



# **Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Efluentes Porcinos**



Ministerio de Agroindustria  
Presidencia de la Nación



# Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Efluentes Porcinos

---

El siguiente documento tiene por objeto abordar la problemática de los efluentes de las granjas porcinas de la Argentina y proponer lineamientos generales para la difusión y adopción de Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de aquellos.

La producción porcina nacional viene incrementándose en gran medida durante los últimos años, con el consiguiente aumento no sólo de la cantidad de granjas sino también de su tamaño. El uso de efluentes porcinos como abono orgánico es una práctica frecuente, y si bien aporta beneficios al rendimiento de los cultivos como al suelo, se utiliza sin ningún tipo de estimación de las necesidades de éstos así como tampoco de las consecuencias ambientales que pudieran derivar de su uso inapropiado.

Por otra parte, entendemos que las alternativas de manejo y uso deben ser operativamente prácticas, económicamente viables y ambientalmente amigables, y que es preciso brindar una orientación clara a los productores así como también a los organismos estatales de las distintas jurisdicciones. Es por ello que creímos oportuno elaborar este documento que nos permita conducir la temática en pos de un ordenamiento del tema, liderando un cambio hacia la valorización de las excretas de origen animal y su uso responsable.



# Autoridades

---

## **MINISTRO DE AGROINDUSTRIA DE LA NACIÓN**

CPN. Ricardo BURYAILE

## **SECRETARIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA**

Ing. Prod. Agr. Ricardo NEGRI

## **SUBSECRETARIO DE GANADERÍA**

Ing. Prod. Agr. Rodrigo TRONCOSO

## **DIRECTOR NACIONAL DE PRODUCCIÓN GANADERA**

Ing. Agr. Daniel PAPOTTO

## **DIRECTORA DE PORCINOS, AVES DE GRANJA Y NO TRADICIONALES**

Ing. Agr. Karina LAMELAS

## **ÁREA PORCINOS**

M. Vet. Patricia MILLARES

---

Este documento ha sido elaborado por el Ing. Agr. Roberto Maisonnave<sup>1</sup> con la colaboración de la Médica Veterinaria Patricia Millares y la Ing. Agr. Karina Lamelas.

---

<sup>1</sup> Roberto Maisonnave es Ingeniero Agrónomo y 1er egresado como Magister de la Universidad de Buenos Aires en Ciencias Ambientales. Se formó en EEUU como experto en Sistemas de Tratamiento de Sólidos y Efluentes Líquidos para el Reciclado de Nutrientes en Producción Animal Intensiva. Durante 10 años tuvo a su cargo la fertilización con sub-productos pecuarios de 20.000 hectáreas de cultivos anualmente, cumpliendo todas las exigentes normativas ambientales de diferentes Estados. Participó activamente de los procesos de adecuación de Normativa Ambiental para Granjas Animales en los Estados de Colorado, Kansas y Oklahoma. Es Asesor del Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación en Impacto Ambiental de la Ganadería Intensiva y Asesor Ambiental de la Cámara Argentina de Productores Avícolas (CAPIA). Ha asesorado en temas de Gestión Ambiental a más de 30 Granjas Porcinas en nuestro país. Es Docente del Programa de Maestría en Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la U.B.A. Es Investigador invitado en Facultad de Agronomía de la UBA. Participó como Instructor del Primer Curso en "Planes de Manejo Integral de Nutrientes en Producción Porcina" para Agentes de Gobierno del Ministerio de Agricultura de China. Desde su regreso a la Argentina en 2013 es Director de la Consultora Internacional "AmbientAgro", Ingeniería Ambiental para el Agro y la Industria. Es Co-autor del libro "Impacto Ambiental en Agro-sistemas".



# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DEL SECTOR PORCINO EN ARGENTINA .....</b>	<b>8</b>
<b>3. IMPACTOS AMBIENTALES DE LA PRODUCCIÓN PORCINA .....</b>	<b>10</b>
<b>4. TIPOS DE IMPACTOS AMBIENTALES EN PRODUCCIÓN INTENSIVA.....</b>	<b>11</b>
4. 1. Descripción General .....	11
4. 2. Aspectos a considerar en la localización de una Granja Porcina .....	12
<b>5. CARACTERIZACIÓN DE EXCRETAS PORCINAS.....</b>	<b>15</b>
<b>6. DESCRIPCIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO (BPM) .....</b>	<b>19</b>
<b>7. SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN DE EFLUENTES .....</b>	<b>22</b>
<b>8. SISTEMAS DE TRATAMIENTO .....</b>	<b>26</b>
8. 1. Separación de Sólidos.....	26
8. 2. Compostaje de Excretas.....	29
8. 3. Lagunas de Tratamiento .....	30
8. 4. Digestión Anaeróbica.....	32
<b>9. ALMACENAMIENTO .....</b>	<b>34</b>
<b>10. USOS TRADICIONALES DE LOS EFLUENTES PORCINOS .....</b>	<b>34</b>
<b>11. APROVECHAMIENTO AGRONÓMICO DE EFLUENTES PORCINOS.....</b>	<b>35</b>
11. 1. Ferti-riego .....	36
11. 1. 1. Ferti-riego por Aspersión.....	36
11. 1. 2. Ferti-riego por Aplicaciones Superficiales.....	36
11. 1. 3. Ferti-riego por Sistemas de Inyección .....	36
11. 2. Condiciones óptimas de Uso Agronómico.....	37
11. 2. 1. Protección de Ambientes Riparios.....	38
11. 2. 2. Franjas de Filtro Vegetativo o Buffers .....	38
11. 2. 3. Distancias de Separación.....	39
11. 2. 4. Vuelco.....	39
<b>12. GENERACIÓN DE ENERGÍA - BIODIGESTORES ANAEROBICOS .....</b>	<b>39</b>
12. 1. Introducción .....	39
12. 2. Características del proceso.....	40
12. 3. Principales factores que influyen la producción de biogás.....	41
12. 3. 1. Ausencia de oxígeno .....	42
12. 3. 2. Tipo y calidad de biomasa .....	42
12. 3. 3. Temperatura del proceso.....	42

12. 3. 4. Materia seca Volátil .....	43
12. 3. 5. Tiempo de Retención Hidráulica.....	43
12. 3. 6. Nivel de acidez .....	43
12. 3. 7. Factores que inhiben la producción de biogás .....	43
12. 4. Producción, Características y Acondicionamiento del Biogás.....	44
12. 5. Tipos de biodigestores .....	45
12. 6. Uso del biogás para generación de energía .....	46
12. 7. Ventajas y desventajas del biodigestor.....	47
12. 7. 1. Ventajas.....	47
12. 7. 2. Desventajas.....	47
<b>13. SISTEMAS AVANZADOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES.....</b>	<b>47</b>
<b>14. MUESTREO DE EFLUENTES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS.....</b>	<b>48</b>
14. 1. Protocolo de Muestreo.....	48
14. 2. Preparación y conservación de la muestra .....	49
<b>15. COMPOSTAJE DE CADÁVERES .....</b>	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>53</b>

## 1. Introducción

La producción porcina en Argentina se encuentra transitando un proceso de transformación que abarca varios aspectos relacionados con la incorporación de tecnología y con el consecuente aumento de la productividad. Este aspecto ha sido relevante para incrementar los niveles de eficiencia en los criaderos. El mejoramiento de la genética, las instalaciones, la nutrición, la sanidad y la incorporación de programas de gestión han sido claves en este proceso y han dado lugar a la necesidad de avanzar en el análisis de temas de gran impacto para el desarrollo del sector. Entre éstos se destaca el impacto ambiental de la actividad incorporándolo a la dimensión productiva como un aspecto significativo a evaluar e incluir en la planificación de la Granja Porcina.

Los objetivos fundamentales de esta Guía, adaptada a las características de nuestro país, son:

- » Facilitar el entendimiento de los procesos y variables que impactan en la Gestión Ambiental de una Granja Porcina moderna, como así también de las alternativas tecnológicas disponibles para distintas problemáticas y escalas productivas.
- » Contribuir a la toma de conciencia de los Productores Porcinos sobre el impacto ambiental potencial de las Granjas.
- » Aportar conocimientos del manejo ambiental responsable a nivel internacional de modo de contribuir a los procesos de legislación futuros a abordar por las Autoridades correspondientes de nuestro país.

## 2. Situación actual y perspectivas del sector porcino en Argentina

La producción de cerdos en Argentina ha tenido un rápido desarrollo en los últimos años, lo que se comprueba al observar que, entre 2005 y 2015, la producción de carne porcina tuvo un crecimiento superior al 120 %. Este incremento ha significado importantes inversiones del sector productor. La razón de este crecimiento se debe fundamentalmente a la demanda del consumo interno y en especial al fuerte incremento en el consumo de carne fresca en relación a los chacinados, cuya proporción ha llegado a valores del 50% del total de consumo carne de cerdo.

**FIGURA 1: EVOLUCIÓN DE LOS PRINCIPALES ÍNDICES DEL SECTOR**

Indicador	2005	2015	Diferencia
Faena (cabezas)	2.470.124	5.523.715	<b>123%</b>
Producción (toneladas)	215.496	483.437	<b>124%</b>
consumo (kg/hab/año)	6,22	11,33	<b>82%</b>

Fuente: Área Porcinos - Dirección de Porcinos, Aves de Granja y No Tradicionales, con datos del SENASA

Las estimaciones de crecimiento para este sector son optimistas para la próxima década y están basadas no sólo en las proyecciones globales de oferta y demanda de carne porcina sino en la tendencia que viene presentando a nivel nacional. Esto hace presumir que para el año 2020 el consumo per cápita podría aproximarse a los valores promedio de consumo mundial que rondan los 16 a 18 kg/habitante/año, lo que implicaría un importante aumento de la producción local.



La principal ubicación del stock porcino se encuentra en la zona Centro del país coincidiendo con la disponibilidad de granos y especialmente con los centros de faena y consumo. No obstante, la incorporación de tecnología en instalaciones ha permitido la implantación de granjas confinadas de gran escala en provincias con condiciones climáticas adversas para la producción de cerdos. Esto ha contribuido al desarrollo de plantas de faena y ha vigorizado el consumo regional.

**TABLA 1: DISTRIBUCIÓN DEL STOCK PORCINO EN ARGENTINA 2015**

	<b>TOTAL PORCINOS CANTIDAD</b>	<b>%</b>
Buenos Aires	1.193.221	23,81%
Córdoba	1.163.620	23,22%
Santa Fe	802.806	16,02%
Entre Ríos	345.457	6,89%
Chaco	261.607	5,22%
Salta	230.273	4,59%
Formosa	179.407	3,58%
San Luis	170.925	3,41%
La Pampa	166.047	3,31%
Santiago del Estero	103.810	2,07
Corrientes	72.895	1,45%
Misiones	65.674	1,31%
La Rioja	47.924	0,96%
Mendoza	39.074	0,78%
Tucumán	29.372	0,59%
Río Negro	27.566	0,55%
Neuquén	23.490	0,47%
Jujuy	22.691	0,45%
Chubut	22.582	0,45%
San Juan	21.671	0,43%
Catamarca	17.280	0,34%
Santa Cruz	2.881	0,06%
Tierra del Fuego	1.049	0,02%
<b>Total</b>	<b>5.011.322</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaborado con datos del SENASA

El stock nacional porcino, según datos del último Censo Nacional Agropecuario de 2002, alcanzaba 2,2 millones de cabezas. Si bien hoy no existe un dato censal actualizado, el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) cuenta con un Sistema de Gestión Sanitaria (SGS) a través del cual se registran los movimientos y el stock ganadero de cada productor inscripto en el Registro Nacional Sanitario de Productores Agropecuarios (RENSPA), ya sea de porcinos o de otra especie de su propiedad. Según esta información el stock total en Argentina es de 5,011 millones de porcinos, lo que refleja un crecimiento del 128% desde el año 2002.

### 3. Impactos ambientales de la producción porcina

La producción porcina, como la mayoría de las producciones animales, puede desarrollarse a tres escalas diferentes según la relación o peso relativo de los factores de la producción. Estos factores, Tierra, Capital y Trabajo se relacionan de modo de definir producciones extensivas, semi-intensivas e intensivas.

En las producciones extensivas la relación entre Capital y/o Trabajo (K y/o L) respecto del recurso Tierra es baja, mientras que en el otro extremo la producción intensiva muestra relaciones entre L y/o K y el factor Tierra altas. En otras palabras, la producción animal intensiva es altamente demandante de capital y mano de obra.

En la producción porcina, la escala extensiva está acotada y se limita a situaciones puntuales más que a una forma sostenida de producción, esto en parte explicado por la elevada tasa de utilización de la tierra con fines agrícolas. Quizá podríamos vincularla a la antigua práctica de aprovechar rastrojos de maíz para engordar cerdos, o al pastoreo de verdes de invierno con piaras de tamaño reducido (Vieytes *et al.*, 1997).

Sin embargo, en la escala semi-intensiva podemos incluir los sistemas de paridera a campo y los sistemas túnel o "hoop". En ambos casos existe una aproximación a la intensificación de forma de reducir el espacio físico destinado a la producción porcina a la vez que se invierte en instalaciones fijas o móviles que permiten mejorar los índices productivos respecto de la producción a campo.

A nivel mundial, y también en nuestro país, la producción porcina ha ido migrando hacia sistemas de mayor intensificación donde los animales se encuentran en confinamiento absoluto y el ambiente donde se alojan está entre mediana a totalmente controlado por el hombre. Estos sistemas requieren de una importante inversión en instalaciones fijas y la superficie de tierra necesaria exclusivamente para la producción animal es reducida en términos de número de animales por unidad de superficie.

La relación entre número de animales y unidad de superficie puede ilustrarnos sobre la forma de alimentación de los cerdos (pastoreo y/o recolección natural versus ración suministrada por el hombre), el espacio físico destinado a su esparcimiento (acceso a lotes abiertos versus confinamiento permanente) y la situación de las excretas (distribución natural o recolección), entre otros factores de interés.

Si nos detenemos en la generación de excretas, los sistemas intensivos y semi-intensivos (para el caso del túnel al menos) requieren cierto grado de planificación y manejo de las mismas. En forma general podemos decir que las excretas deberán recolectarse, conducirse o evacuarse fuera de los sitios de alojamiento de animales -por motivos de higiene y sanidad- y luego deberán también tratarse, almacenarse o exportarse fuera del predio productivo.

La imperiosa necesidad de contar con un plan de recolección, conducción y uso o eliminación de excretas es una característica distintiva de los sistemas productivos animales intensivos. Sin embargo, en nuestro país, es común encontrar granjas modernas diseñadas según estándares avanzados de bienestar animal y eficiencia zootécnica, pero sin instalaciones adecuadas para la gestión ambiental de las excretas. Más aún, en general

no se tiene una idea aproximada de la importancia del volumen de desechos biológicos a generarse en una granja moderna ni del impacto de algunos factores clave como son las pérdidas de alimento, las tareas de limpieza de pisos y fosas o el consumo y pérdidas de agua.

Este escenario de falta de planificación significa, en algunos casos, riesgos de contaminación del medio ambiente o una dificultad manifiesta para cumplir con normas ambientales vigentes en distintas provincias de nuestro país.

## 4. Tipos de impactos ambientales en producción intensiva

### 4.1. Descripción General

Podemos distinguir entre impactos de tipo físico, ecológicos y químicos.

Dentro de los impactos físicos de una granja de producción porcina encontramos el efecto visual, ya que el tamaño y tipo de construcción de una serie de galpones porcinos puede alterar el paisaje rural típico. También pueden reconocerse los ruidos y el tráfico periódico de vehículos de gran porte dentro de este tipo de impactos.

