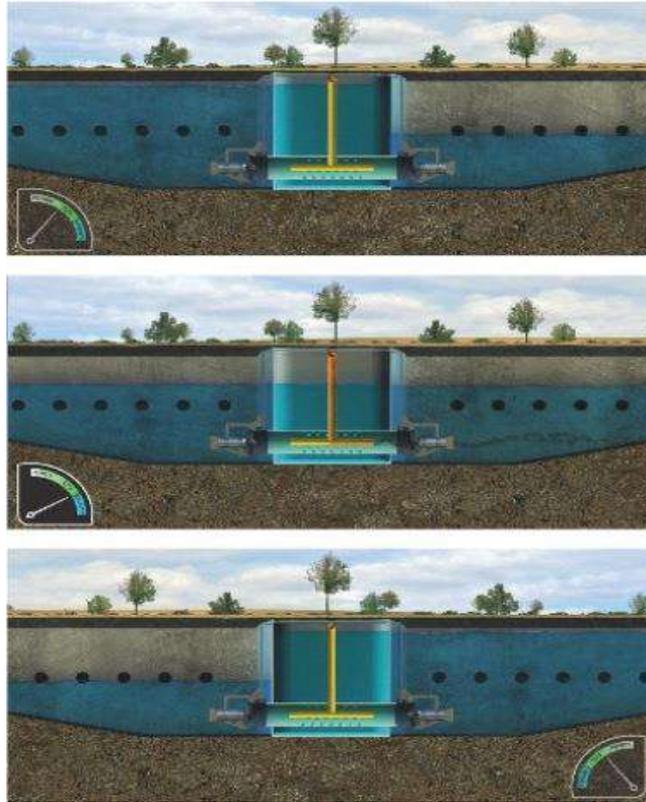


Figura 27: Esquema del funcionamiento de llenado – vaciado de las balsas contiguas  
Fuente: <http://www.triple-treatment.com/>

En este sistema se pueden diferenciar tres zonas de tratamiento distintas:

- Una zona anaeróbica ubicada en el fondo de la balsa
- Una zona anóxica que correspondería con la interfase entre el fondo de la balsa y su superficie
- Una zona aeróbica en la superficie

La presencia de estas tres zonas permite que se den las condiciones adecuadas para que se produzca un proceso completo de nitrificación – desnitrificación en el residuo a tratar.

El aporte de oxígeno necesario para la supervivencia de las bacterias aerobias se consigue a través del aireamiento pasivo de la estructura compuesta por celdas hexagonales sobre las que se forma el biofilm. Éstas quedan expuestas al oxígeno atmosférico durante los ciclos de vaciado y llenado entre cada una de las dos balsas.



Los tiempos de retención y la mezcla de aguas durante el proceso permiten minimizar posibles problemas de toxicidad que resultasen dañinos para las bacterias y además permite una distribución homogénea de los nutrientes. Además, al encontrarse formando un biofilm "anclado" a la estructura en panel, permite una mayor resiliencia de las bacterias respecto a los cambios de nivel.



Figura 28: Sistema de bombeo junto con el panel de control de procesos  
Fuente: <http://www.triple-treatment.com/>

Este sistema está preparado para el tratamiento directo del purín, si bien algunos sólidos pueden decantar en el fondo de las balsas. Para ello existe un sistema de drenado que normalmente se realiza una vez cada dos meses, aunque depende de la carga del residuo a tratar. Estos lodos podrían emplearse para su aplicación directa sobre el terreno o gestionarse mediante algún sistema que permita cumplir los requisitos de la legislación vigente.

El proceso se controla desde un panel central programado y facilitado por la propia empresa.

En él el operador puede controlar la mayor parte de los parámetros del sistema, como por ejemplo la cantidad de entrada – salida de residuo / efluente, la frecuencia de llenado y vaciado o la profundidad del mismo. Si bien todo ello puede ser controlado de forma remota. Este panel también informa de parámetros como el pH, temperatura y otros que resulten relevantes.

La vida media estimada para la infraestructura es de 30 años. Las membranas impermeables se calcula que tienen una duración de 15 años mientras que en el caso de las turbinas su duración se estima en 10 años.





Imagen 28: Sistema TAYA  
<https://armreedbeds.co.uk/wp-content/uploads/2017/02/Agriculture.pdf>

## 2. Rendimientos

Para un tratamiento completo de nitrificación desnitrificación este sistema consume hasta un 90% menos de energía eléctrica que un sistema convencional, ya que el único elemento eléctrico es la bomba encargada del llenado y vaciado de ambas balsas.

Este sistema se ha aplicado para el tratamiento de distintas tipologías de aguas residuales, desde aguas domésticas hasta residuos provenientes de explotaciones ganaderas.

En Lahav, Israel, se aplicó para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una granja de cerdos, con una carga orgánica y de nitrógeno equivalente a una población humana de 25.000 habitantes. A continuación, se describen los valores medios de distintos parámetros en el influente.

Parámetro	Influente
DBO	12.000 mg/l
DQO	20.000 mg/l
Sólidos en suspensión	15.000 mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	900 mg/l
Caudal	300 m <sup>3</sup> /día

Se construyó aprovechando las antiguas instalaciones de una planta depuradora por lo que los costos se redujeron considerablemente, y además se aprovecharon tres excavaciones ya existentes para un tratamiento previo en condiciones de lagunaje anaerobio.





### TAYA Design (2009)

- Three anaerobic basins
- Two basin TAYA system

Imagen 29: Diseño de la planta de tratamiento en Lahav, Israel  
Fuente: Triple-T (2011). Lahav, Israel. Case study.

Mediante este sistema se consiguieron los siguientes rendimientos.

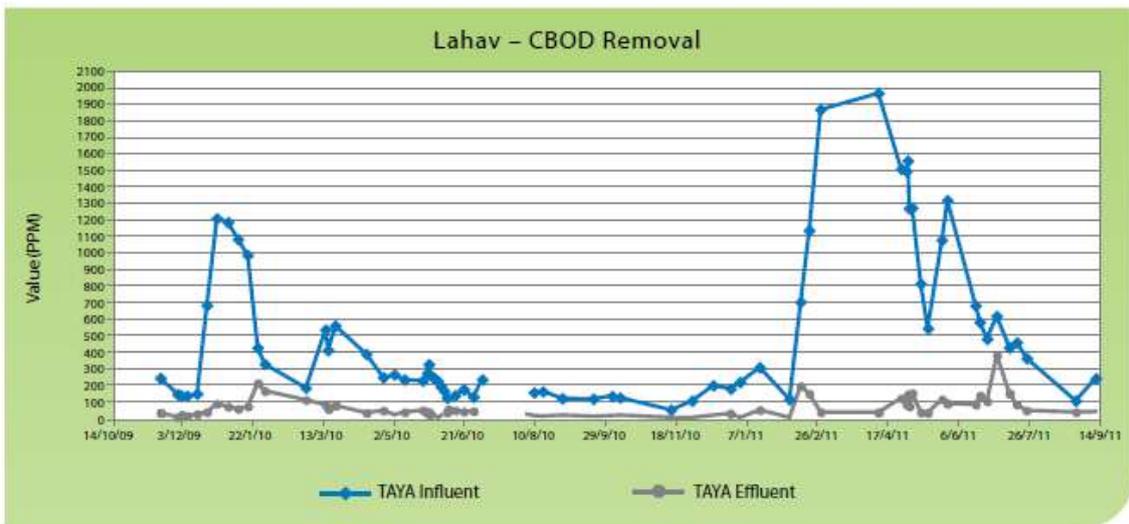


Imagen 30: Resultados obtenidos en la DBO y la DCO  
Fuente: Triple-T (2011). Lahav, Israel. Case study.

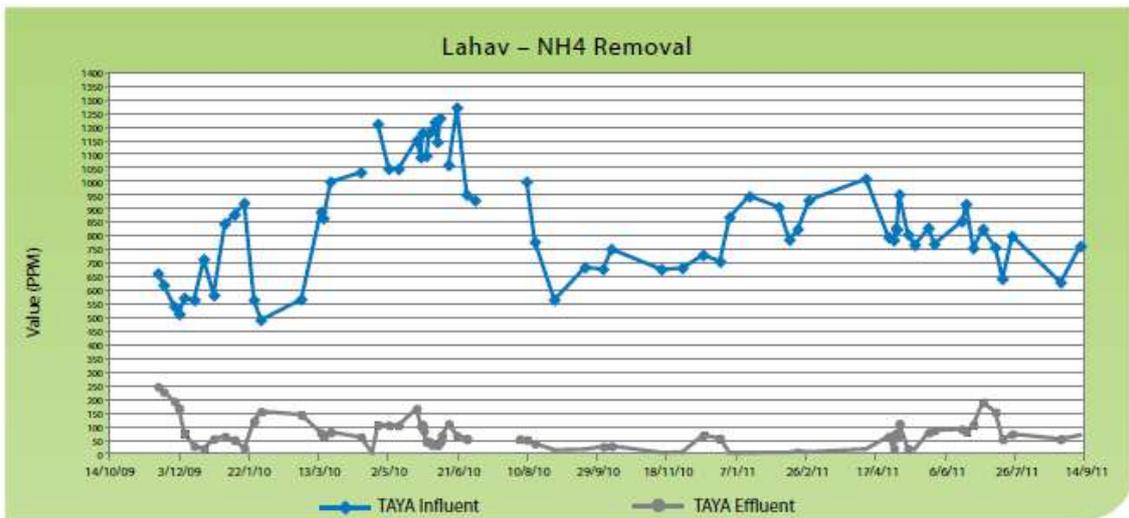


Imagen 31: Resultados obtenidos en la eliminación de  $\text{NH}_4^+$   
Fuente: Triple-T (2011). Lahav, Israel. Case study.

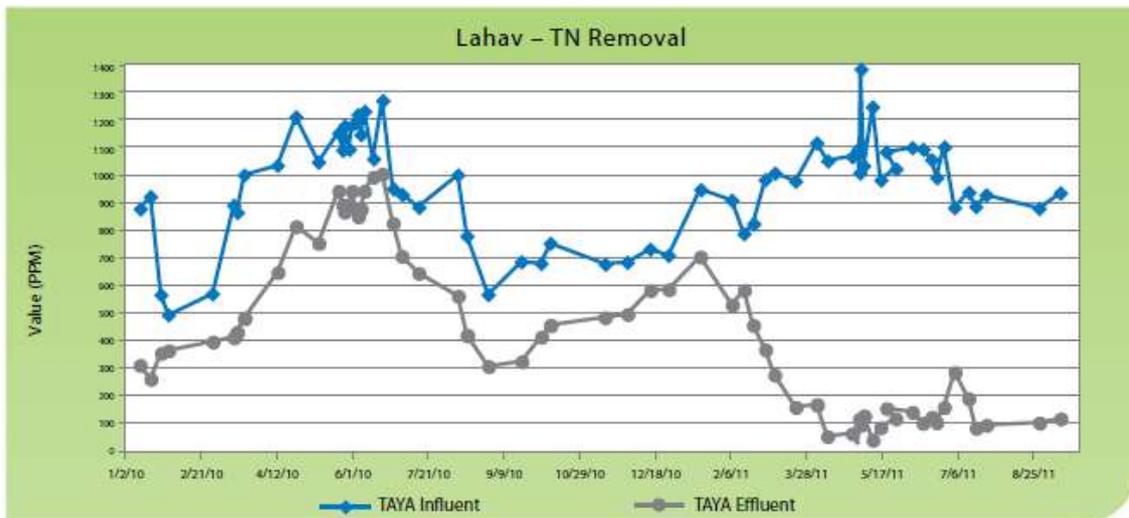


Imagen 32: Resultados obtenidos en la eliminación de N  
Fuente: Triple-T (2011). Lahav, Israel. Case study.



#### 4.4.4. Proceso de tratamiento experimental de purines de A Chaira.

La empresa Coren, en su Centro de Selección Genética de Porcino situada en A Chaira, Celanova, puso en marcha en el año 2016 una Planta de Investigación y Tratamiento de Residuos Orgánicos dentro del marco del programa Valorpur.

El objetivo de esta planta es el de gestionar los purines producidos en la explotación, destinando la fracción sólida para su uso agrícola como abono en distintos tipos de cultivo (maíz, patata o trigo, entre otros) o bien para su uso como biomasa. La fracción líquida por su parte, pasa por un sistema de depuración del que forman parte distintos métodos para el tratamiento de purines. Después de este proceso, la fracción líquida se almacena para emplearla como agua de riego en 400 hectáreas de fincas agrícolas experimentales en el entorno de la planta.

Este sistema experimental se encuentra actualmente en fase de implementación, por lo que todavía no es posible mostrar los resultados que se han obtenido.



Imagen 33: Centro de Selección Genética de Porcino.  
Fuente: <https://www.coren.es/>

## 1. El proceso

El proceso de depuración de purines consta de 6 fases



Figura 29: Fases de la depuración de purines en este sistema

- **Fase 1 – Recepción de purines:** El purín procedente de todas las naves de la explotación se almacena en una balsa externa con una capacidad de 375 m<sup>3</sup> y que consta con un sistema de agitado que permite la homogeneidad del mismo. Posteriormente se bombea a otra balsa, llamada de recepción, con una capacidad de 217 m<sup>3</sup>. En esta balsa es donde realmente comienza el proceso de depuración y el purín permanece en ella durante varios días. En ella se inyecta aire de forma controlada mediante unos platos difusores, permitiendo unas condiciones aerobias en el purín.
- **Fase 2 – Separación Sólido – Líquido:** Después de unos días en la balsa aireada, el purín pasa por una rampa de prefiltrado, dónde se realiza una primera separación de las dos fases, y la parte sólida se hace pasar de nuevo por un separador tornillo – prensa. La parte sólida obtenida al final de este proceso se almacena en pilas, que se voltean de forma continuada y que permite su proceso de maduración. La parte líquida continúa el proceso de separación mediante dos filtros vibrantes, de donde pasa seguidamente a una balsa de reacción anaerobia.
- **Fase 3 – Reacción Anaerobia:** La fracción líquida obtenida anteriormente se bombea a una balsa con una capacidad de 234 m<sup>3</sup> en la que permanece varios días a bajas concentraciones de oxígeno. Los lodos obtenidos en este paso se bombean hasta la primera laguna aireada
- **Fase 4 – Reacción Aerobia:** La parte líquida de la anterior fase se bombea hasta la balsa de reacción aerobia con una capacidad de 217 m<sup>3</sup>, en donde repite el proceso sufrido en la primera fase en donde se inyecta aire.

- **Fase 5 – Decantación:** Desde la balsa anterior, pasados unos días, el líquido se bombea hasta la zona de decantación. Esta zona la forman 7 balsas conectadas en serie. El purín ha de recorrer toda la superficie de cada balsa para pasar a la siguiente, a lo largo de las cuales las partículas sólidas irán decantándose progresivamente. Las dos primeras balsas son de hormigón y cuentan con un sistema de limpieza a base de palas raspadoras que retiran mecánicamente las partículas que se han decantado en el fondo de las mismas. El vaso de las siguientes balsas es de lona y la última de la cadena tiene un rebosadero, por el cual una vez alcanzado su nivel, el purín pasa a la balsa de almacenamiento final. En total todas las balsas tienen un volumen de almacenamiento de 658 m<sup>3</sup>.
- **Fase 6 – Balsa de acumulación:** En la balsa de acumulación se recoge toda la parte líquida tratada durante el proceso. Tiene una capacidad de 1440 m<sup>3</sup>. Desde esta balsa se obtiene la parte líquida empleada para el riego de las parcelas experimentales próximas a la planta.

