

**Vicari, María Paula**

*Efluentes en producción porcina en Argentina:  
generación, impacto ambiental y posibles trata-  
mientos*

**Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria  
Facultad de Ciencias Agrarias**

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Vicari, María P. 2012. Efluentes en producción porcina en Argentina : generación, impacto ambiental y posibles tratamientos [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/efluentes-produccion-porcina-argentina.pdf> [Fecha de consulta:.....]

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA  
ARGENTINA**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Ingeniería en Producción Agropecuaria**

***“Efluentes en Producción Porcina en Argentina:  
Generación, Impacto Ambiental y Posibles Tratamientos”***

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:  
Ingeniero en Producción Agropecuaria**

Autor: Vicari, María Paula

Tutor: Med. Vet. MSc. Jorge Brunori

Cotutor: Med. Vet. MSc. Raúl Franco

Fecha: 13 de Noviembre de 2012

## ***Agradecimientos***

### ***A Dios.***

*Por estar conmigo en cada momento de esta etapa y mostrarme siempre el camino para vivir plenamente.*

*Por haber puesto en mi vida a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

### ***A mis padres.***

*Por que creyeron en mí, por su apoyo incondicional y su motivación constante.*

*Por sus consejos, sus valores, su educación de la vida, que me lleva a buscar ser mejor persona cada día.*

### ***A mis abuelos, a Sol y Bauti.***

*Por su amor puro e incondicional.*

### ***A mis amigos.***

*Por hacer de esos momentos los recreos más esperados.*

### ***A Magda.***

*Por el cariño y la compañía constante que me brindó durante esta etapa.*

### ***A esta Universidad.***

*Por acompañarme en mi formación como profesional, como persona y como ciudadana.*

### ***A tantos profesores.***

*Por aquellos conocimientos transmitidos desde una profunda vocación y de cuyo ejemplo espero haber aprendido.*

### ***A mis tutores Jorge y Raúl.***

*Por su predisposición y desinteresado aporte profesional y humano.*

*Y a todos aquellos que me acompañaron en esta etapa de crecimiento.*

***Dedicatoria***

***A Fabián.***

***“Efluentes en Producción Porcina en Argentina: Generación, Impacto Ambiental y Posibles Tratamientos”***

<b>Índice</b>	<b>Pág.</b>
<b>A) Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>B) Desarrollo del Trabajo</b>	
<b>1. Introducción a la Producción Porcina.....</b>	<b>8</b>
1.1. Producción Porcina en el mundo.....	8
1.2. Producción Porcina en Argentina.....	8
1.2.1. Evolución de la producción porcina nacional.....	8
1.2.2. Situación actual.....	9
1.2.3. Estructura del sector porcino en Argentina.....	10
1.2.3.1 Estratos productivos.....	10
1.2.3.2 Sistemas de producción.....	11
1.2.4. Oportunidades y Desafíos.....	12
<b>2. La problemática ambiental en producciones porcinas.....</b>	<b>14</b>
2.1. Los residuos en explotaciones porcinas.....	15
2.2. El impacto ambiental en los distintos sistemas de producción.....	16
2.2.1. Sistema de producción al aire libre.....	16
2.2.2. Sistema de producción en cama profunda.....	17
2.2.3. Sistemas de producción confinados.....	17
2.3. Caracterización del efluente.....	18
2.3.1. Producción cuantitativa.....	18
2.3.2. Producción cualitativa.....	20
2.3.2.1 Parámetros físicos y químicos de los efluentes.....	21
2.3.3. Metodologías para la caracterización de efluentes.....	24
2.4. Efectos que produce el efluente sobre el medio ambiente.....	25
2.4.1. Contaminación en suelos.....	26
2.4.2. Contaminación del agua.....	28
2.4.3. Contaminación del aire.....	31
<b>3. El manejo de los efluentes en producciones intensivas.....</b>	<b>34</b>

---

3.1 Métodos para disminuir la cantidad y mejorar la calidad de los efluentes.....	34
3.1.1. Respecto al uso eficiente del agua.....	34
3.1.2. Respecto a las prácticas al interior de los galpones.....	35
3.1.3. Respecto al manejo de nutrientes en la formulación de dietas.....	35
3.2 Recolección y almacenamiento del efluente.....	36
3.3 Tratamiento del efluente.....	37
3.3.1. Sistemas de tratamiento.....	38
3.1.1.1. Tratamiento primario.....	38
3.1.1.2. Tratamiento secundario.....	40
3.1.1.3. Ejemplos de sistemas de tratamiento.....	41
3.1.1.3.1. Tratamiento por aplicación de purines al suelo.....	42
3.1.1.3.2. Tratamiento en sistema de lagunas.....	45
3.1.1.3.3. Tratamiento por <u>biodigestión</u> .....	50
3.4 Reutilizaciones del efluente.....	53
3.4.1. Reutilización del <u>guano</u> .....	54
3.4.1.1. Utilización directa como abono.....	54
3.4.1.2. <u>Compostaje</u> .....	54
3.4.1.3. Fuente de alimentación para otras especies animales... 59	
3.4.2. Reutilización de los lodos.....	61
3.4.2.1. Aplicación de lodos en la agricultura.....	62
3.4.3. Reutilización del efluente líquido tratado.....	63
3.4.3.1. Utilización de aguas tratadas para riego.....	63
4. Legislaciones vigentes.....	66
4.1 Nacionales.....	66
4.2 Provinciales.....	66
4.3 Locales.....	68
C) Conclusiones.....	69
D) Anexos.....	72
E) Bibliografía.....	83

---

## **A) Introducción**

Hasta la década del 90 los efluentes generados en producciones porcinas no constituían un factor preocupante ya que la naturaleza de las explotaciones a campo y la reducida concentración de animales permitían absorberlos o utilizarlos como abono orgánico sin que constituyeran un problema (GITEP, 2006).

A partir del 2002, la salida de la convertibilidad monetaria le abrió nuevas perspectivas al sector porcino de Argentina. Las condiciones macroeconómicas para la producción mejoraron considerablemente, especialmente por el encarecimiento del cerdo importado y el mejoramiento de los precios internos en términos reales, lo cual contribuyó a una mejora sustancial en la rentabilidad de la actividad primaria. Esto permitió que en los últimos años se vislumbrara una clara recuperación de la actividad porcina, con un crecimiento sostenido.

En la actualidad la actividad atraviesa una de las etapas más favorables por lo que continúa consolidando su crecimiento, hecho que se expresa en diversos índices como es el caso del número de animales faenados, que para el año 2011 fue 6.45 % mayor que el obtenido en el año 2010 (MAGyP, 2001 y GITEP, 2011).

Por todo lo expresado anteriormente, se puede afirmar que el sector vivió en los últimos años un proceso de transformación. La producción porcina nacional ha comenzado a tener un vuelco cualitativo donde no se observa un aumento sustancial del número de productores, pero si modificaciones en la forma de producir carne. Esto significa que las producciones de pequeña escala comienzan a incorporar mayor tecnología y a aumentar el número de madres productivas alentando esto el paso de sistemas al aire libre a sistemas mixtos (AEGA, INTA, 2011). Si bien los sistemas de producción de pequeña y mediana escala productiva (10 a 200 madres) son los que prevalecen en el país, se ha producido un importante aumento en el número de productores que a partir de estratos de 100 madres han confinado parte o totalmente sus animales convirtiéndose en empresas tecnificadas de mayor eficiencia productiva. También se ha observado en estos últimos años la instalación de mega empresas altamente tecnificadas y con índices de eficiencia productiva equiparable a los sistemas más eficientes a nivel mundial (Brunori, 2012).

Este cambio cualitativo generado, pone en manos de los productores un cambio tecnológico muy importante que incluye aprender a manejar y a reutilizar los efluentes que generan este tipo de tecnologías abocadas a la producción, los cuales sin un tratamiento adecuado, pueden resultar en una potencial fuente de polución, con el consecuente deterioro de la salud del medio ambiente (AEGA, INTA, 2011).

En el contexto actual de toma de consciencia acerca de la degradación de los recursos ambientales y crisis energética, emerge la necesidad de repensar las relaciones entre las actividades productivas y el medio ambiente. Es así como el tratamiento de los desechos porcinos reviste cada día de una mayor importancia debido a la dimensión del problema que representa, no sólo por el aumento de los volúmenes producidos, generados por una mayor intensificación de las producciones, sino también por la degradación de los recursos agua, suelo y aire, la proliferación de plagas sinantrópicas (moscas, roedores, entre otras) y la generación de olores indeseables producidos cuando no poseen una correcta disposición. Es por este motivo que el manejo de las excretas es un aspecto

fundamental en la sustentabilidad ambiental de los sistemas de producción animal intensivos (FAO - INTA. 2012).

La producción de cerdos en Argentina comienza a transitar un camino de oportunidades que la llevarán al desarrollo y a la consolidación, pero esto implica indefectiblemente enfrentar desafíos y amenazas. En este sentido, consideramos fundamental modificar la manera en que se lleva adelante la producción, migrando hacia modelos productivos que no comprometan la sustentabilidad del medio ambiente. La intensificación que sufre la producción porcina en nuestro país, con la consecuente generación de efluentes debe ir acompañada necesariamente de un plan de gestión y biotransformación de los residuos de la producción. Según Patricia Millares (2011), las soluciones ambientales no deberán ser de carácter general, sino que, por el contrario, han de ser estudiadas y elaboradas específicamente para cada zona de acuerdo con sus condiciones ambientales y de producción, lo que implica un desafío para los productores y para esto es imprescindible la comunicación y la generación de información al respecto.

Es por esto que resulta importante recopilar y ordenar la información disponible acerca de generación y tratamiento de efluentes en producción porcina y es aquí dónde surge el objetivo general de este trabajo, el cual, al mismo tiempo, pretende adaptar esa información a los sistemas de producción de nuestro país, generando de este modo un material de consulta que permita orientar a los productores acerca del manejo más adecuado de los efluentes.

Los objetivos específicos propuestos fueron:

- Conocer la situación de la producción porcina mundial y nacional.
- Estudiar la situación de generación de efluentes en nuestro país.
- Describir la composición de los efluentes y el impacto negativo que pueden producir sobre el medio ambiente.
- Presentar distintas estrategias, tanto para disminuir el volumen producido de efluentes como para su tratamiento, según los distintos sistemas de producción.

La metodología empleada para el desarrollo del Trabajo Final de Graduación fue la realización de una revisión bibliográfica de la información disponible en la temática, con su posterior evaluación de un modo analítico y crítico y organización bajo una determinada estructura, intentando adaptar la información a la situación del productor argentino. Finalmente se concluyó aportando opiniones personales.



## **B) Desarrollo del trabajo**

### **1. Introducción a la Producción Porcina.**

#### **1.1. Producción Porcina en el mundo.**

En los últimos años la producción de cerdos en el mundo incorporó un creciente progreso tecnológico liderada fundamentalmente por los países europeos, pasó a ocupar el primer lugar en volumen de carne consumida, llegando a ser en el año 2011 de 100.849.000 tn (MAGyP). Esta evolución fue particularmente marcada en los países desarrollados, contrastando con los menos desarrollados en los cuales su crecimiento fue más lento, aunque se reconoce a la explotación porcina como mejor adaptada a las economías emergentes por su posibilidad de rápida expansión (Brunori, 2012).

Actualmente, la carne de cerdo supera el 45 % en la participación general de carnes consumidas en el mundo, con un aumento constante de entre un 2 y un 2,5 % anual, garantizando su liderazgo por muchos años más (GITEP, 2006). Se estima que la proyección de aumento de consumo de carne porcina en países en vías de desarrollo para los años 2010-2020 es del 2,4 % (IERAL de Fundación Mediterránea en base a datos de OECD/FAO).

#### **1.2. Producción Porcina en Argentina.**

##### **1.2.1. Evolución de la producción porcina nacional a lo largo del tiempo.**

En Argentina, la producción de cerdos se inició y se desarrolló como un complemento de la actividad agrícola, siendo una actividad secundaria dentro de las explotaciones agropecuarias situadas esencialmente en el núcleo maicero. Generalmente estaban a cargo de miles de pequeños productores que necesitaban incrementar sus ingresos logrando dicho objetivo a través de la transformación de grano en carne. El crecimiento de este sector en sus inicios se llevó a cabo mediante distintos tipos de explotaciones, mayoritariamente en sistemas extensivos de producción, que permitieron el crecimiento sostenido de la población, que alcanzó los 8.000.000 de cabezas en los años 40 y logró los máximos históricos de exportación de medias reses porcinas principalmente al Reino Unido.

Nuestro mercado de carne porcina mostraba características de inelasticidad, debido principalmente a la abundancia, calidad y bajo precio de la carne vacuna. El hábito del consumidor nacional de productos porcinos se centró en el consumo de chacinados y fiambres; el consumo de carne fresca sólo se apreció en las grandes ciudades y siempre en cantidades reducidas. La demanda nacional fue destinándose al consumo interno, en la medida que los europeos recuperaron su propia producción, luego de la 2° Guerra Mundial. En consecuencia la producción de cerdos se redujo al nivel de la demanda interna y la exportación se constituyó en un hecho accidental y fluctuante (GITEP, 2006).

La producción porcina fue durante la década del 80 una de las actividades agropecuarias que se desarrollaba con períodos económicos cíclicos, pero dentro

de una estructura macroeconómica cerrada. Por lo tanto, los vaivenes de la economía se compensaban dentro de la producción y competencia interna (Millares, 2012).

A comienzos de la década del 90, a partir de la convertibilidad y apertura de la economía, los cambios macroeconómicos afectaron drásticamente a muchas actividades productivas, siendo dentro del sector agropecuario, la actividad porcina una de las más afectadas. Ello tuvo que ver fundamentalmente con el cambio estructural de los precios relativos que se produjeron en la economía a partir de la convertibilidad. Esta situación por un lado causó la disminución del ingreso real del productor y por otro la suba del precio en dólares hizo que aparecieran competidores externos perdiendo los productores argentinos competitividad comercial. Algunos indicadores que evidencian esta crisis productiva, fueron: la salida de la actividad de miles de productores, una drástica disminución del stock y de la oferta nacional de carne porcina, y un fuerte aumento de las importaciones, que pasaron de ser insignificantes hasta comienzo de esta década de los 90, a ser la fuente de abastecimiento de casi la mitad del consumo.

Luego de la devaluación de la moneda ocurrida en el 2002 las condiciones macroeconómicas para la producción porcina mejoraron considerablemente, especialmente por el encarecimiento del cerdo importado y el mejoramiento de los precios internos en términos reales. Esto permitió que en los últimos años se vislumbrara una clara recuperación de la actividad porcina, con un crecimiento sostenido.

### **1.2.2. Situación actual.**

Hoy en día se estima que el país posee 3.437.000 cabezas (MAGyP con datos de SENASA, 2012) y la cantidad de madres que se consideran en estrato comercial 345.000 (Millares, 2012). En cuanto a la distribución del stock nacional por provincia, existe una marcada concentración en las provincias de la pampa húmeda, donde Buenos Aires posee el 26,77 %, Córdoba el 24,45 % y Santa Fe el 20,42 %. El resto del país tiene el 29 % del stock, destacándose por su importancia Salta, Chaco, Entre Ríos, Formosa, La Pampa, Santiago del Estero y San Luis. (GITEP con datos del SENASA, 2011).

El crecimiento sostenido que ha consolidado la actividad en los últimos años, se expresa en diversos indicadores de crecimiento como son: el número de animales faenados, que alcanzó en el año 2011 3.442.760 cabezas faenadas lo que representa un aumento del 6,45 % con respecto al año 2010. En lo referente a la producción de carne se produjeron 301.427 tn con un aumento respecto al año 2010 del 8,0 %. El consumo de carne de cerdo durante el año 2011 alcanzó las 350.370 tn lo que representa un consumo por habitante año de 8,64 kg, con un aumento respecto al año anterior del 7,2 %. Si analizamos la evolución del consumo de carne de cerdos con respecto a las últimas dos décadas se registra un aumento cercano al 35 %, si analizamos los componentes de este consumo se observa que hace dos décadas el consumo de carne fresca era de aproximadamente 1 kg y en la actualidad este consumo alcanza aproximadamente los 4,5 kg (MAGyP, 2001 y GITEP, 2011).