En las zonas aledañas a la granja de caminos no asfaltados el tráfico suele aumentar la cantidad de polvo que, además de poder constituir un factor de incomodidad para vecinos, puede acarrear partículas específicas con características odorantes, resultando en quejas por olores provenientes de la granja porcina. Las barreras físicas como las cortinas forestales –cuando adecuadamente diseñadas y mantenidas– son una herramienta efectiva para controlar los impactos físicos.

En cuanto a los efectos ecológicos, la concentración de animales y de un sistema de almacenamiento y distribución de alimentos, tiende a atraer roedores y moscas a las inmediaciones de la granja. El manejo inadecuado de la mortalidad animal también puede afectar el tipo de animales y pájaros que merodean la granja en busca de alimento. Las medidas de higiene y todas las buenas prácticas de manejo de la granja son esenciales para disminuir este tipo de impactos en el medio biótico.

Dentro de los impactos químicos cobra gran relevancia la gestión y manejo de las excretas biológicas, debiendo distinguir entre los que afectan a los suelos, los cuerpos de agua y la calidad del aire. Estos impactos de orden químico son inherentes a todas las producciones animales intensivas, afectando distintas matrices físicas y biológicas del medio ambiente (Maisonave y Fabrizio de Iorio, 2001; García *et al.*, 2012).

**Una granja moderna requiere, indefectiblemente, de un sistema de recolección, conducción, tratamiento y almacenamiento de excretas ya que concentra un gran número de animales en una superficie de terreno relativamente pequeña.**

Si bien estos conceptos serán abordados con más detalle en otras secciones de esta publicación, definamos por el momento que en la granja de producción porcina intensiva tendremos un sistema de gestión de excretas que incluye la recolección, conducción y tratamiento de las mismas. Y luego tendremos también un sistema de aprovechamiento o utilización de excretas.

Sin abundar en los detalles de los sistemas de gestión y utilización posibles, digamos que el manejo de las excretas porcinas puede impactar negativamente en los suelos a partir de los derrames o esparcimiento de las mismas sobre el terreno sin un plan de manejo o uso agronómico. En estos casos, la salinización de los perfiles, la contaminación de napas subterráneas con Nitrógeno y la potencial eutrofización de cursos de agua superficial

por agregados de Fósforo, son los inconvenientes más destacados que normalmente se asocian a la falta de un plan de manejo de excretas animales.

En cuanto a la calidad de aire, algunos sistemas de tratamiento como las lagunas de sedimentación, lagunas anaeróbicas de tratamiento, la separación de sólidos sin un plan de uso apropiado, y la aplicación de efluentes líquidos y sólidos al terreno en condiciones ambientales desfavorables son todos factores que impactan negativamente en la calidad del aire aunque generalmente no son advertidos como tales por el productor porcino. Generalmente, se asocian los impactos negativos en la calidad del aire con los olores que puede generar una actividad de producción animal intensiva, aunque también debe considerarse la producción de gases de efecto invernadero.

También existe una serie de efectos que ocurren dentro de los galpones porcinos cuando éstos no son diseñados ni manejados según normas adecuadas, convirtiéndose en una fuente de contaminación del aire significativa. Altos niveles de amoníaco pueden causar irritación de las mucosas, problemas respiratorios y enfermedades en animales y empleados. Cuando la higiene periódica y la ventilación no son apropiadas contribuyen a los olores intensos que pueden ser transportados fuera de los límites del establecimiento porcino a través de los vientos.

## 4. 2. Aspectos a considerar en la localización de una Granja Porcina

Lo explicado anteriormente nos impone reconocer que la localización de una Granja Porcina moderna no es un detalle menor. En general –y muy lamentablemente- en nuestro país se han construido granjas en porciones de terreno o lotes “bajos”, sin valor agrícola y de bajo valor económico. En otros casos, no se ha considerado ni la proximidad ni la ubicación relativa de los pueblos o centros de reunión de la comunidad rural. Ambas situaciones resultan en problemas con el entorno ambiental y social.

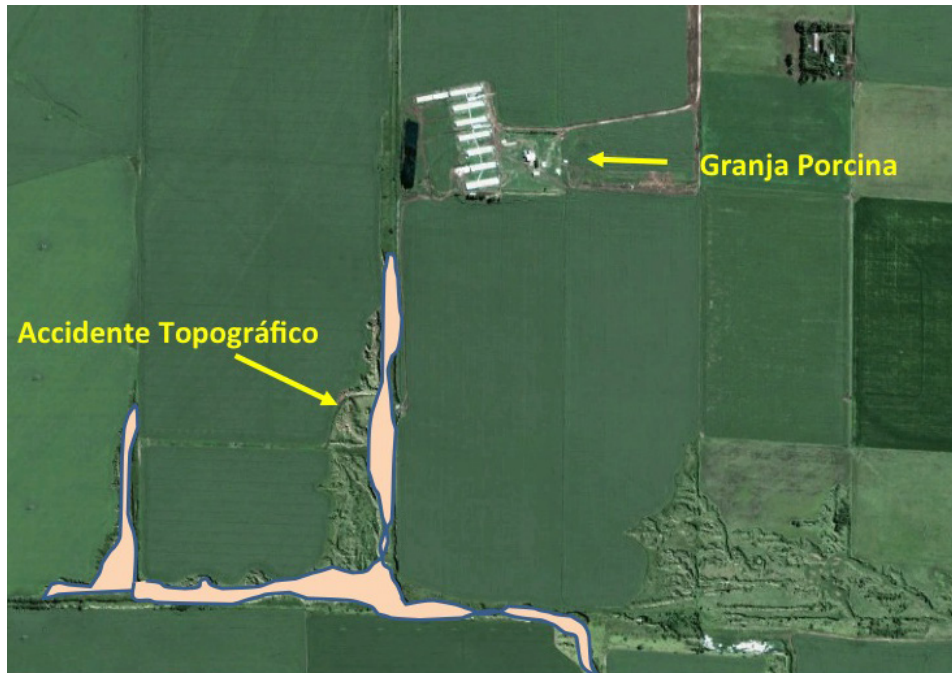
Comenzando por la Protección de los Recursos Hídricos, una granja no debe localizarse en zona inundable o de napas freáticas superficiales. Cuando se producen inundaciones se arrastran materiales como excretas y efluentes líquidos fuera del predio los cuales terminan irremediablemente en un curso de agua, ya sea este un canal de desagüe, un arroyo, río o una laguna natural.

Los ascensos de napas superficiales en épocas de lluvias copiosas pueden provocar filtraciones de efluentes desde los galpones y lagunas. Una vez establecida esa conductividad hidráulica, el descenso de napas continuará “arrastrando” compuestos disueltos que se lixiviarán hasta el cuerpo de agua subyacente de no ser filtrados por el sistema suelo.

Del mismo modo es importante no construir la granja en la vera de cursos de agua superficial, comúnmente canales de desagüe y arroyos. Nunca se recomienda planificar el vuelco de excretas líquidas a estos cursos de agua, ya que los valores de depuración química y biológica exigidos por la Legislación argentina vigente son técnicamente muy difíciles de alcanzar en condiciones productivas reales.

La Figura 2 muestra un accidente topográfico en cercanías de una Granja Porcina. Si bien este accidente representa un “cauce seco” en situaciones de lluvias excesivas puede transformarse en un cuerpo de agua intermitente que –como tal- podría conectarse aguas abajo con un cuerpo de agua permanente de orden diverso.

**FIGURA 2:** UBICACIÓN RELATIVA EN FUNCIÓN DE ACCIDENTES TOPOGRÁFICOS (ELABORACIÓN PROPIA)



La ubicación respecto de poblados o sitios de congregación de personas como clubes, campings, escuelas y otros, debe ser muy analizada previamente. La dirección y frecuencia de los vientos debe ser en lo posible a barlovento de la Granja y a sotavento de los sitios de residencia o reunión. La Figura 3 muestra una correcta ubicación del sitio porcino respecto de la dirección de los vientos predominantes.

**FIGURA 3:** UBICACIÓN RELATIVA CORRECTA EN FUNCIÓN DE VIENTOS PREDOMINANTES (ELABORACIÓN PROPIA)





**No debe soslayarse que la cercanía de una Granja a un centro poblado trae aparejados algunos aspectos de convivencia con el entorno que deben atenderse, pero también resulta crítica para que los empleados puedan trasladarse diariamente hacia el lugar de trabajo.**

Como fue mencionado, la Cortina Forestal puede cumplir varios objetivos. Principalmente embellece el paisaje rural pero también sirve de filtro para el material particulado que puede moverse por acción del viento desde los galpones hacia el exterior del predio. También existirán gases adsorbidos a ese material en suspensión que pueden ser filtrados efectivamente por los árboles, siempre que su diseño en cuanto a espesor en ancho y altura sea adecuado.

La Figura 4 muestra una cortina mono específica y de una sola hilera que rodea el predio productivo. Las especies más comúnmente utilizadas en nuestro país, según zonas, son: Pinos, Casuarinas, Eucaliptus, Paraísos y Álamos.

**FIGURA 4:** CORTINA FORESTAL PERIMETRAL



También debe tenerse en cuenta que estas cortinas no deben estar muy cerca de los galpones, ya que se podría restringir el flujo de aire normal que es necesario para la ventilación natural y bienestar de los animales. Como regla general suele indicarse que dicha separación debe ser de unos 30 metros o 10 veces la altura de la especie implantada



(MWPS-18).

**FIGURA 5:** CORTINA FORESTAL MULTI-ESPECÍFICA Y MULTI-LINEAL.



## 5. Caracterización de excretas porcinas

Las excretas animales son, en su composición química y física, una consecuencia de la funcionalidad del sistema digestivo de cada especie. En el caso del cerdo, por ser un animal monogástrico que posee un solo estómago, una de las principales funciones de este órgano es la descomposición de las proteínas en aminoácidos que son absorbidos por el intestino delgado junto con grasas, almidones y azúcares. Las excretas, como combinación de bosta y orina, se distribuyen en proporciones aproximadas de 60 % heces sólidas y 40 % orina.

La base de la ración que consumen los animales depende de la edad, sexo y peso del animal como también del estado reproductivo en el caso de las hembras. Los cinco componentes de la ración son la energía, proteína, minerales, vitaminas y agua. El maíz y el sorgo suelen utilizarse como fuente primaria de carbohidratos mientras la harina de soja provee proteína.

Mientras los niveles de energía se mantienen a niveles estables la proteína bruta va variando con el crecimiento del cerdo, mostrando contenidos de proteína cruda promedio de 20 % en recría y hasta un 15 % en promedio de la fase de engorde. Estos niveles son muy importantes ya que la proteína es la mayor fuente de nitrógeno y azufre en las heces (Hamilton et al., 2014).

La Tabla 2 muestra la producción diaria de excretas frescas "tal cual" de cerdos en distinto estado de crecimiento y desarrollo. El ajuste de la dieta de los animales a medida que crecen es reflejado en la composición de las excretas que producen. En la presente Guía el término "excretas" refiere a la combinación de la orina líquida y la bosta sólida producida por los cerdos.

Los valores de producción de excretas frescas, y sus características constitutivas, son la mejor fuente de información para planificar y diseñar una granja porcina. La información que muestra la Tabla 1 ha sido adaptada de bibliografía internacional, realizando las conversiones de unidades necesarias. Es importante tener presente que los valores presentados están desarrollados sobre una dieta seca en base a Maíz, asumiendo un máximo

de 5% de pérdida de alimentos. Nótese la evolución de los parámetros a medida que los animales crecen y cambian de categoría desde Recría hasta Engorde 3.

**TABLA 2:** PRODUCCIÓN DIARIA DE EXCRETAS FRESCAS

COMPONENTE	UNIDADES	RECRÍA	ENGORDE	ENGORDE	ENGORDE	CACHORRAS REPOSICIÓN	PADRILLOS	CERDA GESTACIÓN	CERDA MATERNIDAD + LECHONES
			1	2	3				
			23-57KGS.	57-80KGS.	80-114KGS.				
<b>CANTIDAD</b>									
Peso	kg/día	1,68	2,73	3,64	4,27	3,73	3,73	3,73	11,82
Volumen	m <sup>3</sup> /día	0,0016	0,0027	0,0037	0,0042	0,0037	0,0037	0,0037	0,0116
Sólidos totales	kg/día	0,17	0,27	0,36	0,43	0,37	0,35	0,34	1,18
<b>MATERIA ORGÁNICA</b>									
Sólidos volátiles	kg/día	0,14	0,25	0,33	0,39	0,33	0,31	0,30	1,05
DQO	kg/día	0,15	0,27	0,37	0,44	0,35	0,25	0,33	1,14
C:N		8	7	7	7	7	6	6	7
<b>NUTRIENTES</b>									
N	kg/día	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08
P	kg/día	0,004	0,007	0,009	0,011	0,009	0,009	0,009	0,029
K	kg/día	0,005	0,010	0,013	0,015	0,015	0,018	0,017	0,055

Producción diaria promedio por categoría de peso. Incrementar sólidos y nutrientes un 4% por cada 1% de pérdida de alimento por encima del 5%.

Fuente: OSU-F1735, adaptado.

DQO: Demanda Química de Oxígeno

También resulta interesante la diferencia en composición y cantidades entre la Cerda en Gestación y la Cerda en Maternidad, donde aumentan significativamente todos los parámetros.

La sección de Nutrientes muestra la concentración de los macro nutrientes de interés en producción agropecuaria, atento a que la utilización de efluentes de cerdos como enmienda orgánica es una práctica difundida en la agricultura.

Normalmente, las excretas de cerdos se presentan mezcladas con otros materiales constituyendo lo que comúnmente se llama “efluentes”. Estos materiales adicionales pueden ser el agua fresca suministrada para bebida animal pero no capturada por el cerdo, los residuos arrastrados por el agua de lavado o “flushing”, restos de alimento volcado en el piso, paja o material usado para la “cama” en el sistema túnel, etc. Obsérvese que en la Tabla 2 está definido el valor de pérdida de alimento promedio, y se indica cómo deben incrementarse los valores de concentraciones presentados cuando estas pérdidas exceden el 5% del alimento entregado como ración.

No resulta sencillo estimar la cantidad y concentración de nutrientes en las distintas categorías de “efluentes” de la granja ya que estarán directamente afectados por situaciones de manejo. La cantidad de agua utilizada para limpieza de galpones provoca la dilución de las excretas puras o frescas, el mismo efecto produce el agregado de paja o cama con el aporte adicional de Carbono a las mismas, las pérdidas de alimento pueden diferir según la alimentación sea líquida o sólida y según se limpien los pisos de galpones con más o menos frecuencia y esmero.

Siempre se recomienda que el cerdo tenga acceso “irrestringido” al consumo de agua (Vieytes, *op. cit.*). Esto se conoce como consumo “*ad libitum*” en la ciencia de la Nutrición Animal, cuyos preceptos teóricos definían al agua como el nutriente más relevante para la producción animal.

Si bien los conceptos de nutrición y fisiología animal no han variado, el tipo de instalaciones y la concientización por la conservación de un recurso preciado como el agua de buena calidad han contribuido a resaltar la importancia de implementar sistemas de suministro que minimicen las pérdidas.

En cerdos de recría y engorde el sistema más difundido es el de “chupete” o niple, al cual el animal se acerca cuando siente sed y succiona para obtener agua fresca. También se utiliza en sistema de “tazón” que es un recipiente que contiene agua y los comederos “húmedo-seco” que van entregando el agua sobre la ración a consumir.

En el caso de las Cerdas en Gestación también existen los sistemas de “canaletas” manuales o automáticas que entregan agua en forma de flujo continuo o por nivel constante. Debe resaltarse que este sistema de canaletas es quizá el más ineficiente respecto de las pérdidas de agua.