## 5. ALTERNATIVAS SOSTENIBLES

En los apartados anteriores se ha hecho una descripción general de los principales sistemas o métodos de gestión de purines. Es posible observar las grandes diferencias que existen entre ellos desde el punto de vista medioambiental, técnico, económico, de resultados de depuración... En algunos casos tan solo se trata de pretratamientos para su posterior procesado por otros métodos, como en el caso de la separación sólido / líquido o el almacenamiento en balsas.

Se han seleccionado como alternativas sostenibles por criterios económicos las siguientes opciones:

- Aplicación directa de los purines
- Humedales artificiales
- Humedal con aireación forzada
- Producción de Biogás

De entre todas ellas se hará una selección de las más adecuadas tras someterlas a una evaluación en función de los criterios que se va a definir a continuación.

### 5.1. Criterios de selección de las alternativas sostenibles

A continuación, pasan a describirse los criterios que se van a emplear para valorar cuales de estas posibilidades son las más adecuadas para la implementación en el caso de la comarca de A Limia.

#### 5.1.1. Recursos naturales

Para considerar el impacto de alternativas y proyectos sobre los recursos naturales regionales, se han utilizado seis parámetros, a saber:

- **Ocupación de la superficie.** Aquí cuanto mayor sea la superficie de suelos aptos que "consume" el proyecto o alternativa en relación a la unidad de purín tratada, más baja es la ponderación. Este es un indicador de "riesgo" pues

se supone como conveniente abordar alternativas y proyectos que impliquen la menor ocupación del suelo.

- **Rendimiento económico.** En este parámetro se analiza el costo que supone el tratamiento de 1 m<sup>3</sup> de purín mediante cada uno de los sistemas.
- **Contaminación de los recursos hídricos.** En este caso, se cuantifica los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, ocasionados por cada alternativa propuesta.
- **Emisión de gases de efecto invernadero.** Este apartado analiza las potenciales emisiones de gases de efecto invernadero que se producirían en el uso de cada uno de los sistemas.
- **Calidad del aire.** Evalúa la emisión de gases susceptibles de provocar problemas de salud o de molestias por malos olores.

### 5.1.2. Necesidades de infraestructura pública

Se consideran aquí los requerimientos de infraestructura pública de cada alternativa en dos ámbitos:

- **Comunicaciones.** Se analiza la necesidad de crear o mejorar la red de comunicaciones que permitan el funcionamiento adecuado de cada uno de los sistemas, como por ejemplo la red de carreteras o la red de comunicaciones telefónicas
- **Infraestructura energética.** En este punto se analiza la necesidad de creación o mejora de las infraestructuras energéticas (red eléctrica o de combustible) que permita la implementación y el funcionamiento de cada alternativa.

Cuanto mayores sean los requerimientos y cuanto más largo sea el plazo de ejecución de los mismos, menor será el valor que dichos parámetros adjudiquen al aprovechamiento. El criterio de "castigar" las obras de infraestructura responde exclusivamente a que se da por supuesto que las infraestructuras necesarias serían de carácter zonal o local y que en este aspecto la dotación antes del proyecto es suficiente y por tanto no vienen a resolver una situación de carencia.

### 5.1.3. Impacto tecnológico

Se busca evaluar aquí los aspectos tecnológicos que diferencian los aprovechamientos existentes.

- **Intensidad de la mano de obra.** Este parámetro se usa para calificar positivamente la tecnología con mano de obra intensiva. Dicha calificación se adjudica a los aprovechamientos que comparativamente gastan menos capital por hombre empleado.
- **Difusión de la tecnología.** Estima el grado de disponibilidad y la difusión local de las tecnologías propuestas por los proyectos. Cuanto mayor sea la difusión en el ámbito local, tanto más positivo se considera el aprovechamiento respectivo.



#### 5.1.4. Impacto social

- **Participación prevista de los productores locales.** En este punto se estima la participación prevista en cada sistema por parte de los productores a nivel zonal. Se adjudicará una puntuación mayor cuanto más sea la participación prevista.
- **Empleo generado.** En este parámetro se indica de manera aproximada la capacidad de empleo de los proyectos o alternativas consideradas en relación con la inversión necesaria. A mayor empleo generado, mayor será la puntuación obtenida.

#### 5.1.5. Impacto espacial

- **Capacidad de fijar población.** Valorará positivamente la potencial capacidad de fijación poblacional en el entorno de cada una de las alternativas analizadas
- **Mejora de las infraestructuras.** Este apartado valorará positivamente la creación de infraestructuras o la mejora de las ya existentes
- **Mejora de la actividad económica local.** Este punto adjudica una valoración positiva a la capacidad de mejora de la economía del entorno del sistema de tratamiento.

#### 5.1.6. Formas de organización productiva

Se introduce aquí un parámetro con trascendencia en relación con la capacidad efectiva para promover un crecimiento local y regional controlado y que beneficie a la población local.

- **Fomento del asociacionismo entre ganaderos.** La valoración del proyecto habrá de aumentar si se facilitan formas de asociación entre ganaderos que puedan convertirse en propietarios del proceso de depuración del purín, que ellos mismos generan.

En la medida que la alternativa o proyecto permita una más efectiva injerencia local en el proceso, parece razonable adjudicarle una valoración positiva, dada la importancia que adquiere dicha actividad, tanto en los niveles de adaptación a la normativa medioambiental de los productores, como en las formas de organización y promoción de la producción.

#### 5.1.7. Costos privados

- **Inversión requerida por m<sup>3</sup> de purín tratado.** Este apartado trata de establecer una relación entre la inversión que se necesita para la implementación de cada sistema de tratamiento con su capacidad de depuración, relacionando la inversión con los m<sup>3</sup> de purín tratados.

#### 5.1.8. Costos sociales

- **Grado de conocimiento y cambios en técnicas productivas y pautas socioculturales.** En este punto se analiza la relación con la resistencia del entorno social, (asociaciones de productores, de vecinos, asociaciones culturales, grupos ecologistas, grupos políticos, etc.) frente a alteraciones en la estructura existente. Se parte de

suponer que cualquier alteración propia de los proyectos o alternativas soportará rechazos proporcionales a su extensión y al área de incidencia.

### 5.1.9. Criterios de medición

Una vez definidos los parámetros de evaluación, estimamos los valores correspondientes para cada alternativa elegida. Para este fin se adoptó un patrón de medida para los indicadores otorgándoles valores crecientes del 1 a "n", en función del comportamiento para cada uno de ellos de cada alternativa y siendo n el número de alternativas analizadas, que en este caso son cuatro.

A continuación, ponderamos dicho valor en función de su importancia para el alcance de los objetivos del Proyecto Life Regenera Limia. Para ello establecemos tres tramos de valores, simplemente denominados: alta, media y baja, a las que asignamos los factores de ponderación 2, 1,5 y 1 respectivamente.

Los criterios de corte - es decir cuándo se considera "alto", "medio" o "bajo" - resultan de una definición que es arbitraria en términos absolutos, pero permite comparar y ordenar las alternativas en relación a los objetivos marcados para este proyecto.

Lo que se propone aquí es una simplificación, adecuada a la disponibilidad de información de esta fase del Estudio. Pero debe observarse que la misma, en aquellos Estudios en los que se disponga de datos suficientes, puede ser fácilmente refinada, incorporando nuevos parámetros de evaluación y obteniendo mayor precisión cuantitativa y riqueza cualitativa en la medición de cada parámetro de evaluación.

Con el fin de facilitar el cálculo y comparación del valor de las alternativas, se ha elaborado una "hoja de cálculo" que se incluye como anexo a este estudio.

Modelo de hoja de cálculo para la valoración de las alternativas.

VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS. HOJA DE CÁLCULO DE VALORES	VALOR (de 1 a n)	ALTERNATIVA A				ALTERNATIVA B				ALTERNATIVA n			
		ALTO	MEDIO	BAJO	VALOR SUBTOTAL	ALTO	MEDIO	BAJO	VALOR SUBTOTAL	ALTO	MEDIO	BAJO	VALOR SUBTOTAL
		Factor	Factor	Factor		Factor	Factor	Factor		Factor	Factor	Factor	
<b>Recursos naturales</b>		2	1,5	1		2	1,5	1		2	1,5	1	
Ocupación de la superficie													
Rendimiento económico													
Huella de Agua													
Uso de agua													
Huella de carbono													
Calidad del aire													
<b>Necesidades de infraestructura pública</b>													
Comunicaciones													
Infraestructura energética													
<b>Impacto tecnológico</b>													
Intensidad de la mano de obra (€/empleado)													
Difusión de la tecnología													
<b>Impacto social</b>													
% participación prevista de los productores locales													
Empleo generado (nº de empleados directos e indirectos)/€ invertidos													
<b>Impacto espacial</b>													
Capacidad de fijar población													
Mejorar infraestructuras													
Mejorar la actividad económica local													
<b>Formas de organización productiva</b>													
Possibilidades de participación directa de los ganaderos en la explotación de la alternativa del proyecto													
<b>Costos privados</b>													
Inversión requerida/m3 de purin tratado													
<b>Costos sociales</b>													
Grado de conocimiento de la solución													
Grado de modificación de las técnicas actuales													
<b>VALOR TOTAL DE LA ALTERNATIVA</b>					0				0				0

## 5.2. Análisis de alternativas

### 5.2.1. Aplicación directa de los purines (A)

#### 1. Recursos naturales

Ocupación de la superficie

- La aplicación directa de los purines en terrenos agrícolas requiere una superficie proporcional tanto al volumen del purín que se va a aplicar como a la concentración de nutrientes que existen en el propio purín. Los purines presentan una gran heterogeneidad en su composición, dependiendo generalmente de la alimentación, así como del tipo de ganado (cerdas con lechones, cerdo de engorde...). El valor agronómico reside fundamentalmente en su riqueza en los siguientes elementos:
  - Nitrógeno (N)
  - Fósforo (P)
  - Potasio (K)

En la siguiente tabla, se puede observar la variación de estos parámetros (g/l) en función de la alimentación del ganado porcino:

Alimentación	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Lactosuero	4,0	3,6	3,2
Harinas	5,7	5,3	3,1
Maíz	4,9	3,9	2,2
Granulados	6,9	6,3	2,4
Sopa	9,9	8,7	3,3

La legislación vigente, establece unos límites en cuanto a los kg de nitrógeno por hectárea y año que se pueden aplicar directamente en los suelos, debido a los problemas medioambientales que una concentración excesiva puede provocar, como se verá más adelante. Estos valores límite son los siguientes:

- En las zonas consideradas como vulnerables por este tipo de contaminación el límite es de 170 kg N/ha y año
- En las zonas sin esta limitación el valor máximo es de 210 kg N/ha año

Esta limitación sumada al actual sistema productivo intensivo de este tipo de ganado, supone que se requieran grandes extensiones de terreno



para poder emplearlo como fertilizante orgánico, de acuerdo a la normativa actual.

Estimando una carga total media de nitrógeno de 4 kg/m<sup>3</sup> de purín, de acuerdo a los datos obtenidos durante el Proyecto LIFE + FUTUR AGRARI en Cataluña, y teniendo en cuenta que la dosis máxima es de 210 kg/N por hectárea en los lugares en los que no existen restricciones, se requeriría una hectárea al año para una producción aproximada de 50 m<sup>3</sup> de purín. En el caso de existir restricciones, con una dosis máxima de 170 kg/N por hectárea, solo se podrían aplicar, aproximadamente, 41 m<sup>3</sup> de purín.

Este tipo de gestión del purín también requiere su almacenamiento en balsas o depósitos durante los periodos en los que no sea posible su aplicación, por cuestiones meteorológicas o por la estacionalidad de los cultivos en los que se apliquen.

Esto supone también una ocupación del terreno que generalmente se encuentra anexo a la granja y que dependerá tanto del tipo de sistema de almacenamiento empleado (tanque, balsa, cisterna flexible...) así como del dimensionado del mismo en función de la cantidad de purín que pretenda almacenarse.

Por ello en este punto, al suponer una ocupación del terreno elevada, la mayor de todas las alternativas, se le otorga la valoración más baja.

- Rendimiento económico

- o El empleo de este sistema como fertilizante en cultivos puede suponer para el gestor un ahorro en los costos totales del proceso, ya que sacaría un rendimiento económico por su aplicación. Por el contrario, como se vio en el apartado anterior, la composición de elementos de interés para el abonado es muy variable entre las distintas explotaciones y es preciso realizar un análisis del purín producido en cada caso para conocer sus potencialidades como fertilizante.

Diversos estudios (*Estudio de costes de fertilización con purín porcino en doble cultivo anual en mínimo laboreo y regadío; Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín; Efectos ambientales de la valorización agronómica de purines de ganado porcino: dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-agua-planta; Gestión, manejo y tratamiento tecnológico del purín de cerdos*) afirman que el empleo como fertilizante de los purines es por norma general una actividad que supone una alternativa interesante a los abonos minerales.

En contrapartida, el ahorro depende directamente de la distancia a la que se vaya a realizar la aplicación del purín, ya que a más distancia mayor sería el coste y dependería de lo que el agricultor esté dispuesto a pagar por la aplicación del purín en su terreno.



Estos costes también dependen en gran medida del sistema de aplicación que se decida emplear para la aplicación, de cuya elección también depende la efectividad de la fertilización.

En las siguientes tablas se muestran los costes estimados por m<sup>3</sup> de purín en función del sistema de transporte y la distancia de transporte del purín. También se muestran los costes de gestión en función del sistema de aplicación empleado

Costes de aplicación directa €/m <sup>3</sup> según los equipos de transporte y la distancia de aplicación						
Realizado por:	Medio utilizado	0,5Km	1,5Km	3Km	5 Km	7 Km
Agricultor/ganadero	Tractor 125 CV - Cuba 10 m <sup>3</sup>	1,11	1,65	2,46	3,08	3,69
Agricultor/ganadero	Tractor 175 CV - Cuba 20 m <sup>3</sup>	1,34	1,71	2,26	2,56	2,85
Servicio externo	Tractor	0,99	1,27	1,68	1,90	2,12
Servicio externo	Camión	0,86	1,10	1,46	1,62	1,78

Costes en €/m <sup>3</sup> a una distancia de aplicación de 1,5 km	
Aplicación en abanico	1,10 – 1,65
Bandas o manguera	2,07 – 3,06
Inyección y enterrado	2,51 – 3,06

Figuras 30 y 31: Relación de costes en función de la distancia de aplicación y el método empleado.  
Fuente: Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería.

Considerando que se emplea el sistema de aplicación en abanico y un transporte a una distancia inferior a 5 km con un posible ingreso por venta como fertilizante o ahorro del mismo si el terreno de aplicación es propio, el coste aproximado de gestión por m<sup>3</sup> de purín estaría en torno a 3 €, por lo que la valoración que se le otorga a este punto es media - alta.



- Contaminación de los recursos hídricos
  - o El principal impacto sobre los recursos hídricos que presenta este sistema es la posible contaminación por escorrentía o lixiviado. La aparición de estos fenómenos depende en gran medida del sistema de aplicación que se emplee.

En los casos en los que el terreno presente cierta pendiente y se produzcan precipitaciones, parte del purín aplicado puede desplazarse hasta cursos de agua superficiales. Por otro lado, la parte de estos nutrientes que se acumulan en el suelo pueden desplazarse hasta los acuíferos subterráneos cuando se riega o cuando llueve, ya que son altamente solubles en agua.

Esto supone un gran aumento de los niveles de N y P en el medio acuático. Según varios estudios la agricultura es la responsable del 50 – 80% de la carga de nitratos en el agua.