AÑO	FAENA TOTAL (cabezas)	PRODUCCION (Tn. Eq. Res)	IMPORT.(1) (Tn.)	IMPORT. Miles U\$S	EXPORT.(1) (Tn.)	CONSUMO (Tn.)	CONS. HAB. (Kg./Hab./año)
2000	2.525.518	223.000	67.844	120.240	2.838	288.006	7,83
2001	2.455.451	212.558	61.709	101.799	1.605	272.662	7,34
2002	1.999.865	171.000	17.125	23.159	1.126	186.999	4,98
2003	1.812.927	158.310	44.695	52.551	980	202.025	5,33
2004	2.148.509	185.300	36.270	55.773	1.633	219.937	5,75
2005	2.470.124	215.496	26.453	48.939	1.798	240.151	6,22
2006	3.023.388	262.173	27.053	49.074	1.944	287.282	7,37
2007	3.200.115	276.116	38.773	71.374	2.236	310.507	7,94
2008	3.153.829	274.246	35.058	90.671	3.638	305.157	7,62
2009	3.339.759	288.853	35.856	78.124	5.287	319.422	7,96
2010	3.234.133	279.102	48.080	133.048	3.903	323.279	8,06
2011	3.433.378	300.663	54.973	164.592	5.377	350.370	8,64

(Informe MAGyP 2011. Evolución de Indicadores anuales)

### 1.2.3. Estructura del sector porcino en Argentina.

#### 1.2.3.1. Estratos productivos.

Evaluando las 345.000 madres comerciales de las que se habló anteriormente podemos decir que un 26 % corresponden a productores pequeños, un 20 % a productores medianos, un 30% corresponden a productores medio-grandes y un 22 % corresponden a productores grandes.

Con respecto a los distintos estratos que se pueden diferenciar entre los productores, se destacan:

- 69 %: Productores pequeños: de entre 1-50 madres. Productores de pequeña escala distribuidos en todo el país. Corresponden a una tipología de producción en su mayoría a campo, con escasa o nula tecnificación y muy bajos índices productivos.
- 19 %: Productores medianos: de entre 50-100 madres. Productores de mediana escala, sistemas a campo o mixtos en donde se combinan etapas al aire libre y en confinamiento. Grado de tecnificación medio.
- 10 %: Productores medio-grandes: entre 100-500 madres. Representan una producción más tecnificada, generalmente en confinamiento, y aplicando los recursos en forma más intensiva. Este estrato tiene mejores índices productivos.
- 1,5 %: Productores grandes: más de 500 madres. Son granjas de alta inversión y tecnología lo cual se ve reflejado en sus índices productivos altamente eficientes.

Estrato de madres	Nº de productores	% del total de productores	Nº de madres	% del total de madres
10-50	3492	68,74 %	91306	25,45%
51-100	975	19,19 %	70038	20,29%
101-200	345	6,79 %	47510	13,76%
201-500	197	3,88 %	59590	17,26%
501-1000	53	1,04 %	35783	10,37%
Más de 1001	18	0,35 %	40961	11,87%
Total	5080	100	345188	100

(Millares, 2012)

### 1.2.3.2. Sistemas de producción.

Tanto en nuestro país como en el resto del mundo existen distintos grados de intensividad en la explotación del cerdo, esto significa diferentes relaciones entre proporciones de capital y mano de obra empleados por cada unidad de tierra en ocupación, tal como se definen a continuación.

- Sistema extensivo: Este sistema también llamado “a campo” se define por una baja inversión por hectárea. Consiste en producir grupos de cerdos en corrales con pasturas, bebederos y refugios. En la alimentación pueden encontrarse diferentes variantes: la más difundida está basada en pasturas con suplementación de granos. Los sistemas al aire libre pertenecen mayoritariamente a establecimientos de pequeña a mediana magnitud asociados con agricultura. Esta característica le confiere mayor sustentabilidad al sistema a partir de la diversificación de la empresa. La rotación de lotes agrícolas con porcinos mantiene la estructura de los suelos y asegura estabilidad en el rendimiento de los granos (Unidad Demostrativa Agrícola Porcina, EEA INTA Marcos Juárez, 1978-2010). El capital invertido en instalaciones es menor que en otros sistemas pero se necesitan grandes extensiones de campo.

Este sistema no alcanzó en el país los índices productivos que el potencial del sistema lo permite, observándose en el manejo reproductivo y del parto y la lactancia los puntos críticos más importantes.

- Sistema mixto: Este sistema consiste en la combinación estratégica de las características de los sistemas extensivos y en confinamiento, con el objetivo de aprovechar racional y económicamente la superficie disponible ofreciendo a los animales las condiciones apropiadas de manejo. Se define por desarrollar etapas como gestación y parto-lactancia a campo y destete-terminación confinados. Del sistema extensivo aprovecha las ventajas proporcionadas por el suelo. Del intensivo utiliza los beneficios que brinda el servicio y parto controlados, y la terminación en confinamiento (GITEP, 2006). Este tipo de producción requiere una inversión moderada de capital.

- Sistema intensivo: El sistema intensivo es el conjunto de instalaciones y prácticas que tienen como finalidad la producción de cerdos utilizando la menor área posible. Este caso presenta la máxima relación de intensividad, siendo la clave el empleo de una superficie mínima aún a costa de una gran inversión en capital y mano de obra. Se procede al confinamiento de los animales durante toda su vida. Debido a esto se requieren instalaciones adecuadas a cada etapa del

desarrollo, estricto control de las raciones proporcionadas haciéndose imprescindible la aplicación del conocimiento técnico especializado (GITEP, 2006).

Con respecto a los sistemas de producción en nuestro país, se estima que un 39 % se encuentran bajo confinamiento con una productividad promedio por madre/año de 20 animales terminados. El 61 % restante de las madres se encuentran bajo sistemas de producción a campo o mixtos (a campo con alguna etapa intensificada) cuya productividad por madre/año se estima alrededor de 10 a 14 animales (Brunori, 2012). Es precisamente en este estrato productivo donde se observa una gran brecha productiva, ya que situaciones mejoradas (sistemas al aire libre o mixto con manejo intensivo) alcanzan valores de 16 a 18 capones por madre/año (Brunori, 2012).

Los sistemas de pequeña y mediana escala totalmente a campo o mixto se caracterizan por ser una alternativa de producción adecuada a productores de moderada escala dado que requieren una baja inversión inicial y permiten un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, de las capacidades sociales y con una base sustentable sobre principios ligados al respeto ambiental y al bienestar animal.

#### **1.2.4. Oportunidades y Desafíos.**

La producción porcina de Argentina se desarrolla en un nuevo escenario de oportunidades y desafíos que tiene su fundamento en los siguientes aspectos:

Mercado interno: es la prioridad del sector continuar posicionando el consumo de carne fresca de cerdo. Según las estimaciones (PEA, 2011. Fundación Mediterráneo, 2011) el país podría alcanzar en los próximos años los 14 kg de consumo de carne cerdo, con una partición cercana a los 10 kg de fresco, esto permitiría aumentar la faena de cerdos a más de 8 millones de cabezas y la producción de cerdos a más de 700 mil toneladas, con lo cual se alcanzan las 70.000 tn de productos porcinos exportados y se sustituyen el nivel actual de carne importada por carne de cerdo nacional. Esta oportunidad se genera a partir de la caída del consumo de carne bovina que ocurrió en el país y que abre una oportunidad para que la carne de cerdo se posicione como una carne sustituta. De cumplirse estas metas productivas propuestas para el 2020, las implicancias podrían ser:

- consumir de 1.5 millones de toneladas de granos adicionales a las que se consumen en la actualidad (transformar el grano en carne de cerdo representa un incremento de dos veces los valores que se obtienen por la venta del grano) (Cadena Porcina IERAL Fundación Mediterráneo, 2011).
- producir 2.500.000 cerdos más lo que implica la incorporación de 138.000 madres más. Esto implica una inversión en sistemas de producción y considerando una inversión media actual de 4.000 dólares por madre instalada de 552 millones de dólares (INTA, EEA Marcos Juárez, 2011).
- mejorar la capacidad instalada de plantas frigoríficas, que se estima en la actualidad en el 78 %, al 90 %. Además se necesitarán ampliar o instalar más de 15 nuevas plantas de faena que deberían ser estratégicamente distribuidos (Cadena Porcina 2011. IERAL Fundación Mediterráneo).

- generar 18.000 nuevos puestos de trabajo.

Para alcanzar estos objetivos se necesitará seguir informando sobre las características y bondades de la carne de cerdo y adecuar el precio en la góndola que en la actualidad se encuentra en muchos cortes muy por arriba del valor al cual podría ofrecerse, si esto ocurriese es muy probable que el crecimiento del consumo sea exponencial.

Mercado externo: En la actualidad, del total de carne consumida en el mundo (100.849.000 tn), 6.574.000 tn son de intercambio entre países.

Los principales países importadores de carne de cerdo son Japón, con el 19,3 % del total que se comercializa entre países, Rusia con el 14,7 %, Corea con el 10 % y México con el 10 %. Los principales países productores de cerdos del mundo son China con el 48,9 %, Unión Europea con 22,3 %, EEUU con el 10,2 % y Brasil con el 3,2 %, estos países son también y en el mismo orden e importancia los que mayor consumo de carne de cerdo por habitante año tienen. Los principales países que exportan carne de cerdo al mundo son EEUU con el 34,2 %, unión Europea con el 30,4 %, Canadá con el 17,6 % y Brasil con el 8,9 %. Argentina tan solo produce el 0,29 % de la carne de cerdos del mundo y participa con el 0,07 % del volumen de carne que se exporta a nivel mundial.

A partir de estos datos, pensar en un escenario en el mercado mundial diferente para el sector porcino nacional en las próximas décadas, es una posibilidad muy concreta para el país, pues la producción de grano será un factor clave en el futuro escenario en donde se desarrollara la producción porcina mundial.

En nuestro país en la campaña 2010/2011 se produjeron en Argentina 27.300.000 tn de maíz y sorgo, con un consumo del sector de 826.262 tn, que implica un 3,0 %. Además se produjeron 48.900 millones de tn de soja con un consumo del sector de 303.963 tn, un 0,6 % (GITEP, 2011). Estos valores no hacen más que demostrar la poca transformación del grano en carne de cerdo que el país realiza y el enorme potencial que el país tiene para posicionarse en el mercado externo, dado que esta capacidad de producir materia prima lo coloca como uno de los países con costos de producción más bajo del mundo, a lo que se le suma el status sanitario que el país tiene posee. Se estima que Argentina en la próxima década alcanzara las 70.000 tn de productos porcinos exportados, lo que representa una participación del 1 % de lo que se comercializa en el mundo, pero un crecimiento del más de 29 % anual con respecto a lo que se exporta en la actualidad.

## 2. La problemática ambiental en producciones porcinas.

En las producciones porcinas se generan diversos residuos y su tratamiento reviste cada día mayor importancia debido a la dimensión del problema que representa. En la actualidad existe una mayor conciencia frente a la protección del medio ambiente por parte de la sociedad, esto lleva a que el manejo de estos residuos esté tomando relevancia en todo el mundo.

Los residuos generados, fundamentalmente excretas, resultan responsables de impactos sobre el aire, el suelo y el agua porque se concentran en áreas reducidas y son una fuente de nutrientes, metales pesados, antibióticos y otras drogas veterinarias y patógenos (Herrero y Gil, 2008). Sumado a la degradación de los recursos agua y suelo, estos desechos cobran importancia por la proliferación de plagas sinantrópicas (moscas, roedores, entre otras) y la generación de olores indeseables producidos cuando no poseen una correcta disposición. (FAO - INTA, 2012). Es así que además de constituir un foco potencial de infección, los sitios donde son descargados los residuos sólidos porcinos representan una fuente importante de contaminación atmosférica (Cervantes et al, 2007).

Actualmente se observa un aumento de los volúmenes generados dado por una mayor intensificación de los sistemas productivos, generando problemas de polución ambiental, de almacenamiento, distribución y manejo, aumentando los costos operacionales (GITEP, 2006).

En este sentido, como se describió anteriormente, hasta la década del 90 en la Argentina las explotaciones eran casi en su totalidad a campo, con lo cual los desechos porcinos eran absorbidos o utilizados como abono orgánico sin representar un problema para las explotaciones. Pero la producción porcina nacional ha vivido en los últimos años un proceso de transformación comenzando a tener un vuelco cualitativo donde se observan modificaciones en la forma de producir carne. Esto significa que las producciones de pequeña escala comienzan a incorporar mayor tecnología y a aumentar el número de madres productivas, alentando esto el paso de sistemas al aire libre a sistemas mixtos (AEGA, INTA, 2011). Si bien los sistemas de producción de pequeña y mediana escala productiva (10 a 200 madres) son los que prevalecen en el país, se ha producido un importante aumento en el número de productores que a partir de estratos de 100 madres han confinado parte o totalmente sus animales (Brunori, 2012). En la actualidad se estima que los sistemas confinados representan el 40 % del total de madres del país y el 60 % de la producción de cerdos faenados anualmente (GITEP, 2009).

Estos valores marcan claramente la importancia del impacto que en el ambiente puede provocar la producción intensiva de carne de cerdo por la acumulación de desechos sólidos sin tratar y por la contaminación de diferentes cuerpos de agua donde son descargadas sus aguas residuales.

La contaminación implica no solo un deterioro del ambiente sino también una fuga de energía y nutrientes, lo cual significa un desaprovechamiento de los recursos. En este sentido, la contaminación aparece como resultado de un proceso ineficiente o incompleto que no utiliza de manera apropiada los recursos que posee o que genera. Un contaminante, desde esta perspectiva, es un recurso en el

lugar equivocado, por lo tanto es necesario idear estrategias que permitan recuperar estos recursos (Cervantes et al., 2007).

El problema de contaminación surge si no se efectúa una correcta disposición final de estos subproductos, se tiene que tener en cuenta la propia capacidad del ambiente para asimilar una determinada carga de contaminación. Las producciones agropecuarias así sean intensivas pueden convivir con y en el medioambiente sin dañarlo, siempre y cuando las emisiones no superen la capacidad de neutralización de los mismos ecosistemas (Sánchez Gómez, 2006).

Es por todo esto que el manejo de los residuos es un aspecto fundamental en la sustentabilidad ambiental de los sistemas de producción animal intensivos (FAO - INTA, 2012).

## **2.1. Los residuos en explotaciones porcinas.**

Residuo es el material que se produce a consecuencia no deseada de cualquier actividad humana y del cual el productor o poseedor se ha desprendido o tiene la intención u obligación de hacerlo (INIA, MINAGRI. 2005).

Los residuos de las explotaciones ganaderas son muy heterogéneos, están formados por:

- Residuos líquidos: deyecciones líquidas, agua de bebida y agua de lavado de las instalaciones.
- Residuos Sólidos: deyecciones sólidas, los residuos de camas calientes (material que ha terminado su fase útil de cama vegetal) y restos de alimentos (generados por los comederos o desechados por su mal estado), fitosanitarios, antibióticos, etc. También forman parte de los residuos sólidos de las explotaciones porcinas pero en menor cuantía: animales muertos y placentas, jeringas y material veterinario utilizado durante la crianza (IRG y CNP+L. 2009).

En cerdos, la orina representa aproximadamente el 45 % y las heces el 55 % del contenido volumétrico total de excretas, la humedad es cercana al 90 % y el contenido de materia seca es próximo al 10 %. La densidad de la excreta fresca es ligeramente mayor a 1, siendo así un fluido de peso comparable al agua. La excreta porcina contiene sólidos que flotan y sólidos que sedimentan, además de sólidos en suspensión (INIA, MINAGRI. 2005).