Deben reconocerse tres fuentes de agua dentro del organismo animal: el contenido de humedad de los alimentos, el producto del metabolismo oxidativo de los alimentos que componen la ración (agua metabólica) y el agua de bebida. Esta última fuente explica alrededor del 75% del agua que ingresa al organismo del cerdo. Asimismo, como muestra la Tabla 3, la retención de agua en el organismo es menor al 10% del total consumido.

**TABLA 3:** EQUILIBRIO HÍDRICO DEL CERDO EN CRECIMIENTO

	INGRESOS (LT/D)		PÉRDIDAS (LT/D)
Agua de Bebida	4.00	Orina	2.93
Agua Metabólica	0.99	Respiración	1.53
Agua de Alimentos	0.20	Excreta Sólida	0.25
		Retención Tejidos	0.48
<b>Total</b>	<b>5.19</b>		<b>5.19</b>

Fuente: Quiles y Hevia, 1997

Debido a que los cerdos se hallan confinados en ambientes protegidos del clima y la lluvia, se requieren diversas tareas de limpieza de las naves de producción como así también de remoción de excretas. Básicamente, al agua de bebida animal se suma en sistemas de producción “húmedo” (se exceptúa el sistema túnel o hoop) la utilizada para arrastre de excretas hacia el sistema de conducción exterior y la usada para desinfección e higiene de instalaciones.

La Tabla 4 muestra valores guía de consumo de agua total por animal y por día. Estos valores son promedio del sector porcino Norteamericano y están basados en mediciones reales y constantes de más de 300 granjas de cerdos en confinamiento en galpones con ventilación controlada y natural y fosa poco profunda.

**TABLA 4:** CONSUMO ESTACIONAL DE AGUA POR ANIMAL POR DÍA

	LITROS/DÍA	
	O-I	P-V
Gestación y Maternidad	23	30
Recría	8	11
Engorde	13	17
Unidad Desarrollo Genético	19	21

Fuente: Maisonnave, R. Mediciones propias en Granjas Porcinas EEUU. Datos no publicados.  
O-I: Otoño - Invierno. P-V: Primavera - Verano

Los valores mostrados tienen una variabilidad estacional que responde a las condiciones de temperatura y humedad dentro de galpones. Sin embargo, los consumos totales de agua también se verán afectados por el tipo de bebederos instalados, la frecuencia de limpieza y desinfección del galpón, el protocolo de vaciado de fosas, entre otros factores.

El tipo de sistema de recolección y almacenamiento de las excretas reflejará diferencias tanto en los volúmenes como así también en la concentración de algunos parámetros críticos, como puede verse en la Tabla 5.

A continuación, se muestra una comparación sencilla entre los efluentes porcinos contenidos en una laguna anaeróbica y aquellos correspondientes a una fosa profunda o “deep pit” dentro del galpón de alojamiento animal. El diseño de fosa profunda no es común en nuestro país ya que es indicado para latitudes de inviernos muy marcados y fríos como la zona de Iowa o Minnesota en los Estados Unidos de Norteamérica. Estas fosas profundas pueden tener entre 2 y 3 metros de profundidad según la zona de producción y requieren de sistemas eficientes de ventilación para evacuar los gases que se acumulan como consecuencia de la descomposición de las excretas. Los sistemas de fosas profundas pueden brindar capacidad de almacenamiento variable entre 3 y 12 meses dependiendo, precisamente, de su profundidad total.

En Argentina es más común el sistema fosa poco profunda o “shallow pit”. En este caso la profundidad de la fosa suele estar entre los 30 y 60 cm y requiere de un protocolo de limpieza y vaciado frecuente (ver [7. Sistemas de Recolección y Conducción de Efluentes](#)).

Los sistemas de fosas pueden pensarse como análogos a un tanque de almacenamiento exterior de tipo semi-abierto, es decir que no sea herméticamente cerrado como aquellos indicados para biodigestión ni tampoco abierto a la atmósfera pues ello permitiría el ingreso de agua de lluvia.

**TABLA 5:** EXCRETAS LÍQUIDAS CONTENIDAS EN DISTINTOS SISTEMAS

	LAGUNA ANAERÓBICA	FOSA PROFUNDA	FOSA PROFUNDA
	60 CM	SIN AGITAR	BIEN AGITADA
	KGS/1000 LITROS		
Nitrógeno (N)	0,48	4,56	5,84
Nitrógeno Amoniacal (NH4-N)	0,36	3,24	4,13
Fosfato (P2O5)	0,24	3,72	5,98
Oxido de Potasio (K2O)	0,50	3,24	3,77

Fuente: MWPS, adaptado

Las concentraciones de nutrientes de interés agronómico se presentan en kg/1000 litros. La laguna anaeróbica presenta valores del efluente superficial muestreado en los primeros 60 cm desde el nivel superior de líquido en la laguna. Esto es importante de destacar ya que la composición química de los efluentes se va concentrando a medida que nos movemos en profundidad. Para el caso de la fosa, que pueden tener hasta 3 metros de profundidad, sucede lo mismo respecto de la concentración.

Sin embargo, los valores presentados en la Tabla 5 son una muestra compuesta del perfil vertical de dichas fosas. En el primer caso, la situación “sin agitar” representa el material

almacenado en la fosa tal cual, probablemente estratificado con mayor contenido de fósforo y sales en el fondo. En el segundo caso, la “agitación” se llevó a cabo durante 4 horas en forma continua de modo de alcanzar una estabilidad en la composición relativa del efluente que entrega valores “promedio” del contenido total de la fosa.

La Tabla 5 muestra claramente que los efluentes de lagunas anaeróbicas contienen menor concentración de nutrientes de interés, lo cual es una consecuencia del diseño de las mismas como será explicado más adelante. Asimismo, podemos ver que al agitar el contenido de una fosa aumentamos la concentración de fósforo que se hallaba sedimentado en el fondo de la misma, aumentando significativamente su concentración como fosfato respecto de la fosa sin agitación.

## 6. Descripción de las buenas prácticas de manejo (BPM)

**Las Buenas Prácticas de Manejo o BPM son una variedad de formas de trabajo en el ámbito de una Granja de Producción Animal que conducen a lograr el objetivo productivo buscado respetando las características originales del medio ambiente y la salud de las personas involucradas.**

Siendo nuestro caso el de la producción intensiva de cerdos en confinamiento, el manejo de las excretas generadas es un componente fundamental de las BPM que podríamos llamar Buenas Prácticas de Manejo de Excretas (BPME). Sin embargo, también constituyen BPME el ahorro en el consumo de agua y el reciclado de nutrientes.

En los Capítulos siguientes se desarrollarán las particularidades de distintos sistemas de captación, tratamiento, almacenamiento y uso de efluentes porcinos. El funcionamiento apropiado de todos estos sistemas implica la implementación exitosa de distintas prácticas de manejo de excretas.

A continuación, se presenta una Tabla que resume las **Buenas Prácticas de Manejo de Excretas (BPME) y de Uso de Nutrientes (BPUN)**. La mayoría de estas prácticas se explican con más detalle en los capítulos siguientes, siendo la Tabla 6 una primera aproximación y a la vez un resumen ejecutivo del tema. Debe notarse que se enfatizan los efectos de las distintas BP sobre excretas y nutrientes, obviándose los efectos que también existen sobre parámetros zootécnicos de interés, como por ejemplo el efecto positivo de la calidad de aire del galpón sobre las afecciones respiratorias y el efecto de estas en la Ganancia Diaria de Peso.

**Es importante destacar que las Buenas Prácticas son, esencialmente, recomendaciones voluntarias que el productor puede elegir adoptar. Sin embargo, muchas veces algunas de estas BPM se convierten en términos específicos de una Legislación o Normativa Provincial o Nacional, ya que prueban su eficacia en la protección del medio ambiente, además de su efecto positivo en los resultados productivos.**

Asimismo, la adopción de algunas de estas BPME y BPUN son de un costo elevado, por lo que se recomienda siempre contar con asesoramiento profesional calificado al momento de evaluar la pertinencia e impacto de estas Prácticas en una Granja específica.

TABLA 6: BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO DE EXCRETAS Y USO DE NUTRIENTES

PRACTICA	EFEECTO	DETALLE
Correcta Densidad de Animales por m <sup>2</sup>	Mejora la higiene del piso y la calidad del aire	Hacinamiento provocará acumulación y descomposición parcial de heces, proliferación de moscas y olores
Instalación de Caudalímetros	Reduce consumo y permite el control de pérdidas de agua	Reduce costos operativos, conserva el recurso agua
Cambio Frecuente de Cama (Sistema Túnel)	Favorece el bienestar animal	Reduce problemas sanitarios, moscas y olores
Vaciado Fosas y Enjuague Canaleta	Mejora la calidad de aire del galpón	Se reduce la acumulación de sólidos, moscas y olores
Mantenimiento de Comederos y Bebederos	Reduce pérdidas de alimento y agua	Disminuye incidencia de moscas, generación de olores y roedores. Reduce concentración de nutrientes en los efluentes.
Recolección de Pérdidas de Alimento	Disminuye olores, moscas y roedores. También disminuye contenido de nutrientes “crudos” (no digeridos por el animal) en los efluentes.	Los derrames de alimentos deben recogerse y depositarse en silo (si están secos y en buen estado) o en bolsas plásticas para su eliminación como residuos (húmedos o en descomposición).
Adecuada Ventilación (cortinas, ventiladores y extractores)	Favorece secado de excretas	Reduce moscas, olores. Favorece limpieza en sistemas de piso sólido. Mejora la calidad del aire (bienestar humano y animal)
Limpieza y drenado de Fosas	Mejora calidad del aire	El barrido o arrastre de cualquier material sólido que pudiera acumularse en esquinas y paredes disminuye olores, moscas y obturación de tuberías de conducción
Inspección Tuberías	Asegura el drenaje eficiente de fosas y canaletas	Asegurar un flujo libre sin restricciones por acumulación de basura o sólidos
Limpieza General	Evita contaminación de excretas con otros materiales	Bolsas plásticas, tubos de inseminación, guantes de látex, agujas y otros materiales son ajenos al sistema de captación y tratamiento de excretas
Formulación de Ración Ajustada por Fase	Aumenta la eficiencia de absorción de nutrientes	Reduce exceso de nutrientes y sales en excretas
Uso de aditivos (enzimas y otros)	Mejora la digestibilidad	Reduce exceso de nutrientes y sales en excretas
Separación Sólidos	Disminuye la carga orgánica del efluente líquido	Requiere almacenaje en ambiente seco y protegido para no generar olores, moscas ni escorrentía contaminante, corto plazo



<b>Compostaje</b>	Reduce el volumen de sólidos a transportar	Elaborar mezcla de sustratos balanceada por relación C/N y humedad, asegurar fuente de C permanente. Almacenaje en ambiente seco y protegido, mediano plazo
<b>Aplicación de conceptos de bioingeniería aplicada en Lagunas de Tratamiento de Efluentes Animales</b>	Maximizar los procesos bioquímicos de purificación y estabilización de efluentes Dimensionar integrando procesos bioquímicos, físicos y variables medio ambientales críticas	Observar criterios de ingeniería tanto en la construcción como en el manejo diario de estas Lagunas Evitar el aporte de agua de lluvia a las Lagunas por escorrentía laminar
<b>Impermeabilización de Estructuras de Almacenamiento</b>	Protección de napas freáticas superficiales	Utilización de arcillas, geo-textil y/o geo-membranas para proteger las aguas subterráneas*
<b>Biodigestión</b>	Reduce carga orgánica del efluente líquido y mejora los olores alrededor de la granja	Adicionalmente puede generar biogás y electricidad para consumo y/o venta**
<b>Humedales Artificiales</b>	Reduce la carga orgánica y el contenido de sólidos del efluente líquido	Requiere diseño profesional y mantenimiento. Favorece la biodiversidad
<b>Toma de Muestras según Protocolo Estandarizado y Determinaciones Analíticas en Laboratorio con experiencia en excretas</b>	Informa el contenido real de nutrientes del producto a utilizar y sus características físico-químicas	Permite valorar las excretas y planificar el uso agronómico y ambientalmente responsable Permite evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento
<b>Transporte de excretas</b>	Evitar pérdidas y conservar la calidad	Acoplados o tolvas de buen sellado interior, cerrados o cubiertos con lona apropiadamente
<b>Implementación de Buenas Prácticas de Uso de Nutrientes</b>	Conservación de los Recursos Naturales	Uso agronómico de excretas, control de escorrentía, filtros vegetativos, distancias mínimas a cuerpos de agua
<b>Aplicación de Efluentes a Tasa Agronómica</b>	Conservación de recursos naturales, reciclado de nutrientes y maximización del valor fertilizante	Uso de Nutrientes en base al balance de nutrientes entre suelos y demanda de cultivos, aplicados en dosis, momento, forma y lugar indicados
<b>Calibración de equipos de aplicación</b>	Mejora en la eficiencia de uso de los nutrientes	Se evitan la sobre-fertilización y la sub-fertilización de cultivos
<b>Plan de Manejo de Nutrientes</b>	Planificar y documentar el plan de aprovechamiento agronómico	Identificación de lotes, cultivos, rotaciones y rendimientos

Fuente: Maisonnave, R. 2016. Elaboración Propia. Material no publicado.

\*donde las características litológicas e hidrológicas así lo requieran, como así también donde la Autoridad Provincial lo demande

\*\*la venta de Energía será posible donde esté permitido por la Legislación Provincial vigente.

## 7. Sistemas de recolección y conducción de efluentes

El sistema de Recolección o Captación de excretas es responsable de brindar un ambiente agradable, limpio y sano a los cerdos en producción. Las particularidades de uno u otro sistema se explican en primer lugar por la característica de manejo seco o húmedo de las excretas.

En sistemas de producción tipo túnel con cama profunda, el sistema de captación de excretas está compuesto por el material seco utilizado como cama que absorbe la orina y sostiene las deyecciones sólidas (Foto 1). La recolección y conducción es eminentemente manual y la llevan a cabo los operarios de la Granja utilizando rastrillos y carretillas. La “cama” usada se retira del galpón y se utiliza inmediatamente como enmienda de suelos o se composta previamente.

**FOTO 1:** SISTEMA DE CAMA PROFUNDA, TÚNEL O “HOOP”



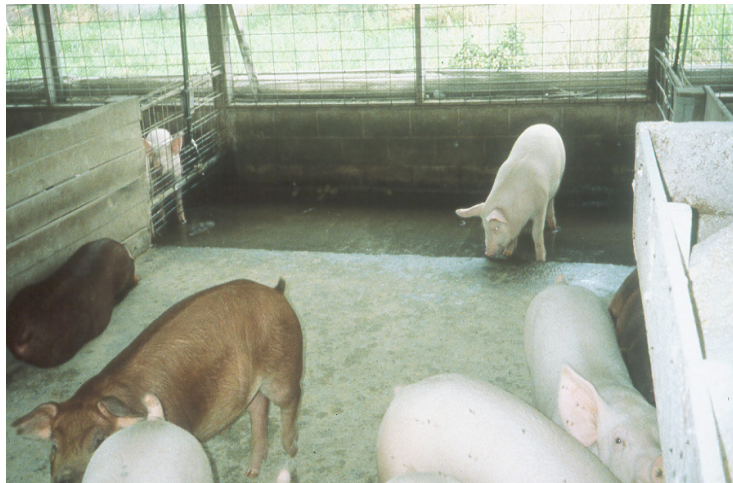
Los sistemas húmedos o líquidos son comúnmente de piso de cemento sólido o también, y más frecuentemente, de piso emparrillado de material plástico o cemento. En el caso del piso emparrillado las excretas percolan a través de los espacios abiertos (Foto 2). En ambos casos las excretas son finalmente evacuadas de los galpones gracias a la acción de arrastre provocada por una lámina de agua moviéndose a favor de un gradiente de pendientes.