Una de las consecuencias es el crecimiento desmesurado de algas que se nutren de estos nitratos, provocando un fenómeno conocido como eutrofización, que provoca una deficiencia de oxígeno en el agua con la consecuente pérdida de biodiversidad y de calidad de la misma.

Según diversos estudios, se calcula que tan solo el 52% del nitrógeno existente en el purín es aprovechado como nutriente por los cultivos.

La aplicación en abanico provoca un reparto desigual del purín por la superficie del terreno, pudiendo producirse acumulaciones puntuales en diversos lugares, facilitando que pueda desplazarse hasta cursos de agua superficiales. El empleo de otros sistemas como la rampa de tubos colgantes o el sistema multiboquilla reparten más equitativamente el purín, pero no vienen a solucionar este problema.

Por el contrario, la aplicación del purín con sistemas de enterramiento reduce en gran medida este riesgo, pero podrían seguir produciéndose fenómenos de lixiviación hacia capas inferiores del suelo hasta llegar a acuíferos.

Además, en las balsas o depósitos de almacenamiento existe el riesgo de fugas por las que el purín pase directamente a contaminar los suelos o los recursos hídricos. En un estudio del año 2000 calcula que esta pérdida por fugas supuso la emisión al medio del 29% del N excretado.

En definitiva, este sistema de gestión de los purines puede producir graves impactos en los recursos hídricos, por ello la valoración asignada a este punto es la más baja.

- Emisión de gases de efecto invernadero
  - o La aplicación tradicional del purín mediante método de abanico o de aspersión contra una chapa presenta una tasa de volatilización de



nitrógeno amoniacal que en algunos casos puede llegar al 80% tras las primeras horas de aplicación. Además, tras la aplicación del purín al suelo se producen fenómenos de nitrificación – desnitrificación que provocan emisiones de  $N_2O$ . Así mismo, la descomposición de la materia orgánica presente en el purín provoca la emisión de metano, un gas con un gran potencial de calentamiento global.

La emisión de metano por la descomposición de materia orgánica presente en el purín también sucede en las balsas o depósitos de almacenamiento, en las que tienen lugar estos procesos. No se disponen de datos específicos de estas emisiones, ya que dependen en gran medida de la cantidad de purín aportado y de la materia orgánica presente en el mismo. Como se verá más adelante existen sistemas cobertores que pueden ayudar a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero en los depósitos de almacenamiento, si bien la opción más habitual es la de no emplearlos.

También se han de tener en cuenta las emisiones producidas en el transporte de los purines hasta su lugar de aplicación, y por la maquinaria utilizada para la aplicación del mismo.

El 22 de mayo del año 2000 entró en vigor la directiva 2000/25/CE que estableció importantes limitaciones a las emisiones de gases contaminantes que este tipo de maquinaria provocaba. De todas formas, al tratarse de motores alimentados por combustibles fósiles inevitablemente generan gases de efecto invernadero como el  $CO_2$  u óxidos de nitrógeno  $NO_x$ . La cantidad de estas emisiones dependerá tanto de la antigüedad y la tecnología con la que cuente el tractor como de la distancia a la que se realice el esparcido de los purines.

Por ello la puntuación en este apartado es la más baja.

- Calidad del aire

- o El purín contiene una importante cantidad de componentes químicos que en contacto con el aire se volatilizan y producen un olor característico. El más abundante es el amoníaco, si bien no es el único responsable del olor característico del purín, si no la mezcla de todos estos componentes.

La aplicación directa del purín mediante aplicación en superficie provoca que el amoníaco entre en contacto con el aire, provocando su volatilización y generando problemas de malos olores.

Este problema puede solucionarse en gran medida empleando los sistemas de enterrado durante la aplicación de los purines, como se verá más adelante. Este resulta un método más caro en comparación con los sistemas aplicación sobre superficie, por lo que estos son los más empleados a día de hoy.



El almacenamiento de los purines en balsas provoca este mismo problema ya que, además, en ellas generalmente se emplean sistemas de agitado para evitar la formación de costras o lodos que alteren la homogeneidad del mismo.

Además, el transporte de los purines, como se vio en el apartado anterior provoca emisiones de  $\text{NO}_2$ , el cual por reacción con la radiación solar puede convertirse en ozono, cuya presencia a nivel de suelo es perjudicial para la salud.

Por ello este sistema de gestión del purín afecta negativamente a la calidad del aire y su puntuación es la más baja.

## 2. Necesidades de infraestructura pública

### - Comunicaciones

- o La aplicación directa de purines requiere principalmente de la existencia de una red de pistas o carreteras que permitan el desplazamiento de la maquinaria hasta el lugar de aplicación del purín.

Es recomendable también la existencia de cobertura de red GPS y telefónica, que pueda permitir la comunicación en todo momento del operario que realice la aplicación del purín.

La actual dotación de caminos y carreteras así como de red móvil, hace que no sea necesaria la creación de nuevas infraestructuras públicas, salvo en aquellos casos en los que la explotación productora de purín o el lugar de almacenamiento no cuenten con los accesos adecuados.

Por ello su puntuación es la más alta.

### - Infraestructura energética

- o La necesidad de emplear maquinaria para el transporte y aplicación de los purines requiere de la existencia de una red de suministro de combustible.

Actualmente la dotación de gasolineras y estaciones de suministro satisface, por norma general, esta necesidad por lo que no sería necesaria su construcción.

Por ello la puntuación en este caso es la más alta.

## 3. Impacto tecnológico

### - Intensidad de la mano de obra

- o Por norma general, en la aplicación directa de los purines son los propios ganaderos los que se encargan de la gestión de todo el proceso por el que pasan los purines, por lo que no es necesaria la contratación de personal ajeno a la explotación.

En todo caso, este es un factor que dependerá de la cantidad de purines producidos por la explotación ya que si la cantidad producida es muy elevada podrá ser necesaria, o económicamente más beneficiosa, la subcontratación del transporte y la aplicación.

La valoración en este caso es la más baja.

- Difusión de la tecnología
  - o La aplicación directa es un sistema ampliamente conocido en el ámbito local por lo que su valoración en este caso es la más elevada.

#### **4. Impacto social**

- Participación prevista de los productores locales
  - o Debido a que este sistema, como ya se ha visto anteriormente, es el más empleado en la actualidad, la participación de los productores locales será la más alta de todas las alternativas, por lo que su valoración será igualmente la más elevada.

Con la entrada en vigor del Real Decreto 980/2017, que modifica una serie de Reales Decretos (1075/2014, 1076/2014, 1077/2014, 1078/2014), se aplica una nueva normativa para la distribución de purines y efluentes provenientes de explotaciones ganaderas y especialmente porcinas, que prohíbe el uso del tradicional sistema de aplicación por aspersión mediante plato. Esto ha tenido una mala acogida por parte de los ganaderos, que se ven en la necesidad de adquirir o alquilar la maquinaria necesaria para cumplir la normativa.

- Empleo generado
  - o Como se ha visto en el punto anterior, generalmente es el propio ganadero el que se encarga del transporte y esparcido del purín, por lo que en este caso no se generarían empleos adicionales además de el del propio ganadero.

Sin embargo, como también se ha visto, una gran producción de purines podría hacer viable la contratación de personal para el transporte y aplicación del purín.

El tiempo de ocupación del operario encargado de esta tarea dependerá de la distancia y el volumen de purín a esparcir.

En todo caso, debido a que esta no sería la opción prioritaria, se le asigna la puntuación más baja a este punto.

#### **5. Impacto espacial**

- Capacidad de fijar población

- o No se disponen de datos para la valoración cuantitativa en este punto.

La fijación poblacional podría verse influenciada positivamente en caso de que el tamaño de la explotación y su producción de purines hiciese necesaria la subcontratación para las tareas de transporte y aplicación. Sin embargo, como ya se vio en puntos anteriores, lo más habitual es que el propio ganadero realizase estas tareas.

Por ello la valoración en este punto es la más baja.

- Mejora de las infraestructuras

- o Como se ha visto en el apartado anterior referido a la necesidad de infraestructura pública, los principales requisitos de este sistema son la disponibilidad de una adecuada red de pistas o carreteras y la disponibilidad de un lugar donde repostar combustible.

Estos dos requisitos se dan por satisfechos por lo que la implementación de este sistema no vendría a mejorar las infraestructuras existentes. Por ello su valoración es la más baja en este caso.

- Mejora de la actividad económica local

- o La implementación de esta técnica tendría escasa capacidad para la mejora de la economía local, ya que como se ha visto previamente sus requisitos de infraestructura pública son escasos, y los principales gastos que pudieran redundar en la economía de la población local estarían relacionados con el combustible de la maquinaria y su mantenimiento.

Además, al afectar negativamente a la calidad del aire por la emisión de olores, podría tener efectos negativos sobre negocios relacionados con el turismo rural o el turismo de naturaleza.

Por ello se le otorga la puntuación más baja.

## 6. Formas de organización productiva

- Fomento del asociacionismo entre ganaderos

Tradicionalmente este sistema no ha fomentado actividades cooperativas entre los productores de purín, ya que como se ha mencionado en varias ocasiones, el transporte y aplicación lo realizan los propios ganaderos de forma individual.

Sin embargo, existen iniciativas a través de las que se logró una gestión más cooperativa empleando este sistema, como es el caso de Tauste.

En el año 2006, en el marco del proyecto LIFE ES-WAMAR, en el municipio de Tauste, en Aragón, se creó una entidad empresarial destinada a la gestión integral colectiva de los purines generados en las explotaciones de porcino de la zona, de acuerdo a las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) y de forma medioambiental social y económicamente sostenible. Se llevó a cabo como una forma de dar respuesta a la



problemática surgida por una gestión inadecuada de los purines, habiendo sido declarada como zona vulnerable a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrícolas.

Este centro disponía en el momento de su creación de un banco de purines de 350,000 m<sup>3</sup> y de un banco de tierras en el que aplicarlos de 13,000 hectáreas. En él se realiza todo el proceso de gestión del purín, desde su transporte y almacenamiento hasta su aplicación en el momento y cantidad adecuada.

Al tratarse de un caso puntual que no ha tenido réplicas, la puntuación en este apartado es la más baja.

## 7. Costos privados

- Inversión requerida por m<sup>3</sup> de purín tratado
  - o Las principales inversiones requeridas por este sistema se pueden dividir en tres:
    - Sistema de transporte, que por norma general puede ser un camión cisterna o un tractor con una cuba.
    - Sistema de aplicación, donde existen diversas opciones.
    - Sistema de almacenamiento, que como se vio en apartados anteriores puede ser de distintos tipos: balsa, depósito, cisterna flexible...

El sistema de transporte dependerá fundamentalmente de la cantidad de purín que vaya a transportarse, empleándose los tractores para la tracción de cubas de menor capacidad y camiones para cubas con capacidades muy superiores.

Respecto a los sistemas de almacenamiento no se dispone de datos concretos, debido a que el coste dependerá fundamentalmente del tipo de almacenamiento escogido y de la cantidad de purín que esté destinada a almacenar. Las balsas excavadas en el terreno son la opción más económica, siendo esta además la más empleada.

A continuación, se muestra una relación de precios orientativa en cuanto a los sistemas de aplicación directa del purín aunque no se dispone de datos que los relacionen con la cantidad de purín tratado

Aspersión en abanico	Zapatillas colgantes	Multitubo	Inyección mediante discos
----------------------	----------------------	-----------	---------------------------

80 – 120 €	15,400€ (Anchura: 6,4 m)	23,400€ (Anchura: 15m)	28,700 (Anchura: 7m)
---------------	-----------------------------	---------------------------	-------------------------

Al ser un sistema relativamente sencillo en cuanto a su aplicación y desempeño y que no requiere de grandes inversiones iniciales (más allá de tractor / cisterna / herramienta de aplicación/almacenamiento) se trata del sistema de gestión de purín más económico de todos los comparados. Por ello su puntuación será la más alta.

## 8. Costos sociales

- Grado de conocimiento y cambios en técnicas productivas y pautas socioculturales.
  - o Si bien esta técnica, como ya se ha dicho en varias ocasiones, es la más empleada y que goza de un mayor conocimiento por parte de los productores y gestores del purín, genera a su vez cada vez más rechazo social debido a la problemática ambiental que provoca. La legislación, así como los grupos ecologistas y asociaciones medioambientales son, en general, contrarios al empleo de este tipo de técnicas de gestión de los purines en muchos casos. Por ello, su puntuación en este apartado es media - baja.

## 5.2.2. Humedales artificiales (B)

### 1. Recursos naturales

- Ocupación de la superficie
  - o Los sistemas de depuración mediante humedales artificiales están normalmente precedidos de algún tipo de tratamiento previo en el que se realiza una separación de la fase sólida y líquida de los purines, permitiendo tan solo el paso de la fase líquida al humedal.

Lo más habitual es hacer pasar el purín por una balsa de decantación anaerobia, en la que los sólidos se decantan en el fondo de la misma pasando posteriormente la fase líquida al humedal por efecto de la gravedad, ya que se sitúa en una cota del terreno inferior. Con ello se consigue que solo pase al humedal la lámina superficial de agua de la laguna anaerobia. También es posible realizar esta separación mediante métodos mecánicos, como se vio en el apartado dedicado a este tipo de sistemas anteriormente, que permitirían una ocupación del territorio inferior.

Por ello además de la superficie que ocupe el humedal artificial es necesario tener en cuenta esta balsa anaerobia, cuyas dimensiones dependerán de la cantidad de purines que se pretendan gestionar.

Algunos estudios apuntan que de forma estimada la superficie de humedal requerida para satisfacer las necesidades de depuración es de entre dos y cuatro m<sup>2</sup> por habitante equivalente. Por otro lado, la equivalencia entre la producción media estimada de purines de un cerdo es de tres habitantes equivalentes, por lo que el cálculo se estima en alrededor de 9 m<sup>2</sup> por cerdo y año para lograr una correcta depuración.

En el año 2016, en la Comunidad de Murcia, se puso en funcionamiento un humedal artificial con macrofitas con capacidad para tratar una producción anual de 60.000 m<sup>3</sup> de purín, ocupando un área de 2000 m<sup>2</sup>. En este caso no se tiene en cuenta la superficie de la balsa anaerobia por la que pasa el purín antes de acceder al humedal artificial, ya que no se dispone de datos al respecto.

En cualquier caso, el área ocupada dependerá de la cantidad de purines que la planta esté destinada a gestionar y de la composición de estos, además de tener en cuenta las necesidades de terreno para la aplicación del efluente obtenido en caso de que quiera destinarse a la fertirrigación.

En conclusión, este tipo de sistemas requieren una elevada superficie para su adecuado funcionamiento, ya que su finalidad es la de la obtención de un efluente con unas características que permitan su empleo para fertirrigación o la completa depuración del mismo para su emisión al dominio público hidráulico. De todas formas, aun teniendo esto en cuenta, emplean una superficie de terreno menor que la aplicación directa de los purines, por lo que se le otorga una puntuación media - baja.

- Rendimiento económico

- o Según el documento "Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería" publicado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio ambiente en el año 2015, la depuración de purines con humedales artificiales presenta unos costos de funcionamiento reducidos, de en torno a 1,5 € por m<sup>3</sup> de purín tratado teniendo en cuenta la construcción, la separación de fases y la amortización.

A esto habría que sumarle también los costes aplicables al transporte del efluente y su aplicación al terreno mediante las técnicas ya descritas en el apartado dedicado a la aplicación directa de purines, si se diera el caso de no disponer del terreno suficiente para su aplicación en las inmediaciones de la instalación.

Además, en caso de no disponer de la suficiente necesaria para la construcción del humedal y la posible instalación de una balsa anaerobia, sería necesario tener en cuenta los costes de adquisición del terreno.