Los residuos, dependiendo del sistema de producción que se lleve a cabo, se pueden presentar como estiércoles o purines:

- Estiércol: Material compuesto por las deyecciones de los animales sólidas y líquidas y las camas del ganado. Se define como una mezcla de cama y de deyecciones animales que han sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en la cochiquera o en el estercolero (Concellon Martínez, 1965).
- Purines o Efluentes: Son una mezcla compuesta por deyecciones sólidas y líquidas de los animales junto con restos de ellos, remanentes de agua de los bebederos, agua de lavado de la explotación y agua de lluvia (Hidalgo et al., 2001). También estará compuesto por el material de cama en caso de ser utilizado. Disponen de una gran cantidad de agua en su composición.



## **2.2. El impacto ambiental en los distintos sistemas de producción.**

Como vimos anteriormente es en la intensificación donde se observa el potencial problema ambiental, de todos modos haremos una breve descripción del impacto generado en los diferentes sistemas de producción de cerdos.

### **2.2.1. Sistema de producción al aire libre.**

Los sistemas a campo manejados racionalmente se destacan por el bajo impacto que ejercen sobre el medio ambiente. Prueba de ello son la reducción del número de moscas, olores indeseables y la facilidad para el manejo del estiércol, ya que el animal, al estar libre por el campo, distribuye por sí solo las heces, evitando la tarea de recolección del estiércol. En estos sistemas de producción, el manejo de excretas se reduce a evitar saturar el suelo con los desechos, ya que los animales eliminan sus heces directamente en el campo, con potencialidad de causar contaminación difusa. Es así que este sistema de producción en pastoreo, no involucra un posterior proceso de las excretas, ya que cumpliendo los requisitos antes indicados, es ambientalmente viable y recomendable. Los riesgos que se deben evitar están asociados a problemas de erosión de suelos y contaminación de cuerpos de agua cuando se permite el acceso directo a ellas (INIA, MINAGRI. 2005).

Ventajas de los sistemas al aire libre cuando son manejados racionalmente:

- En una rotación de lotes agrícolas con lotes destinados a los porcinos se realizan aportes que equivalen a un importante ahorro en fertilizantes, además de contribuir al mantenimiento del recurso suelo por el aporte de materia orgánica.
- El estiércol actúa como mejorador químico y físico de los suelos y la presencia de cobertura vegetal, fundamentalmente, aportará a la mejora física de este recurso (FAO - INTA. 2012).

Recomendaciones básicas generales para mantener una cobertura vegetal en los sistemas de producción porcina a campo:

- Realizar el mínimo desplazamiento de las instalaciones (reparos y comederos) a fin de limitar la degradación de la parcela a un área pequeña.
- Regular la carga animal por carga máxima.
- Rotar parcelas estudiando los tiempos de ocupación de cada una en función de las cargas. La recomendación en general es no exceder sobre una cobertura de tapiz vegetal (preferentemente gramíneas) una carga máxima de 4.000 kg de peso vivo por ha, con rotaciones periódicas (2 a 3 años) incluidas en los ciclos de producción agrícolas, para aprovechar el aporte de nutrientes brindado por los animales. Este esquema de rotación evita el exceso de  $\text{NO}_3$  y P, que si bien aumentan con el uso ganadero, no llegan a valores de exceso para considerarlos contaminantes. De todos modos, esto va a depender de la zona del país donde se ubique el emprendimiento, tipo de suelo, topografía, clima, alimentación del ganado, etc. (FAO - INTA. 2012).

### **2.2.2. Sistema de producción en cama profunda.**

Se trata de sistemas alternativos de producción que reducen los problemas ambientales y son de baja inversión por que se diseñan galpones sin piso de concreto o fosa, es decir, el piso es de tierra, lo cual permite la adecuada percolación de los residuos, con reducción significativa de uso de mano de obra en limpieza y manejo y por ende uso de fuentes de energía y agua.

La disminución de los problemas ambientales está dada por el manejo de las excretas en forma sólida y no líquida; con la consecuente reducción de los olores. En estos sistemas, se reduce en más de 50% la emisión de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y de olores en comparación con los sistemas de piso de concreto. Al mismo tiempo, reduce la posibilidad al mínimo de la contaminación de las aguas, el cúmulo de desechos en lagunas y reduce la incidencia de moscas (Araque, González, Sulbaran, Quijada, Viloría y Vecchionacce. 2006).

La cama puede ser aplicada directamente en la agricultura, disminuyendo el uso de fertilizantes químicos y aumentando la carga de materia orgánica en el suelo. En los galpones se produce compostaje de paja y estiércol que se puede aplicar en la parcela en el momento correcto y conveniente, no huele mal y los animales están en un ambiente que les gusta.

Así entonces, según Araque et al. (2006), se pueden resumir las ventajas ambientales de este sistema de producción en:

- Menor impacto ambiental, debido al manejo correcto de las deyecciones.
- Menor consumo de agua, no utiliza agua para el lavado como en la producción intensificada para la eliminación de las deyecciones.
- Aprovechamiento de la cama para uso agrícola y como fertilizante orgánico, así como, materia prima para la producción de composta y humus de lombriz.
- Disminución de moscas y olores; estudios demuestran una reducción del 70% en el amoníaco producido.

### **2.2.3. Sistemas de producción confinados.**

En estos sistemas, los animales son mantenidos en corrales sobre pisos enrejillados, los cuales son lavados diariamente, y los residuos generados corresponden a una suspensión acuosa denominada efluente o purín, que contiene las excretas animales líquidas y sólidas, el agua de lavado de pisos y consumo animal.

Estos sistemas requieren la existencia de grandes áreas destinadas al almacenamiento y tratamiento de estos residuos con costosos sistemas de elevación y separación de los mismos, lo que conlleva grandes inversiones por parte de los productores, que en la mayoría de las veces no logran reducir el potencial contaminante de estos residuos (Araque, H.; González, C.; Sulbaran, L.; Quijada, J.; Viloría, F. y Vecchionacce, H. 2006).

Como vimos anteriormente, en los sistemas de producción intensivos, la descarga de residuos es puntual y como tal, demanda necesariamente de un manejo que involucre un posterior proceso para la estabilización de los purines generados (INIA, MINAGRI. 2005). Es por esto que el presente trabajo se

centrará en el estudio de las características y el posterior manejo de los efluentes generados particularmente bajo sistemas de confinamiento.

### **2.3. Caracterización del efluente.**

Se entiende por caracterización como los valores de concentraciones de compuestos químicos, valores de parámetros biológicos (microbiológicos y parasitológicos) y físicos de los efluentes que posee el establecimiento, como también los volúmenes que se generan y el caudal de éste flujo (INIA - MINAGRI, 2005 y FAO - INTA, 2012). Tanto la concentración de elementos que lo constituye y la generación por día de purín son variables, dependiendo de diversos factores (Expósito Vélez, 2004).

#### **2.3.1. Producción cuantitativa.**

La cantidad total de residuos producidos puede variar considerablemente en función de:

- Número y madurez fisiológica del animal: la producción de heces debe ser asumida como directamente proporcional al peso vivo de los animales. Diferentes autores han investigado sobre estos valores. Rodríguez, C. (2002) acepta, de forma general, una producción media diaria de deyecciones sólidas y líquidas, equivalente al 7 % del peso vivo del animal pero también sometida a numerosos factores que inciden en una alteración del valor citado. En efecto por cada 70 kg de peso vivo en granja se producen entre 4 y 5 kg de excretas al día. El Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (2009) afirma que durante la fase de engorde el promedio de producción de excretas (sólidas y líquidas) puede alcanzar una décima parte del peso vivo, lo que representa 1,36 kg de heces y 4,73 litros de orina por día. Según Concellon Martínez (1965), las cantidades diarias de deyecciones son las siguientes: Animales jóvenes: 3 kg, animales en cebo: 5-10 kg, cerda con lechones: 15-20 kg. Nielsen (1970) expresa que un cerdo a lo largo de la etapa de crecimiento - terminación, es decir de 20 a 100 kg de peso vivo, produce un promedio 4,5 lt diarios de bosta y orin, consumiendo harina seca como alimento (INTA. 1989).
- Calidad y cantidad de alimento ingerido por el animal: de todos modos, en algunos estudios realizados, no se halló influencia dietética marcada en la excreción de MS fecal (promedio, 1,13 kg de material fresco/kg MS ingerida) (Martínez, V. et al. 2004).
- Volumen de agua consumida por el animal: el consumo de líquido debe ser asumido como directamente proporcional al peso vivo del animal.
- Manejo: el sistema de producción, la densidad de cerdos.
- Sistema de limpieza: la frecuencia y el volumen de agua utilizado para las operaciones. La relación excreta – agua de lavado varía dependiendo del tipo de lavado con que cuenta la empresa. Si bien esta relación varía aproximadamente de 1:6 a 1:18 (18 litros de agua de lavado por 1 litro de excreta), el productor puede obtener la relación en base al gasto promedio de

agua mensual o bien preestablecer la relación de forma estimativa (Millares, P. 2011).

- Instalaciones: el tipo de piso, tipo de edificación, tipo de bebedero y estado de los bebederos
- Clima local.

- Volumen de líquidos residuales de las diferentes categorías de cerdos.

Producción media diaria de estiércol (kg), estiércol + orina (kg) y efluentes líquidos por animal por fase.

Líquido residual: heces+orina+agua de limpieza+agua de bebida (litros/día)

Categoría de cerdos	Estiércol	Estiércol + Orina	Efluentes líquidos
Cerdas en gestación	3,60	11,00	16,00
Cerdas en lactancia	6,40	18,00	27,00
Lechones destetados	0,35	0,95	1,40
25-100 kg.	2,30	4,90	7,00
Machos	3,00	6,00	9,00

(Fuente: Committee of National Pork Producers Council, Brasil 2004 en material de charla técnica sobre Manejo de efluentes, Patricia Millares, Fericerdo 2011).

- Estimación de la producción total Nacional de efluentes:

La población de cerdos en el mundo produce alrededor de 1,7 billones de toneladas de estiércol líquido anualmente (Choudhary et al, 1996). Ahora bien, para estimar la cantidad diaria de efluentes producida en Argentina se deben tener en cuenta los siguientes datos:

- Cabezas totales: 3.437.000 (SENASA, 2011)
- Madres que se consideran en estrato comercial: 345.000 (Millares, 2012)
- % de madres bajo sistemas de producción intensivos: 39 %
- Madres bajo sistemas de producción intensivos: 134.550
- % de madres sobre el total de animales en confinamiento: 10% (GITEP, 2012)
- Animales en confinamiento: 1.345.500
- Producción promedio de efluentes por animal por día: 20lt (GITEP, 2012)
- Producción total nacional de efluentes por día: 26.910.000 lt

Teniendo en cuenta que la densidad del efluente, según el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (2005) es en promedio igual a 1, se puede estimar la producción diaria de efluentes en nuestro país, en alrededor de 26.910 tn de efluentes por día. Este dato nos muestra la magnitud del problema de los efluentes generados en nuestro país.

Cabe aclarar que este cálculo no contempla aquellas cabezas que se encuentran bajo sistemas de producción mixtos en los cuales, durante alguna de las etapas de producción, se generan efluentes, ya que no se conoce exactamente el dato de la proporción de animales bajo este sistema. En caso de tener en cuenta estos animales, la producción de efluentes sería aún mayor.

### 2.3.2. Producción cualitativa.

La concentración de elementos que constituyen los efluentes variará dependiendo de diversos factores como:

- Estado fisiológico
- Raza
- La dieta a la que son sometidos
- Manejo: sistema adoptado
- Época del año
- Tipo de almacenamiento y tiempo de residencia del efluente
- Cantidad de agua utilizada en la limpieza: Uno de los factores responsables de la baja concentración de nutrientes es sin duda la gran cantidad de agua utilizada, aumentando los costos de transporte, almacenamiento y distribución. Granjas porcinas con una demanda de agua baja o moderada, generan descargas con un alto contenido de los contaminantes. Por otro lado, granjas que demandan mayores volúmenes de agua, tienden a generar descargas más diluidas (Cervantes et al. 2007).
- Productos utilizados en la desinfección

El purín, también llamado efluente, es un material no estéril, generalmente básico y bastante salino. Posee cantidades importantes de hidratos de carbono, lípidos, aminoácidos, proteínas, urea y compuestos azufrados, así como contenidos elevados de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na). También contiene micronutrientes como hierro (Fe), cinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn) (Plaza et al., 1999). Por otra parte los residuos ganaderos son portadores de poblaciones microbianas que inciden negativamente en la salud humana y animal, constituyendo un riesgo que debe ser conocido. Se trata de bacterias, virus y hongos (Rodríguez, C. 2002).

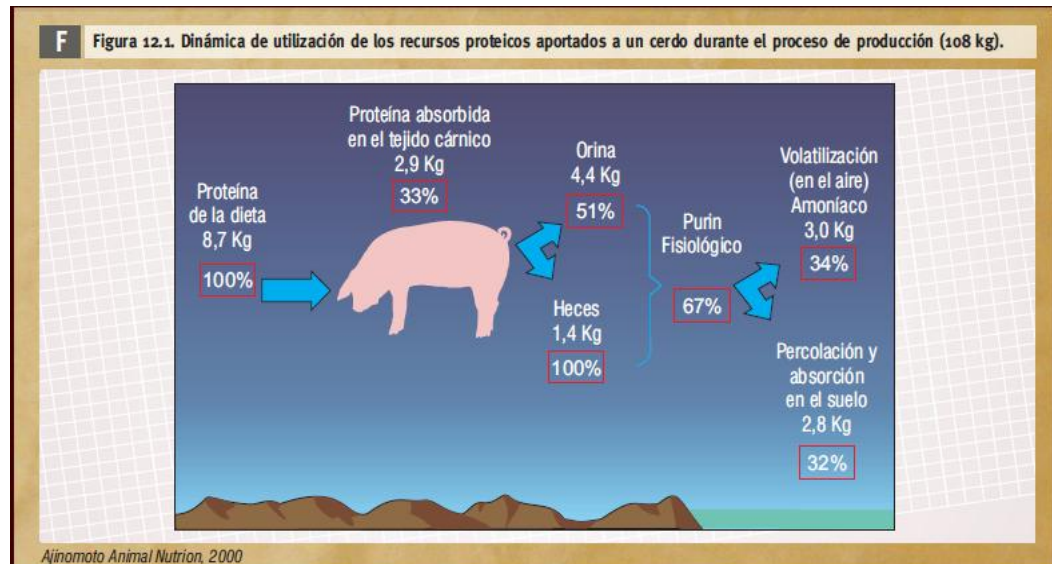
El potencial contaminante de los residuos ganaderos, se caracterizan principalmente por los siguientes parámetros:

- Alto contenido en materia orgánica
- Alto contenido en macronutrientes (N, P, K) y otros micronutrientes
- Generación de compuestos fácilmente volatilizables (amonio) y gases como amoniaco, metano, y oxido nitroso
- Presencia de metales pesados (particularmente cobre) y pesticidas

Se destaca la materia orgánica porque la contaminación, que potencialmente puede producir es extremadamente elevada (Rodríguez, C. 2002). Determinar y comparar cargas contaminantes exige expresar los resultados en determinadas unidades como lo son la DBO<sub>5</sub> y DQO (ver punto 2.3.2.1).

La gran proporción de nutrientes en el efluente, se debe entre otros aspectos, a que la producción animal es un sistema ineficiente. En el caso específico de los cerdos, de cada gramo de proteína consumida tan solo el 33 % es utilizado para la formación de tejido (carne) en el animal, y el resto se elimina en forma de subproductos, donde las formas químicas solubles de los macro nutrientes (N, P, K) provenientes de la hidrólisis de la proteína, generan elevadas cargas en las deyecciones líquidas, como por ejemplo el nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub>). El N no utilizado (67 %), se elimina en heces (16 %) y orina (51 %), la

mayor parte del N de la proteína está presente en forma de urea y el N de las heces (mayoritariamente amoniacal) comprende N indigestible de la dieta, N endógeno y N microbiano. De lo eliminado, un 35% se transforma en gaseoso y un 32% se incorpora al suelo (Bonneau et al. 2008 en Millares, 2011).