**FOTO 2:** SISTEMA DE PISO EMPARRILLADO O “SLAT”



En el sistema de piso sólido suele definirse una zona “seca” donde se concentran los comederos y bebederos y una zona húmeda o canaleta donde el animal instintivamente deposita las deyecciones biológicas (Foto 3). Existe la posibilidad de recoger sólidos del mismo galpón en forma independiente y previamente al barrido de agua; aunque en nuestro país en la mayoría de las granjas porcinas que utilizan este sistema el agua de lavado arrastra tanto sólidos como líquidos.

**FOTO 3: SISTEMA DE CANALETA**



En el caso de las fosas ubicadas debajo del piso emparrillado (cemento o plástico), la diferencia está en los volúmenes y el estado del material que es un semi-líquido con aproximadamente 4-8 % de sólidos. En este sistema las excretas líquidas caen a través de las aberturas del piso emparrillado sobre el cual se alojan los cerdos, almacenándose en la fosa subyacente.

En la Tabla 7 se resumen los sistemas de recolección y conducción de excretas.

**TABLA 7: SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN DE EXCRETAS**

SISTEMA	CARACTERÍSTICAS DEL PISO	EVACUACIÓN DE EXCRETAS
Cama Profunda o Túnel	Colchón de paja sobre piso de tierra	Manual. Mezcla de excretas sólidas y paja húmeda
Piso Sólido	Cemento con canaleta	Arrastre con agua. Puede recogerse sólido previamente
Piso Emparrillado	Cemento o Plástico	Recolección en fosa y drenaje por gravedad

Fuente: elaboración propia

Es importante destacar que las fosas necesitan un manejo adecuado para evitar la acumulación de sólidos. En este sentido, la construcción de las mismas con un piso con pendiente de entre 0.3 y 0.5 % es la forma adecuada de asegurar un buen drenaje. Esto debe ser complementado con tuberías de desagote de diámetro razonable para no retrasar el flujo, ya que la sedimentación de partículas sólidas está directamente relacionada con la velocidad del flujo que las transporta. Estas tuberías también deben tener una pendiente diseñada para evitar la acumulación de materiales sólidos, por lo cual resulta imprescindible realizar estos cálculos y diseño con anterioridad al anclaje de los cimientos de los galpones de producción.

En nuestro país existe cierta confusión respecto de las ventajas y desventajas de las fosas con pendiente, en muchos casos por desconocimiento práctico del sistema y por la falta de mano de obra calificada para la construcción. Independientemente de la pendiente de la fosa, es crítico el mantenimiento y vaciado de la misma con periodicidad, siendo frecuente en nuestro país la limpieza y vaciado a intervalos de tiempo excesivamente largos.

Normalmente, las fosas deben vaciarse con la frecuencia necesaria para evitar:

- » Generación y acumulación excesiva de amoníaco.
- » Acumulación excesiva de sólidos sedimentados en fondo de fosa.
- » Descomposición avanzada de las excretas que genera Sulfuro de Hidrógeno en cantidades detectables por el sistema olfativo del ser humano (partes por billón o ppb, olor intenso a huevo podrido).

Para evitar los efectos mencionados debe implementarse un protocolo de vaciado y limpieza de fosas. Este protocolo no puede ser idéntico para todas las granjas, ya que los detalles constructivos (pendientes de fosas y tuberías), la presión de agua disponible en la granja y las técnicas utilizadas para el lavado de las mismas influirán determinando lo que es más adecuado en cada caso. A modo orientativo se sugiere el siguiente protocolo que puede luego ajustarse en cada granja en base a la experiencia y resultado de lo implementado (Tabla 8).

**TABLA 8:** CRONOGRAMA ORIENTATIVO DE VACIADO DE FOSAS

	DURACIÓN FASE PRODUCTIVA	LIMPIEZA Y VACIADO DE FOSAS
Gestación	Continua	Entre 1 y 3 semanas
Maternidad	3 semanas	Al finalizar el ciclo. Se limpia y desinfecta la Sala de Maternidad y simultáneamente se drena la fosa.
Recría	7 semanas	A la 3 <sup>er</sup> semana, luego a la 5 <sup>ta</sup> y a la 7 <sup>ma</sup> semana
Engorde	15 semanas	Semanalmente o cada dos semanas máximo

Fuente: Maisonnave, R. 2016. Elaboración Propia. Material no publicado.

El sistema de conducción de efluentes fuera del galpón puede estar enterrado o a cielo abierto. En el primer caso, las tuberías de PVC son más comunes, aunque últimamente se observa un incremento en el uso de tuberías de plástico corrugado. La aptitud y durabilidad de estas últimas esta aún a prueba en el caso de las granjas porcinas.

En la conducción a cielo abierto se utilizan canales que pueden ser de tierra recubiertos por geo-membrana o también de cemento concreto, con un ancho y profundidad que debe asegurar la velocidad de transporte que minimice la sedimentación y además prevenir desbordes de material por exceso de caudal instantáneo. Una ventaja de este sistema es que nunca se obtura, siendo su inspección y limpieza extremadamente sencilla. Entre las desventajas tenemos la adición de agua de lluvia que precipita sobre la canaleta y se conduce a la laguna o tanque de tratamiento, la dificultad de aislar la escorrentía de agua de lluvia de alrededor de las canaletas (requiere precisos movimientos de suelos y mantenimiento).

Otra diferencia con el sistema enterrado es que para las canaletas a cielo abierto necesitamos una pendiente natural a favor del sentido de la conducción, mientras que en tuberías enterradas podemos independizarnos de la pendiente natural dándole al tendido subterráneo una pendiente calculada en el diseño.



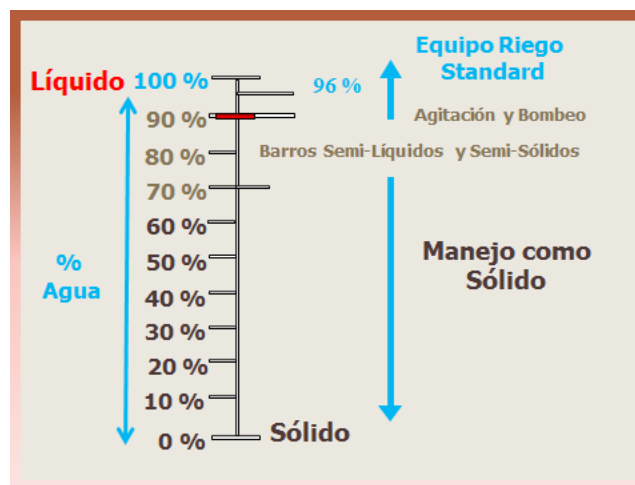
Hasta aquí la descripción de la conducción ha asumido un flujo gravitatorio donde el efluente es movido por un gradiente de pendiente o nivel. Si este no fuera el caso, por condiciones naturales o diseño de la granja, se requerirá presurizar el flujo para lo cual se construirá un pozo estercolero alojando una bomba sumergida o externa.

La función del pozo estercolero es la de acumular efluentes que provienen de los galpones hasta un nivel determinado cuando comienza la evacuación por bombeo. Normalmente, los pozos estercoleros se hallan enterrados y son de perímetro cuadrado o rectangular, lo que favorece la acumulación de sólidos en las esquinas. Por ello, es recomendable que el pozo sea de forma circular y que siempre cuente con un sistema de mezclado de flujo por paletas o similar.

Es imprescindible que el pozo, al igual que una laguna o tanque, sea perfectamente impermeable para evitar contaminación de napas y suelos.

El sistema de recolección, conducción y tratamiento de excretas de cada granja determina la consistencia o composición física del material a manejar. Los sistemas de galpones húmedos entregan un efluente que suele denominarse “semi-líquido” pudiendo variar su contenido de sólidos entre un 4 y 8 %. Mientras tanto, si tenemos un sistema de decantación de sólidos o separación de los mismos, el efluente final resultante tendrá un contenido de sólidos significativamente disminuido. Así deberemos implementar distintos sistemas de uso y aprovechamiento según las características de nuestro material, como puede verse en el siguiente esquema.

**FIGURA 6:** CONTENIDO DE AGUA Y SISTEMAS DE MANEJO Y UTILIZACIÓN



Fuente: Maisonnave, R. 2015.

Como se ve en la Figura 6, cuando los efluentes presentan menos de un 4 % de sólidos pueden bombearse fácilmente y distribuirse con un equipo de riego estándar, sin requerir accesorios especiales. Generalmente por encima del 10 % de sólidos el manejo hidráulico se dificulta y aumenta el tamaño de bombas necesarias junto al costo operativo.

En el rango del 10 al 30 % de sólidos (90 a 70 % líquido en la Figura 6), los efluentes suelen clasificarse como semi-líquidos y semi-sólidos. En forma genérica, los semi-líquidos pueden agitarse para reducir la concentración de sólidos y ser bombeados más fácilmente. Pero a medida que nos acercamos al 20 % de sólidos se requieren bombas y equipos más potentes.

La separación de sólidos por distintos medios, como se detalla en la sección siguiente, entrega materiales normalmente con contenidos de sólidos de entre 25 y 30 %. A modo ilustrativo, un sólido con dicho contenido de humedad puede tomarse con las manos y

apretarse sin que deje escapar cantidades perceptibles de líquido. Por ello, puede apilarse y transportarse sin derramar o “chorrear” una fracción líquida.

## 8. Sistemas de tratamiento

Los sistemas de tratamiento de excretas son un componente fundamental de la granja porcina moderna. Comúnmente, las referencias a “Sistemas de Tratamiento” pueden no ser del todo claras. En algunos casos se mencionan sistemas de tratamiento que en realidad son sistemas de almacenamiento, en otros se refiere a sistemas de acondicionamiento o pre-tratamiento.

**Es importante comenzar por aclarar que un Sistema de Tratamiento debe tener un objetivo claro, que pueda ser medido y manejado a fin de mejorar su eficiencia de funcionamiento. Los objetivos del tratamiento de excretas pueden ser muy variados, aunque en ocasiones no están relacionados con una exigencia legal o regulatoria sino con pautas de manejo de los valiosos nutrientes contenidos en las mismas.**

Un factor fundamental que determina el sistema de tratamiento específico es el contenido de sólidos de las excretas que se desean tratar, ya que el estado físico que puede variar entre líquido-semilíquido-semisólido-sólido presentará particularidades en cuanto a la conducción y tratamiento de los mismos como ya fue explicado anteriormente.

### 8.1. Separación de Sólidos

Algunos autores no consideran a la separación de sólidos como un sistema de tratamiento propiamente dicho sino como un componente de acondicionamiento o pre-tratamiento.

El objetivo primario de esta técnica de tratamiento de excretas es poder separar físicamente los componentes sólidos de los líquidos. Las razones para justificarlo son:

- » Control de olores
- » Reducción de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) para alcanzar valores de vuelco de los efluentes líquidos
- » Disminución del volumen de excretas a transportar fuera del predio
- » Intención de realizar compostado posterior

En forma general, podemos decir que la porción sólida estará representada por las heces y los restos de alimento colectados por el sistema de captación. Mientras tanto, la fracción líquida estará representada por la orina, las pérdidas del agua de abrevado, el agua de lavado y la fracción de humedad que pueda extraerse de las excretas sólidas.

En virtud de las instalaciones existentes en la Granja Porcina, la separación de sólidos puede llevarse a cabo por sistemas muy disímiles (Tabla 9). Por ejemplo, en un sistema de Pistas de Engorde con piso sólido en pendiente la separación primaria se realiza por simple efecto de la gravedad.

En el caso de los galpones con sistema de canaleta sobre piso de cemento, donde los cerdos usualmente depositan las excretas sólidas y líquidas en un área alejada de la zona de comederos y bebederos, también las excretas líquidas pueden separarse por gravedad. En algunos casos donde el costo de la mano de obra es muy bajo puede darse la remoción de sólidos en forma manual donde los operarios remueven las excretas sólidas con palas y carretillas almacenándolas fuera del galpón (por ejemplo, en Ecuador y China)(Foto 4).



**FOTO 4:** RECOLECCIÓN Y TRANSFERENCIA MANUAL DE SÓLIDOS, REP. POPULAR CHINA



(Crédito: Maisonnave, R.)

Para ser precisos, en la mayoría de estos casos los materiales sólidos que no drenan por gravedad son en realidad semi-sólidos por su contenido de humedad. Luego de un secado parcial estos materiales son normalmente esparcidos en lotes agrícolas o compostados para ser utilizados como abono en huertas, flores y frutales. El caso del uso de excretas en huertas y montes frutales requiere consideraciones especiales, como los tiempos a transcurrir entre el momento del abonado y la siembra o cosecha de cultivos. En todos los casos se recomienda la aplicación durante el barbecho y la incorporación de los materiales al suelo cuando fuera posible.

En galpones con sistema de fosas sobre piso de cemento emparrillado o “*slat*”, las excretas sólidas y líquidas se mezclan junto al agua de lavado y de pérdidas. Una vez que las excretas se conducen fuera del galpón puede realizarse la separación física de sólidos y líquidos normalmente por sistemas de gravedad o mecánicos que actúan por presión (Tabla 9 y Foto 5).

**TABLA 9:** SEPARACIÓN DE SÓLIDOS

PRINCIPIO FÍSICO	TIPO DE INSTALACIONES Y EQUIPO	FUNDAMENTO DEL PROCESO
Manual / Gravitatorio	Galpón con piso sólido (canaleta) y pista de engorde con piso sólido	La pendiente del piso escurre la porción líquida. Operarios remueven sólidos.
Gravitatorio	Lagunas, Canales y Tanques de Sedimentación	Las partículas gruesas se “separan” sedimentando por su peso diferencial.
Gravitatorio Asistido	Separador Elíptico	La separación se produce por filtrado sobre una malla inclinada. Una bomba alimenta al separador.
Mecánico	Separador de Tornillo y Prensa (STP)	Separa por presión contra una malla de orificios pequeños.
	Separador Híbrido	Es un elíptico combinado con un separador de tornillo.
	Decantador Centrífugo	Significativa fuerza centrífuga para separar hasta partículas muy pequeñas.

Fuente: elaboración propia

Es importante tener en cuenta que para poder cumplir con los objetivos propuestos para un sistema de separación de sólidos es determinante el manejo de los productos del sistema. Por ejemplo, si el objetivo de la Separación de Sólidos es la reducción de olores y moscas, pero los sólidos separados se acumulan a la intemperie en una pila por tiempo prolongado, recibiendo la humedad de las lluvias y describiendo ciclos de humedecimiento y secado intermitentes, entonces sobrevendrán olores y moscas tornando al sistema ineficiente.

**FOTO 5:** SEPARADOR DE SÓLIDOS POR SISTEMA DE TORNILLO Y PRENSA

(Crédito: Maisonnave, R.)

Si contamos con Lagunas de Sedimentación que no se mantienen limpias según el diseño, colmatándose con sólidos que llegan hasta la superficie de las mismas, entonces la sedimentación planificada no se produce con la eficiencia esperada y además generamos olores y moscas.

Un aspecto importante de las Lagunas de Sedimentación es que, al igual que los Tanques, requieren un vaciado y limpieza frecuentes. Normalmente dicha limpieza se realiza en forma mecánica (retro-excavadora) lo que representa un costo operativo importante y un riesgo de daño del fondo y paredes de estas lagunas.

**Es importante mencionar que, en tratamiento de efluentes, toda laguna o estructura enterrada debe ser impermeable, para evitar la contaminación potencial de aguas subterráneas. Esto es así tanto para las lagunas de sedimentación, las de almacenamiento o las de tratamiento. La impermeabilización se consigue con la colocación de una capa de arcilla de características hidráulicas determinadas o con la instalación de geo-membranas plásticas. Pueden existir excepciones, principalmente en climas semi-áridos, donde la profundidad a los cuerpos de agua sea muy significativa (varias decenas de metros).**

Durante un largo tiempo se aceptó que las lagunas de tierra, sin recubrimiento geo-textil, se auto impermeabilizaban a través de la acumulación de barros y compuestos del metabolismo microbiano que iban sellando los poros del fondo de la misma. Esto puede ser posible siempre y cuando no existan ascensos de la napa freática que, ejerciendo presión ascendente, rompen ese sellado imperfecto.