En todo caso se trata de un sistema con un buen rendimiento económico, por lo que la valoración en este apartado es la más alta.



- Contaminación de los recursos hídricos
  - o No se han encontrado datos concretos de eficiencia en la depuración de purines empleando únicamente este sistema, pero sí que se evita la emisión directa de sustancias contaminantes a los recursos hídricos.

En aguas residuales urbanas, mediante el empleo de este tipo de sistemas se logra de media una reducción del 90% de sólidos en suspensión, del 85% de la DBO<sub>5</sub> y del 80% en la DQO.

En el caso de la planta anteriormente mencionada, que se encuentra en la comunidad de Murcia, se estima que se alcanzará una disminución de la concentración de nitratos en el efluente de en torno al 75%, permitiendo así el empleo del mismo en tareas de fertirrigación.

Debido a que de media la reducción de parámetros como el fósforo total en aguas residuales urbanas es del 20% y teniendo en cuenta que este parámetro es más alto en el caso de la fracción líquida de los purines, sería necesaria la instalación de algún método de reducción de fósforo que permitiese su emisión al dominio público hidráulico.

Como consecuencia de la aplicación posterior para fertirrigación podrían darse fenómenos de contaminación semejantes a los ya vistos en la aplicación directa de purines, aunque debido a la reducción de contaminantes como los nitratos, estos impactos serían de una menor intensidad.

Por ello la valoración en este apartado es media - alta.

- Emisión de gases de efecto invernadero
  - o El almacenamiento previo de los purines en una balsa anaerobia y que permite la decantación de los sólidos en suspensión, produce emisiones de gases de efecto invernadero. La cantidad de gases emitidos dependerá del volumen de la misma y de si se emplea o no algún sistema cobertor, como se ha visto en el caso anterior. El gas que se genera con un mayor potencial de calentamiento global es el metano, procedente de las reacciones anaerobias de descomposición de la materia orgánica que tienen lugar en estas balsas. Estas balsas no contarían con sistemas de agitado, por lo que las costras que se forman en su superficie de forma natural se calcula que pueden evitar la emisión de hasta un 40% de gases de efecto invernadero.

La implementación de otros sistemas cobertores puede reducir estas emisiones según los siguientes porcentajes:

- Bolas de arcilla, piezas geométricas, lonas flexibles: 60%
- Techo rígido o flexible: 80%

Las plantas macrófitas presentes en el humedal artificial podrían funcionar como sumidero de carbono, aunque no se dispone de datos



que permitan valorar su capacidad de asimilación. En cualquier caso, en los humedales artificiales no se producen emisiones de gases contaminantes.

Por ello a la valoración de este punto se le adjudica una puntuación media - alta

- Calidad del aire

- o Mediante este sistema se reduce considerablemente el impacto sobre la calidad del aire en comparación con la aplicación directa de los purines.

En este tipo de sistemas, la emisión de malos olores estaría asociada a la balsa anaerobia previa al humedal en la que se produce la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Estos podrían reducirse en caso de que la balsa anaerobia contase con un sistema de cubrición, aunque la propia formación de costras de forma natural en su superficie reduciría el impacto sobre la calidad del aire.

El transporte hasta la planta de los purines y las posibles fugas del mismo podrían suponer también una emisión de malos olores, aunque de una entidad menor que los producidos durante la aplicación directa.

De todas formas, los riesgos de afección a la calidad del aire siguen siendo más elevados que en el caso de los humedales aireados o la digestión anaerobia para la producción de biogás. Por ello se puntúa con una valoración media - baja.

## **2. Necesidades de infraestructura pública**

- Comunicaciones

- o Este tipo de sistemas tienen unos requisitos en cuanto a comunicaciones semejantes a los ya vistos en el apartado dedicado a la aplicación directa de purines.

Será necesaria la existencia de una red de pistas o carreteras asfaltadas que permitan el acceso de los medios de transporte o aplicación en el caso de emplear el afluyente para la fertirrigación de cultivos.

Es recomendable también la existencia de red móvil y GPS para solucionar las posibles eventualidades que puedan darse durante el proceso de aplicación durante la fertirrigación.

Estos requisitos se dan por satisfechos con la actual dotación de carreteras y redes móviles, por lo que no sería necesaria su creación o implementación.

Por ello su valoración en este punto es media - alta.

- Infraestructura energética



- Al igual que en el punto anterior, este sistema no requiere la instalación de una infraestructura energética pública en particular, más allá de una posible conexión eléctrica en caso de emplear un separador sólido líquido en vez de una balsa anaerobia en el tratamiento previo al humedal.

En los casos en los que el riego con el efluente del humedal se realice en las inmediaciones del sistema, requerirá un sistema de bombeo que necesite también suministro eléctrico.

Por ello su valoración en este caso es media - alta.

### 3. Impacto tecnológico

- Intensidad de la mano de obra
  - No se cuenta con datos que permitan estimar la mano de obra necesaria para la operación de este tipo de instalaciones en relación a la cantidad de purín tratado.

En todo caso, generalmente es el propio ganadero el que se puede encargar de la supervisión del correcto funcionamiento de las instalaciones, cuyas tareas son, entre otras:

- Detección de posibles fugas en la balsa anaerobia
- Mantenimiento del estado adecuado de las plantas del humedal artificial. Siega y retirada de la parte superior de las plantas macrofitas en los periodos adecuados
- La aparición de olores que puedan indicar un mal funcionamiento del humedal artificial
- Envío periódico de muestras de efluente para su análisis en un laboratorio.

En los casos en los que exista una gran producción de efluente y este se vaya a aplicar en terrenos externos a la explotación podrá requerirse la contratación de personal y medios para su gestión, como ya se vio en el caso de la aplicación directa de purines.

Por ello a este punto se le asigna una valoración media – baja.

- Difusión de la tecnología
  - Este tipo de sistemas de depuración de aguas residuales cuentan cada vez con una mayor presencia tanto en medios de comunicación como en experiencias reales de depuración, si bien su difusión como sistema de depuración de purines no es muy amplia. Por ello a su valoración en este caso se le asigna una puntuación intermedia.

### 4. Impacto social

- Participación prevista de los productores locales

- Debido a la necesidad de disposición de terreno para su implementación y a las posibles reticencias de realizar una inversión considerable en este sentido por parte de los productores de purín, la participación se estima que sería baja, aunque mayor que en los casos del humedal aireado y la generación de biogás por sus altos costes.

Por ello la puntuación asignada es media - baja.

- Empleo generado

- No se dispone de datos concretos para la estimación de este parámetro, aunque la implementación general de este tipo de sistemas, como se ha visto con anterioridad, podrían suponer la necesidad de personal dedicado al análisis de las muestras en laboratorios que podrían ubicarse en localidades próximas a estas explotaciones.

Como también se ha visto, podría ser necesaria la contratación de personal dedicado al transporte y aplicación para la fertirrigación en otros terrenos ajenos a la explotación.

Además, teniendo en cuenta que presenta los menores costos de gestión por m<sup>3</sup> de purín tratado, la relación de empleos generados respecto a € invertido es muy positiva

Por ello se le asigna una valoración media - alta.

### 5. Impacto espacial

- Capacidad de fijar población

- Como se ha visto en el punto anterior, la posible necesidad de personal dedicado al transporte y aplicación del efluente así como de laboratorios en los que realizar análisis de muestras del efluente podrían contribuir positivamente a la fijación de población en las localidades cercanas a la explotación. Por ello se le asigna una puntuación media - baja.

- Mejora de las infraestructuras

- Como ya se explicó en el punto referente a la necesidad de infraestructura pública, no sería necesaria la creación de nuevas vías de comunicación, ya que la actual dotación por norma general satisfaría las necesidades del sistema.

En caso de aplicarse este sistema para la gestión de los purines procedentes de distintas granjas sí que podría ser necesaria la creación de una infraestructura eléctrica que suministrase la energía requerida para los sistemas de bombeo o para los métodos de separación física de las fases sólida y líquida.

Por ello la puntuación asignada en este punto es media - baja.

- Mejora de la actividad económica local



- En los casos en los que se necesitase contratar personal para el transporte y aplicación del efluente o bien cuando el laboratorio encargado del análisis de las muestras se estableciese en poblaciones del entorno, esto traería consigo una mejora de la actividad económica local, debido a los insumos relacionados con estas dos actividades, como por ejemplo:
  - Requerimiento de combustible y mantenimiento de la maquinaria agrícola
  - Funcionamiento propio del laboratorio y la actividad asociada al mismo: transporte de muestras, suministro de reactivos necesarios para los análisis...

Todo ello dependería directamente del tamaño de la explotación y la cantidad de purines que estuviese destinada a tratar.

Por ello la puntuación que se le asigna a este apartado una valoración media - baja.

## 6. Formas de organización productiva

- Fomento del asociacionismo entre ganaderos
  - En los casos en los que existiese una gran densidad de explotaciones agrícolas, una buena solución sería la creación de centros de gestión de purín colectivos, en los que distintos productores en función de la distancia al mismo se encargasen de su creación y gestión formando para ello algún tipo de figura jurídica como una cooperativa o asociación.

Se valora este punto con una puntuación media - baja.

## 7. Costos privados

- Inversión requerida por m<sup>3</sup> de purín tratado
  - Los costos que supone la implementación de este sistema están asociados principalmente a la adquisición del terreno para su implementación, en caso de no ser el productor de purín el propietario del mismo, y a la construcción del propio humedal.

Esta inversión estará directamente relacionada con la cantidad de purín que se pretenda tratar.

Este sistema se vería beneficiado por la economía de escala, siendo más rentable cuanto mayor capacidad de gestión de purines tuviese.

En todo caso, se puntúa con un valor medio - alto, ya que pese a requerir un desembolso mayor que la aplicación directa de purines, es un sistema más económico que las siguientes alternativas, aunque no se hayan obtenido datos exactos de la inversión por m<sup>3</sup> de purín tratado.



## 8. Costos sociales

- Grado de conocimiento y cambios en técnicas productivas y pautas socioculturales.
  - o Se puede suponer que este sistema podría contar con el apoyo de grupos defensores del medio ambiente y en general con la población a la que su implementación no le afectase económicamente, ya que en términos generales supone una disminución en la contaminación del suelo y un menor impacto visual respecto a la aplicación directa de purines. Además, al presentar el menor coste por m<sup>3</sup> de purín tratado, los productores de purín podrían verse interesados en la implementación de este sistema. Por ello se le asigna la puntuación más alta en este apartado.

### 5.2.3. Laguna anaerobia + Humedales intensivos FBA™ + Remoción de fósforo (C)

#### 1. Recursos naturales

- Ocupación de la superficie
  - o Este tipo de humedales, debido a su sistema de aporte de aire desde la base del humedal, permiten el tratamiento de vertidos con una mayor demanda de oxígeno ocupando una superficie inferior a la de los humedales artificiales convencionales.

Para el tratamiento de un afluente con una carga de contaminantes de 200 cerdos, equiparando que un cerdo equivale a 3 habitantes equivalentes como se vio anteriormente y sin ningún tipo de tratamiento previo, se requeriría una superficie aproximada de 390 m<sup>2</sup> mientras que mediante un humedal artificial convencional se necesitarían 2700 m<sup>2</sup> aproximadamente, con una producción de purín media por animal de 6 litros al día.

En el caso de la aplicación directa del purín, como se vio en el apartado destinado a su análisis, en los lugares en los que no existen restricciones, se requeriría una hectárea al año para una producción aproximada de 50 m<sup>3</sup> de purín. En el caso de existir restricciones solo se podrían aplicar, aproximadamente, 41 m<sup>3</sup> de purín.

En el proyecto Life Regenera Limia se realizó un estudio para su implementación, según el cual los datos estimados para el tratamiento de un caudal aproximado de 53 m<sup>3</sup> de purín al día (aproximadamente 19,400 m<sup>3</sup> al año) la superficie ocupada sería aproximadamente la siguiente

- Balsa anaerobia: 5300 m<sup>2</sup>

- Humedal artificial: 3300 m<sup>2</sup>
- Alberca para riego: 1160 m<sup>2</sup>

Además, habría que sumarle el resto de instalaciones, que junto con lo anterior ocuparía una superficie total de aproximadamente 14000 m<sup>2</sup>

Con estos datos se obtiene una ratio de 0,72 m<sup>2</sup> por m<sup>3</sup> de purín al año, o lo que es lo mismo, 264 m<sup>2</sup> al día por m<sup>3</sup> de purín teniendo en cuenta la superficie de todas las instalaciones.

Este sistema requeriría, por tanto, menos de 6 m<sup>2</sup> por m<sup>3</sup> de purín al año.

Por ello la ocupación de la superficie de este sistema es más baja en relación a la aplicación directa de los purines o a su tratamiento en humedales artificiales convencionales, en consecuencia, se le asigna una puntuación media – alta en este punto.

- Rendimiento económico
  - o Los costes asociados al funcionamiento de esta planta incluyen, entre otros, los siguientes factores:
    - Consumos eléctricos de bombas y motores que permiten el funcionamiento de los sistemas de aireado y la evacuación de aguas pluviales
    - Costes del personal de mantenimiento y conservación de las instalaciones
    - Consumibles, como los reactivos necesarios para la remoción del fósforo
    - Repuestos necesarios para la planta de tratamiento

Teniendo en cuenta estos parámetros, en el estudio realizado para su implementación en el contexto del proyecto Life Regenera limia, se obtuvo un coste de 5,9 € por m<sup>3</sup> de purín tratado.

En una publicación del Gobierno de Aragón del año 2007 (*Informaciones técnicas: Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín*) se estima un coste de 2,28 €/m<sup>3</sup> por la gestión del purín mediante su aplicación directa. Este precio actualizado al año 2019 con un incremento del 3% anual sería de 4,9 €/m<sup>3</sup>

En comparación, la aplicación de este sistema supone precio significativamente mayor que en el caso de la gestión de los purines mediante su aplicación directa al medio, por lo que se puntúa con un valor medio - bajo.

- Contaminación de los recursos hídricos
  - o Con este sistema se obtienen resultados en los parámetros de contaminantes muy adecuados, que permiten su emisión al dominio

público hidráulico de acuerdo a la legislación vigente. A continuación, se muestra una tabla con la estimación de las concentraciones de los principales parámetros que se tienen en cuenta en el efluente de las instalaciones:

Parámetro	Afluente
DBO <sub>5</sub>	40 mg/l
Sólidos en suspensión	80 mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	15 mg/l
Fósforo	< 20 mg/l

Además en el proceso no se requiere un consumo de agua por lo que su puntuación en este aspecto es la más elevada.

- Emisión de gases de efecto invernadero
  - o No se dispone de datos en cuanto a la estimación de emisión de gases de efecto invernadero para este sistema.

Sin embargo, al igual que en el caso anterior, la presencia de una laguna de digestión anaerobia en la que se produce la decantación de parte de los sólidos en suspensión, así como su digestión mediante la actividad de bacterias anaeróbicas, puede provocar la emisión de gases de efecto invernadero.

En el estudio realizado se contempla la instalación de una manta de cubrición de la balsa, mediante la cual se retienen y filtran los gases, siendo su emisión prácticamente nula.

Aunque no se dispone de los datos necesarios, es necesario tener en cuenta también para este punto la emisión de gases de efecto invernadero producidos durante el transporte de los purines desde las explotaciones ganaderas a la planta de tratamiento.

En definitiva, se le asigna en este caso la valoración más alta.