(Fuente: Manual de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar. FAO-INTA, 2012)

### 2.3.2.1. Parámetros físicos y químicos de los efluentes.

A continuación se describen algunos de los parámetros más significativos de los efluentes generados en granjas porcinas:

- **DBO<sub>5</sub>** (Demanda Biológica de Oxígeno): estima el grado de contaminación orgánica de un medio. Es la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos para la degradación de materia orgánica por vía biológica a un tiempo y temperatura específica (Manual del Porcicultor, 1997). Se expresa en unidades de mg/litro de oxígeno disuelto a 5 días y a temperatura constante de 20 °C de temperatura.
- **DQO** (Demanda Química de Oxígeno): determina el oxígeno consumido, por vía química, por las materias reductoras presentes en el efluente analizado, utilizando el permanganato de potasio como agente oxidante (Rodríguez, C. 2002). Mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar por vía química, la totalidad de la materia orgánica por la acción de agentes fuertemente oxidantes en medio ácido. Se expresa en miligramos de oxígeno (O<sub>2</sub>) por litro (mg/l). La materia orgánica se oxida hasta dióxido de carbono y agua, mientras el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco. Diariamente, se generan alrededor de 0,25 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 0,75 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kilos de peso vivo (Purdue Research Foundation, 2003 en INIA, MINAGRI. 2005)
- **Sólidos Totales**: es la fracción total de sólidos en un medio líquido; es la suma de los sólidos suspendidos y sólidos disueltos de una muestra. Este tipo de

efluentes contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión, los cuales son de digestión lenta (Cervantes et al. 2007).

- pH: es la medida de la concentración de iones  $H^+$  en los medios sólidos o líquidos. En el efluente, el pH varía entre 6 y 8, tendiendo a la neutralidad en la medida que las excretas sean más frescas.
- Conductividad eléctrica (CE): Medida de la concentración de sales en un medio líquido o sólido. A mayor concentración salina, mayor es su “conductividad” de electricidad, medida en un conductímetro. La alcalinidad y conductividad son propiedades más propias del agua de lavado y de bebida, que de la excreta.

A continuación se presentan valores orientativos de concentración media de cada uno de los parámetros descriptos anteriormente, según diversas fuentes de información:

1) Fuente: *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina*. INIA, MINAGRI. 2005.

Composición de los efluentes porcinos

Plantel	Sólidos totales (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Nitrógeno (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Potasio (mg/l)	Densidad (Kg/l)
1	11.144	15.410	2.246	540	517	1,01
2	7.972	15.500	159,6	213	589	1,01
3	2.262	12.580	392	112	172	1,00
4	5.272	9.780	812	87	294	1,00
5	6.612	17.050	1.092	84	541	1,00
Promedio	6.652,4	15.413	1.227,6	207,2	422,6	1,00

2) Fuente: Plaza et. al., 1999 en *Manual de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar*. FAO - INTA. 2012.

<b>T</b> Tabla 12.1. Concentración media de parámetros de los purines de cerdos.	
Parámetro	Concentración
Materia seca	5 – 7%
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	15000 – 25000 mg/l
Demanda química de oxígeno (DQO)	35000 – 60000 mg/l
N amoniacal	3000 – 5000 mg/l
Sodio	1000 – 2000 mg/l
Fósforo	1000 – 3000 mg/l
Potasio	1000 – 3000 mg/l
Cobre	20 – 40 mg/l
Zinc	20 – 40 mg/l
Hierro	50 – 150 mg/l

Plaza et. al., 1999

3) Fuente: *Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura*. Cervantes et al. 2007.

Tabla 3. Características típicas de aguas residuales de granjas porcinas (Adaptada de Boursier et al. 2005)

Parámetro	Valor
pH	6.5-7.5
DQO total (g/l)	6-50
DQO soluble (g/l)	4.2-21.8
N-total (g/l)	2.1-4.8
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g/l)	1.2-3.3
Sólidos totales (g/l)	8.5-53.9
Sólidos suspendidos totales (g/l)	8.2-42.5
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	2.5-31.9

4) Fuente: *Efluente proveniente de producciones intensificadas de cerdos en galpones con ciclo all in all out: Características físicas, químicas y biológicas*. Beily, Franco, y Crespo. 2011.

Parámetro	Valor
Sólidos Totales	2.24%
DQO	24297,92 ppm
DBO	14099,5 ppm
PT	540,6 ppm
NTK	0,15%
NNH <sub>3</sub>	0,14%
K <sup>+</sup>	1387,1 ppm
Na <sup>+</sup>	1048,0 ppm

(1ppm=1mg/l)

Analizando diversos estudios en lo que respecta a la calidad microbiológica del efluente, se encuentran diversos resultados. Se puede observar la presencia de coliformes fecales (bacterias de la familia Enterobacteriaceas) (Cruz, Martínez, Naranjo y Sosa, 2004) como por ejemplo *Escherichia coli* (Beily, Franco y Crespo. 2011). También en ciertos estudios se observa la presencia de *Salmonella*, el cual es un patógeno entérico capaz de permanecer viable hasta seis meses o más en desechos orgánicos. *Salmonella dublin* puede sobrevivir hasta 330 días en estiércoles porcinos (Robertson, 1977 en Rodríguez, 2002). Dentro de la familia Enterobacteriaceae, también se han comprobado agentes productores de gastroenteritis que no pertenecen a los referidos tipos clásicos enteropatógenos. Estas bacterias pueden adquirir la patogenicidad por transferencia de material genético a partir de las enterobacterias patógenas (*Proteus*, *Klebsiella*, *Citrobacter* y *Enterobacter*) (Rodríguez, 2002).

En cuanto a la presencia de parásitos, en una investigación realizada por Cruz, E. Martínez, R. V. Naranjo y Sosa, R. (2004) se observaron huevos de



helminthos, siendo los géneros presentes en el residual: *Ascaris* (20 huevos/l) *Strongyloides* (12 huevos/l) y *Metagonimus* (3 huevos/l). En el caso de la investigación realizada por Beily, Franco & Crespo (2011) los géneros hallados fueron *Trichuris* y *Trichostrongyloides*.

De la observación y comparación de las diferentes fuentes de datos, se puede afirmar que existe una variabilidad en los valores de las caracterizaciones expuestas. Esto nos lleva a destacar la importancia de analizar el efluente en cada establecimiento a la hora de tomar una medida para el uso del efluente, ya que no existe una única concentración, variando esta según diversos factores enumerados anteriormente.

### 2.3.3. Metodologías para la caracterización de efluentes.

Existen básicamente dos metodologías para la caracterización de los purines, por un lado está la analítica de laboratorio, que entrega datos con la exactitud necesaria para el posterior diseño del tratamiento, y por otro lado las estimaciones matemáticas a través de balances de masa, que otorgan valores estimativos preliminares para la toma de decisiones (INIA, MINAGRI. 2005). La cuantificación analítica es el método más exacto que se puede aplicar para la planificación del manejo de purines. Dentro de éste existen dos puntos para analizar, el primero es la caracterización y el segundo es la cuantificación del flujo total de purines.

Los principales parámetros, que caracterizan al purín desde el punto de vista de sus constituyentes y el volumen producido son:

- Demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> (mg/l).
- Cantidad de Materia seca (mg/l).
- Sólidos volátiles (mg/l).
- Nitrógeno total (mg/l).
- Fósforo (mg/l).
- K soluble, Zinc (mg/l).
- Salinidad
- Flujo medio total diario (m<sup>3</sup>/día).

El dato de medición del caudal diario es fundamental para la elección del sistema de manejo y disposición de los efluentes. La cuantificación del flujo se puede realizar a través del uso de instrumentos medidores de flujo llamados caudalímetros, o en su defecto, a través de la medición directa por el método del flotador (INIA, MINAGRI. 2005).

Otra forma menos exacta pero más económica es la medición de caudal de agua de lavado antes de su utilización, esto es inmediatamente después de su extracción subterránea o superficial mediante caudalímetros de tubería. Con esta medición se obtendrá el flujo de agua de lavado, el que sumado al flujo de excretas conforma el flujo de purín. Para esto es necesario considerar el volumen de estiércol y orín que se produce aproximadamente por animal de acuerdo a su etapa fisiológica.

Los dos tipos más comunes de medidores de caudal sin interrupción en el suministro de agua (caudalímetros), son los de inserción (de perforación) y ultrasónicos. Existen dos tipos básicos de medidores ultrasónicos, el de tiempo de

trayectoria, para agua limpia, y el de efecto Doppler, para agua bruta o con sólidos. Los medidores de inserción y ultrasónicos pueden medir y almacenar velocidades y caudales a lo largo del tiempo (INIA, MINAGRI. 2005).

En el caso del Método del Flotador, este se utiliza para realizar una medición directa de la velocidad del agua en canales abiertos. Corresponde al método más fácil, práctico y de bajo costo que se puede aplicar. Sin embargo, la calidad de los valores es baja si no se mide a intervalos de tiempo de al menos 30 minutos dentro de un día de mediciones (INIA, MINAGRI. 2005). Esta medición se basa en que el flujo o caudal es el resultado de la multiplicación del área perpendicular al flujo por la velocidad de éste.

$$Fp = A \cdot V$$

$$V = \frac{L}{T}$$

Donde:

$Fp$ : Caudal o flujo de purines ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

$A$ : Área del canal ( $m^2$ )

$V$ : Velocidad ( $m \cdot s^{-1}$ )

$L$ : Longitud de recorrido del flotador (m)

$T$ : Tiempo empleado en recorrer los 10m (s)

Una aproximación preliminar aceptable para la caracterización, surge utilizando tablas de composición. Estas tablas entregan los valores principales que genera una unidad animal en un determinado estado fisiológico y la composición de excretas según el estado del animal (para calcular la concentración de nitrógeno en g/l generado por animal en cada etapa fisiológica). No obstante, los valores obtenidos corresponderán al flujo y concentración en la excreta. Para calcular el flujo de purines y la concentración de nitrógeno en el purín, se debe conocer o estimar la relación de dilución de las excretas con el flujo de agua de lavado (excretas : agua de lavado) y aplicar ecuaciones de dilución (balance de masa).

#### 2.4. Efectos que produce el efluente sobre el medio ambiente.

Diversos trabajos demostraron que la intensificación de los sistemas ganaderos resulta en el incremento de los flujos de energía y de nutrientes, y en riesgos de contaminación (Viglizzo y Roberto, 1997 en Herrero y Gil, 2008). Cuando el medio recibe el aporte de cualquier cuerpo extraño se produce un cambio en su equilibrio, que vuelve a restablecerse en un tiempo mayor o menor siempre y cuando el aporte no haya sido lo suficientemente intenso como para que el desequilibrio provocado sea irreversible o bien se origina un nuevo equilibrio que puede ser positivo. Estas alteraciones son originadas por los distintos componentes de los residuos (Rodríguez, 2002).

El problema de la contaminación aparece en el momento en que no se dispone de suficiente terreno para reutilizar los purines de las diferentes producciones pecuarias. Las emisiones de residuos, por lo general, van directamente al suelo, aguas superficiales y profundas; al aire llegan en forma de gases, olores, polvo y ruido (Sánchez Gómez, 2006). No obstante los problemas medioambientales que puedan derivarse del tratamiento y la utilización de

efluentes de una explotación porcina, están más ligados al volumen generado y a su gestión posterior, que a características intrínsecas de los mismos (Millares, 2011).

#### **2.4.1. Contaminación en suelos.**

Los procesos de contaminación del suelo vinculados con la producción intensiva provienen de la aplicación excesiva de excretas como fertilizante orgánico en los cultivos (Herrero y Gil, 2008). La contaminación resulta uno de los aspectos más problemáticos de la degradación de un suelo ya que altera su capacidad para realizar algunas de sus funciones vitales como la nutrición de las plantas.

Los aportes de materia orgánica conducen a crear un equilibrio en el contenido del suelo en materia orgánica (humus). Cuando se aportan residuos orgánicos es alterado el equilibrio existente dando lugar a uno nuevo y es precisamente este cambio el que puede alterar la calidad del suelo receptor. Indudablemente en suelos pobres en humus estable el incremento será positivo, pero en suelos con un humus elevado dará lugar a problemas tanto en cuanto a fertilidad como de contaminación (Rodríguez, 2002). Los principales contaminantes son el nitrógeno (N) y el fósforo (P) y los metales pesados. La acumulación de cualquiera de ellos puede afectar la calidad del suelo.

Además, el vuelco excesivo de purines (vuelcos puntuales y repetidos en una misma área), puede llevar a la formación de costras superficiales, reduciéndose la permeabilidad del suelo al agua y al aire, favoreciéndose su erosión; como así también se puede originar una acumulación excesiva de sales, con efectos negativos en la estructura y de metales pesados, que pueden ser tóxicos para los microorganismos del suelo (FAO - INTA. 2012).

A continuación, describiremos la importancia de distintos elementos en la contaminación del suelo por aporte de efluentes.

##### **- Nitrógeno**

Como vimos anteriormente, el nitrógeno en los residuos ganaderos se pueden encontrar mayormente como nitrógeno orgánico (40 %) o como nitrógeno amoniacal (60 %). Cuando los residuos ganaderos son aportados a los suelos, los compuestos nitrogenados inician la mineralización por acción de las bacterias aeróbicas de los suelos.

El nitrógeno orgánico es lentamente liberado por acción de bacterias y está disponible dependiendo de la edad del efluente, entre un 25 a 50 % en el primer año, cerca del 15 % es liberado el segundo año, 7 % en el tercer año y 5 % en el cuarto año (Millares, 2011). La hidrólisis de la urea origina nitrógeno amoniacal; el cual es estable en el suelo, siendo retenido en los sitios de intercambio catiónico, por tanto no se pierde en la lixiviación. Las bacterias del suelo llevan a cabo de manera aeróbica la nitrificación, llevando el N primeramente a nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y posteriormente se formarán los nitratos ( $\text{NO}_3^{2-}$ ) (Sánchez Gómez, L. 2006).

El nitrógeno amoniacal tiene una mineralización rápida, formándose de igual modo en primer lugar nitritos y posteriormente nitratos. Esta mineralización

es un proceso aeróbico en el que intervienen bacterias como *Azotobacter* y *Nitrobacter* (Rodríguez, 2002).

Cuando se lleva a cabo la nitrificación del N en el suelo, el amonio es convertido a nitrato con la formación de dos átomos de hidrógeno, y esto puede provocar la acidificación del suelo (Jongbloed et al. 1999). El nitrato formado por mineralización, es soluble y, por tanto, susceptible tanto de ser absorbido por los cultivos como de ser lavado a capas profundas (lixiviados) contaminando acuíferos o cursos de agua (FAO - INTA. 2012).

En el suelo existe equilibrio entre el N orgánico y el N inorgánico. Los purines con relaciones C/N bajas (menos del 20%) tienden a una mayor formación de amoníaco, es decir, a una marcada mineralización. Por otra parte las sobrefertilizaciones nitrogenadas conllevan a que los nitratos no sean utilizados por las plantas, yendo a los cauces (Sánchez Gómez, 2006).

Los aportes de materia orgánica, procedentes de residuos ganaderos, incrementan los contenidos en nitrógeno ya que la totalidad de este nitrógeno no puede ser extraído por los cultivos. De todos modos, es muy difícil que el nitrógeno pueda producir efectos nocivos en los suelos pues tan solo cuando el contenido en nitratos de un suelo se aproxima a 4 g/kg pueden presentarse fenómenos de toxicidad (Rodríguez, 2002).

#### - Fósforo

En cuanto al P de la dieta de los animales éste se encuentra como fósforo fítico, con muy baja disponibilidad para monogástricos; una vez en el suelo es liberado por los microorganismos; pero no se le puede achacar la contaminación del medio ambiente a su utilización en la alimentación de los animales, ya que, de todas maneras, tarde o temprano las hojas y los mismos árboles mueren y se reincorporan al suelo, manteniendo de manera cíclica los mismos niveles de este elemento. El P del purín tiene la misma eficiencia que el P procedente de abonos inorgánicos, y la concentración en los purines varía según el tipo de producción, conversión del animal y tipo de pienso (Sánchez Gómez, 2006).