El mismo análisis puede hacerse para lagunas que se impermeabilizan con materiales arcillosos como las bentonitas. Esta puede ser una alternativa interesante en climas semiáridos donde las napas freáticas se encuentran a gran profundidad y los ascensos no llegan nunca a los niveles de asiento de una laguna de efluentes.

## 8. 2. Compostaje de Excretas

La técnica del compostaje es muy antigua, de aplicación sencilla y efectividad probada. Es común observar recomendaciones o citas bibliográficas referidas al compostaje simplificándolo en extremo, atentando contra la eficiencia de esta alternativa de tratamiento de excretas. Esto quizá se deba al hecho de que el compostaje es, en esencia, el mismo proceso de descomposición de materiales orgánicos que se da naturalmente, aunque mejorado a través de la mezcla con otros materiales para maximizar la actividad microbiana.

**El compostaje es un proceso biológico y como tal su efectividad depende de la creación y mantenimiento de condiciones óptimas para la actividad de un tipo de microorganismos determinado. Los factores más importantes que determinan la efectividad del proceso son: humedad, aireación, relación C:N y el tamaño de partículas.**

Para el caso de producción porcina en confinamiento, el compostado de excretas puede realizarse partiendo de los sólidos separados de la fracción líquida por alguno de los sistemas ya explicados, o también directamente utilizando como sustrato del proceso la "cama profunda" del sistema Túnel.

Normalmente el compostaje de excretas y cadáveres entrega como producto final un material con un contenido de humedad significativamente menor al del original. Esto es un aspecto importante del compostaje ya que nos permite manipular el producto y transportarlo sin provocar lixiviados de fracciones líquidas.

También debemos mencionar que es una alternativa relativamente económica respecto de otros sistemas de tratamiento más sofisticados, aunque no tiene costo cero. Fundamentalmente el compostaje requiere alguna maquinaria o herramientas específicas y mano de obra en forma intermitente.

Las principales ventajas del compostaje son la reducción en volumen del orden del 25-30%, disminución del contenido de humedad, la estabilización química del material, la disminución progresiva de olores y moscas, la posibilidad de eliminar semillas de malezas y algunos patógenos si las temperaturas internas de la pila necesarias son alcanzadas y mantenidas por algunos días.

Entre las desventajas contamos la liberación de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), que en los primeros estadios puede ser importante generando olores significativos y disminuyendo el valor fertilizante de la excreta, y posteriormente se producen emanaciones de Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Además, el compostaje libera dióxido de carbono a la atmósfera que reduce el contenido de materia orgánica del compost (Griffiths, 2011). Es un proceso largo que requiere atención y mano de obra.

La utilización de una fuente de Carbono es altamente recomendada para reducir la humedad inicial, agregar porosidad imprescindible para la circulación de aire y llevar la relación C/N a rangos de 25 - 30:1 en el sustrato inicial. Adicionalmente esto contribuye a disminuir las pérdidas de nitrógeno como amoníaco.

Es importante destacar que, si bien el compostaje reduce volúmenes de sólidos respecto del contenido original en las excretas, nos enfrenta a un nuevo desafío operativo según el cual debemos buscar un destino para esta masa de sólidos compostados. La alternativa de venta del producto es siempre tentadora, pero requiere de un manejo minucioso del proceso y una uniformidad significativa del producto a comercializar, como así también el cumplimiento de normativa vigente para registro de enmiendas y abonos orgánicos (Resolución SENASA 264/2011).

En el caso de productores porcinos con galpones tipo túnel, el compostado de la cama profunda podría ser la alternativa más razonable para procesar dicho material. Sin embargo, debe tenerse presente que la relación C/N óptima para el proceso debe ser respetada. En este sistema productivo se requieren anualmente unos 200 a 300 kg de cama por Cerda en Gestación y unos 80 a 100 kg en el caso de cachorros de destete y engorde (Franco y Brunori, 2014). En este sentido, es probable que la relación inicial de Carbono: Nitrógeno no se ubique dentro de los rangos del compostaje clásico (alrededor de 30:1), en cuyo caso más que un compostaje lo que tendríamos sería un calentamiento del material por acción microbiana con pérdidas parciales de nitrógeno.

**A modo orientativo, podemos estimar que un criadero de 50 madres con ciclo productivo completo, originará unas 120 toneladas de material compostado por año. Evidentemente estos volúmenes exigen contar con cierta maquinaria y herramientas específicas, como así también una logística de transporte.**

En la mayoría de los casos el producto compostado es usado en el predio, entregado sin cargo o vendido para su uso como abono orgánico, con lo cual todas las observaciones realizadas precedentemente respecto del uso agronómico de excretas se aplican en este caso. Es decir, que las excretas hayan sido pre acondicionadas o tratadas por la técnica del compostaje no nos exime de asegurar que su aplicación a suelos -ya sea en sistemas agrícolas, hortícolas u otros- se realice en base a un balance de nutrientes y con cuidado de todos los aspectos ambientales pertinentes.

## 8. 3. Lagunas de Tratamiento

Las Lagunas de Tratamiento Biológico son un componente de un Sistema de Tratamiento diseñado para excretas en forma líquida o semi-líquida. En algunos países, como Estados Unidos, Brasil y Chile son ampliamente aceptadas, aunque con el paso del tiempo se han ido reforzando las exigencias en cuanto a construcción de las mismas.

Las fosas de almacenamiento de efluentes, importante fuente de generación de olores desagradables y persistentes, son aquellas que en su diseño sólo contemplan un volumen necesario para albergar o almacenar efluentes hasta el momento de ser utilizados. No se incluyen volúmenes adicionales para el tratamiento microbiológico, sino únicamente el volumen de almacenaje necesario para transcurrir cierto tiempo hasta que el vaciado del contenido sea posible. Obviamente, estas estructuras resultan más pequeñas -y por ende más económicas- que las Lagunas de Tratamiento Biológico propiamente dichas.

En nuestro país, usualmente se cavan “fosas” en el terreno para obtener tierra que se utiliza para elevar la zona donde se construirán los galpones de cerdos. Luego, se “aprovechan” esas cavas como fosas de almacenamiento, las que presentan una serie de problemas de carácter ambiental y operativo:

- » No tienen la capacidad de almacenar los efluentes hasta el momento oportuno ya que no se conoce el verdadero consumo de agua fresca de la granja ni se han considerado los aportes de agua de lluvia muy significativos en región pampeana.
- » Presentan generalmente problemas de filtrado por fondo y laterales ya que no fueron debidamente compactadas ni impermeabilizadas.
- » Producen olores desagradables ya que la actividad microbiológica se encuentra desbordada por un aporte de materia orgánica superior a la capacidad de depuración.

Usualmente, se confunden a las lagunas de tratamiento biológico con otras estructuras más sencillas como las fosas o cavas de almacenamiento, utilizando el término “laguna” para referirse indistintamente a todas ellas.

**Según la definición de la American Society of Agricultural Engineers (ASAE), las lagunas son obras de infraestructura para el tratamiento de residuos (excretas animales en nuestro caso) en donde existe una mezcla con suficientes cantidades de agua que aseguran una dilución apropiada para alcanzar una reducción satisfactoria del potencial contaminante a través de la actividad microbiana. Estas lagunas no deben nunca vaciarse totalmente, con excepción de la realización de tareas de mantenimiento.**

Al igual que en el caso del compostaje, muchas veces se intenta simplificar en exceso el fundamento biológico de las lagunas como sistemas de tratamiento, cometiendo errores en el diseño que llevan a la proliferación de olores desagradables. Una laguna anaeróbica bien diseñada y bien manejada sólo genera olores leves y concentrados en ciertos momentos del año muy acotados.

Las Lagunas de Tratamiento pueden ser de distintos tipos según su contenido de oxígeno disuelto en el efluente, a saber:

- » Lagunas Anaeróbicas: ausencia de oxígeno disuelto. Deben ser profundas para mantener la anaerobiosis y los procesos bioquímicos deseados.
- » Lagunas Aeróbicas naturales o inducidas: presentan oxígeno disuelto en efluente. La profundidad es menor que en el caso anterior.
- » Lagunas Facultativas: pueden presentar oxígeno disuelto en algunos momentos pero no en forma permanente y sostenida. Su profundidad es intermedia.

Para una misma granja de cerdos, una laguna anaeróbica presentará un tamaño más grande que una simple laguna de almacenamiento de efluentes, pero será bastante más pequeña que una laguna aeróbica. Esto se debe a que una Laguna Anaeróbica de Tratamiento Biológico requiere en su diseño contemplar un volumen de acumulación de “barros” en el fondo de la misma, un volumen de tratamiento biológico donde se concentra la actividad bacteriana de purificación del efluente, y un volumen de almacenamiento transitorio en su parte superior.

Los procesos microbiológicos que ocurren en una laguna anaeróbica dan como resultado una reducción muy significativa de la DBO5, del contenido de Nitrógeno del efluente y del contenido no sólo de Sólidos Totales sino también de Sólidos Volátiles. Como ya se mencionó, también se reducen los olores potenciales que genera la descomposición de la materia orgánica.

**Las Lagunas Aeróbicas son de una superficie bastante más grande, menos profundas y más eficientes en el control de olores que las Anaeróbicas. En realidad, las dos razones que justifican la inclusión de una laguna aeróbica son la necesidad crítica de eliminar olores (por ejemplo, en casos de granjas con vecinos permanentes muy próximos) o de alcanzar valores de DBO5 y DQO extremadamente bajos que permitan la descarga de efluentes a cuerpos de agua receptores.**

En todos los casos, para proteger la calidad de las aguas subterráneas las Lagunas deben estar impermeabilizadas con membranas geo-textiles en zonas húmedas y con la alternativa del uso de arcillas en climas semiáridos. La instalación de pozos freáticos de control permite auditar la eficiencia de impermeabilización y prevenir episodios de contaminación de aguas.

## 8. 4. Digestión Anaeróbica

Las excretas líquidas contenidas en un tanque o recipiente hermético se descomponen biológicamente produciendo metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y vapor de agua como sub-productos en estado gaseoso. Este proceso es lo que comúnmente se conoce como digestión anaeróbica, aunque es similar al que se produce en un tanque abierto o laguna (anaeróbica) cuando las relaciones entre carga de materia orgánica y volumen de tratamiento determinan una digestión en ausencia de oxígeno disuelto.

Similarmente a lo explicado en el caso del compost o digestión aeróbica, la digestión anaeróbica depende de la Temperatura del efluente, un balance de macro y micro nutrientes para los micro-organismos, pH y otros factores.

La diferencia principal entre un sistema de digestión abierto y otro cerrado es la eficiencia en la captura de los subproductos, lo que en general debe estar en relación al objetivo del sistema de tratamiento.

Existen varios sistemas de digestión anaeróbica que pueden compartir algunos objetivos pero también presentan distintos objetivos y características de sus productos en fase gaseosa (Tabla 10).

Un factor que nos asiste para elegir el sistema correcto para nuestra granja es el de la temperatura a lo largo del año. Las Lagunas, al ser estructuras cavadas en la tierra, son más estables en cuanto a su temperatura pero en caso de zonas de bajas temperaturas es necesario recibir una fuente de calentamiento externa, lo que suma costos y mayor operatividad al sistema.

En la Tabla siguiente la clase de Digestor “Laguna Cerrada” corresponde a aquellas que presentan algún material que las recubre superficialmente evitando el intercambio gaseoso directo con la atmósfera. Comúnmente los materiales utilizados son PVC y también Polietileno de Alta Densidad, PEAD, de espesor variado y alta resistencia a los rayos UV (ver Foto 6).



**FOTO 6: DIGESTOR TIPO “LAGUNA CERRADA”**

(Crédito: Maisonnave, R.)

En cambio, los tanques construidos sobre el suelo son menos eficientes manteniendo la temperatura y debe calentarse su contenido a través de distintos sistemas. Mantener la temperatura por encima de un valor óptimo para la actividad microbiana es fundamental para asegurar la eficiencia de los procesos.

**TABLA 10: COMPARACIÓN SISTEMAS DE DIGESTIÓN**

	TIPO	OBJETIVOS PRINCIPALES	DETALLE DE FASE GASEOSA
Digestor Anaeróbico	Laguna Abierta	Reducción carga orgánica y olores, intercambio de agua*	Venteados de gases a la atmósfera
	Laguna Cerrada SIN Captura de Gases	Reducción carga orgánica y olores	Venteados de gases filtrados previamente (azufre).
	Laguna Cerrada CON Captura de Gases	Maximiza captura de gases	Captura de Biogás, conversión energética (gas o electricidad). Requiere filtrado de gases (azufre).
	Tanque Biodigestor	Reducción carga orgánica y olores. Maximiza captura de gases con calentamiento adicional.	Captura de Biogás, conversión energética. Requiere filtrado de gases (azufre).

Fuente: elaboración propia

\*lagunas abiertas reciben aportes de agua de precipitaciones y pierden vapor de agua por evaporación lo cual puede ser un objetivo del sistema de tratamiento.

Finalmente, el objetivo del sistema de digestión está relacionado con el uso que se hará de los subproductos de este sistema de tratamiento. En el caso de la Laguna Abierta y Cerrada con venteo de gases, el uso principal es el aprovechamiento agronómico de los efluentes líquidos en ferti-riego de cultivos.

**En la Laguna Cerrada con captura de biogás y el Tanque Biodigestor el producto final gaseoso se convierte en energía eléctrica o térmica (ver Capítulo 12) mientras que el efluente líquido se utiliza normalmente como fertilizante al igual que en el caso anterior.**

## 9. Almacenamiento

Cualquiera sea el Sistema de Tratamiento elegido para la Granja, por lo general la totalidad o una fracción de las excretas producidas debe ser almacenada en forma temporaria. Esto se debe a que la generación de excretas es diaria, uniforme y sostenida, mientras que la utilización no siempre presenta la misma periodicidad.

**En las situaciones donde la aplicación agronómica de nutrientes es la opción de uso de los efluentes, debemos trabajar sobre la logística de aplicación de los nutrientes en momentos donde no interfiera o dañe física o fisiológicamente a los cultivos.**

Es decir que la estación de crecimiento del o los cultivos determinará los momentos de aplicación de nutrientes. Obsérvese que un sistema de producción agrícola que permita aplicaciones más frecuentes nos permite reducir el tamaño de las estructuras de almacenamiento. Este sería el caso, por ejemplo, de diversas parcelas de producción agrícola escalonada en el tiempo.

## 10. Usos tradicionales de los efluentes porcinos

Si tenemos efluentes líquidos, el tipo de equipo de riego determinará también la estación o período de aplicación posible, siendo el Cañón Regador un equipo que nos limita a aplicar los nutrientes con anterioridad a la siembra del cultivo para evitar su "pisado" y daño. Mientras, un equipo de Pivote Central nos permite aplicar efluentes durante prácticamente todo el año, ya que no se pisa el cultivo, y la estación de aplicación está más ligada a la eficiencia agronómica de la aplicación y el patrón de absorción de Nitrógeno por el cultivo.

Si optamos por la separación de sólidos y/o el compostaje, deberemos prever un área de almacenamiento de estos materiales hasta que puedan ser transportados fuera del predio o esparcidos en un lote propio.