- Calidad del aire
  - o La previsión en este caso es que los malos olores provengan únicamente de la balsa anaerobia donde se realizaría la descarga de los purines. Existirían dos tipos de emisiones en este sentido, las continuas provenientes de la fermentación de la materia orgánica en descomposición en la balsa, y los intermitentes que provendrían de la descarga puntual de los purines en ella.

La instalación de un sistema de cubrición, como está contemplado en el proyecto, retendría y filtraría la mayor parte de los gases responsables de los malos olores.



Se estima que las emisiones de olores cumplirían los límites marcados por la legislación vigente a una distancia de 20 metros de la planta.

Por ello su valoración en este apartado es la más alta.

## 2. Necesidades de infraestructura pública

### - Comunicaciones

- o Debido a que este sistema está destinado a una gestión de purines procedentes de distintas explotaciones, requeriría de la existencia de accesos por carretera adecuados, ya que tendría una afluencia diaria de tractores o camiones.

Como ya se mencionó en los apartados anteriores, la actual red de carreteras podría satisfacer estas necesidades, aunque podría ser necesaria su mejora en las inmediaciones, como el asfaltado o la instalación de señalización que indicase la presencia de maquinaria pesada.

Por ello se le asigna una puntuación media – baja.

### - Infraestructura energética

- o Este sistema requeriría un consumo eléctrico para la alimentación del sistema de aireación del humedal artificial, las bombas de dosificación en el tratamiento del fósforo, de elevación de purines así como para el resto de las instalaciones de la planta de tratamiento (iluminación, señalización de emergencia...)

Esto supone la posibilidad de necesitar la creación de una infraestructura eléctrica en el entorno público para satisfacer esta demanda.

Por ello se le asigna una valoración media - baja.

## 3. Impacto tecnológico

### - Intensidad de la mano de obra

- o Debido a la mayor complejidad de estas instalaciones y a la necesidad de realizar controles periódicos tanto del funcionamiento general del sistema como de los resultados de la depuración, se requeriría:
  - La contratación de personal permanente no especializado que realizase las funciones de supervisión y mantenimiento.
  - La contratación de personal eventual que realizase los análisis de los resultados de la depuración mensualmente.

En el estudio realizado para el Proyecto Life Regenera Limia se contempla la necesidad de un operario a media jornada y un técnico para la revisión mensual. En ningún caso serían los propios ganaderos los encargados de

la gestión de la planta (salvo en el caso de que se emplee este sistema para el tratamiento de purines en explotaciones individuales, caso improbable por los elevados costes que supondría su construcción) siendo imprescindible la contratación de este personal.

Por ello en este punto se aplica una valoración media - alta.

- Difusión de la tecnología
  - o No existen experiencias previas de implementación de este sistema por lo que la difusión en el ámbito local o el conocimiento de la población acerca del mismo sería escaso o nulo, por ello su puntuación en este caso es la más baja.

#### **4. Impacto social**

- Participación prevista de los productores locales
  - o Igual que en el caso anterior, se requiere de la disponibilidad de terreno para la implementación de este sistema. Esto sumado a los costos de construcción de la planta harían que la participación o interés por parte de los productores en la misma de forma individual fuese escaso.

De todas formas, se trata de un proyecto destinado a la gestión colectiva de los purines, subvencionado a través de fondos europeos, que no supone costos asociados a la posterior aplicación de los purines por parte de los productores y solventando así el problema de un aporte excesivo por encima de las restricciones legales. Por ello se le asigna una puntuación media – alta.

- Empleo generado
  - o Como ya se ha mencionado en el punto referido a la intensidad de la mano de obra, se requiere de la contratación de personal fijo a media jornada y la presencia eventual de un técnico como mínimo una vez al mes.

Por ello este punto se valora con la puntuación más alta.

#### **5. Impacto espacial**

- Capacidad de fijar población
  - o De llevarse a cabo la implementación de este sistema y como se vio en apartados anteriores, esto requeriría de la presencia de personal no especializado, por lo que la capacidad de fijación de población sería alta. Por ello se puntúa con una valoración media - alta.
- Mejora de las infraestructuras
  - o Si bien la actual dotación de infraestructuras es suficiente para la implementación de este sistema, como se mencionó anteriormente podrían requerirse mejoras en la misma, como la instalación de

señalización, mejora del pavimento o una infraestructura eléctrica adecuada a la demanda de la planta.

Por ello la valoración en este punto es media – alta.

- Mejora de la actividad económica local
  - o Este sistema tendría consecuencias positivas en cuanto a la actividad económica local, ya que tanto la contratación de personal como la necesidad de mantenimiento de la misma (posible material para reparaciones, aditivos químicos para la remoción del fósforo...) contribuirían a la mejora económica local. Es por esto que su puntuación en este caso es media - alta.

## 6. Formas de organización productiva

- Fomento del asociacionismo entre ganaderos
  - o Debido a que la inversión necesaria para la implementación de este sistema sería comparativamente menor cuanto mayor fuese su dimensionado y capacidad para el tratamiento de purines, sería conveniente la organización de los productores de purín que permitiese una explotación conjunta de la misma. Por ello esta opción vendría a fomentar las iniciativas asociativas o de cooperativismo, puntuando en este apartado con la valoración más alta.

## 7. Costos privados

- Inversión requerida por m<sup>3</sup> de purín tratado
  - o Este sistema es cuantitativamente más caro que las dos anteriores alternativas, ya que el proceso es más complejo y requiere de la construcción de infraestructuras no contempladas en los casos anteriores.

El coste del proyecto asciende a un total de en torno a 550,000 €, por lo que el coste de la inversión por m<sup>3</sup> de purín gestionado al año es de 28,35 €

De cualquier manera, sigue siendo más económico que la creación de una planta de producción de biogás, como se verá en el siguiente método analizado, que es de en torno a entre 36 y 54 €/m<sup>3</sup> de purín tratado y año, por lo que en este parámetro se le atribuye una valoración media - alta.

## 8. Costos sociales

- Grado de conocimiento y cambios en técnicas productivas y pautas socioculturales.
  - o Al tratarse de una combinación de tecnologías que nunca ha sido aplicada el conocimiento por parte de la población de la misma se supone escaso o nulo.

En el caso de la población local en el entorno de aplicación del Proyecto Life Regenera Limia este conocimiento es mayor, debido a la difusión del mismo entre los habitantes de la zona.

Este sistema viene a solucionar los problemas asociados a la gestión tradicional de los purines mediante aplicación directa, por lo que el apoyo social de los grupos no implicados en el proceso productivo del purín sería positivo. De la misma forma, los productores de purín se verían obligados a cambiar sus hábitos de gestión pudiendo existir un rechazo por su parte.

Por ello, la valoración en este punto es media - alta.

## 5.2.4. Digestión anaerobia – producción de biogás

### 1. Recursos naturales

- Ocupación de la superficie
  - o No se han encontrado estudios que relacionen la capacidad de gestión de purines de este tipo de plantas con la ocupación del territorio.

Se ha hecho una estimación aproximada en base a los datos de la capacidad de gestión de purines de distinto origen y el área ocupada por una de estas plantas.

La planta de gestión de purines ubicada en la localidad navarra de Ultzama, cuya actividad cesó en el 2016 debido a su insostenibilidad económica, tenía una capacidad de gestión de purines anual de alrededor de 80,000 m<sup>3</sup>, lo supone un tratamiento de 225 m<sup>3</sup> de purín diarios.

La superficie ocupada por esta planta era ligeramente superior a una hectárea, de 10,590 m<sup>2</sup>.

Con estos datos concretos, se obtiene una ocupación del territorio de 0,13 m<sup>2</sup> por m<sup>3</sup> de purín tratado al año mediante este sistema, siendo el que menos superficie ocupa de todos los casos analizados en esta sección.

Es necesario tener en cuenta que en este tipo de plantas se obtienen dos subproductos, por norma general.

- Una fracción sólida que se puede emplear como abono orgánico en los terrenos de cultivo
- Una fracción líquida que se puede emplear como fertirrigación



Esto supone que además de la superficie que se necesita para la implementación de la planta de tratamiento, se requiere de la superficie necesaria para la aplicación de estos dos subproductos.

No se dispone de datos al respecto, pero es interesante tenerlo en cuenta a la hora de valorar la ocupación de la superficie en este tipo de sistemas de gestión de los purines.

Al ser el sistema que comparativamente ocupa menos superficie de terreno por m<sup>3</sup> de purín gestionado, obtiene en este punto la valoración más alta.

- Rendimiento económico

En los últimos años varias plantas con una gran capacidad de gestión de purines se han visto obligadas a su cierre debido a su inviabilidad económica.

Esto es debido a que los ingresos que producen dependen en gran medida del precio establecido por la venta de la energía producida. Por otro lado, los insumos obtenidos por la venta o el empleo de los fertilizantes obtenidos tras el proceso de digestión, no eran suficientes para el sustento económico de las plantas.

Actualmente, las pequeñas plantas de producción de biogás a base de purines con capacidades de gestión de en torno a los 5 m<sup>3</sup>, dedicadas al autoabastecimiento en cada explotación, comienzan a verse como una alternativa viable para la gestión de los purines.

No se han obtenido datos que permitan hacer una relación del rendimiento económico de estas plantas, aunque en el documento *Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería* se habla de unos costos de entre 9,10 y 7,10 € por m<sup>3</sup> de purín tratado. Se le otorga por lo tanto la puntuación más baja en este apartado.

- Contaminación de los recursos hídricos

- o El proceso de producción de biogás o digestión anaerobia no produce efectos directos sobre los recursos hídricos.

No obstante, como se ha mencionado anteriormente, en muchos casos los productos obtenidos tras la digestión, que se pueden dividir en fracción líquida y sólida, se suelen emplear para su aplicación directa sobre los terrenos de cultivo.

Este proceso de digestión anaerobia no altera la ratio global de N/P del purín, si no que disminuye el volumen total del efluente obtenido y facilita la absorción del nitrógeno por parte de las plantas.



Por ello, los impactos sobre el medio acuático podrían ser equiparables a los producidos por la aplicación directa de purines.

Podría darse la aparición de fenómenos de eutrofización en aguas debido a un exceso de aportes de nutrientes o la contaminación de acuíferos.

Por ello a este punto se le asigna una valoración media - baja.

- Emisión de gases de efecto invernadero
  - o Como se vio anteriormente, en el proceso de digestión anaerobia se produce lo que se denomina como biogás. Se compone mayoritariamente de gases como el metano, el dióxido de carbono y el vapor de agua.

Al quemar el metano para la producción de energía eléctrica se obtiene dióxido de carbono y agua.

Con ello se consigue la reducción de emisiones de metano y la huella de carbono, ya que el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono es 23 veces menor que en el caso del metano.

Así mismo, el digestato obtenido que se aplicará como enmienda orgánica en suelos, es mucho más estable que el purín en bruto, por lo que sus emisiones de gases también lo son.

Es necesario tener en cuenta que durante la quema del biogás se producen emisiones de dióxido de carbono, y también las emisiones que se producen durante el transporte de los purines hasta la planta de tratamiento.

Por ello se le adjudica una puntuación media - baja en este apartado.

- Calidad del aire
  - o Como se ha mencionado en el apartado anterior, la estabilización del purín que se produce tras su transformación en digestato reduce sus emisiones tanto de gases como de olores relacionados con la descomposición de la materia orgánica, que ya se ha realizado en el digestor. De todas formas es necesario tener en cuenta que la emisión de gases de efecto invernadero y el transporte de los purines hasta la planta podrían producir una reducción de la calidad del aire en el entorno de la planta

Por ello la valoración atribuida a este punto es media – alta.

## **2. Necesidades de infraestructura pública**

- Comunicaciones
  - o Debido a la mayor complejidad y tamaño de las instalaciones y del proceso productivo, es necesaria una adecuada red de carreteras que

permita un acceso y salida de los sistemas de transporte de purín empleados. Podría ser necesaria igualmente la instalación de alumbrado público en sus inmediaciones y la urbanización de su entorno, ya que se trataría de unas instalaciones de características industriales.

El funcionamiento de este sistema podría suponer la necesidad de un control remoto de la planta por lo que, en caso de no haber, sería necesaria la implementación de línea telefónica e internet por cable.

Por ello en este punto se le asigna la valoración más baja.

- Infraestructura energética
  - o Al ser plantas destinadas a la producción de energía eléctrica tanto para autoconsumo como para su emisión a la red eléctrica, sería necesaria la construcción de las instalaciones que permitiesen esta actividad

Por ello la valoración en este punto obtiene la puntuación más baja

### 3. Impacto tecnológico

- Intensidad de la mano de obra
  - o Las plantas de producción de biogás cuentan con una serie de instalaciones que requieren un adecuado mantenimiento y supervisión, especialmente el reactor donde se producen las reacciones anaerobias de producción de metano.

En una planta de producción de biogás con una capacidad de tratamiento de alrededor de 250 m<sup>3</sup> al día, según datos consultados, se cuenta con una plantilla de alrededor de 10 trabajadores. Por ello se le asigna la valoración más alta en este apartado.

- Difusión de la tecnología
  - o No se cuenta con datos que permitan establecer el grado de conocimiento y disponibilidad de esta tecnología por parte de la sociedad local. De todas formas, en España existen alrededor de 50 plantas de estas características y en el entorno del proyecto Life Regenera Limia, existió una planta de producción de biogás.

Por ello la valoración en este apartado es media - alta.

### 4. Impacto social

- Participación prevista de los productores locales
  - o No se dispone de la información suficiente como para hacer una estimación del grado de participación de los productores locales, si bien teniendo en cuenta la gran inversión que requeriría una instalación de estas características este sería bajo.



Por ello obtiene la puntuación más baja en este punto.

- Empleo generado
  - o Como se mencionó anteriormente, la capacidad de generación de empleo de esta alternativa sería de en torno a 10 trabajadores para una planta de tratamiento de 246 m<sup>3</sup> al día. No se dispone de datos que permitan hacer una estimación de la capacidad de empleo para plantas con otro dimensionado, pero se presupone que dependería de la cantidad de purines gestionados.

Es necesario aclarar que, debido a la gran inversión que supone una planta de estas características, la relación entre € invertidos en la misma y los empleos generados sería baja, por lo que su puntuación en este caso es igualmente media – baja.

### **5. Impacto espacial**

- Capacidad de fijar población
  - o La construcción y funcionamiento de una planta de estas características podría suponer un apoyo a la fijación de la población local, debido a la potencial creación de empleos directos.

Por lo tanto, se le asigna la puntuación más alta en este apartado.

- Mejora de las infraestructuras
  - o Como quedó reflejado en el punto referido a la necesidad de infraestructuras, la instalación de una planta de estas características podría traer consigo una importante mejora de las infraestructuras en su entorno, así como de las redes de comunicación móvil o de internet en una zona rural.

Por ello se le asigna a este punto la valoración más alta.

- Mejora de la actividad económica local
  - o La contribución a la fijación o aumento de la población local contribuiría a una mejora de la actividad económica en el área de influencia de la planta. Además, la propia actividad de la misma podría contribuir a ello. Algunos factores podrían ser:
    - El propio desplazamiento de los productores de purín hasta la planta para la descarga del purín
    - El desplazamiento de agricultores o personas interesadas en la compra de los productos obtenidos tras la digestión anaerobia

Por ello, se le asigna la valoración más alta.

### **6. Formas de organización productiva**

- Fomento del asociacionismo entre ganaderos

- Este sistema se ha implementado fundamentalmente como tratamiento de grandes cantidades de residuos agrícolas o de purines, por ello su implementación fomentaría las iniciativas de carácter cooperativo o de asociación entre ganaderos, que permitiese una gestión más eficiente del proceso y abaratase los costes individuales. Es necesario tener en cuenta que existen casos de digestores de pequeño tamaño destinados al tratamiento de purines de explotaciones individuales, aunque no se ha obtenido más información al respecto.