De todos modos, el P no suele originar fenómenos de toxicidad en los suelos, más bien al contrario el abonado fosforado es muy útil para todos los cultivos. Solamente pueden presentarse problemas en las praderas, y más que sobre ellas, sobre el ganado vacuno que padece en praderas con un fuerte contenido en fósforo considerando que, más que por el exceso de fósforo, es por un desequilibrio con otros macro y microelementos (Rodríguez, C. 2002).

#### - Potasio

En el caso del potasio la situación es parecida al fósforo en cuanto a modificación y restablecimiento del equilibrio. Las necesidades en función de suelos y cultivos oscilan entre los 50 y 200 kg/ha/año. Nuevamente es en el caso de aportes a praderas donde pueden presentarse problemas cuando las praderas receptoras son pastadas por ganado bovino, puesto que esta especie animal es muy sensible a las carencias de magnesio. El potasio tiene un cierto antagonismo con el magnesio provocando el exceso de potasio una carencia de magnesio en la sangre del ganado bovino (Rodríguez, 2002).

- Metales Pesados

Los contaminantes más relevantes, dentro del grupo de los metales, son arsénico (As), cobre (Cu), cobalto (Co), manganeso (Mn), selenio (Se) y cinc (Zn). Sus proporciones dependen de la dieta de los animales. En el caso de los porcinos, un estudio reveló que excretaban 86 %, 95 % y 79 % del Cu, Zn y Mn ingeridos en la dieta (Tufft y Nockels, 1991; Brumm, 2002 en Herrero y Gil, 2008). Del mismo modo, Scialabba (1994) afirma que el cerdo sólo absorbe un 5 y 15% del cobre y zinc excretando el resto. En el caso del cobre, este es utilizado como aditivo en la alimentación porcina. Las concentraciones máximas aceptadas son de 200 mg/kg de MS en las primeras siete semanas y de 125 mg/kg de MS entre la octava y la decimonovena semana. Bien es cierto que en el momento actual tiende a suprimirse este aditivo y se espera que en los próximos años, por mejora genética o por utilización de otros, su uso tienda a ser excluido en el sistema alimentario (Rodríguez, 2002).

Algunos investigadores estiman que el 50 % del cobre aportado al suelo se presenta bajo formas solubles y por lo tanto, esta fracción, puede ser asimilada por los cultivos. Si bien las plantas pueden absorber estos metales y así resultar tóxicas para el consumo por animales y seres humanos, algunos estudios encontraron que las aplicaciones de hasta 68 kg/ha de Cu produjeron pocos incrementos en los contenidos normales (6 a 8 ppm de Cu) en plantas de festuca para pastoreo (Wilkinson & Stuedeman 1990 en Herrero y Gil, 2008). Esto se da ya que los cultivos pueden extraer entre 15 y 50 g. de Cu por ha y año lo que acarrea un enriquecimiento en cobre de los suelos, acumulándose en la capa arable debido a su escasa movilidad.

Dado que un suelo normalmente contiene entre 5 - 15 ppm y que a partir de 50 ppm este elemento comienza a ser tóxico es fácilmente comprensible que el aporte de residuos de ganado porcino, realizados como vertido y no como reciclado, puede provocar graves daños a los suelos (Rodríguez, 2002). Se ha observado que en terrenos fertilizados durante años con purín se incrementa la fracción de Cu y Zn asimilable. Además, el exceso de Cu en el suelo impide el desarrollo normal de la raíz, provoca la aparición de clorosis y un escaso crecimiento vegetativo (FAO - INTA. 2012).

#### **2.4.2. Contaminación del agua.**

El concepto de contaminación del agua involucra a aquellos procesos que deterioran de forma apreciable la calidad física, química y microbiológica. Algunos de los contaminantes que alteran la calidad del agua son el N y el P, metales pesados, y se agregan microorganismos patógenos, hormonas y drogas de uso veterinario. Tanto las drogas como las hormonas son las más difíciles de eliminar en los procesos convencionales de tratamiento de efluentes (Herrero y Gil, 2008).

Los contaminantes presentes en las excretas pueden ingresar a los cuerpos de agua por diferentes vías:

- Aguas superficiales

Llegan a aguas superficiales (lagos, lagunas y humedales o ríos) por escurrimiento desde terrenos fertilizados con estiércol, por desborde de lagunas de efluentes por lluvias torrenciales, y por deposición atmosférica (Galindo et al. 2004; Burkholder et al. 2007 en Herrero y Gil, 2008).

En aguas superficiales, el principal efecto es la eutrofización, caso particular de polución, que se produce ante un aumento de disponibilidad de nutrientes, especialmente aquellos que constituyen factores limitantes para el desarrollo de organismos fotosintéticos como algas y macrófitas. Una masa de agua pasa de un estado oligotrófico (de baja productividad) a otro eutrófico (de elevada productividad), favorecido principalmente por dichos nutrientes (fósforo y nitrógeno), y por acción de la temperatura del medio. El N y el P se encuentran en proporciones considerables en los residuos ganaderos, son precisamente ambos los que provocan los daños aludidos, puesto que la materia orgánica, salvo vertido directo, no produce problemas de contaminación (Rodríguez, 2002).

- Aguas subterráneas

Los contaminantes llegan desde el suelo a las aguas subterráneas por infiltración y lixiviación. En los acuíferos no confinados (acuífero freático), los contaminantes provenientes de lagunas de efluentes mal construidos llegan de forma rápida al agua subterránea (Ceplecha et al. 2004; Carbó et al. 2008 en Herrero y Gil, 2008). En las aguas subterráneas, la afección no se produce tanto por la alta carga contaminante de naturaleza orgánica (ya que gran parte se elimina por el efecto de filtrado y efecto autodepurador del suelo que lo asimila) como por la alta concentración de elementos solubles, que pueden llegar a elevar su concentración hasta límites inaceptables para los diferentes usos posteriores que se quiera dar a las aguas. La capacidad filtrante del suelo, depende de varios parámetros: porosidad, capacidad de absorción, formación de compuestos solubles o insolubles, etc.

- Nitrógeno:

Anteriormente se ha aludido a las distintas fracciones de este elemento. Como vimos anteriormente, si cuando finaliza la mineralización, formación de nitratos, existe en el suelo un cultivo que extraiga esta fracción, éstos serán extraídos por los cultivos, si por el contrario este cultivo no existe o el contenido de nitratos excede la cantidad que puede absorber el cultivo, los nitratos serán trasladados por las aguas de infiltración. Como consecuencia no todo el nitrógeno mineralizable es extraíble, en un abonado primaveral tan solo el 60 %, de esta fracción, es extraído por los cultivos. Del 40 % restante el 13,5 % será extraído al año siguiente, el 20 % se pierde por desnitrificación y el 66,5 % por lixiviación. Ello nos permite determinar el balance de las posibles pérdidas según se realice el aporte en primavera o en otoño (Rodríguez, C. 2002).

Por lo general, la concentración natural de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas es baja (1 a 5 ppm). En el trabajo realizado por Herrero y Gil (2008) se describen resultados arrojados por estudios realizados en los Estados Unidos en el cual se detectó un nivel de nitratos de 30 ppm en un arroyo próximo a un criadero de cerdos (Stone et al. 1995) y 18 ppm en el

escurrimiento de un lote que se había fertilizado con una dosis apropiada de estiércol porcino (Westerman et al. 1995).

Las concentraciones elevadas de nitratos representan un problema para la salud humana ya que su ingesta reduce la capacidad de transporte del oxígeno por la sangre (metahemoglobinemia o enfermedad de los bebés azules). La Organización Mundial de la Salud sugiere para Latinoamérica un valor guía de 50 ppm de nitratos, mientras que Argentina establece un límite de 45 ppm (Urrutia Pérez et al. 2003 en Herrero y Gil, 2008).

#### - Fósforo

El fósforo, en forma de fosfatos, de los desechos animales, es uno de los contaminantes más frecuentes de aguas superficiales. Su llegada por escurrimiento (cuando son manejados inapropiadamente) produce eutrofización del ecosistema acuático, lo que disminuye la concentración de oxígeno y provoca la mortalidad de peces. Un trabajo realizado por Stone et al. (1995) encontró valores de fósforo de 1.5 ppm en un arroyo cercano a un criadero de cerdos (Herrero y Gil, 2008).

El P es poco frecuente como contaminante del agua subterránea, ya que los fosfatos se fijan a las partículas coloidales del suelo. El ión ortofosfato, se combina con los iones Fe, Al y Ca dando lugar a compuestos poco solubles, siendo retenidos por el suelo y puestos a disposición de los cultivos. Sin embargo, estudios recientes muestran que el exceso en la aplicación de estiércol puede llegar a valores de 7 ppm en agua subterránea a 6 metros de profundidad, y entre 50 y 90 ppm en el agua de lisímetros colocados a 50 cm de profundidad ((Rao & Rajendra, 2004; Volpe et al. 2008 en Herrero y Gil, 2008).

#### - Metales pesados:

Los metales son retenidos por las partículas del suelo, que al ser erosionadas por escorrentía pueden llegar al agua superficial y por lixiviación al agua subterránea. Sims y Wolf (1994), en “Consideraciones Ambientales de la Intensificación en Producción Animal” (Herrero y Gil, 2008), demostraron que el proceso de quelación de los metales en excretas con alta proporción de sustancias orgánicas solubles aumenta la solubilidad y la disponibilidad de dichos metales. En Argentina un estudio reveló 66 ppb de Cu en perforaciones cercanas a un criadero de cerdos (Galindo et al. 2004 en Herrero y Gil, 2008).

#### - Poblaciones microbiológicas, bacterias y virus

Los desechos animales contienen distintos tipos de microorganismos que son retenidos por el poder filtrante del suelo, recorriendo solamente pequeñas distancias en el horizonte edáfico. De todos modos, estos pueden alcanzar las aguas superficiales y subterráneas.

El incremento de sedimentos en el agua de escorrentía que llega a los arroyos, sumado a un pH y a una conductividad eléctrica particulares favorecerían el aumento de enterococos y estreptococos fecales en dos órdenes de magnitud con respecto a los pastizales. No obstante, muchos de los organismos que causan enfermedades no persisten por tiempos apreciables en el suelo, debido a las condiciones ambientales desfavorables (Herrero y Gil, 2008).

Muchas veces, se aprecia la presencia de huevos de helmintos, con una prevalencia de huevos de *Ascaris*, *Strongyloides* y en menor grado del género

***Metagonimus*** en los residuales. Estos helmintos se caracterizan por presentar un período de latencia una vez que son expulsados en las excretas. Los quistes de parásitos no se reproducen fuera de un huésped, sin embargo pueden sobrevivir largo tiempo en el ambiente (Freitas y Burr, 1996 en Herrero y Gil, 2008) y sus períodos de supervivencia van de varias semanas a varios años.

Generalmente la transmisión de estos gérmenes aumenta en zonas endémicas, porque en la acuicultura se utilizan aguas residuales y excretas sin tratar o insuficientemente tratadas, así como por la costumbre de comer pescado crudo o inadecuadamente cocinado y vegetales acuáticos o vegetales y hortalizas irrigados con residuales sin las condiciones sanitarias apropiadas (Cairncross y Mara, 1990 en Cruz, Martínez, Naranjo y Sosa, 2004).

Los adelantos de las investigaciones aplicadas y la mayor experiencia adquirida en algunos países han mostrado que es necesario imponer límites a la presencia de huevos viables de helmintos parásitos para proteger la salud pública, ya que se tienen claros indicios epidemiológicos de la transmisión de ciertas enfermedades por nemátodos, principalmente las causadas por ***Clonorchis*** y por ***Fasciolopsis*** (Mara y Pearson 1999 en Cruz, Martínez, Naranjo y Sosa, 2004).

#### - Drogas de uso veterinario

Los residuos de drogas de uso veterinario en cuerpos de agua es un tema de interés reciente. La descarga directa de lagunas de tratamiento cuyos sistemas no son capaces de remover estos residuos, o el escurrimiento desde suelos abonados, son las causas principales de contaminación. Los antimicrobianos generan una preocupación enorme debido a los efectos adversos sobre los ecosistemas y a la posibilidad de afectar la salud humana. Estas drogas y los productos de su degradación pueden actuar sobre microorganismos presentes en suelo y agua y colaborar en generar resistencia a los antimicrobianos que fueron utilizados (Boxall et al. 2004; Kümmerer 2004 en Herrero y Gil, 2008).

### 2.4.3. Contaminación del aire.

Los efectos que los residuos ganaderos generan sobre la atmósfera están ligados a los componentes volátiles que emanan en los procesos de transformación de los componentes orgánicos de que están formados. Como es lógico la incidencia más intensa se producirá en la calidad atmosférica de los recintos donde se producen, acumulan o se aportan tales residuos. El deterioro de la calidad del aire producido en granjas porcinas afecta a los trabajadores de la granja, a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos.

El origen de estos gases reside en la acción de determinados microorganismos anaerobios sobre: las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, dando lugar a compuestos volátiles y a gases con un grado determinado de nocividad: Irritante ( $\text{NH}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ) y asfixiantes ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) (Rodríguez, C. 2002).

La acumulación de las excretas, de alimento y de animales en espacios reducidos también libera otra serie de gases y vapores que despiden olores, en su mayoría desagradables. Se han identificado alrededor de 200 compuestos, muchos de ellos sulfurosos y nitrogenados provenientes del metabolismo de las proteínas,



compuestos fenólicos, ácidos orgánicos volátiles, alcoholes, cetonas y aldehídos (Herrero y Gil, 2008).

Las partículas que contaminan el aire pueden clasificarse según su tamaño en PM ("particulate matter") 10 micrones y PM 2,5 micrones. Las PM 10 micrones están formadas principalmente por polvillo. Si ellas procedieran de estiércol seco, podrían irritar las vías respiratorias y transportar hongos, bacterias y virus. Las PM 2,5 micrones son sales que pueden provenir de la reacción del amoníaco con otros gases. Son irritantes de mucosas, y según su tamaño pueden permanecer suspendidas en la atmósfera, desde uno o dos días (las PM 10 micrones), y hasta varios días o semanas cuando las partículas son más pequeñas (Sweeten et al. 1998; MDEQ-CAFO 2006; en Herrero y Gil, 2008).

Los gases mayormente producidos son:

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): proviene principalmente de la respiración de los animales.
- Monóxido de carbono (CO): puede originarse de fallos en la combustión cuando se tienen sistemas de calefacción.
- Metano ( $\text{CH}_4$ ): proviene de la fermentación entérica y fecal, y surge de la degradación de los carbohidratos del alimento y la descomposición anaeróbica de las heces y la orina. Los porcinos emiten 1 kg/cabeza/año (Vermorel, 1995 en Herrero & Gil, 2008).
- Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ): surge de la acción de determinadas bacterias sobre las deposiciones de los animales.
- Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ): proviene del nitrógeno excretado en la orina y en las heces.

Del contenido total de N de los efluentes de cerdo, el 50% se encuentra en forma de  $\text{NH}_4^+$ . El pH neutro de las excretas puede incrementar la disociación de  $\text{NH}_4^+$ , con la pérdida de un ión H, produciéndose emisiones amoniacales a la atmósfera, por volatilización, si el purín no es tratado.

La volatilización del ( $\text{NH}_3$ ) se ve influenciada por diversos factores como son la concentración de urea en orina, el tamaño de la superficie de emisión (áreas donde se concentra el estiércol), la temperatura ambiental, la aireación del lugar, entre otras. La proporción de N en la dieta afecta la producción de amoníaco, a su vez una proporción elevada de almidón aumenta la posibilidad de que no se digiera y que aparezca en materia fecal, fermente en el ambiente y produzca olores intensos (Webb et al. 2005 en Herrero y Gil, 2008).