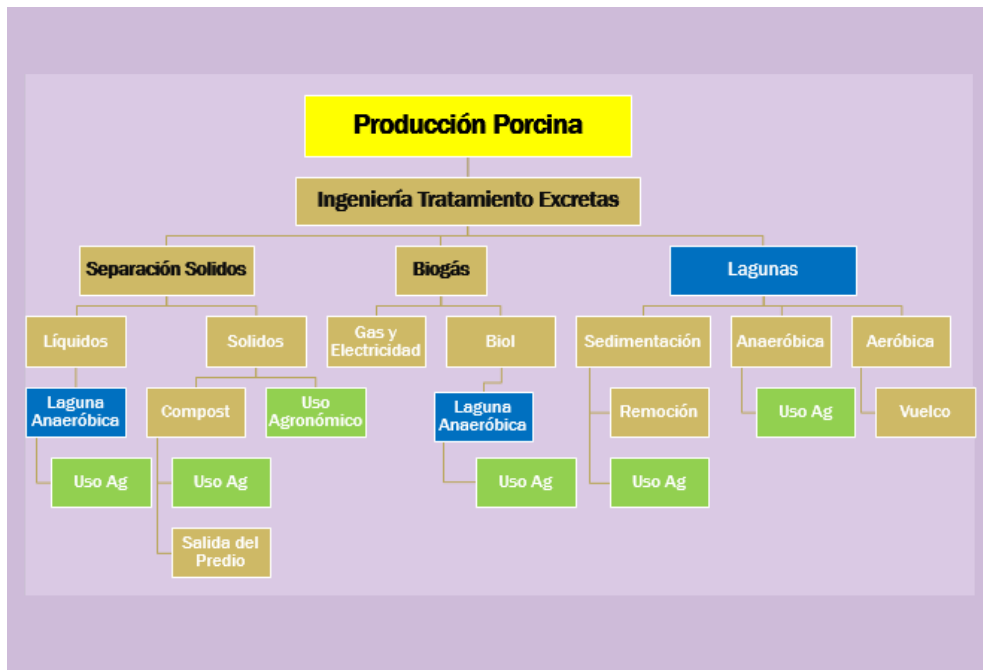
**En el caso de los digestores anaeróbicos en todas sus versiones operativas, la performance del digestor en su objetivo específico del tratamiento no nos libera del volumen de excretas a disponer o utilizar posteriormente.**

Como se explicó, los digestores tienen tiempos de residencia hidráulica muy limitados, no mayores a 30 días, y el efluente procesado debe almacenarse luego en una laguna o tanque de tratamiento o almacenamiento a no ser que se cuente con un sistema de uso

agronómico de nutrientes que permita las aplicaciones mensuales. El tratamiento adicional de los efluentes posteriormente a su paso por un biodigestor permite estabilizar las formas Nitrogenadas y sedimentar parcialmente los materiales ricos en Fósforo y Sales minerales.

Obsérvese a continuación un diagrama de decisión sobre los tratamientos posibles y almacenamiento temporario de efluentes de la Granja Porcina. Con excepción del “Vuelco” a cuerpo receptor -normalmente agua superficial- todas las alternativas finalizan con el “Uso Agronómico” de una fracción líquida y/o sólida de las excretas porcinas.

**FIGURA 7:** DIAGRAMA DE DECISIÓN: TRATAMIENTO DE EFLUENTES PORCINOS



(Fuente: R. Maisonnave, 2015)

## 11. Aprovechamiento agronómico de efluentes porcinos

Los efluentes porcinos constituyen un excelente fertilizante biológico para nutrir a cultivos de diversos tipos, ya sea que se presenten en forma líquida, semi-líquida o sólida.

Tanto en Europa como en los Estados Unidos de Norteamérica, Chile o Brasil, el aprovechamiento agronómico de los efluentes porcinos es la alternativa más difundida como forma de disponer en forma ambientalmente segura de las excretas producidas por una granja de producción animal moderna.

**Más aún, los organismos estatales vinculados al tema incentivan esta alternativa por ser la opción ambientalmente más equilibrada desde el punto de vista de la conservación de los recursos naturales, el reciclado de nutrientes valiosos para la producción agrícola y su fácil adopción por parte de los productores agropecuarios.**

El uso agronómico de excretas animales en general, y de efluentes porcinos en particular, devuelven a los suelos agrícolas una significativa cantidad de macro nutrientes vegetales que los animales de granja reciben en la ración pero que absorben en porcentajes

realmente bajos. Este es el caso del Nitrógeno y el Fósforo, por ejemplo, que es absorbido por los cerdos en no más de un 30 % del valor total recibido en la dieta.

Por otro lado, el reciclado de las excretas en los suelos agrícolas devuelve Materia Orgánica y Carbono a los suelos. Esto es un factor muy significativo, fundamentalmente en un escenario Nacional de degradación de suelos y disminución del contenido de materia orgánica de los mismos como consecuencia de la producción predominante de soja, la disminución de las gramíneas como parte de las rotaciones agrícolas y la drástica reducción de la superficie destinada a pasturas y verdes durante la última década debido a la reducción de los rodeos bovinos.

## 11. 1. Ferti-riego

La técnica del ferti-riego implica aportar fertilizantes o nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos utilizando un sistema de aplicación líquida. Normalmente, el ferti-riego es habitual en planteos de producción de cultivos bajo riego por aspersión, donde se aprovechan los equipos y el agua de riego para inyectar una dosis de fertilizante líquido al flujo nominal de riego.

En manejo de efluentes de producción animal intensiva, el término ferti-riego refiere a la aplicación de los nutrientes contenidos en las excretas animales líquidas sobre cultivos agrícolas. Para ello, las excretas líquidas o “efluentes” deben presentar menos de 10 % de sólidos que es un umbral operativo bastante frecuente para definir la aptitud de un material para ser bombeado en forma hidráulica (Figura 6).

**No debe confundirse el término Ferti-riego con el Riego Agrícola Complementario, ya que en el primer caso las Láminas de líquido provisto al cultivo son menores y esencialmente constituyen el vehículo físico para entregar un fertilizante altamente concentrado en Nitrógeno y Fósforo, mientras en el segundo el objetivo principal es proveer al cultivo de agua para revertir un Balance Hídrico negativo.**

### 11. 1. 1. Ferti-riego por Aspersión

En el caso de líquidos a regar por aspersión, los equipos usuales son el Cañón Regador y el Pivote Central aunque también es posible realizarlo a través del riego por manto como es común de ver en Chile. Para el uso de un equipo de Pivote Central, la concentración de sólidos en el efluente no debe superar el 4 % para prevenir obturación de aspersores y problemas de uniformidad en la aplicación.

### 11. 1. 2. Ferti-riego por Aplicaciones Superficiales

Las aplicaciones superficiales son aquellas donde las excretas animales, previamente tratadas o no, se esparcen sobre la superficie de un lote agrícola donde comienza su degradación biológica, la eliminación de patógenos por la acción de los rayos UV de la luz solar, y la infiltración de las fracciones líquidas al horizonte edáfico superficial.

Esta aplicación superficial puede ser de materiales líquidos (ferti-riego por manto o melgas), semi-líquidos (agitación más tanque estercolero) o sólidos (carro estercolero o fertilizadora modificada).

También puede utilizarse un Carro Estercolero, normalmente con un “plato” derivador del flujo en la parte posterior que entrega una aplicación en forma de abanico.

Dependiendo de los sistemas de conducción, tratamiento y almacenamiento de efluentes, puede ser necesario agitar los efluentes antes de bombearlos o cargarlos a un equipo de aplicación. Esto es particularmente crítico en sistemas antiguos de fosas de sedimentación donde existe una gran cantidad de sólidos sedimentados y en suspensión.

### 11. 1. 3. Ferti-riego por Sistemas de Inyección

En la última década han tomado gran importancia los sistemas de inyección de efluentes, tanto en Europa como en Estados Unidos. Por ejemplo, en el estado de Iowa, que es el principal productor porcino de EEUU, más del 90% de los efluentes de cerdos se inyectan en suelos agrícolas para producción de Maíz predominantemente.

Desde el punto de vista agronómico es la aplicación más eficiente por unidad de nutriente aplicado ya que minimiza las pérdidas. Mientras tanto, desde el punto de vista ambiental también presenta varios beneficios como se explica seguidamente.

**FOTO 7. INYECCIÓN DE EFLUENTES LÍQUIDOS**



(Crédito: Maisonnave, R.)

Las principales ventajas de estos equipos están relacionadas con la disminución de olores durante la aplicación, la mayor concentración de Nitrógeno disponible para las plantas por reducción de las pérdidas por volatilización, la eliminación de la probabilidad de pérdida de fósforo por escorrentía y –en consecuencia– menor riesgo de eutrofización de cuerpos de agua superficiales.

Las desventajas están principalmente relacionadas con el alto costo de la maquinaria, la compactación sobre el suelo por el peso de la misma, la potencia del tractor necesario, la infraestructura de caminos necesaria para movilizar maquinaria de este porte y la reducción de la ventana de oportunidad de aplicación de efluentes que se limita al período de barbecho.

Estos equipos no se hallan aún disponibles en nuestro país aunque pueden importarse tanto de Francia como de EEUU.



## 11. 2. Condiciones óptimas de Uso Agronómico

La relación entre la práctica agronómica y el cuidado del ambiente es tan relevante que en el Proyecto de Diseño de una Granja Porcina nueva debería ser exigido un plan de manejo de las excretas en los permisos de habilitación, como sucede en otros países.

**La ubicación de la Granja debería considerar pendientes del terreno natural, aptitud agrícola de los lotes próximos, existencia de cuerpos de agua superficial, profundidad de las napas, proximidad de vecinos y núcleos urbanos entre otros factores.**

En todos los casos las excretas deberían aplicarse al terreno sólo cuando las siguientes condiciones – la mayoría reconocidas **Buenas Prácticas de Utilización de Nutrientes (BPUN)**- estén aseguradas:

- » La humedad del suelo se encuentra por debajo de capacidad de campo.
- » El momento de siembra del cultivo es próximo.
- » No existen precipitaciones en el pronóstico meteorológico cercano.
- » Los vientos son moderados a bajos y nunca en dirección a vecinos cercanos, rutas o caminos de alta circulación.
- » Existe disponibilidad de equipo de aplicación correctamente calibrado.
- » Existe una carencia de nutrientes en el suelo que puede ser satisfecha mediante el agregado de excretas porcinas.

La topografía de los lotes a utilizar debe carecer de pendientes extremadamente pronunciadas, sugiriendo que sean menores al 10 – 15 % según la textura y grado de cobertura de los mismos. La construcción de terrazas para sistematizar un terreno agrícola constituye una jerarquizada BPUN por su impacto en la protección de las aguas superficiales.

Los lotes deben estar lo más alejado posible de cuerpos de agua superficiales como arroyos, riachos o inclusive humedales definidos, como así también de pozos de bombeo para provisión de agua para consumo humano y animal. De no ser éste el caso podrán implementarse distintas BPUN como ser:

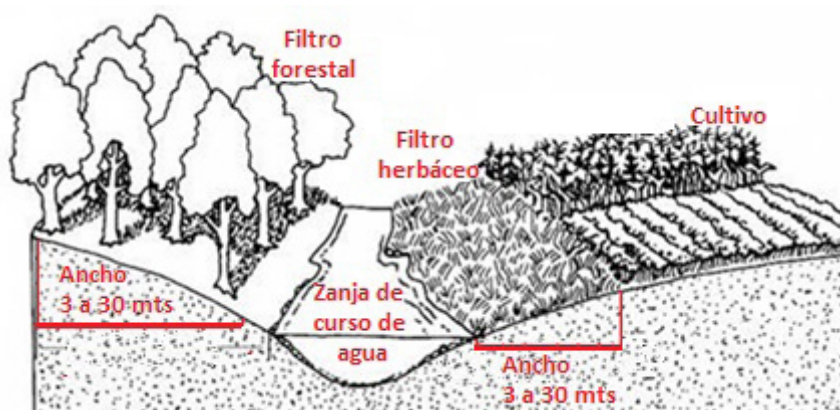
### 11. 2. 1. Protección de Ambientes Riparios

Los Ambientes Riparios son ecosistemas frágiles que se encuentran en el eco tono tierra – agua. Generalmente su vegetación se compone de árboles, arbustos y especies herbáceas. Naturalmente actúan como zonas buffers protegiendo los cursos de agua a la vez que se constituyen en hábitats para un número significativo de mamíferos y aves. Deben protegerse del pastoreo animal para permitir que cumplan su función natural de filtro de aportes de material aguas arriba.

### 11. 2. 2. Franjas de Filtro Vegetativo o Buffers

Se ubican entre los cuerpos de agua y la zona de aplicación de excretas. Son eficientes filtrando sedimentos, materia orgánica, nutrientes y compuestos químicos de la lámina de escorrentía. Para conservar su eficiencia, estos filtros o buffers deben ser mantenidos apropiadamente (Natural Resources Conservation Service, 2008).



**FIGURA 8:** FRANJAS DE FILTRO VEGETATIVO O BUFFERS

Fuente: Universidad del Estado de Ohio (Ohio State University)

### 11. 2. 3. Distancias de Separación

Se establece una distancia mínima entre cuerpos de agua y las áreas de aplicación de excretas. Por ejemplo, en el estado de Oklahoma (EE.UU. de Norteamérica) se exige una separación mínima de 30 metros entre la zona de aplicación y cursos de agua permanentes, pozos de bombeo o lagunas naturales, a menos que existan filtros o buffers bien establecidos. Adicionalmente se dicta que no pueden aplicarse excretas animales a menos de 15 metros de un curso de agua superficial intermitente o temporario, lo cual incluye líneas de escurrimiento.

### 11. 2. 4. Vuelco

**El vuelco de efluentes animales a cuerpos de agua o a suelos es la alternativa menos recomendable desde todo punto de vista, ya que representa un desperdicio de valiosos nutrientes necesarios para la agricultura a la vez que pone en peligro las fuentes de agua para consumo humano, animal y de recreación (Maisonave y F. de Iorio, 2001).**

Sin embargo, en nuestro país existe Legislación Provincial que permite dicho destino de los efluentes, en parte por herencia de los métodos utilizados en disposición de efluentes industriales. En el caso de descarga a suelo, el mismo es considerado simplemente como un cuerpo receptor y no se incluye el concepto de “uso agronómico” que vincula el sistema suelo-planta-atmósfera.

La falta de profesionales de la Ingeniería formados específicamente en el tratamiento y reutilización de los efluentes de origen animal han contribuido al diseño de sistemas de tratamiento de efluentes de cerdos sobre la base de criterios de degradación de residuos de origen industrial. El resultado ha sido, en la gran mayoría de los casos, sistemas costosos que no logran alcanzar los muy exigentes valores de vuelco a cuerpos de agua y/o suelos.

Para aquellos productores porcinos que por elección o necesidad imperiosa debieran optar por el vuelco como método de disposición final se sugiere considerar los siguientes aspectos antes de construir la Granja Porcina:

- » Elección de un sistema de separación de sólidos.
- » Suficiente disponibilidad de superficie para sistemas de lagunas de grandes dimensiones.
- » Instalación de un biodigestor.

- » Considerar la necesidad de airear en forma forzada los efluentes tratados.
- » Analizar la factibilidad de instalación de una unidad de Cloración previa al vuelco.

## 12. Generación de energía – biodigestores anaerobicos

### 12. 1. Introducción

Los biodigestores son depósitos o tanques cerrados herméticamente que permiten la carga (afluente) de sustratos (biomasa) y descarga de bio-abono (efluente) y poseen un sistema de recolección de biogás para su aprovechamiento energético.

El término biomasa o sustrato se refiere a la materia orgánica que proviene de animales (estiércol), árboles, plantas, todos los desechos orgánicos que pueden ser transformados en energía, como los provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz y papas) de aserraderos (podas ramas aserrín y cortezas) y de residuos urbanos (aguas residuales y basura orgánica).