Por ello se le otorga una valoración media - alta en este apartado.

## 7. Costos privados

- Inversión requerida por m<sup>3</sup> de purín tratado
  - Diversos autores han hecho estimaciones de la inversión que requeriría una instalación de estas características, como ya se ha visto en la descripción general de esta técnica. La estimación de Gregersen es de entre 36 y 54 €/m<sup>3</sup> de purín tratado y año.

Se trata por tanto de una gran inversión por cada m<sup>3</sup> de purín tratado, valorándose en consecuencia con la puntuación más baja.

## 8. Costos sociales

- Grado de conocimiento y cambios en técnicas productivas y pautas socioculturales

La creación de una planta de producción de biogás se estima que podría provocar rechazo tanto por parte de los gestores de purín, que verían alterada su forma tradicional de tratar estos desechos, como por la sociedad local, ya que no vendría a solucionar una problemática como la del exceso de aportes de nutrientes al suelo. Además, una planta de estas características podría suponer un gran impacto visual, suponiendo su instalación en un entorno rural. El empleo del biogás para la producción energética, si bien evita la emisión de metano a la atmósfera, emite dióxido de carbono por lo que tal vez podría generar rechazo por parte de colectivos ecologistas.

Por ello en este caso se le asigna la puntuación más baja.

### 5.3. Selección de alternativas viables

En el apartado anterior se reflejan las puntuaciones totales obtenidas por los distintos sistemas y, en consecuencia, se ha seleccionado el sistema compuesto por la laguna anaerobia + humedal intensivo FBA™ por haber obtenido la mayor puntuación.



### 5.3.1. Análisis comparativo de las alternativas propuestas

VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS. HOJA DE CÁLCULO DE VALORES	APLICACIÓN DIRECTA				HUMEDAL CONVENCIONAL				HUMEDAL INTENSIVO				PRODUCCIÓN DE BIOGÁS			
	ALTO	MEDIO	BAJO	VALOR SUBTOTAL	ALTO	MEDIO	BAJO	VALOR SUBTOTAL	ALTO	MEDIO	BAJO	VALOR SUBTOTAL	ALTO	MEDIO	BAJO	VALOR SUBTOTAL
	Factor (de 1 a n)	Factor	Factor		Factor	Factor	Factor		Factor	Factor	Factor		Factor	Factor	Factor	
<b>Recursos naturales</b>																
Ocupación de la superficie	1		1,5	1,5	2		1,5	3	3		1,5	4,5	4		1,5	6
Rendimiento económico	3	2		6	4	2		8	2	2		4	1	2		2
Contaminación de los recursos hídricos	1	2		2	3	2		6	4	2		8	2	2		4
Emisión de gases de efecto invernadero	1	2		2	3	2		6	4	2		8	2	2		4
Calidad del aire	1		1,5	1,5	2		1,5	3	4		1,5	6	3		1,5	4,5
<b>Necesidades de infraestructura pública</b>																
Comunicaciones	4			4	3			3	2			2	1			1
Infraestructura energética	4			4	3			3	2			2	1			1
<b>Impacto tecnológico</b>																
Intensidad de la mano de obra (€/empleado)	1	2		2	2	2		4	3	2		6	4	2		8
Difusión de la tecnología	4			4	2			2	1			1	3			3
<b>Impacto social</b>																
% participación prevista de los productores locales	4		1,5	6	2	1,5		3	3	1,5		4,5	1		1,5	1,5
Empleo generado (nº de empleados directos e indirectos)/€ invertido)	1	2		2	3	2		6	4	2		8	2	2		4
<b>Impacto espacial</b>																
Capacidad de fijar población	1	2		2	2	2		4	3	2		6	4	2		8
Mejorar infraestructuras	1		1,5	1,5	2	1,5		3	3		1,5	4,5	4		1,5	4
Mejorar la actividad económica local	1	2		2	2	2		4	3	2		6	4	2		8
<b>Formas de organización productiva</b>																
Fomento del asociacionismo entre ganaderos	1	2		2	2	2		4	3	2		6	4	2		8
<b>Costos privados</b>																
Inversión requerida/m <sup>3</sup> de purín tratado	4	2		8	3	2		6	2	2		4	1	2		2
<b>Costos sociales</b>																
Grado de conocimiento y cambios en técnicas productivas y pautas	2			2	4	1		4	3		1	3	1	2		1
<b>VALOR TOTAL DE LA ALTERNATIVA</b>				<b>52,5</b>				<b>72</b>				<b>83,5</b>				<b>74</b>

### 5.3.2. Conclusión

Los distintos sistemas de gestión de purines presentan una distribución de puntuaciones heterogénea.

En el caso de la aplicación directa de los purines, el método tradicionalmente más empleado, se diferencia de los demás por su baja necesidad de realizar inversiones en infraestructura pública. Por el contrario, destaca por sus repercusiones negativas sobre el medio ambiente respecto a los otros sistemas analizados.

Los humedales artificiales convencionales, por su parte, obtienen una buena valoración en lo que a recursos naturales e impactos ambientales se refiere, así como en la escasa necesidad de inversión en infraestructuras públicas para su implementación. Como contrapartida, su capacidad para generar beneficios económicos en su entorno o fomentar el asociacionismo entre ganaderos es limitada.

El sistema compuesto por laguna anaerobia + humedal intensivo FBA™ + Remoción de fósforo, se muestra como la alternativa más valorada, destacando tanto en sus bajos impactos sobre el medio ambiente y de uso de recursos naturales como en los impactos positivos que tendría sobre la fijación poblacional o la mejora de las infraestructuras públicas.

La producción de biogás obtiene sus mejores valoraciones en la capacidad de fomento del asociacionismo entre ganaderos debido a la alta inversión necesaria para su implementación, por la que también obtiene las puntuaciones más bajas en necesidad de infraestructuras públicas. De nuevo, si bien tendría una buena capacidad de generación de empleo, la inversión actualmente necesaria para su implementación hace que en términos absolutos todavía no resultase interesante.

Por lo tanto, como conclusión, el sistema de laguna anaerobia + humedal intensivo FBA™ es la opción mejor valorada, obteniendo 83,5 puntos en total, seguida por la producción de biogás y los humedales convencionales, con 74 y 72 puntos respectivamente. Por último, el tratamiento tradicional de los purines mediante su aplicación directa obtiene la puntuación más baja a gran distancia de las demás, con 52,5 puntos.

## **5.4. Descripción de las alternativas viables**

### **5.4.1. Laguna anaerobia + Humedales intensivos FBA™ + Remoción de Fósforo**

#### **1. Proceso de depuración**

La instalación propuesta ha sido pensada para tratar un caudal de 53 m<sup>3</sup> de purín al día proveniente de explotaciones porcinas. El transporte hasta la planta de tratamiento se realiza mediante camiones cisterna que descargarán a través de una manguera conectada a una bomba que llevará el purín hasta el comienzo del proceso de depuración.

Este sistema de depuración el purín pasa por varias etapas consecutivas:

- **1ª - Laguna anaeróbica:** En esta etapa el objetivo es la reducción en el contenido de compuestos nitrogenados así como la reducción de parámetros de DBO y de DQO
- **2ª - Humedales artificiales FBA™:** En esta etapa se consigue una mayor depuración y de reducción de niveles de contaminantes. Desde este punto el efluente puede seguir dos caminos:
  - o Tratamiento físico – químico para la reducción de los niveles de fósforo que no conseguirían reducirse en las dos etapas anteriores, y posterior desagüe al dominio público hidráulico
  - o Almacenamiento en una alberca de acumulación para fertirrigación con tratamiento desinfectante



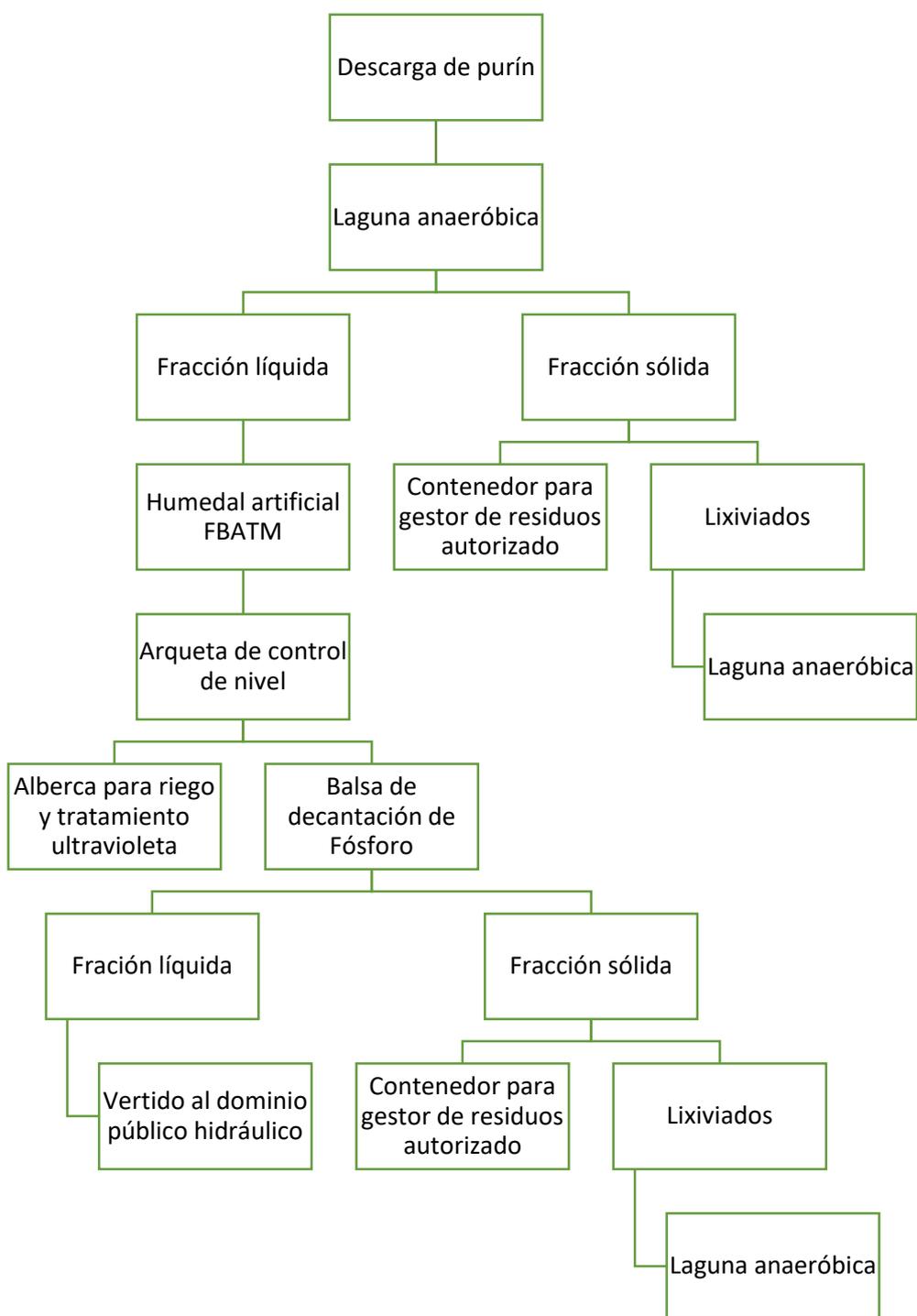


Figura 32: Esquema completo de funcionamiento del sistema Laguna Anaerobia + Humedales Intensivos FBA™ + Remoción de Fósforo

### a. Laguna anaeróbica

Mediante un sistema de bombeo el purín pasa desde la cisterna de transporte hasta esta laguna. Esta entrada contará con una trampa para espumas y objetos flotantes.

En el fondo de la laguna tiene lugar la estabilización de la materia orgánica mediante la acción de bacterias anaerobias. En primer lugar, éstas transforman la materia orgánica en ácidos volátiles y posteriormente las bacterias metanogénicas terminan el proceso produciendo dióxido de carbono, metano y sólidos mineralizados.

Además, en estas lagunas se produce una eliminación del contenido en nitrógeno y se produce una decantación natural de parte de los sólidos en suspensión.

Los purines, después de pasar 100 días aproximadamente en la balsa anaerobia, habrán disminuido su carga de contaminantes hasta los siguientes valores:

Parámetro	Influyente	Afluyente
DBO <sub>5</sub>	15000 - 25000 mg/l	7500 - 12500 mg/l
Sólidos en suspensión	15000 mg/l	3000 - 5000 mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3000 – 5000 mg/l	3000 – 5000 mg/l

El objetivo final es la retención de la mayor parte de los sólidos, que pasan a incorporarse a una capa de fangos que se acumulan en el fondo.

### b. Humedal Artificial FBA

El efluente de la anterior etapa pasa al Humedal Artificial FBA™ por gravedad y se distribuye mediante una red de tuberías por la superficie del humedal artificial. El purín pasa a través de las gravas que rellenan el vaso del humedal, en donde se encuentra instalado un conjunto de plantas macrófitas.

Debido a la ligera pendiente con la que cuenta el humedal, el purín discurre horizontalmente pasando por el sistema radicular de las plantas y por las gravas, estando en todo momento bajo el nivel de la superficie. Esto impide la incidencia de la luz solar y con ello el crecimiento de algas que dificulten el proceso.

Además, este humedal artificial posee un sistema de aireado que aporta oxígeno al proceso, favoreciendo la actuación de las bacterias que se desarrollan en presencia de oxígeno (aerobias).

Las bacterias presentes en el humedal forman un biofilm distribuido por la superficie de las gravas en contacto con el purín y se asocian también a las raíces de las plantas macrófitas. Estas bacterias degradan la materia orgánica presente en los purines. En este medio y gracias a la presencia de oxígeno se dan las condiciones adecuadas para la existencia de bacterias nitrificantes que comienzan el proceso de nitrificación, convirtiendo NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>



El nivel de sólidos en suspensión también se reduce, debido a su adhesión al sistema radicular de las plantas, lo que favorece la descomposición de esta materia orgánica por parte de las bacterias asociadas a ellas.

Después de este proceso, los valores de contaminantes descenderán de la siguiente forma:

Parámetro	Influente	Afluente
DBO <sub>5</sub>	7500 mg/l	40 mg/l
Sólidos en suspensión	3000 - 5000 mg/l	80 mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3000 – 5000 mg/l	15 mg/l

### c. Reducción de fósforo

En la parte del efluente destinado a esta etapa se produce la reducción de los niveles de fósforo que las dos primeras etapas no eliminan, reduciéndolos un 95%. Mediante este tratamiento se consigue la adecuación de estos niveles a la legislación vigente.

Este proceso se lleva a cabo mediante un sistema de precipitación química preconstruido, en el cual se realizan las dos siguientes acciones:

- Neutralización y ajuste del pH del purín para la conversión del fósforo en su forma ortofosfato PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>
- Precipitación de estos ortofosfatos mediante la adición de coagulantes y coadyuvantes específicos

Parámetro	Influente	Afluente
Fósforo	3000 – 5000 mg/l	<20 mg/l

Posteriormente la fracción líquida cumple las condiciones para su desagüe al dominio público hidráulico, mientras que los fangos obtenidos son almacenados en un tanque para su posterior tratamiento por parte de un gestor de residuos autorizado.

### d. Almacenamiento en alberca de riego

Por otro lado, el efluente que se vaya a destinar a la fertirrigación se almacena en una alberca. Con la finalidad de garantizar la calidad sanitaria del agua para su posterior uso para el riego, se instalará un sistema de desinfección a la salida de esta alberca.