En los sistemas cerrados (porcinos), la concentración de amoníaco en el aire es importante debido a la concentración de excrementos. A partir de 20 ppm ya produce irritación en los ojos, garganta y mucosas (Hatch et al. 2002 en Herrero y Gil, 2008). Efectos sobre los animales se reflejan en la disminución de la productividad, pues se afecta el crecimiento lo mismo que el sistema inmunológico, disminuyendo la resistencia a las enfermedades. En el aire, el amoníaco también puede reaccionar con otros gases (sulfídrico, nítrico), los que al depositarse por precipitaciones contribuyen a la acidificación de los suelos (Hatch et al. 2002 en Herrero y Gil, 2008).

De manera ligera se responsabiliza a la cría de animales, sobre todo a la intensiva, de ser responsable del calentamiento global y destrucción de la capa de ozono por la liberación de gases de efecto invernadero (GEI). Los principales gases que se estima, son los responsables de este efecto, son el dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso. Estos gases son componentes normales de la atmósfera y permiten mantener la temperatura alrededor de los 15-16 °C (Canziani y Mielinicki, 2007 en Herrero y Gil, 2008).

Si se hacen análisis profundos, se puede afirmar que la polución agraria apenas si incrementa colateralmente estos fenómenos. Por un lado, se ha demostrado que el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> (metano) que produce el metabolismo animal no es más que la anticipación de la labor de los microorganismos descomponedores una vez mueran los vegetales o renueven partes. El CO<sub>2</sub> de origen animal no es nada si se compara con la eliminación nocturna por parte de las plantas. Por otro lado los científicos, aún, no se han podido poner de acuerdo si el calentamiento terrestre tiene responsabilidad antrópica o es un fenómeno solar natural, en el que muy poco tenemos parte; más aún no sabemos a ciencia cierta si vamos hacia una etapa de recalentamiento o hacia una nueva era glacial (Sánchez Gómez, 2006).

### **3. El manejo de los efluentes en producciones intensivas.**

Como se desarrolló anteriormente, los sistemas de producción intensivos demandan necesariamente de un manejo integral de los purines generados. El manejo de purines es el conjunto de acciones y procedimientos que se encausan para disponer de la mejor forma los desechos generados en la explotación porcina con el fin de mitigar un impacto ambiental negativo.

La selección del sistema de manejo estará en función de distintos aspectos como son:

- Tamaño de su producción (número de animales y distribución de edades).
- Costos de inversión y mantención destinados para el sistema previsto.
- Criterios legales del sistema proyectado.
- Clima local (temperaturas y precipitaciones medias mensuales).
- Tipo de suelo y sus características.
- Profundidad de la napa y calidad de ésta.
- Posibles usos que se quiera hacer de los productos finales obtenidos luego del tratamiento.

El manejo de purines no se basa sólo en la implementación y posterior operación de un sistema de tratamiento, sino que además requiere como pilar fundamental un seguimiento a través de procedimientos técnicos escritos de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, planes de emergencia, planes y registros de estado de operación, reparación y mantención de equipos o unidades, planes de control y acciones correctivas, informes de auto-evaluación y planes de capacitación, entre otros (INIA, MINAGRI. 2005).

#### **3.1. Métodos para disminuir la cantidad y mejorar la calidad de los efluentes generados.**

##### **3.1.1. Respecto al uso eficiente del agua.**

En las instalaciones, se puede utilizar agua proveniente de fuentes diversas como el servicio público municipal, de fuentes superficiales y subterráneas. En cualquier caso, el uso correcto del agua, la reducción en su consumo y la disminución de las aguas residuales que requieren tratamiento, son elementos clave para obtener impactos económicos y ambientales positivos (IRG y CNP+L. 2009).

El uso racional del agua para limpieza disminuye los costos de transporte y distribución de efluentes, reduciendo los riesgos de polución ambiental. Según algunos investigadores, el consumo de agua para limpieza en un sistema de producción de cerdos, es de 6 lt/cerda/día y de 2 lt/animal/día en terminación. Este consumo es considerado elevado, aumentando significativamente el volumen de desechos (GITEP, 2006).

También es importante evitar tanto el desperdicio de los bebederos, como la entrada de agua de lluvia en los estanques.

Algunas recomendaciones generales para el uso eficiente del agua son:

- Minimizar las operaciones de lavado y enjuagues de los corrales durante las actividades de limpieza y desinfección.

- Implementar una metodología de limpieza en seco con el fin de reducir el consumo de agua en las actividades de limpieza.
- Automatizar el proceso de limpieza de equipos, instalaciones y accesorios.
- Implementar procedimientos y tecnologías eficientes de lavado de galpones como dispositivos de alta presión y bajo volumen o sistemas de piso ranurado (Slat), donde disminuye el tiempo de lavado, la frecuencia de limpieza es mínima y el uso del agua se hace necesaria solamente a la salida de animales.
- Aplicar un sistema de recirculación o de reciclaje de las aguas generadas en las operaciones para, de este modo, reducir el consumo de agua y al mismo tiempo reducir el volumen de efluente a tratar (IRG y CNP+L. 2009).
- Controlar los sistemas de bebederos una vez determinados los requerimientos de agua para los animales en cada etapa del ciclo productivo.

La pérdida de agua además de aumentar el volumen de los desechos, tiene un efecto negativo sobre el microclima interno de las instalaciones, aumentando en los galpones la humedad e influenciando la humedad relativa ambiente (GITEP, 2006).

### **3.1.2. Respetto a las prácticas al interior de los galpones.**

Algunos de los puntos a tener en cuenta para realizar un correcto manejo del efluente producido en los galpones son:

- Desviar las aguas de lluvia o aguas limpias de techos y patios para impedir su incorporación al flujo de purines y disminuir su volumen.
- Revisar mensualmente el estado de la red de canales abiertos para evitar la infiltración o el desborde de purines.

Con respecto al diseño de los galpones, se debe tener en cuenta que:

- El piso de los corrales deben tener una pendiente adecuada (1-2 %) para que la evacuación de las aguas de lavado sea adecuada y evitar la retención de líquidos (IRG y CNP+L. 2009).
- Los galpones deben presentar barreras físicas o cualquier sistema que asegure que la evacuación de purines se desarrolle a través de los canales abiertos destinados para la operación, evitando así, el escurrimiento superficial de purines al exterior.
- Los galpones deben situarse a una distancia mínima de 20 metros de quebradas, líneas de drenaje y cursos de agua (Mora, Armendáriz, Belmar y Ly. 2000).

### **3.1.3. Respetto al manejo de nutrientes en la formulación de dietas.**

Es posible disminuir el potencial polutorio de los desechos porcinos mediante la adopción de técnicas alimentarias más equilibradas. La manipulación de las dietas es una estrategia para disminuir la excreción de nutrientes y ajustar los requerimientos. Éste concepto parte, como vimos anteriormente, desde que el cerdo presenta una relativa ineficiencia en la utilización de los principales nutrientes en función de sus características fisiológicas. Esto se torna de suma importancia, ya que actualmente los sistemas de tratamiento de desechos no han proporcionado respuestas satisfactorias con relación a la disminución del

potencial de daño ambiental, resultando solamente en una reducción de la materia orgánica, que no es satisfactoria en la reducción de nitrógeno presente en el tenor proteico de las raciones, el cual es transformado en nitratos, nitritos y amonio. La misma ineficiencia ocurre también para fósforo, cobre y zinc (GITEP, 2006).

Con respecto al N, algunos autores proponen que para reducir los altos niveles en las excretas se tomen medidas nutricionales, como incrementar la digestibilidad de las dietas con una buena fuente de fibras, reducir los niveles de proteína y utilizar aminoácidos sintéticos (Bekaert, 1992; Jongbloed et al., 1997; Kreuzer et al., 1997; Paik, 1999; en Mora et al., 2000). Además, resulta importante la oferta de determinados aminoácidos (lisina y/o de treonina) a nivel intestinal, que posibilita disminuir la proporción de proteína bruta (Brumm, 2002 en Herrero y Gil, 2008).

Para el fósforo, es deseable tanto utilizarlo en sus formas orgánicas por su mayor eficiencia de uso; como la incorporación de aditivos en la dieta para minimizar la suplementación disminuyendo en estos casos, la excreción de P en heces hasta 30% (Brumm 2002 en Herrero y Gil, 2008).

### **3.2. Recolección y almacenamiento del efluente.**

Como se detalló anteriormente, los sistemas confinados pueden ser instalaciones sobre piso de concreto o sobre piso enrejillado.

- Instalaciones sobre piso de concreto.

Estas pueden ser instalaciones completamente techadas o instalaciones abiertas en un 50 % o más. Encima del piso de concreto puede usarse material de cama, como viruta, aserrín de madera o paja. En las zonas frías, el estiércol, en forma sólida, es rasqueteado y extraído de las instalaciones techadas. En las zonas más cálidas puede no usarse material de cama y el estiércol se extrae en forma de lodo/semisólido.

Otro tipo de instalación sobre piso de concreto es el corral pavimentado, el cual hasta el 50 % puede estar cubierto con una edificación abierta, techada, que puede contar con paredes. El piso posee una pendiente de 1-1,5 cm hacia un canal poco profundo, situado en la parte baja del piso.

El estiércol, antes de ser llevado al campo o al depósito para ser usado posteriormente, es removido mecánicamente del piso. Esta tarea se realiza con palas de mano y con un lavado arrojando agua a presión, una o dos veces por semana, en épocas de altas temperatura (regiones que tengan bien definida época estival), y cada 1 a 3 meses si se trata de una zona fría (regiones que tengan bien definida época invernal) (FAO - INTA. 2012).

- Instalaciones sobre piso enrejillado, local cerrado.

El sistema llamado Pit o Full Slats consiste en un conjunto de piscinas de hormigón armado, ubicadas bajo los pisos ranurados que alojan a los cerdos. El alto real de la piscina de concreto es de 50 cm pero se llenan al principio de la crianza con 20 cm. de agua. El estiércol y el orín producidos por los animales pasan a través del enrejado, cayendo a las piscinas por medio de las ranuras del piso (slats), en lo que colaboran los mismos cerdos al caminar encima de ellas ayudando a que las heces caigan en las piscinas o sistema Pit. Así, el efluente es

separado rápidamente de los animales con una mínima utilización de mano de obra.

El purín recolectado en la fosa es retirado con poca frecuencia (semanal, quincenal, o mensual dependiendo el tamaño de la fosa) por bombeo o por pendiente (por descarga de agua por gravedad). El mismo puede ser enviado a una laguna o es removido frecuentemente con una descarga mecánica de agua en un tanque que lo lava y se recicla con el agua del estanque de fermentación. En grandes instalaciones puede producirse una limitante con la disposición de agua para realizar estas tareas, por eso se recurre a reciclar el agua y reutilizarla para realizar el lavado y removido del purín (FAO - INTA. 2012). En Argentina, aproximadamente el 75% de las excretas son tratadas con limpieza por inundación o con chorros de agua (Herrero y Gil, 2008).

Con respecto al almacenamiento de los desechos líquidos en la propiedad, éste debe ser realizado en un local de nivel inferior a las instalaciones de producción de cerdos, a fin de facilitar su entrada al estanque, por gravedad, evitando mayores costos con la instalación y funcionamiento de bombas de acarreo de desechos.

### **3.3. Tratamiento del efluente.**

El sistema de tratamiento del purín o efluente, consiste en una combinación de procesos físicos, químicos y/o biológicos, cuyo objetivo es la modificación de las características del residuo, eliminando o disminuyendo la carga orgánica o carga de contaminantes (físicos, químicos y biológicos) presentes en él, para garantizar una disposición final sin riesgo de ocasionar daños al medio ambiente ni a la salud humana. El tratamiento de los efluentes busca disminuir el impacto producido por descargas y, generar residuos finales que cumplan con los flujos y concentraciones de contaminantes estipulados en la legislación vigente (Zaror, 1998 en INIA, MINAGRI. 2005).

Inicialmente, al momento de elegir el sistema de tratamiento que se llevará a cabo, se debe considerar cual es el objetivo particular del mismo. Este puede ser:

- Cumplir con la normativa nacional aplicable.
- Transportarlo fuera de la zona de almacenamiento.
- Higienizar reduciendo o eliminando patógenos para:
  - Vuelco a un curso de agua
  - Reutilizarlo para limpieza de fosas
- Valorar agronómica y económicamente el residuo.

La elección del método de tratamiento también dependerá de factores tales como clima, ubicación de la napa freática, las características del efluente a tratar, ubicación y tamaño del establecimiento. Los sistemas de tratamiento varían bastante entre tipos de producción, regiones y países. También se debe analizar los costos de inversión y mantención destinados para el sistema previsto y los aspectos operativos del mismo, como son la mano de obra y equipos necesarios o la superficie disponible para el almacenamiento del efluente y el tiempo de residencia.

La selección e implementación de un sistema de tratamiento es un proceso en el cual se conjugan variables de sitio, económicas, técnicas y de legislación

(normativas nacionales y/o provinciales aplicables). Este proceso generalmente se realiza siguiendo una metodología en donde los primeros pasos son la caracterización en cuanto a la cantidad y calidad del efluente generado para la planificación y selección del sistema de tratamiento y su posterior diseño de ingeniería. Una vez seleccionado el sistema de tratamiento que satisfaga los estándares de calidad requeridos y que se adapte a priori a la realidad local se realiza un diseño conceptual. En él se generarán las dimensiones y estructuras generales del sistema seleccionado, utilizando información como tipo de suelo, superficie, topografía y geomorfología del terreno y la incidencia de las condiciones climáticas locales en el tratamiento. Se identifica el eventual sitio de emplazamiento para luego evaluar comparativamente las características territoriales del sitio versus las requeridas por el sistema. Si el sitio predeterminado cumple con las especificaciones técnicas para el sistema seleccionado, se procede a realizar un análisis económico del proyecto, de lo contrario, se deberá replantear la situación optando por un nuevo sistema de tratamiento (INIA, MINAGRI. 2005).

### **3.3.1. Sistemas de tratamiento.**

Es importante mencionar que un sistema de tratamiento no consta necesariamente de una unidad de tratamiento, sino que generalmente son una combinación secuenciada de tratamientos primarios y secundarios en medios naturales o artificiales según sea la combinación más ventajosa para la situación de cada agricultor (INIA, MINAGRI. 2005).

Los purines generados en los pabellones porcinos, pueden tener varias vías. Aquellos planteles que cuentan con vastas superficies de terreno, pueden aplicarlos directamente al suelo usando tecnologías y diseños que toman en cuenta criterios ambientales en cuanto a la altura máxima de la napa subterránea, tasas agronómicas e hidráulicas de aplicación, homogenización y control de escurrimiento superficial, entre otros. Los planteles que no posean mucha superficie, deberán estudiar la posibilidad de aplicar sistemas de tratamiento más sofisticados, para estabilizar estos residuos.

Los sistemas de tratamientos pueden ser divididos en dos etapas principalmente: tratamiento primario y tratamiento secundario.

#### **3.1.1.1. Tratamiento primario.**

El tratamiento primario de los purines corresponde a la base de la mayoría de los sistemas de tratamiento de efluentes y consiste en la preparación del residuo, a través de procesos físicos, para su posterior degradación biológica o su aplicación directa al suelo usando tecnologías de aplicación ya que facilita las operaciones y mejora el rendimiento de cualquier proceso posterior. El objetivo es la ecualización del flujo y la eliminación de una fracción de los sólidos gruesos en suspensión y de la materia orgánica del efluente. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el filtrado, el tamizado y la sedimentación.

El tratamiento primario, como primera etapa de un sistema de tratamiento de purines, incluye normalmente dos operaciones, la ecualización-homogenización y la separación sólido-líquido del flujo.

#### Ecualización y Homogenización

El flujo y la composición de los purines presenta enormes variaciones en el tiempo, reflejando las diferentes operaciones que tienen lugar durante el proceso productivo (por ejemplo el lavado de galpones). Estas diferencias pueden presentar serios problemas, particularmente para las operaciones de tratamiento secundario, caracterizados por ser lentos y cuya eficiencia es muy sensible a las variaciones de flujo y concentración.