El biogás se produce a través de la degradación anaeróbica de la biomasa que es un proceso natural microbiano que ocurre en forma espontánea en ausencia de oxígeno, generando una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono) conocida como biogás y una sustancia acuosa (bio-abono) que contiene los componentes no degradados o parcialmente degradados y restos inorgánicos inicialmente presentes en la biomasa. A continuación, se muestran valores normales de composición química del efluente líquido o bio-abono que queda también como sub-producto del biodigestor anaeróbico.

**TABLA 11:** COMPOSICIÓN QUÍMICA MEDIA DE EFLUENTES DE BIODIGESTOR

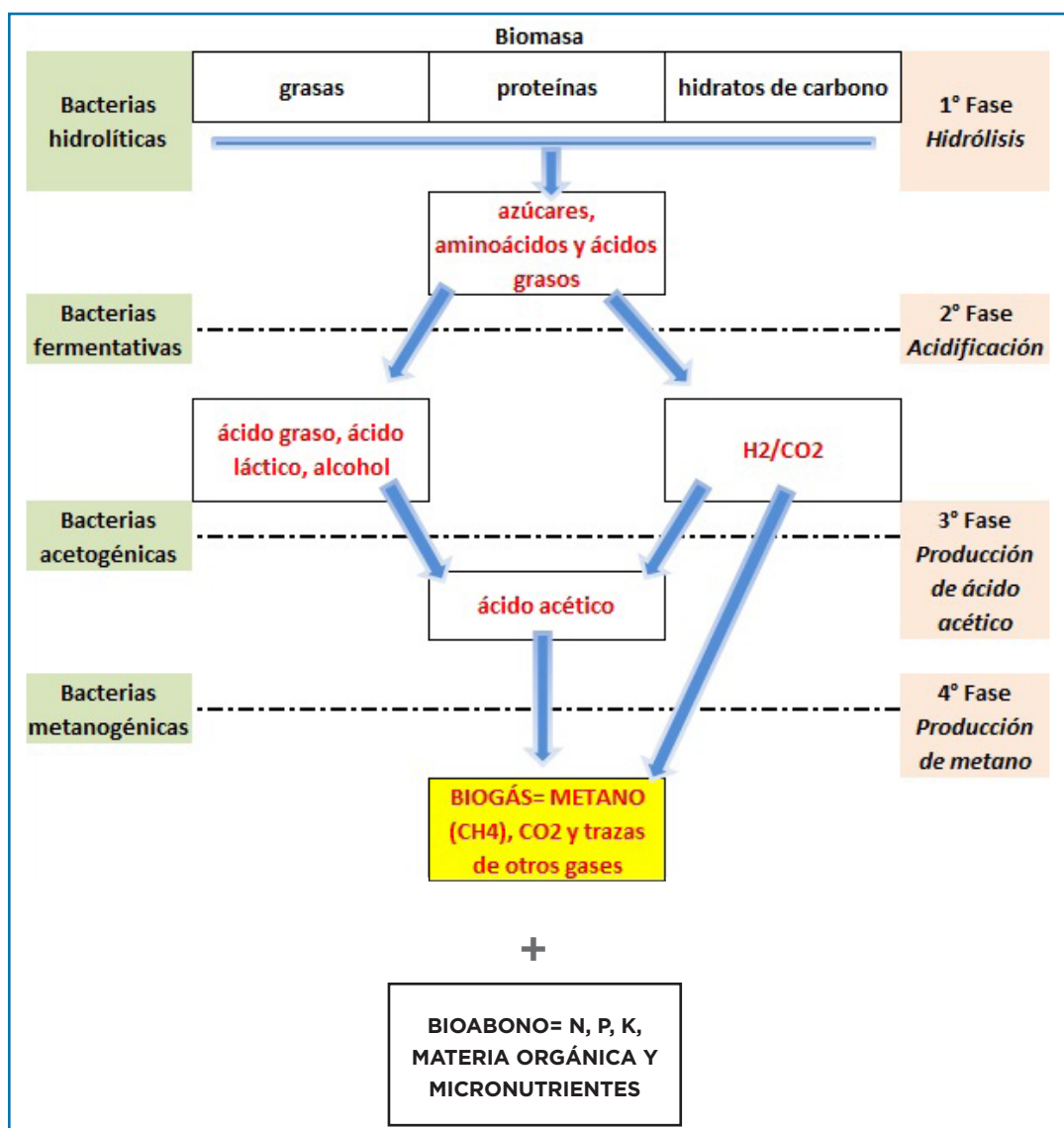
PARÁMETRO	VALORES USUALES
pH	7,9
Nitrógeno Kjeldahl Total NKT (%)	1,8
Fósforo Total (%)	8,4
Potasio Total (%)	0,7
C/N	25
Conductividad Eléctrica (dS/m)	14,4

Fuente: Varnero Moreno, 2011.

## 12. 2. Características del proceso

El proceso que ocurre en un biodigestor es similar al que ocurre en el estómago de los rumiantes. Así, en el interior de un digestor las bacterias actúan negativamente cuando se cometen errores con la alimentación de biomasa al biodigestor. Es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico en el cual es posible transformar biomasa en ausencia de oxígeno en compuestos volátiles como el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), NH<sub>3</sub> (amoníaco), H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico), CH<sub>4</sub> (metano) y otros gases menores en un proceso natural que corresponde al ciclo anaeróbico del carbono y una acción combinada de diferentes grupos bacterianos en ausencia total de oxígeno. La misma se divide en cuatro etapas: Hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

**FIGURA 9:** ESQUEMA DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN ANAERÓBICA DE DESECHOS ORGÁNICOS



Fuente: David Wilken. Asociación Alemana de Biogás

## 12. 3. Principales factores que influyen en la producción de biogás

La actividad involucrada en la producción de biogás puede ser afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias que participa en este proceso responde de forma diferencial a la influencia de esos factores no es posible otorgarle valores cuantitativos sobre el grado que afecta a cada uno de ellos en forma precisa.

Entre los factores más importantes se encuentran los siguientes:

- » Ausencia de oxígeno
- » Tipo y calidad de biomasa
- » Temperatura del proceso
- » Materia seca total
- » Materia seca volátil
- » Carga hidráulica
- » Relación carbono/nitrógeno
- » Tiempo de retención hidráulica
- » Nivel de acidez
- » Presencia de compuestos inhibidores (antisépticos, antibióticos, etc.)

### 12. 3. 1. Ausencia de oxígeno

Deben crearse las condiciones para que el ambiente sea totalmente libre de oxígeno. Puede desarrollarse un proceso metanogénico con valores de oxígeno que no superen 3-5%.

### 12. 3. 2. Tipo y calidad de biomasa

La calidad de la biomasa influye en la producción de biogás. Generalmente la biomasa con mayor contenido de grasas, proteínas e hidratos de carbono es la que mayor cantidad de biogás produce. Normalmente el estiércol de cerdo contiene estos elementos en proporciones adecuadas. Es importante que en algunos casos se aplique un pretratamiento. Siempre hay que tener en cuenta que dentro del biodigestor ocurre un proceso con seres vivos (bacterias) que necesitan condiciones adecuadas para vivir.

La preparación de la biomasa debe comprender la separación de todo material inerte, como palos, bolsas y otros residuos plásticos que pudieran dañar las cañerías obstruyéndolas. El porcentaje óptimo de sólidos de la mezcla a digerir debe ser de entre 10 a 12%, por lo tanto, en la mayoría de los casos es necesario realizar una separación de líquidos y sólidos que concentre a estos últimos.

El biodigestor debe alimentarse en forma continua, es decir debe recibir afluente todos los días.

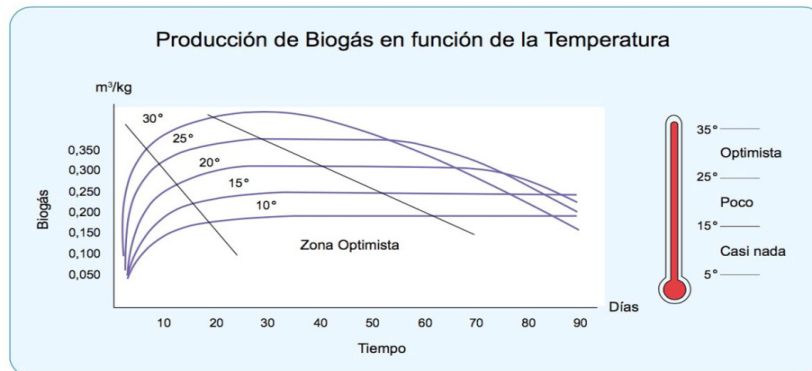
### 12. 3. 3. Temperatura del proceso

Los procesos anaeróbicos son fuertemente dependientes de la temperatura. Existen tres rangos de temperatura para el proceso de biodigestión. Éstos son: psicrófilico (por debajo de los 25°C), mesófilico (entre 25° y 45°C) y otro termófilico (entre 45° a 60°C). Generalmente los biodigestores funcionan dentro del rango mesófilico y la digestión óptima se obtiene alrededor de los 35°C.

La producción de biogás en ausencia de inhibidores tales como amoníaco, sulfuro, fenoles, metales pesados y compuestos halogenados, aumenta con la temperatura, ya que

aumenta la tasa de crecimiento de los microorganismos. En los casos en que las temperaturas locales así lo requieran será necesario el precalentamiento del afluente que ingresa al biodigestor.

**FIGURA 10:** PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.



Fuente: Varnero, 1991

### 12. 3. 4. Materia seca Volátil

La masa volátil o sólidos volátiles es el contenido de masa orgánica que contiene la biomasa. El conocimiento de la MV es importante ya que solo este porcentaje es el contenido real de masa orgánica en la biomasa. El resto es humedad, trazas inorgánicas y otras materias que no producen biogás.

### 12. 3. 5. Tiempo de Retención Hidráulica

El TRH es el tiempo de permanencia en la biomasa en el biodigestor. No existe un criterio unificado para determinar el tiempo de retención. Este valor depende de la temperatura y de la carga orgánica volumétrica del digestor.

### 12. 3. 6. Nivel de acidez

Es uno de los parámetros de control más importantes en la operación de los biodigestores, debido a que los microorganismos metanogénicos presentan una gran sensibilidad a las variaciones del mismo. Si el valor de pH se mantiene entre 6,5 y 7,5 se consigue un buen rendimiento de degradación de la biomasa y una elevada concentración de metano. La digestión comienza a inhibirse a un pH menor que 6,5

### 12. 3. 7. Factores que inhiben la producción de biogás

Los factores que inhiben la producción exitosa de biogás se agrupan en dos categorías. Por un lado, existen los factores de tipo Operativo y/o de Mantenimiento del sistema; y por otro lado existen los compuestos inhibidores.

Estos últimos afectan negativamente la producción de biogás aun estando presentes en concentraciones menores. Pueden ser elementos que ingresan al digestor por medio del afluente, como antibióticos, desinfectantes, fungicidas, metales pesados, etc., o que se desarrollan como parte del proceso anaeróbico, como por ejemplo la formación de amoníaco  $\text{NH}_3$  a concentraciones mayores de 0,15g/l. Otro elemento de importancia es el ácido sulfhídrico  $\text{H}_2\text{S}$  en concentraciones mayores a 500 mg/l.

Respecto a los antibióticos utilizados en producción de cerdos, algunos como penicilina y tetraciclina tienen un efecto inhibitorio sobre el proceso de digestión anaeróbica, aunque las concentraciones normales no alcanzarían a expresar efectos inhibitorios.



Respecto a los productos utilizados en la limpieza y desinfección de las granjas algunos pueden resultar tóxicos para el proceso, dependiendo de su concentración, su biodegradabilidad y el tiempo transcurrido desde su utilización hasta la carga del residuo en el biodigestor. Los compuestos de amonio cuaternario son persistentes y tóxicos a bajas concentraciones (1mg/l).

## 12. 4. Producción, Características y Acondicionamiento del Biogás

Los volúmenes de biogás producidos se expresan generalmente en m<sup>3</sup>/kilogramo de Materia Seca, en m<sup>3</sup>/kg de Masa volátil o m<sup>3</sup>/kg de DQO. También puede expresarse sencillamente en m<sup>3</sup>/día.

El biogás es un combustible natural, no fósil y de alto poder calorífico dependiendo del contenido de gas metano. Su aprovechamiento comprende básicamente su uso combustible para la generación de energía eléctrica, calorífica y también como combustible para vehículos.

**TABLA 12: CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS**

CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS	
Composición	55 -70% metano (CH <sub>4</sub> )
	30-45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
	Trazas de otros gases
Contenido energético	6,0 - 6,5 kW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0,60 - 0,65 l petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite mínimo de explosión* (% de gas en el aire)	6 -12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 -750°C
Presión crítica**	74 - 88 atm
Temperatura crítica***	-82,5°C
Densidad normal	1,2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	El olor del biogás desulfurado es imperceptible
Masa molar	16,043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008)

\*Límite mínimo de explosión: La menor concentración de un gas en el aire capaz de producir un destello de fuego en presencia de una fuente de ignición

\*\* La presión crítica (Pe) es la mínima presión que se debe aplicar para llevar a cabo la licuefacción a la temperatura crítica

\*\*\* Es la temperatura más alta a la cual una sustancia puede existir en forma líquida

TABLA 13: EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS

EQUIVALENCIA ENERGÉTICA 1 M <sup>3</sup> DE BIOGÁS		
CANTIDAD EQUIVALENTE	TIPO DE BIOMASA O SUSTRATO	CAPACIDAD ENERGÉTICA
0,6 kg	diesel	12 kWh/m <sup>3</sup>
0,7 kg	carbón	8,5 kWh/kg
0,6 m <sup>3</sup>	gas natural	5,3 kWh/m <sup>3</sup>
0,24 m <sup>3</sup>	gas propano	25 kWh/m <sup>3</sup>
1 m <sup>3</sup> de biogás	generar electricidad	2,2 kWh
1 m <sup>3</sup> de biogás	genera 20 hs de luz equivalente a una bombita	10 w
1,43 kg	madera	4,5 kWh

Fuente: Moncayo Romero, G. Biodigestores. Manual práctico de diseño

Debido a su alto contenido de humedad y otros gases contaminantes el biogás debe acondicionarse previo a su aprovechamiento en compresores y/o generadores para su uso como energía.

El biogás a utilizarse deberá ser acondicionado para lograr:

- » Reducción y /o eliminación del Ácido Sulhídrico (H<sub>2</sub>S) y trazas de otros gases. Purificación.
- » Eliminación de agua.
- » Calibración de la presión.

## 12. 5. Tipos de biodigestores

Una planta de biogás representa una alta inversión y no debe ser construida como una unidad temporal. Una mala planificación, así como una mala operación puede traer aparejado fallas y falta de eficiencia en la planta.

Los diseños que se realicen deben ser apropiados de acuerdo al tipo de establecimiento y adaptado a la temperatura de la zona, a las condiciones económicas y a la disponibilidad de materiales en cada región.

Los modelos europeos de biodigestores son estructuras muy eficientes pero muy costosas, por lo tanto, hay que evaluar las condiciones mencionadas anteriormente para desarrollar un proyecto que se adapte a las características de cada granja.

**Lo único que no debe modificarse y debe mantenerse siempre es la seguridad del biodigestor. Siempre se deben construir con todas las seguridades. Estos deben tener las válvulas de control de presión, un sistema de control de proceso, cubierta de buena calidad (duradera y que no deje escapar el biogás).**

Existe una clasificación general de biodigestores, que podemos describir de la siguiente manera basándonos según el tipo de proceso que se lleve a cabo dentro del mismo y según el régimen de llenado y vaciado.