Este sistema de desinfección consistirá en el empleo de radiaciones ultravioleta. Esta irradiación provoca que los microorganismos y agentes patógenos presentes en el agua sufran alteraciones en su ADN perdiendo su capacidad de reproducción y siendo destruidos.



Una vez desinfectada, el agua se podrá emplear para el riego de una superficie de 1 Ha de cultivo, con una dotación anual de 3.500 m<sup>3</sup>.

## 2. Proceso constructivo

Las obras para la construcción de este sistema de depuración comenzarán con los desbroces, limpieza, explanación y nivelación del terreno mediante medios mecánicos.

Posteriormente se realizarán las excavaciones necesarias para el alojamiento de los vasos de las balsas, los pozos de bombeo, las losas y el depósito de reactivos para el tratamiento químico.

### - Balsa anaerobia

La balsa anaerobia tendrá una superficie aproximada de 3600 m<sup>2</sup> y una profundidad de en torno a 1,5 metros. Las paredes serán ataluzadas con una pendiente de 1:2.

Es necesario el refinado de las paredes y en caso de no ser suficiente para evitar daños por punzamientos se colocaría una capa de arena fina. Posteriormente se colocará una manta de geotextil sobre la que irá emplazada una lámina impermeable de 1-2 mm de grosor.

El fondo de la balsa debe contar con una ligera pendiente con caída hacia el punto de entrada de los purines. Por último, se aplicará una estrecha capa protectora de hormigón en el fondo de la balsa.

### - Humedal aireado

El comienzo del proceso constructivo será similar al de la balsa anaerobia, con la salvedad de que la relación de pendiente de los taludes será de 1:1. La superficie aproximada del humedal será de 2500 m<sup>2</sup> y una profundidad de entre 1 y 1,5 metros.

En este caso, se colocará como en el anterior un capa de geotextil, sobre ella una capa impermeable y también sobre esta última otra capa de geotextil.

El afluente se distribuirá sobre la superficie del humedal mediante una red de tuberías de distinta longitud que lo repartirán por distintos puntos. Estas tuberías estarán conectadas a una tubería general de donde procederá el afluente.

El efluente se recogerá mediante una red de tuberías de drenaje de PVC flexible unidas a una general rígida de salida, que lo conducirá hasta una arqueta de salida. El fondo del vaso tendrá una ligera pendiente en la dirección de la salida del efluente.

Se instalará también un sistema de aireación forzosa, que será el encargado de inyectar aire en el sistema. Estará compuesto por una red de tuberías microperforadas situadas en el fondo del humedal. Mediante una tubería general estarán conectadas a un soplador. Se instalará también una tubería de evacuación de crecidas por debajo del nivel máximo del vaso del humedal.

El medio granular empleado para el relleno del humedal será de distintos tamaños (arena, grava y piedras)



- **Balsa para el tratamiento del fósforo**

Se construirá una balsa con una superficie aproximada de 140 m<sup>2</sup> y de 1 metro de profundidad, cuyas paredes tendrán una pendiente de 1:2.

Se realizará un refinado en las paredes del vaso y en caso de considerarse insuficiente se aplicará una fina capa de arena que evite punzamientos, como en los dos casos anteriores. Se instalará una manta de geotextil sobre la que se colocará la lámina impermeable. La base de esta balsa será plana y el fondo de la base se protegerá con una fina lámina protectora de hormigón.

En el extremo opuesto a la entrada del afluente, se instalará una tubería que transportará el flujo hacia las arquetas de medición de caudal y toma de muestras.

- **Alberca para riego**

Tendrá una superficie de aproximadamente 650 m<sup>2</sup> y una profundidad de 2,5 metros. Los taludes tendrán una pendiente de 1:2.

Al igual que en los casos anteriores, se procederá al refinado de las superficies y en caso de considerarse insuficiente se aplicará una fina capa de arena antes de colocar la membrana geotextil sobre la que irá la lámina impermeable.

En el extremo opuesto se colocará una tubería que llevará por gravedad el flujo hacia las arquetas de medición. En ellas se instalará el sistema de desinfección mediante radiación UV.

- **Cierre perimetral**

Estas instalaciones deben contar con un cierre perimetral con el fin de impedir el acceso a su interior.

### **3. Labores de mantenimiento y explotación**

Las labores de mantenimiento de la planta van enfocadas principalmente a dos objetivos:

- Asegurar el adecuado funcionamiento de todos los elementos que forman parte de la planta y del proceso, lo que posibilita obtener los resultados esperados.
- Obtener y anotar los datos que se requieran para poder hacer una valoración del funcionamiento de las instalaciones y saber si se cumplen los objetivos, que son:
  - o La eliminación de la carga contaminante de la fase líquida de los purines y conocer su aptitud para la devolución al dominio público hidráulico o bien saber si se puede emplear como agua de riego
  - o Control de los costes de operación y mantenimiento, con la finalidad de establecer el coste de tratamiento por unidad de volumen de purín tratado.



Las operaciones de explotación se realizarán siguiendo un recorrido por las instalaciones, donde ha de observarse:



### Diariamente

- Deberán anotarse los siguientes datos obtenidos directamente de los medidores instalados en la planta:
  - Volumen de purín descargado en el caudalímetro de entrada
  - Volumen de agua vertida en el caudalímetro de la arqueta de control de nivel
  - Volumen de cloruro férrico para el proceso de eliminación de fósforo añadido y volumen restante almacenado

### Semanalmente

- Reposición del contenido de los depósitos de cloruro férrico y cloro del agua potable
- Informe sobre las tareas de mantenimiento
- Informe resumen de los datos semanales de comportamiento de la planta y de mantenimiento.

### Quincenalmente

- Realización del muestreo y de los análisis siguientes:
  - [DBO<sub>5</sub>], [DQO], MSS, Conductividad en el efluente agua depurada
  - Nitrógeno y Fósforo total
  - Nitrógeno amoniacal
- Realizar un informe sobre las tareas de mantenimiento anotadas en el libro de mantenimiento.
- Informe tanto de comportamiento de la planta como de mantenimiento.

### Mensualmente

- Realización del muestreo y de los análisis siguientes:
  - [DBO<sub>5</sub>], [DQO], MSS, Conductividad en el efluente agua depurada, Nitrógeno y Fósforo total, Nitrógeno amoniacal, Fósforo y Zinc
- Retirada de los lodos y envío de su tratamiento por gestor autorizado de los lodos de la balsa de decantación del fósforo.
- En los meses en los que se emplee el agua tratada para el riego se tomará una muestra cada 15 días del agua destinada para ello para el análisis de los parámetros anteriores y además Coliformes y *Estreptococos fecales* y *Salmonela*
- Se realizará un informe sobre las tareas de mantenimiento anotadas en el libro de mantenimiento y de los datos de comportamiento de la planta

### Semestralmente

- Retirada de lodos de la balsa anaerobia y envío para su tratamiento a un gestor autorizado
- Informe sobre las tareas de mantenimiento anotadas en el libro de mantenimiento.
- Informe resumen de datos semestrales, tanto de comportamiento de la planta como de mantenimiento.

### Anualmente

- Realización de los siguientes muestreos
  - Espesor de la costra húmica en las balsas
  - Materia orgánica de la costra húmica en las lagunas
  - Materia mineral de la costra húmica en las lagunas
  - Limpieza de la balsa anaerobia con retirada de la costra húmica anual. Esta tarea se realizará antes si se comprueba que su espesor impide el flujo normal del líquido.
- Informe anual sobre el mantenimiento, la explotación y la conservación

- Los equipos dotados con sistemas de aireo, que se verán reflejados en la superficie del humedal
- Que no existen puntos de estancamiento de flujo o de acumulación de suciedad en la planta

Al tratarse de una planta en la que existe un humedal artificial es especialmente importante la preservación de las plantas y de los microorganismos que habitan en la costra húmica y el sustrato. En caso de desaparecer el proceso tardaría muchos días en regenerarse. Por ello es de especial importancia:

- No parar el flujo de agua por un tiempo superior a 3 días
- Asegurar que el pH se mantiene cercano a 7
- Evitar la entrada de productos tóxicos no contemplados en las lagunas

#### 4. Costes

Se ha realizado un estudio económico sobre esta alternativa para el tratamiento de purines con una capacidad anual de tratamiento de 19.344,96 m<sup>3</sup> según las estimaciones aportadas por Ecolagunas S.L. y datos obtenidos de otros estudios similares.

De acuerdo con las estimaciones aportadas por Ecolagunas S.L. la inversión inicial para una planta de estas características, asumiendo que el terreno en el que se va a instalar es propio, es de en torno a 512.935,00 euros, de los que 455.454,00 corresponderían a las instalaciones en las que se aloja el humedal artificial. Teniendo en cuenta un fondo de maniobra de 36.565,00 euros, el monto total de la inversión asciende a alrededor de 550.000,00 euros.

Las estimaciones de ingresos de la planta, asumiendo un coste por m<sup>3</sup> de purín tratado de alrededor de 5.9 euros el primer año y una capacidad de tratamiento anual de 19.345 m<sup>3</sup>, se muestran a continuación. Además se tiene en cuenta un aumento del precio por m<sup>3</sup> de purín tratado de en torno al 3% anual

AÑO	2020
Ingresos	113,497
Precio	5.9
Unidades	19,345

Ingresos previstos por tratamiento del purín.

Por otro lado, los costos se considera que serán fundamentalmente fijos, siendo los más elevados los relativos al tratamiento de los lodos para su posterior comercialización, los repuestos y consumibles empleados para el procesamiento del agua así como los gastos de personal, que sería un operario dedicado a tiempo completo a supervisar y controlar

el proceso. Los costes anuales el primer año alcanzarían los 89.440,00 euros según las estimaciones y se asume que aumentarán de acuerdo con la evolución del IPC

Costes Fijos	2020
Personal	16,823
Seguros y Tributos	2,370
Tratamiento lodos	33,419
Repuestos y consumibles	22,499
Suministros	7,576
Otros	6,754
<b>TOTAL FIJOS</b>	<b>89,440</b>

*Ingresos previstos por tratamiento del purín.*

### 5.5. Resumen del proyecto Laguna anaerobia + Humedales intensivos FBA™

La planta de tratamiento propuesta, diseñada en el contexto del Proyecto Life Regenera Limia, realiza la depuración de los purines mediante un tratamiento con humedales artificiales de aireación forzada. Estas instalaciones están dimensionadas para el tratamiento de 53 m<sup>3</sup> al día de purín de cerdo.

El sistema consta de cuatro etapas:

- **Laguna aneróbica:**
  - o Reduce el contenido en compuestos nitrogenados y los parámetros de DBO y DQO
  - o Tiene una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 5,334 m<sup>3</sup> y una profundidad de entre 1,7 y 1,5 metros, con paredes ataluzadas de pendiente 1:2
  - o El efluente pasa por gravedad a la siguiente etapa
- **Humedal artificial FBA™:**
  - o Reduce la DBO, los sólidos en suspensión y el NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
  - o El afluente procedente de la balsa anaerobia se distribuye por toda la superficie del humedal mediante un sistema de tuberías, pasando a través de las gravas dispuestas en el interior de todo el humedal y sobre las que se encuentran las plantas macrofitas.



- En la base del humedal se encuentra un sistema de aireación forzada mediante tuberías que aportarán aire al conjunto del humedal.
- El efluente es recogido en el fondo del baso mediante tuberías y por pendiente.
- **Remoción de fósforo:**
  - Se reduce el contenido en fósforo en un 95% para el efluente destinado a emitirse al dominio público hidráulico.
  - Tiene una capacidad de 100 m<sup>3</sup>
  - El efluente pasará mediante una tubería a una arqueta de medición de caudal y toma de muestras para su posterior emisión al medio
- **Alberca para riego:**
  - Se almacena la fracción del efluente del humedal artificial que se vaya a destinar a la fertirrigación
  - Tiene una capacidad de 1110 m<sup>3</sup>
  - El efluente, antes de su empleo para fertirrigación, pasa por un sistema de esterilización mediante rayos UV por gravedad.

Este sistema ocuparía una superficie aproximada de 14,000 m<sup>2</sup>, y se obtendría un afluente que cumpliría con toda la normativa para su emisión al dominio público hidráulico así como también permitiría la fertirrigación de una hectárea de cultivo con una aportación anual de 3,500 m<sup>3</sup> durante los meses de agosto y septiembre, con 9 riegos de un día de duración cada uno.

## 5.6. Aplicabilidad al entorno del proyecto Life Regenera Limia

La elección de este sistema se ha realizado después de estudiar las tecnologías más adecuadas para el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales, considerando las diferentes soluciones técnicas existentes para el tratamiento de deyecciones porcinas.

Como ya se ha visto la comarca de A Limia cuenta con una elevada concentración de explotaciones ganaderas y una elevada producción de purines. Una buena parte de los mismos son gestionados de forma incorrecta y en otros casos la capacidad de asimilación del terreno se ve sobrepasada por la gran cantidad de aportes de nutrientes, pasando estos a las aguas superficiales y subterráneas.

La elección del sistema de Laguna Anaerobia + Humedal Artificial FBA™ + Remoción de Fósforo se ha demostrado aplicable en el entorno del proyecto Life Regenera Limia ya que cumple una serie de requisitos imprescindibles para ello.

- Los costes de inversión, explotación y mantenimiento son adecuados para su creación en el marco de este proyecto



- Las características del terreno propuesto para su construcción, así como las vías de acceso son compatibles con este sistema.
- La capacidad de tratamiento de purines mediante el dimensionado del sistema propuesto cumple con los requerimientos exigidos.
- Escaso consumo de energía eléctrica para el funcionamiento del sistema

El sistema de humedales, en contraposición a otros sistemas de gestión de purines, permite reducir drásticamente los niveles de nitratos y fosfatos, permitiendo solucionar así uno de los principales problemas de la comarca que es su excesivo aporte.

Además, la comarca de A Limia sufre habitualmente de períodos de escasas precipitaciones durante los meses estivales. El sistema propuesto permite la acumulación en una alberca de 3,500 m<sup>3</sup> de agua que pueden ser empleados durante la época de sequía para la fertirrigación de cultivos, evitando así el consumo de los recursos hídricos subterráneos o superficiales en caso de haberlos.

Por todo ello, este sistema se considera que es el que mayor potencialidad de implementación tiene para el entorno del Proyecto Life Regenera Limia.

## 6. CONCLUSIONES FINALES

El cambio de modelo productivo hacia una ganadería intensiva ha traído consigo múltiples beneficios, pero también ha generado grandes impactos sobre el medio ambiente y el entorno en el que se desarrolla la actividad.

El exceso en la producción de purines y una mala gestión de los mismos son los principales causantes de estos impactos medioambientales. Por ello su adecuado tratamiento y gestión se hacen imprescindibles para que esta actividad pueda tener continuidad en el tiempo causando las menores afecciones ambientales posibles.

Algunas de las soluciones pasan por la reducción en origen de los mismos, optimizando los recursos hídricos, y por la reducción de los nutrientes en la alimentación o su adaptación según las distintas fases de crecimiento de los cerdos, aumentando la eficiencia del nitrógeno en la alimentación de los animales.

En todo caso, se hace necesario un tratamiento posterior para los purines que se produzcan, existiendo múltiples posibilidades tal y cómo se ha visto en este documento.

La mayor parte de estos sistemas obtienen como resultado final del tratamiento un material que podría ser empleado para la aplicación posterior en el terreno como enmienda orgánica y fertilizante. En los lugares en los que ya existe un exceso de aportes de nutrientes, estas alternativas no vendrían a solucionar el problema.