Para garantizar un flujo y una composición lo más constante posible, se utilizan ecualizadores homogenizadores que absorben parte de las diferencias de flujo y otorgan homogeneidad en la composición del purín. Estas unidades se componen de un tanque de almacenamiento y un agitador. Su objetivo es conceder al fluido un tiempo de residencia, entre 2 y 24 horas, determinado por las características de operación del plantel, la biodegradabilidad del material orgánico y el tipo de tratamiento secundario o aplicación directa (INIA, MINAGRI. 2005).

En el caso de plantales que generen altos flujos de purines, se debe evaluar la conveniencia de utilizar sistemas con lagunas para la estabilización y la ecualización.

#### Separación Sólido – Líquido

La separación de efluentes corresponde a un proceso que permite separar la fracción sólida (estiércol, restos de alimento) y líquida (orín, agua de lavado), utilizando un separador (FAO - INTA, 2012 y IRG - CNP+L, 2009).

De la separación, se obtienen subproductos con mejores propiedades para el manejo y transporte, el líquido puede desplazarse por tuberías sin el peligro que se obturen y el sólido puede disponerse en canchas de secado o en lugares habilitados para el almacenamiento o transportarse dentro o fuera del predio (INIA, MINAGRI. 2005).

El parámetro de eficiencia de un sistema de separación es el porcentaje de remoción de sólidos remanentes del purín. De esta forma, los residuos generados por los sistemas de separación sólido – líquido son:

- Una fracción líquida que constituye una suspensión acuosa, con una carga de sólidos suspendidos compuesta por el producto de la mezcla de orina con agua de lavado y en menor grado de materia fecal, generando un residuo líquido homogéneo no estabilizado que presenta aún un alto contenido de sólidos, nutrientes y patógenos, que conserva la misma concentración en elementos solubles que los desechos brutos (GITEP, 2006).
- Sólidos, llamados también guanos, corresponden a parte de la fracción sólida extraída del purín, que alcanza menores porcentajes de humedad.

Antes de iniciar el proceso de separación, el purín debe ser agitado por un tiempo no inferior a 10 minutos para garantizar que la fracción sólida se distribuya en forma homogénea en toda la fracción líquida.

Dentro de los sistemas de separación, uno de los más utilizados es el proceso de filtración mecánica. Este se realiza a través de mallas, tamices o cribas, con diámetro de 800 y 500 micras. Los equipos pueden ser estáticos, vibratorios o



rotativos. Los primeros presentan el inconveniente de que requieren una limpieza constante debido a la fina película de sólidos que se estaciona sobre la malla cribada. Los vibratorios y rotativos realizan constantes movimientos que garantizan el flujo continuo de los desecho sólidos sin que se produzcan obstrucciones (GITEP, 2006).

ANEXO 1: Resumen de algunos de los equipos de separación más usados (extraído de Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina. Santiago, Chile. INIA, MINAGRI. 2005).

### 3.1.1.2. Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario, esta principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión, los compuestos orgánicos biodegradables y nutrientes (principalmente N y P). Generalmente consiste en la transformación biológica de materia orgánica compleja a material estable (orgánica simple o bien, inorgánica). Los procesos biológicos son efectivos en la degradación de la materia orgánica soluble, de gran parte de los sólidos suspendidos y de la remoción de nutrientes, lo que representa un cambio real en el estado del agua residual hacia un producto estabilizado.

El material orgánico que se encuentra en el purín es rico en carbono y nitrógeno, elementos que sirven como alimento para microorganismos presentes en el mismo. El material orgánico es degradado entonces por microorganismos que los transforman en compuestos más sencillos y de fácil eliminación, por ejemplo en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Zaror, 1998 en INIA, MINAGRI. 2005). Cuando se descompone la materia orgánica por la acción de los microorganismos pueden obtenerse subproductos útiles. El tipo de subproducto obtenido depende de las condiciones en las que se produce la descomposición (Cervantes et al. 2007).

En la naturaleza existen tres grupos de procesos que suponen la descomposición de materia orgánica:

- Procesos aerobios: son los tratamientos biológicos en donde el oxígeno se utiliza para la descomposición de la materia orgánica. La degradación aerobia es un proceso que se basa en la transformación, a través de una serie de reacciones bioquímicas, de la materia orgánica en  $\text{CO}_2$ , agua y un lodo compuesto por células nuevas y estables.

El nivel de oxidación que se alcanza en el tratamiento aeróbico depende de la cantidad de oxígeno suministrado y el tiempo de reacción.

- Procesos facultativos: son los procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno molecular (Metcalf y Eddy, 1998 en FAO - INTA. 2012).

- Procesos anaerobios: son procesos de descomposición de la materia orgánica bruta, sin la presencia de oxígeno de manera que los organismos vivos en ella existentes utilizan el oxígeno combinado, disponible en las moléculas de materia orgánica (GITEP, 2006).

La digestión anaerobia, degradación anaeróbica, o fermentación son una serie de reacciones en la cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente

inhibidas por el oxígeno (FAO - INTA. 2012). El propósito de la fermentación anaeróbica es la degradación y la estabilización de la materia orgánica, la reducción de su potencial de polución y de contaminación de microorganismos entéricos de importancia para la salud pública (GITEP, 2006). Cuando se realizan tratamientos anaeróbicos, se disminuye la DBO<sub>5</sub> (remoción de 60 a 90 %), la DQO, los nutrientes (remoción de N entre 62 y 72 % y de P entre 50 y 75 %), los patógenos y el volumen (Herrero y Gil, 2008).

Básicamente el proceso se puede dividir en tres pasos:

1. Acidogénesis: En esta primer etapa, los polímeros y otras sustancias complejas son hidrolizadas y fermentadas para dar compuestos químicos simples, como el acetato que es el principal precursor del metano, otros ácidos orgánicos (propiónico, butírico, láctico, valérico, etc.), etanol e hidrógeno (Cervantes et al. 2007). Estos compuestos solubles serán metabolizados por las bacterias anaerobias en el interior de las células.
2. Acetogénesis: En la segunda etapa, los compuestos solubles, básicamente diferentes tipos de oligosacáridos y azúcares, alcoholes, aminoácidos y ácidos grasos, son fermentados por los microorganismos acidogénicos que producen, principalmente, ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno. Luego, los ácidos grasos de cadena corta son transformados en acético, hidrógeno y CO<sub>2</sub>, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos (FAO - INTA. 2012).
3. Metanogénesis: En la tercera etapa, se lleva a cabo la metanogénesis mediante dos tipos de reacciones; la acetoclástica, que consiste en la descarboxilación del ácido acético, y la hidrogenotrófica que consiste en la reducción del CO<sub>2</sub> con H<sub>2</sub> (Rodríguez-Rodríguez et al. 1993 en Cervantes et al. 2007).

Los productos finales obtenidos mediante los 3 procesos son diferentes: mientras que en la descomposición aerobia se obtienen nitrato, sulfato y CO<sub>2</sub>, la descomposición anaerobia arroja productos como amoníaco, sulfuro, humus y biogás (compuesto principalmente por CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>). La descomposición aeróbica es más eficiente en el control de patógenos causales de enfermedades, mientras que la descomposición anaeróbica preserva el valor fertilizante de los efluentes. Entre los sistemas biológicos, los tratamientos aerobios eran empleados en mayor proporción que los anaerobios hasta hace no mucho tiempo. Los sistemas anaerobios presentan notables ventajas frente a los aerobios en cuanto a la demanda de insumos y generación de energía, lo cual tiene implicaciones económicas importantes y a esto se debe el auge de los procesos anaerobios.

### **3.1.1.3. Ejemplos de sistemas de tratamiento.**

A continuación se describirán algunos de los posibles sistemas de tratamiento que se puede realizar al efluente en producciones porcinas. Cabe destacar que en la práctica, existen diferentes combinaciones de los mismos, e incluso otros posibles tratamientos que no fueron descriptos por no ser muy utilizados en la actualidad o bien por no adaptarse a las instalaciones promedio de nuestro país.

#### **3.1.1.3.1. Tratamiento por aplicación de purines al suelo.**

La aplicación al suelo está definida como la aplicación controlada de los efluentes al suelo con el objeto de alcanzar un tratamiento y remoción de los constituyentes que normalmente transportan estos efluentes, como asimismo, una forma de reutilización de agua y de nutrientes en producción agrícola. El principal objetivo del sistema de aplicación directa al suelo es la disminución del nitrógeno y DBO del purín. En este tipo de aplicaciones, el suelo cumple dos funciones, por un lado es el medio receptor de los efluentes evitando de esta manera el vertido a otros medios, y a la vez, actúa como agente activo ya que en la superficie como en su interior se producen procesos de degradación, eliminando nutrientes, materia orgánica, microorganismos y reteniendo otros componentes como metales pesados. Al mismo tiempo, las excretas de cerdo, en su estado líquido (purines), constituyen una excelente fuente de nutrientes para el desarrollo de las plantas, en forma de abono orgánico. Son un recurso valioso que debe ser reutilizado en las explotaciones aplicándolo al suelo durante los períodos de cultivo, con el método que más se adapte a las necesidades del productor, en base a las características de la explotación y a las exigencias ambientales (INIA, MINAGRI. 2005).

- Efectos del tratamiento en la composición de purines:

Los compuestos o constituyentes del purín pueden ser transformados por distintos procesos, y dependiendo de la naturaleza de los compuestos, uno de estos procesos generalmente es el dominante, aunque varios de ellos participan en forma simultánea. A continuación se muestra el destino que tienen los principales constituyentes de los purines, dentro de los sistemas de tratamiento por aplicación directa al suelo (INIA, MINAGRI. 2005):

- **Nitrógeno.**

El nitrógeno de las excretas es el elemento de fertilización más importante, debido a que, como vimos anteriormente, el alimento suministrado a los cerdos tiene altos contenidos de proteína. En las excretas, el nitrógeno total se compone principalmente de nitrógeno orgánico (40 %), y de nitrógeno amoniacal (60 %). Por acción de las bacterias aeróbicas de los suelos, el nitrógeno orgánico es transformado en nitrógeno amoniacal, y este luego es llevado a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^{2-}$ ). La transformación de nitrógeno desde su forma amoniacal por nitrificación es rápidamente lograda por este tipo de sistema. Como vimos anteriormente, los excesos de nitrógeno por encima de las necesidades de los cultivos se convierten en riesgo de contaminación de aguas. Por ello es necesario realizar un diseño con criterios agronómicos y ambientales en el sistema de aplicación directa al suelo. En este sentido, se puede afirmar que generalmente algo de nitrógeno se pierde por lixiviación, aunque el objetivo es la minimización de este proceso.

Si bien la absorción de este elemento por las plantas es la base para el diseño de los sistemas terrestres de tratamiento (aplicación al suelo), la volatilización de amonio y la desnitrificación juegan un rol de gran importancia en la eliminación de nitrógeno. La remoción del nitrógeno del suelo por desnitrificación requiere un tiempo adecuado y una fuente de carbono orgánico, el cual es utilizado por los microorganismos como alimento. En términos prácticos,

una relación C:N de 3:1 o superior en el efluente, provee suficiente C para la desnitrificación.

La remoción de N está relacionada también con la tasa de infiltración ( $V_i$ ), donde los valores mayores de remoción (sobre 80 %) se consiguen con valores de  $V_i$  inferiores a 18 a 20 cm/día. Valores muy altos de infiltración, por efecto de disminución del tiempo de tratamiento, pueden provocar ineffectividad de los sistemas en la remoción de N. Debido a que los procesos biológicos que gobiernan las transformaciones de formas de N son afectados por las bajas temperaturas, aquellos sistemas diseñados para remover nitrógeno en forma estable todo el año, deben considerar almacenamiento temporal durante los períodos más fríos del invierno.

- Fósforo.

Al igual que el nitrógeno, el fósforo (P) cumple un ciclo que considera repetidamente los procesos de inmovilización y mineralización. Durante estas transformaciones, este elemento en general permanece en la forma de fosfato, ya que cuando se mineraliza, precipita rápidamente. Los coloides del suelo (arcilla, materia orgánica, óxidos e hidróxidos) adsorben fosfato resultando esto en que el P es un elemento muy poco móvil en los sistemas de tratamiento terrestres. El excedente de P es absorbido por las plantas.

- Materia Orgánica y DBO.

El efecto principal de la materia orgánica en el medio líquido es la demanda biológica de oxígeno (DBO). En los sistemas de tratamiento naturales de tipo terrestre la DBO disminuye rápidamente en la medida que los materiales orgánicos son degradados por descomposición aeróbica. Si la descomposición producida es anaeróbica la tasa de disminución del DBO es menor. Un líquido que posee un contenido orgánico muy alto (alto DBO), tiende a degradarse de forma anaeróbica, generando olores si no existe control.

- Sólidos suspendidos (SS).

El proceso principal que ocurre en los sistemas de tratamiento de tipo terrestre es que el suelo filtra los sólidos suspendidos.

- Patógenos.

Los patógenos son efectivamente destruidos por los tratamientos de tipo natural. Los métodos terrestres tienen un mejor comportamiento que los acuáticos en este sentido. Los mecanismos principales involucrados son la competencia y la predación por organismos nativos presentes en el sistema de tratamiento, aunque algunas especies resistentes pueden persistir por un largo tiempo expuestas a las condiciones ambientales.

- Sodio y otras sales.

Tanto el contenido de sales, como el exceso de sodio pueden tener efectos muy adversos en los sistemas de tratamiento de tipo terrestre. Los problemas principales del exceso de sales en la solución del suelo son la inhibición parcial de la actividad microbiana y algún daño a las plantas. Adicionalmente, cuando el sodio está en exceso, la permeabilidad del suelo se reduce. La forma de evitar esta acumulación de sales en el perfil del suelo es a través de la aplicación de agua de drenaje en suficiente cantidad para movilizar las sales en profundidad.

- Plan de uso agrícola del efluente (Millares, 2011):

Tener en cuenta:

- Superficie agrícola disponible
- Tipo de suelo y sus características
- Cantidad de N y P que pueden asimilar
- Ubicación de la tierra a fertilizar respecto del lugar de gestión
- Contenido de nutrientes del efluente (Informe de laboratorio, g/l )
- Factores de disponibilidad del nutriente (0,25 - 0,50)
- Nutrientes disponibles para el cultivo (residual + aporte de los efluentes) (1x2)
- Necesidades del cultivo
- Recomendaciones de nutrientes para el próximo cultivo
- Tasa de aplicación de efluente. Para alcanzar las necesidades de N del cultivo (4/3) (litros/ha)
- Total de nutrientes de fertilizantes (kg/h)
- Costo del fertilizante (\$/kg)
- Valor de los nutrientes del efluente (\$/kg)
- Valor estimado del incremento en el rinde
- Considerar los gastos de aplicación
- Valor total del efluente aplicado (\$/litro)

- Algunas de las limitaciones de la utilización agrícola del efluente pueden ser:

- Son voluminosos para manejar, transportar y almacenar
- Requieren mayores superficies para realizar los tratamientos de aplicación al suelo que aquellos métodos de tratamiento convencional
- Requiere equipos especiales y mano de obra
- Podrían causar la compactación del suelo: de todos modos este efecto puede ser evitable

- Aplicación directa al suelo sin tratamiento primario previo.

El sistema se adapta a predios con gran superficie de aplicación disponible, con purines ampliamente diluidos y climas secos. Éste puede ser elegido por el productor de acuerdo a las características del terreno-suelo. La principal limitante de este sistema es la carga orgánica del flujo de purines a aplicar. Para estimar el valor de esta limitante, nominada como tasa de carga orgánica (TCO), se puede calcular en base a la superficie disponible para aplicar. La relación TCO debe presentar un valor igual o menor a 500 kg DBO (ha/día) (INIA, MINAGRI. 2005).

- Aplicación directa al suelo con tratamiento primario previo.

El tratamiento de preaplicación depende fundamentalmente del tipo de efluente, el tipo de cultivo, el grado de acceso público del lugar de aplicación y las exigencias ambientales de lixiviación. Un tratamiento primario como la filtración gruesa de los sólidos proporciona un nivel adecuado para la aplicación de efluentes al suelo y al mismo tiempo impide obstrucciones en los sistemas de distribución.