TABLA 14: TIPOS DE BIODIGESTORES

TIPO DE PROCESO	RÉGIMEN DE LLENADO Y VACIADO
Fermentación en Seco Concentraciones > a 20 % de sólidos totales	Carga en batch o total Oferta de sustrato discontinuo
	Carga semicontinua Horizontales o de desplazamiento
Fermentación en húmedo Aguas residuales	Carga continua Los más utilizados

Fuente: Moncayo Romero, G. Biodigestores. Manual práctico de diseño

Para el caso de efluentes porcinos en nuestro país y otros de Latino América en general, los más utilizados son los de carga continua, del tipo Laguna con Fondo y Cubierta de Membrana o modelo canadiense.

En estos casos se trata de biodigestores tipo laguna con fondo y cubierta de membrana. Las membranas de cubierta deben ser de PVC, tiene que ser un material flexible y resistente a los rayos UV. Para la membrana de fondo se pueden utilizar membranas tipo HDEP (polietileno de alta densidad) El espesor depende de las características del suelo variando entre 1 a 1,5 mm. Este tipo de biodigestores en general no necesitan un precalentamiento de la biomasa que ingresa, no obstante, en algunas zonas de nuestro país con bajas temperaturas invernales puede ser necesario anexar un sistema de precalentamiento

A través de este sistema se logra la construcción de biodigestores económicos bien diseñados y contruidos que cumplen con las normas de seguridad requeridas y aunque requieren una mayor operatividad respecto a los sistemas de lagunas a cielo abierto, son sencillos de manejar.

## 12. 6. Uso del biogás para generación de energía

El uso de biogás para generación de energía eléctrica requiere un estudio previo de la factibilidad técnica y económica, ya sea que optemos por un sistema generador de electricidad independiente de la red local, solo para autoabastecimiento o por un sistema de conexión a la red eléctrica local, ambas opciones requieren de una tecnología costosa y que demandan de mayor operatividad.

El uso más viable económicamente para una granja porcina es como combustión para generar energía calorífica. Respecto de la escala de la granja no hay un mínimo por debajo del cual no sea posible instalar un biodigestor, siempre y cuando se pueda asegurar la continuidad de la carga en cantidad y calidad de acuerdo al diseño preestablecido.

La conducción del biogás debe tomar algunos recaudos importantes tales como contar con la presión suficiente en las líneas de distribución, para lo cual se recomienda instalar medidores de presión en toda la línea y eliminar la presencia de vapor de agua y gases corrosivos. Los cuales constituyen el principal problema para la viabilidad de almacenamiento y producción de energía.

Los equipos como motores a combustión, generadores, bombas y compresores, tienen una vida útil reducida. La remoción de vapor de agua, H<sub>2</sub>S y otros elementos a través de filtros y otros dispositivos de enfriamiento, condensación y lavado, son imprescindibles para la viabilidad de uso a largo plazo de equipos que utilicen biogás.

## 12. 7. Ventajas y desventajas del biodigestor

### 12. 7. 1. Ventajas

- » Provisión de energía eléctrica o térmica en un medio rural.
- » Reducción de los patógenos.
- » Reducción de olores.
- » Reduce la emisión de gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub>).
- » Sustitución del consumo de energía no renovable por energía renovable.

### 12. 7. 2. Desventajas

- » Costo operativo y mantenimiento.
- » Dependencia de la temperatura para la producción de biogás.
- » Sistema sensible a inhibidores.
- » Reduce el contenido de Materia Orgánica del efluente y, por lo tanto, su valor fertilizante.
- » Genera un costo de aplicación o transporte de sólidos separados fuera del predio.
- » Igualmente se requiere un sistema de almacenamiento y aplicación de los efluentes líquidos (bio-abono).
- » Puede requerir un compresor de gas.

## 13. Sistemas Avanzados de Tratamiento de Efluentes

Existen ejemplos de algunas tecnologías que fueron desarrolladas a escala experimental y luego incorporadas a la fase productiva con éxito variable.

Por ejemplo, la **Concentración de Fósforo en Excretas Líquidas** que mediante el inyectado de compuestos con Calcio precipitan el Fósforo (P) y lo sedimentan como Fosfato Cálcico, recolectándolo y embolsándolo con una consistencia de semi-sólido (70-80% humedad). El producto precipitado tiene una composición interesante, incluyendo además de P cantidades variables de Calcio, Magnesio y Potasio. La disponibilidad de la fracción de P para las plantas es superior al 99%.

El objetivo de esta tecnología es, por un lado, reducir los niveles de Fósforo en efluentes de cerdos para evitar el aumento de concentración de este elemento en suelos agrícolas, y por otro generar un subproducto apto para ser comercializado como fertilizante fosforado. Requiere instalaciones de complejidad media y de un mercado estable para el producto. El costo de flete puede ser significativo. Además, requiere de pretratamiento del efluente líquido y el uso de cal como insumo.

La **Separación de Sólidos Mejorada** puede realizarse con el agregado de un agente floculante como la **Poliacrilamida** (PAM). El objetivo de la tecnología es aumentar la eficiencia de separación mecánica de sólidos, que normalmente varía entre el 20 y 40 %, llevándola a valores cercanos al 80 %. Esto se logra principalmente por la floculación de sólidos en suspensión, asistida por la interacción con la PAM, que de otra manera mayoritariamente escapan a la separación mecánica con el flujo líquido.

La reducción del contenido de Nitrógeno de los efluentes de cerdos no debería ser un objetivo del tratamiento de los mismos. Sin embargo, existen situaciones puntuales donde la carencia crítica de superficie agrícola para uso de los efluentes puede justificar el proceso acoplado de **Nitrificación - Denitrificación del Nitrógeno** en forma amoniacal

(N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). El objetivo principal es reducir el contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> del efluente mediante su conversión en nitratos primero y en N<sub>2</sub> (gas) después para liberarlo a la atmósfera. La eficiencia del proceso es elevada, e incluso puede mejorarse con el agregado de bacterias nitrificadora. Pueden esperarse reducciones de Nitrógeno Total del 92 %, del 95 % en el caso del N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y del 98 % para DBO<sub>5</sub>.

Los rangos de reducción de DBO<sub>5</sub> y Nitrógeno posibles convierten a esta tecnología en una alternativa muy seria en los casos en que se requiere acceder a valores de vuelco. Esta tecnología requiere de la aireación forzada y continua del efluente crudo contenido en una laguna o tanque, lo cual tiene un costo energético significativo, como así también el mantenimiento de temperaturas óptimas de actividad bacteriana. Según las características del efluente original, puede requerirse la adición de una fuente de Carbono.

Un paso más allá encontramos la **Desamonificación u Oxidación Anaeróbica del Amonio**. Este proceso no requiere una fuente de Carbono, reduce el costo energético de aireación en un 50 % y es desarrollado por bacterias del género Brocadia. Es un proceso con marcado nivel de detalle en su fase operativa. Puede ser un complemento de un Biodigestor para remover amonio del biol resultante de la fermentación.

## 14. Muestreo de Efluentes Líquidos y Sólidos

### 14. 1. Protocolo de Muestreo

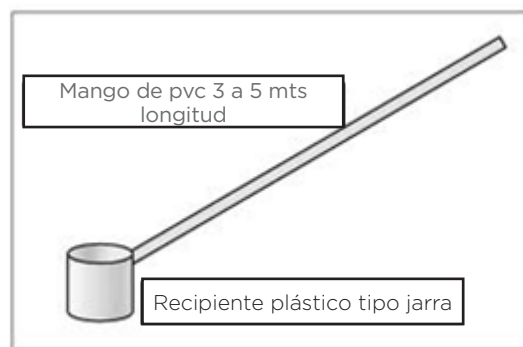
El objetivo del protocolo de muestreo es estandarizar la toma y preparación de muestras. Es imprescindible que todos los involucrados estén de acuerdo con el mismo para asegurar su observación en todo momento, por lo que se esperan sugerencias para mejorar el mismo.

Llamaremos efluentes a los líquidos o semi-líquidos contenidos en lagunas de tratamiento de excretas de Cerdos o en fosas de almacenamiento temporario.

A continuación, se presenta la secuencia detallada de materiales necesarios y pasos a seguir:

- » Contar con un balde o bidón de al menos 5 litros de capacidad perfectamente limpio. Es ideal que el mismo no haya contenido productos químicos de tipo sintético. El lavado y acondicionamiento debe hacerse repetidamente con agua limpia.
- » Se deberán tomar al menos 5 sub muestras de efluente alrededor de la Laguna o Fosa utilizando el muestreador (ver figuras 11 y 12), colocando el contenido de cada sub muestra en el balde.
- » La localización de las sub muestras debe ser heterogénea, pero evitando las cercanías de la tubería de ingreso de efluentes ya que estos son “crudos” y por ende más concentrados químicamente.
- » La muestra debe tomarse por debajo de la capa superficial de líquido, evitando zonas de acumulación de espuma o costra, y a una profundidad de unos 30 a 60 cm en lo posible.
- » La muestra debe tomarse lo más lejos del borde posible, es decir utilizando la máxima extensión del muestreador para evitar la proximidad del talud.
- » Se agitará el balde de modo de homogeneizar la muestra, intentando re-suspender los sólidos del fondo que pudieron haberse formado.
- » Se toma la muestra compuesta del balde colocándola en recipiente limpio y del tamaño requerido por el laboratorio (usualmente 2 litros). Puede utilizarse un embudo limpio para facilitar el trasvasado.



**FIGURA 11:** LOCALIZACIÓN DE SUB-MUESTRAS EN LAGUNA DE EFLUENTES PORCINOS**FIGURA 12:** MUESTREADOR DE EFLUENTES

En el caso de lo que se pretenda muestrear sea un tanque de tratamiento (tipo biodigestor) o almacenamiento, el muestreo debe realizarse en varias etapas, a intervalos de tiempo que permitan muestrear el contenido de dicho tanque en forma representativa. Para el caso en que exista sedimentación de materiales en el interior del tanque es imprescindible la agitación de los contenidos antes del muestreo.

## 14. 2. Preparación y conservación de la muestra

- » Identificar el recipiente con la muestra con información de la Laguna o Fosa, fecha y persona a cargo del muestreo.
- » De ser necesario muestrear otra Laguna o Fosa enjuagar el balde con el nuevo efluente a muestrear 3 veces, agitándolo para eliminar partículas suspendidas en el fondo. No utilizar jabón ni agua.
- » Conservar la muestra en frío, de ser posible, hasta el momento de enviar a laboratorio (alrededor de 4° C). No congelar ni frizar la muestra.
- » Asegurarse de que el Laboratorio conozca por escrito los parámetros a muestrear y los métodos analíticos a emplear.

Es imprescindible recordar que el resultado analítico no puede ser nunca de mejor calidad o más exacto que la muestra que le dio origen. Los análisis de laboratorio son costosos y demandan tiempo, por lo cual debemos ser conscientes y responsables a la hora de tomar las muestras para que las mismas sean representativas, válidas y útiles.

## 15. Compostaje de Cadáveres

Los tres métodos mundialmente más utilizados para disponer de los animales muertos son el enterramiento, la incineración y el rendering. En los últimos tiempos el compostado ha ido ganando adeptos en Cerdos y Avicultura por varias ventajas:

- » Permite reciclar nutrientes contenidos en los animales.
- » Permite disponer de los cadáveres en situaciones ambientales en las cuales el enterrado podría ser dificultoso (lluvias excesivas o suelos congelados).
- » Permite disponer de los cadáveres en forma inmediata, disminuyendo las posibilidades de propagación de patógenos y actividad de roedores y carroñeros que se da normalmente con pilas de cadáveres esperando recolección (rendering).

Los sistemas de incineración están siendo sometidos a nuevas regulaciones en los países desarrollados debido a la generación de GEI (Gases de Efecto Invernadero).

El proceso de compostado de cadáveres es similar al de excretas. La relación C: N y los niveles de Tº y Hº son igualmente determinantes con la diferencia que no es necesario voltear el material prácticamente hasta que el proceso está casi terminado.

Este volteo se efectúa una vez que toda la piel, músculos y otros tejidos blandos han desaparecido quedando expuestos huesos de tamaño considerable, que normalmente rompen en fracciones más pequeñas al voltear la pila y que serán descompuestos durante el segundo ciclo de compostaje hasta desaparecer por completo.

Las instalaciones para compostar animales muertos deben estar ocultas de la vista del público, tener acceso en todo tipo de condiciones meteorológicas, poseer espacio de almacenamiento para sustratos o ingredientes ricos en Carbono, y estar aislados de la influencia o conexión con cuerpos de agua superficiales o subterráneos.





# Bibliografía

- AmbientAgro: "Ingeniería Ambiental para el Agro y la Industria". Argentina - EE.UU.
- Deublein, D. y A. Steinhauser, 2008. Biogas from waste and renewable resources. Deubelin and Steinhauser Editors, Germany. 450 pp.
- Embrapa Suínos e Aves. Tecnologias para o manejo de residuos na producao de suínos. Manual de boas praticas. Gestao Integrada de ativos ambientais. Concordia, Santa Catarina, Brasil. 2004.
- Franco, R. y D. Panicelli, 2013. Conceptos basicos para definir estrategias del manejo de efluente porcino. 1 Jornada Nacional de Residuos Ganaderos. Rafaela, Santa Fe.
- García, A.R., Maisonnave, R., Massobrio, M. and A.F. de Iorio. Field-scale evaluation of water fluxes and manure solution leaching in feedlot pen soils. *Journal of Environmental Quality*. 2012, 41, 1591-1599.
- Hamilton D.; Luce, W. y A. Heald. 2014. Production and characteristics of swine manure. Oklahoma State University, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Extension Facts F-1735.
- Kansas Department of Health and Environment. Composting at Livestock Facilities.
- Maisonnave, R. recopilación propia. Datos no publicados.
- Maisonnave, R. y A. F. de Iorio, 2001. Contaminación de Aguas. En: Impacto Ambiental en Agrosistemas. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 267 pp.
- Maisonnave, R. 2015. Manejo y Utilización de Excretas Porcinas. En: "1 Jornada Provincial de Gestión de Residuos Pecuarios". Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de la Provincia de Córdoba. Manfredi, Córdoba.
- Moncayo Romero, G. 2013. Manual práctico de diseño de Biodigestores. Editorial Aqualimpia Engineering. 685 pp.
- Midwest Plan Service-18. Outdoor Air Quality. 2002.
- Moncayo Romero, G. Biodigestores. Manual práctico de diseño. Ed. Aqualimpia Engineering e.K. 685 pp. 2013.
- Natural Resources Conservation Services 2008. Filter Strip Conservation Practice Standard. Oklahoma State University - Cooperative Extension Service. Fact Sheet F1735.
- Varnero, Teresa. 1991. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) - Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 48 pp.
- Varnero Moreno, Teresa. 2011. Manual de Biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 119 pp.
- Vieites, C.; Basso, L.; Basso, C.; de Caro, A.; Cruchaga, R.; Fernández, E.; Campagna, D. y D. Somenzini. 1997. "Producción Porcina. Estrategias para una actividad sustentable". Editorial Hemisferio Sur. 506 pp.
- Quiles, A. y M. Hevia. 1997. Ganadería: La importancia del agua en las explotaciones porcinas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, ISSN 0002-1334, N° 785, paginas 971-974. 01/1997.
- Sánchez, M. y González, J.L. The fertilizer value of pig slurry. I. Values depending on the type of operation. Top Technical school of Agrarian Engineering. University of Valladolid. España.
- Wilken, D. Asociación Alemana de Biogás. [www.german-renewable-energy.com](http://www.german-renewable-energy.com)









# Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA**  
**SUBSECRETARÍA DE GANADERÍA**  
**DIRECCIÓN NACIONAL DE PRODUCCIÓN GANADERA**

---

Dirección de Porcinos, Aves de Granja y no Tradicionales  
Área Porcinos  
Tel.: (011) 4349-2023/2149 - [animen@magyp.gob.ar](mailto:animen@magyp.gob.ar)  
Av. Paseo Colón 922 (1063) Bs. As. - Argentina

**agroindustria**  
.gob.ar