En otros casos es posible la obtención de energía eléctrica y calor, pero también una enmienda orgánica que seguiría presentando prácticamente la misma carga de nutrientes que el purín sin tratar, por lo que junto con sus excesivos costes no permitirían su aplicación al común de las explotaciones.



Con esta guía cada explotación encontrará información suficiente para adoptar una solución a cerca de qué método, “a priori” se pueda adaptar mejor a los condicionantes que le sean propios, y que le permita descartar aquellas más alejadas de sus necesidades.

Así mismo, podemos concluir que de entre todas las únicas alternativas analizadas en las que se soluciona el problema asociado al exceso de nutrientes, solamente las que emplean plantas macrófitas en sus fases finales del proceso, emulando el funcionamiento de un sistema de humedales naturales, resuelven el problema en su totalidad, obteniendo como resultado agua depurada y compost que puede ser utilizado como abono fácilmente exportable a otras áreas, sin que los costes asociados a la planta de tratamiento hagan inviable la solución.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- *Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de Economía, innovación y Ciencia. (2011) Estudio Básico del Biogás. Página 23.*
- *Agencia ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del agro, Agrocalidad, Asociación de Porcicultores ASPE. (2012). Manual de alternativas de tratamiento de purines porcinos.*
- *Ángel - Higuera, M. (2018). El Sector Porcino Español. El sector porcino, de la incertidumbre al liderazgo. Cajamar Caja Rural. España. Páginas 95 – 98.*
- *Ayuntamiento de Ultzama, (2009). Ultzama, un lugar sostenible. Planta de biogás y sistema de biomasa en edificios municipales.*
- *Babot – Gaspa, D., Soldevilla – Novell, C., Bonet – García, J., Coma – Subira, J., Calvet – Sanz, S., Parera – Pous, J., Blanco – Abilla, G., Gallat – Arenal, R. (2018) Innovación en producción porcina y medioambiente. El sector porcino, de la incertidumbre al liderazgo. Cajamar Caja Rural. España. Páginas 135 – 140.*
- *Bernal-Calderón, M. P., Albuquerque – Méndez, J. A., Butamante Muñoz, M. A., Clemente-Carrillo, R. (2011). Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.*
- *Blanco Redondo, L. (2016). Análisis y caracterización de purines para la obtención de biogás. Trabajo de fin de grado en ingeniería química. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia. Universitat Politècnica de Valencia. Páginas 1 – 9.*
- *Blanco, I. (2014). Aplicación de humedales artificiales para la depuración de purines de granjas porcinas. Universidad de León. Páginas 3, 15 – 24.*

- Bonmatí, A., Magrí, A. (2008). *Las tecnologías aplicables en el tratamiento de los purines: un elemento clave para mejorar su gestión*. Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Informe para la mejora de la gestión de los purines en Cataluña. Páginas 142 – 162.
- Bowman, R., Dahab, M., Middlebrooks, E., Pearson, G., Reed, S. (2002) *Wastewater Technology Fact Sheet. Anaerobic lagoons*. Office of water. United States Environmental Protection Agency.
- Bowman, R., F. – Gloyna, E., Middlebrooks, E., Pearson, G., Reed, S., C. – Reid, L. (2002) *Wastewater Technology Fact Sheet. Facultative lagoons*. Office of water. United States Environmental Protection Agency.
- Brigeriego de Saavedra, M. (2010). *Ganadería y Medio Ambiente*. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Páginas 3 – 6.
- Bueno - Lema, J., Pereira – González, J. M. (2006). *Maquinaria especializada en distribución de fertilizantes orgánicos. Mecanización de la distribución de estiércol, estiércol líquido y purín*. Vida Rural. Páginas 46 - 52.
- Butler, G. (2018). *Biogás para autoconsumo: una energía sostenible con plena disponibilidad*. Energética XXI. N° 179. Páginas 56 – 58.
- Caballero – Lajarín, A. (2013). *Sistema de depuración de aguas residuales de origen ganadero. Humedales artificiales*. Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. Universidad Politécnica de Cartagena. Páginas 35 – 37.
- Cabello – Navarro, A., Sobrino – Abuja, O., Herrera – Herrera, T., Alarcón – Luque, J.(2017). *Guía de las mejores técnicas disponibles para reducir el impacto ambiental de la ganadería*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Cámara de Comptos de Navarra. (2017) *Planta de biometanización de Ultzama*.
- Canut, M., Marqués, I. (2010) *La gestión de los malos olores en las aplicaciones de deyecciones ganaderas*. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Páginas 15 – 16.
- Carazo – Jiménez, L. (2018). *Situación y perspectivas del sector porcino europeo. El sector porcino, de la incertidumbre al liderazgo*. Cajamar Caja Rural. España. Páginas 47 – 60.
- Cifre – Crespo, F. J. (2008) *Impacto Medioambiental de Purines en la Región de Murcia: Análisis microbiológico de muestras provenientes de distintas tecnologías de depuración*. Universidad Politécnica de Cartagena. Páginas 9 – 10.
- Cifre – Crespo, F. J. (2008) *Impacto Medioambiental de Purines en la Región de Murcia: Análisis microbiológico de muestras provenientes de distintas tecnologías de depuración*. Universidad Politécnica de Cartagena. Páginas 12 – 14.

- Ciudad, J. M. (2003) *Tratamientos de deyecciones porcinas*. PORCI. Nº 79. Páginas 4 – 5.
- Condochem Envitech. *Actuales y futuros sistemas de tratamiento de purines de cerdo*. [Condorchem.com/es](http://Condorchem.com/es).
- Cordovil, C. M. d. S. (2010). *Measurin nitrogen mineralization from poultry manure in soils*. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Páginas 117.
- De la Torre, A. I., Jiménez, J.A., Carballo, M., Fernández, C., Roset, J. Muñoz M.J. (2000). *Ecotoxicological evaluation of pig slurry*. Chemosphere. 1629-1635 pp.
- De la Varga, D., Vázquez, M. A., Plana, R., Bondelle, R., Soto, M. (2009). *Tratamiento de purines de cerdo combinando sistemas de compostaje y humedales artificiales – primeros resultados*.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Fernando – Pérez, L., Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Universidad Mayor de San Simón.
- Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón (2006). *Proyecto demostrativo de gestión colectiva del purín en Aragón*. SODEMASA. Páginas 73 – 78.
- Dirección General de Desarrollo Rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. (2007). *Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín (datos preliminares)*. Revista Informaciones Técnicas. Número 178. Página 1-2.
- Dirección General de Desarrollo Rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. (2007). *Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín (datos preliminares)*. Revista Informaciones Técnicas. Número 178.
- Elordi, L. (2017). *Diseño de un digestor para una planta de biogás agroindustrial*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. Páginas 15 – 19.
- Espejo – Marín, C., García – Marín, R. (2009). *Tratamiento de purines de ganado porcino en España para minimizar la contaminación de suelos y su impacto ambiental*. Página 1.
- Espejo – Marín, C., García – Marín, R. (2009). *Tratamiento de purines de ganado porcino en España para minimizar la contaminación de suelos y su impacto ambiental*. Página 4.
- FAO. (2019). *Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets*. Rome. Páginas 7, 46 – 52.
- Ferreira, L., Duarte, E., Figueiredo, D. (2010) *Benchmarking of wáter consumption and of the slurry production and composition – A field survey in comercial*

- Portuguese pig farms. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Página 33.*
- *Figuerola, M, Val del Río, A., Morales, N., Mosquera-Corral, A., Méndez, J., Campos, J.L. (2011). Anammox: Hacia una eliminación sostenible del amonio en los efluentes de digestores anaerobios de purines. RETEMA Revista técnica de medio ambiente. Páginas 84 – 90.*
  - *Fuentes, D., Cortina, J., Valdecantos, J., Casanova, G. (2002). Evaluación de compost procedentes de purines para la producción de planta forestal y ornamental. Páginas 5 – 6.*
  - *García, I., Brigerio, M., Canales, C., Colmenares, M. (2010). Guía de mejores técnicas disponibles del sector porcino. Páginas 19, 33 – 46.*
  - *Gómez, M. (2014). Efectos ambientales de la valorización agronómica de purines de ganado porcino: Dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-agua-planta. 8 pp.*
  - *Gomez, M., Estevez, M.D., Faz, A., Olivares, A.B., Climent, V. (2010). Utilización de purines como enmienda orgánica: Proyecto piloto en el valle del Guadalentín. Libro de Actas del II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Página 145.*
  - *Govern Illes Balears. Conselleria Medi Ambient, Agricultura I Pesca. Direcció General Recursos Hídrics. (2019) Plan Hidrológico de las Illes Balears. Anexo 3. Páginas 13 – 24.*
  - *Grácia-Aguilá, F. (2016). Maquinaria para la aplicación de las deyecciones ganaderas. Cómo regular para mejorar la distribución de abonos orgánicos en la parcela. Dossiertécnic. Formación y asesoramiento al sector agroalimentario. N°14. Páginas 11 – 18.*
  - *Hernández – Sancho, F., Lamizana – Diallo, B., Mateo – Sagasta, J., Qadir, M. (2015) Economic Valuation of Wastewater – The cost of action and the cost of no action. United Nations Environment Program. Páginas 5 -6, 15, 19.*
  - *Instituto Nacional de Estadística. (2018). Anuario Estadístico de España 2018. Páginas 377, 382, 386, 387, 395.*
  - *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria Turismo y Ciencia. (2007). Biomasa: Digestores Aerobios. Páginas 5 – 42.*
  - *Insua – Castro, J. (2009). Abonado de cultivos forrajeros con purines. Frisona Española. N° 175. Abonado de cultivos forrajeros con purines. Páginas: 88 – 90.*
  - *Koncagül, E., Tran, M., Connor, R., Uhlenbrook, S., Cordeiro – Ortigara, A. R. (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Facts and Figures, Wastewater. The Untapped Resource. UNESCO & World Water Assessment Programme. Páginas 2 – 12.*

- La Iglesia-Gandarillas, J. (2016). *Lagunaje. Módulo Gestión de aguas residuales y reutilización. Escuela de Organización Industrial. Páginas 4 – 6.*
- Laureni, M., Bonmati, A. (2010). *Impacto del sector agrícola y de la producción ganadera. El rol del nitrógeno. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Páginas 37 – 38.*
- Lerín – Gros, L. M. (2015). *Construcción de una explotación de porcino de cebo con capacidad para 2000 plazas, en el término de Peñalba (Huesca). Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.*
- LIFE + FUTUR AGRARI (2014) *Análisis de Situación Medioambiental en la Producción Porcina.*
- Llobera-Terrallardona, D. (2016). *Medidas alimentarias para reducir el impacto medioambiental de las deyecciones ganaderas. Dossiertécnic. Formación y asesoramiento al sector agroalimentario. N°14. Páginas 03 – 07.*
- Mackenzie, S.M., McIlwraith, C.L. (2013). *Constructed farm wetlands – treating agricultural water pollution and enhancing biodiversity. Wildfowl and Wetlands Trust & Natural England.*
- Magrí-Aloy, A., Palatsi-Civit, J., Flotats-Ripoll, X. (2016). *Tratamiento de las deyecciones ganaderas. Dossiertécnic. Formación y asesoramiento al sector agroalimentario. N°14. Páginas 19 – 23.*
- Martí Herrero, J. (2008). *Biodigestores Familiares: Guía de diseño y manual de instalación. GTZ-Energía. Bolivia. Páginas 15 – 17.*
- Martín Martínez, I. (1989) *Depuración de aguas con plantas emergentes. Hojas divulgadoras. Madrid. Páginas 2 – 16.*
- Meers. E., Michels, E. (2010). *Water treatment technologies for manure processing. Universiteit Gent.*
- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente (2015). *Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería. Páginas 9 a 13.*
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). *Informe Trimestral Indicadores de Porcino. Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Madrid.*
- Miró-Ubach, N., Teira-Esmatges, M.R. (2016). *Almacenamiento de deyecciones ganaderas. Dossiertécnic. Formación y asesoramiento al sector agroalimentario. N°14. Páginas 07-10.*
- Moset – Hernández, V. (2011). *Estudio de la caracterización y estabilización anaerobia de purín con y sin separación previa de sólidos. Tesina final de máster. Universidad Politecnica de Valencia. Páginas 7 – 9.*
- Nabau, C., Cantero-Martínez, C., Tugues, J., Murillo, G., Puigpinós, E., Vila, S. (2010). *Aplicación agrícola de deyecciones ganaderas y dinámica del nitrógeno*

- mineral en el suelo. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Página 125.*
- *Nodar – Balseiro. (2012). Planta de Biogás: Finca de Mouriscade. Universidad Politècnica de València. Departamento de Producción Animal. Trabajo de Fin de Máster.*
  - *Pagans, E., Domingues, R., Van Harreveld. (2010). Gestión de impactos por emisiones odoríferas procedentes de actividades ganaderas. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Páginas 23 – 24.*
  - *Pascual del Riquelme, M. (2016). Agua y sostenibilidad en los procesos productivos de cuencas deficitarias. Alternativas para el tratamiento de efluentes industriales. Cátedra del Agua y de la Sostenibilidad Universidad de Murcia.*
  - *Pascual, A., Ruíz, B., Gómez, P. (2011). Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011 – 2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.*
  - *Payne Engineering, CH2M Hill. (1997). Constructed wetlands for animal waste treatment. A manual of performance, desing, and operation with case histories. Gulf of Mexico Program Nutrient Enrichment Committee.*
  - *Pérez de Cirza – Gainza, J.J. (2005). Elección de la cisterna de purín y sus equipamientos de reparto. Navarra Agraria. Páginas 13 – 19.*
  - *Ramírez, M., Pujolá, M., Comas, J. (2010). Evaluación del efecto de la aplicación de subproductos orgánicos derivados del sector cárnico sobre el rendimiento de cultivo de trigo aplicados como fertilizantes de fondo.*
  - *Riopérez, J., Rodríguez – Membibre, L. (2007) Gestión, manejo y tratamiento tecnológico del purín de cerdos. Mundo Ganadero. Página 40 – 42.*
  - *Rivas, O., Faith, M., Guillén, R. (2009). Biodigestores: Factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. Tecnología en marcha. Vol 23, nº1. Páginas 39 – 45.*
  - *Sánchez – Marchal, I.(2004). Estudio y optimización de los procesos de lagunaje y humedales, en función de los efluentes industriales a tratar. Escola Universitaria D'enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona. Páginas 47 – 51.*
  - *Serrano-Barrientos, E. M. (2001). Aplicación agroquímica de purín de cerdo y de un polielectrolito: Efectos en el cultivo de ryegrass y en las aguas de drenaje. Consejo superior de investigaciones científicas. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.*
  - *Silvestre, G., Gómez, P., Ruiz, B., Pascual, A. (2013). La valorización de residuos orgánicos agroalimentarias para la producción y uso de biogás. Situación actual y tendencias en la Comunidad Valenciana. RETEMA. Páginas 68 – 72.*

- *Teira Esmatges, M. R. (2010). La aplicación al suelo: certezas e incertidumbres. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Páginas 97 – 98.*
- *Triple –T (2011). Case Study. Lahav, Israel. Taya Treatment system.*
- *Yagüe, M.R., Iguácel F., Orús F., Quílez D. (2010). Estudio de costes de fertilización con purín porcino en doble cultivo anual en mínimo laboreo y regadío. Libro de Actas del II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. 135-145 pp.*
- *Yagüe, M.R., Iguácel F., Orús F., Quílez D. (2010). Estudio de costes de fertilización con purín porcino en doble cultivo anual en mínimo laboreo y regadío. Libro de Actas del II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Página 135.*