De los sistemas de tratamiento primarios, se obtienen dos fracciones: El guano y las aguas residuales. Una ventaja de este sistema es la reutilización del sólido (guano) que se describe posteriormente. Con las aguas residuales, existen básicamente tres procedimientos para realizar la aplicación al suelo: aplicación por sistema de tasa lenta (TL); por infiltración rápida (IR) y por flujo superficial (FS). El rasgo común de los tres métodos es que la eliminación de algunos componentes del purín se consigue a través de procesos naturales mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas por medio de una triple acción: física (filtración), química (intercambio iónico, precipitación y co-precipitación, fenómenos de óxido-reducción, absorción) y biológica (degradación de la materia orgánica); teniendo lugar en los horizontes superiores del suelo, donde se encuentra la capa biológica activa (INIA, MINAGRI. 2005). Los procedimientos de TL e IR utilizan la matriz del suelo para realizar el tratamiento después de lograr la infiltración del efluente, y difieren básicamente en la tasa a la cual el efluente es aplicado al suelo. El procedimiento de FS utiliza la superficie del suelo y la vegetación que crece sobre él.

Si bien, la superficie de terreno para tratar el efluente puede ser levemente menor que en el primer escenario, este sistema tiene un costo de inversión inicial levemente mayor por el equipo de separación de sólidos. De todas formas el sistema debe ser diseñado para degradar las concentraciones de carga orgánica que trae el efluente respetando los criterios ambientales contemplados, compuestos mayoritariamente de las características del terreno-suelo para un determinado predio.

ANEXO 2: Descripción de los tres tipos de procedimientos de aplicación al suelo (Extraído de *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina*. Santiago, Chile. INIA, MINAGRI. 2005).

- Potencial efecto fertilizante según producción total nacional:

Anteriormente realizamos cálculos aproximados de la producción de estiércol porcino por día en toda la república Argentina y estos arrojaron que se producen cerca de 26.910 m<sup>3</sup> de efluentes por día. Sabiendo que, según Patricia Millares (Fericerdo, 2011), el efluente posee alrededor de 2,60 kg de nitrógeno total (Nt) por m<sup>3</sup> de efluente, se obtendrían en nuestro país, 69,97 tn de Nt/día, que representarían alrededor de 25.538 tn de Nt en todo el año.

Esto representa un potencial material fertilizante, el cual sería demandado por la actividad agrícola intensiva del país. Si se toma como valor la aplicación de una dosis de N/ha de 100 kg, el Nt derivado de excretas porcinas, mediante un adecuado manejo, podría fertilizar alrededor de 255.376 has.

### 3.1.1.3.2. Tratamiento en sistema de lagunas.

En Argentina el tratamiento de los efluentes se lleva a cabo usualmente (casi en un 100 %) en sistemas de lagunas (Millares, 2011). Son una técnica sencilla para el tratamiento de efluentes y allí se desarrollan tratamientos primarios y secundarios de forma paralela. Su función es la de operar como un reactor de grandes dimensiones excavado en la tierra (con impermeabilización) en

donde se producen procesos de remoción de contaminantes (compuestos orgánicos principalmente) y patógenos (FAO - INTA. 2012). El objetivo principal que persiguen las lagunas es reducir la demanda de oxígeno del efluente (como DBO o sólidos volátiles). Adicionalmente, una laguna puede perseguir objetivos secundarios, como reducción del N, aunque en general, esto último es secundario y es resultado del objetivo principal (INIA, MINAGRI. 2005).

Consisten en retener el efluente en estanques durante un período de tiempo suficiente como para provocar la degradación de la materia orgánica por medio de la actividad microbiológica.

Previo al tratamiento en las lagunas, para lograr mejores resultados, se recomienda obtener purines con bajas concentraciones de carga orgánica, a través de la separación de sólidos por tratamiento primario. De este tratamiento se obtiene guano y aguas residuales. El guano puede ser reutilizado, y las aguas residuales serán tratadas en el sistema de laguneo. Del tratamiento en el sistema de laguneo, se obtendrá un producto semi-sólido llamado lodo, que se podrá reutilizar como se explica más adelante, y agua residual de mejor calidad. Si el tratamiento resulta exitoso, estos líquidos podrán utilizarse para su aplicación en cultivos y pasturas o vertirse a cuerpos de agua, a pesar de que en este tipo de tratamiento en lagunas existe pérdida de N por volatilización.

En el caso que aún fuese necesaria su depuración, se debería continuar con un tratamiento terciario como filtros biológicos organizados en franjas implantadas con especies forrajeras, plantas acuáticas o árboles (Misauri et al., 1998 en Herrero y Gil, 2008).

#### - Lagunas de almacenamiento, estabilización y tratamiento.

La secuencia típica es de 3 lagunas interconectadas: primero una anaeróbica, seguida por una facultativa y terminando con una aeróbica o de maduración. En las dos primeras etapas se produce la mayor degradación de DBO<sub>5</sub> (95 % aproximadamente), mientras que el aporte más importante de la aerobia es la remoción de patógenos y nutrientes (N y P) (FAO - INTA. 2012).

Funcionan en forma natural, sin la intervención de mecanismos ideados por el ser humano, sin embargo se podrían incluir sistemas para aumentar la temperatura del agua, equipos mecánicos de aireación, u otros.

Adicionalmente las lagunas son usadas como una forma de almacenamiento. Este sistema, posee como ventaja la posibilidad de que el purín permanezca largos periodos almacenado. A su vez, como desventaja, se puede mencionar la emisión de gases de posible efecto invernadero, la generación de olores indeseables y la proliferación de plagas (básicamente roedores) (FAO - INTA. 2012).

Las lagunas de tratamiento pueden ser clasificadas por el tipo de degradación biológica en aeróbica, anaeróbica o facultativa. A continuación se detalla la clasificación de las lagunas y sus principales características.

#### - Laguna anaeróbica.

En esta etapa se produce una alta degradación de sólidos. Las bacterias que se desarrollan en este medio trabajan sin presencia de oxígeno para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica. Son estanques profundos que en su interior se desarrollan procesos biológicos conducentes a reducir la demanda de oxígeno

(DBO) y los nutrientes que vienen en el efluente. Éstas pueden aceptar altas cantidades de carga orgánica (hasta 20.000 mg/l) y pueden funcionar sin la fotosíntesis de las algas por lo que la penetración de la luz no es importante. El tiempo de detención en estas lagunas fluctúa entre los 20 y 50 días, el cual puede extenderse si la laguna es de descarga discontinua (INIA, MINAGRI. 2005).

El efluente de una laguna anaeróbica, cuya eficiencia puede alcanzar un 70 % de remoción de DBO, puede mostrar aún altos contenidos de DBO para su disposición en cuerpos de agua superficiales. Por otra parte, los sólidos no degradados se acumulan en el fondo, dando lugar a la formación de una capa de lodos. A medida que aumenta el tiempo de almacenamiento de los lodos en las lagunas, su contenido en materia orgánica disminuye debido a la degradación anaerobia a la que están sometidos. Durante un año de operación se estima que el grado de mineralización alcanzado por los lodos en una laguna anaerobia es del 80-85% (Moreno, 1984; Ortuño, 1987; en INIA, MINAGRI. 2005). A medida que el lodo se mineraliza aumenta su compactación y disminuye su volumen. En este tipo de lagunas, una parte de la materia orgánica se reduce a metano ( $\text{CH}_4$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y nitrógeno gas ( $\text{N}_2$ ), y la otra fracción se transforma en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y nitrógeno mineral.

Para esto, el tratamiento anaerobio, como vimos anteriormente, es un proceso que involucra tres estadios:

1. Hidrólisis de materiales complejos en compuestos más simples
2. Producción de ácidos (acidogénesis y acetogénesis) a través de bacterias anaerobias y facultativas
3. Bacterias anaerobias convierten los ácidos en metano (gas) (metanogénesis).

Condiciones óptimas de operación en esta etapa:

- pH: Para que la fermentación ocurra de la mejor forma, el pH debe ser cercano a 7, o entre 6,8 - 7,4 y debe ser medido frecuentemente. Valores inferiores a 6,5 inhiben el desarrollo de bacterias metanogénicas. La causa más frecuente de la disminución del pH en las lagunas anaeróbicas es la alta carga de material orgánico que estimula a las bacterias acidófilas. Para aumentar el pH, se debe agregar cal hidratada si este valor está por debajo de 6,5, hasta que el pH alcance 7 (INIA, MINAGRI. 2005).

- Temperatura: La eficiencia en descomposición de sólidos en las lagunas anaeróbicas es función de la temperatura; por lo tanto, esta eficiencia varía de acuerdo a la ubicación geográfica. Esta debe ser superior a los 15°C, preferentemente mayor a 25 °C (FAO - INTA. 2012). La formación de espuma o costras en superficie es normal en lagunas anaeróbicas, y según algunos autores es beneficiosa porque previene las pérdidas de calor, sobre todo en climas fríos, e impide la liberación de malos olores. El principal inconveniente de estas costras es la posibilidad del desarrollo de insectos, por lo que se debe mantener un control sobre estos (INIA, MINAGRI. 2005).

- Profundidad: la presencia de oxígeno disuelto es muy perjudicial para el proceso de digestión anaeróbico, para esto se recomienda el máximo de profundidad: no menor a 2,4 m, no excediendo los 8 m, siendo 4 a 5 m, las profundidades más comunes. Además, una laguna más profunda mantiene una temperatura más constante y ocupa menor superficie de terreno.

A continuación se resumen las ventajas y desventajas de las lagunas de tratamiento anaeróbico.



Ventajas:

- requieren superficies relativamente pequeñas y por eso son más económicas de implementar para un volumen de tratamiento determinado.
- pueden descomponer más materia orgánica que las lagunas aeróbicas por unidad de tiempo.

Desventajas:

- son sensibles a los cambios repentinos de temperatura y tasas de carga orgánica y, como resultado, producen algunos olores, por lo cual se recomienda que éstas se ubiquen entre 500 m y 1000 m de sitios residenciales y preferiblemente en una posición contraria a la dirección predominante del viento. Sin embargo, los problemas serios de olor raramente se presentan si la laguna está diseñada y operada apropiadamente.
- Las lagunas anaeróbicas funcionan mejor durante el verano y en áreas sin inviernos fríos ya que las temperaturas altas mejoran el proceso de degradación.
- El valor fertilizante de los efluentes de este tipo de lagunas es reducido debido a que, por descomposición, hasta el 60 % del nitrógeno se pierde por volatilización. Por otra parte el 66 % del fósforo y del potasio pueden perderse en los lodos que están en el fondo, aunque estos lodos deben a la larga ser eliminados y son normalmente aplicados al suelo (INIA, MINAGRI. 2005).

- Laguna facultativa.

Son las más comunes y tienen una combinación de bacterias aeróbicas y anaeróbicas. Tienen una profundidad aproximada de entre 2 a 3 metros. Por lo general son aeróbicas durante el día, así como durante algunas horas de la noche. Poseen una región aerobia superficial (estrato superior) donde ocurre fotosíntesis por algas y producción de oxígeno, una zona central facultativa y una región de anaerobiosis en el fondo (estratos inferiores) en donde se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables (lodo). En la parte superior, debido a la baja carga orgánica superficial (proveniente de la etapa anterior) se permite el desarrollo de una población algal activa. Se establece entonces en la laguna una simbiosis entre algas y bacterias, un círculo vicioso en el que las algas sintetizan materia orgánica, liberando oxígeno al medio ambiente, las bacterias heterotróficas se alimentan de la materia orgánica de los desechos, utilizando ese oxígeno para su proceso respiratorio y liberando como subproducto gas carbónico necesario para la fotosíntesis, removiendo así la DBO<sub>5</sub> soluble.

El objetivo esperado en las lagunas facultativas es obtener un líquido de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada degradación de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes (INIA, MINAGRI. 2005).

- Laguna aerobia o de maduración.

Las lagunas aeróbicas son estanques pocos profundos diseñados con el propósito de maximizar la penetración de luz y favorecer el crecimiento de algas, por medio de la acción de la fotosíntesis. Las condiciones aeróbicas (presencia permanente de oxígeno) se mantienen siempre en toda la profundidad de la laguna y los desechos son degradados por microorganismos aeróbicos. El aporte de oxígeno necesario para la degradación se produce por la acción fotosintética de las

algas que conviven en el estanque y por la difusión generada por las turbulencias de la propia laguna.

Para lagunas de tratamiento aeróbico, si bien existe una remoción importante de nutrientes (67 % N, 7 % P y 60 % K) y una disminución de la DBO<sub>5</sub> (77%) y DQO (85 %), los líquidos que se vuelcan a cursos de agua llegan con una alta carga contaminante. Esto queda en evidencia dados los valores finales de DBO<sub>5</sub> (88-640 ppm) y de DQO (550-1300 ppm), superiores a los permitidos en la provincia de Buenos Aires para el vertido de efluentes industriales a cuerpos de agua superficial (50 ppm para DBO<sub>5</sub> y 250 ppm para DQO) (Herrero y Gil, 2008) .

La mayor contribución de esta etapa es la remoción de nitrógeno, fósforo y patógenos. Los principales mecanismos de remoción de patógenos son gobernados por la actividad algal en sinergismo con la foto-oxidación y la separación mecánica (huevos helmintos) (FAO - INTA. 2012).

Este tipo de laguna puede no resultar factible económica y técnicamente para la industria porcina debido a dos razones. El diseño amerita el uso de profundidades tan bajas, que para un volumen dado, implican vastos terrenos para satisfacer la superficie necesaria de la laguna y las altas cargas orgánicas de DBO y sólidos totales de los purines porcinos se traducen en el requerimiento de una alta demanda de oxígeno, la que no es posible de suministrar a través de la fotosíntesis de las algas acuáticas y aún menos cuando se trata de un líquido con alta turbidez que no deja infiltrar la luz necesaria para una óptima fotosíntesis (INIA, MINAGRI. 2005).

Las condiciones óptimas de operación en esta etapa son poca profundidad, de entre 0,5 a 1 metro y gran superficie. Se debe mantener libre de vegetación los terraplenes de las lagunas, para evitar la proliferación de plagas y conservar libre de plantas flotantes la laguna facultativa y la laguna de maduración, de manera de maximizar la tasa de fotosíntesis y la aireación superficial. Cuando se considere necesario, es preciso remover los sólidos acumulados en el fondo de las lagunas (aproximadamente dos veces por año; esto puede variar según el contenido de sólidos en el efluente previo al ingreso al sistema).

- Lagunas aeróbicas aireadas mecánicamente (a través de agitador).

Se crea una alta turbulencia que mantiene todos los sólidos en suspensión y permite una mejor degradación de los mismos. Estas lagunas son más profundas, entre 1,8 y 6 metros y la aireación es mantenida mediante aireadores mecánicos. Dado que se airean en forma mecánica, la superficie necesaria de laguna es menor, los tiempos de detención son más cortos (3 a 10 días) y la carga orgánica capaz de ser degradada es mayor (INIA, MINAGRI. 2005).

La desventaja es que los requerimientos de energía son altos, aunque pueden usarse generadores que utilicen energías alternativas con el objeto de disminuir los costos de operación. La carga orgánica máxima (DBO), que garantiza el buen funcionamiento de lagunas aeróbicas, aeróbicas aireadas y facultativas, no debe superar los 500 mg/l de DBO. Dado que los purines de plantales porcinos presentan valores del orden de los 10.000 mg/l de DBO, éstos tipos de lagunas no serían técnicamente factibles de implementar. No obstante se han presentado sólo con la posibilidad de ser implementas como un tratamiento posterior a un sistema de laguna(s) anaeróbica(s) (INIA, MINAGRI. 2005).

#### Ventajas del tratamiento en lagunas:

- Poseen alta eficiencia para la eliminación de la materia orgánica y el N.
- Reducen del 80 a 85% en los valores de DBO (Millares, 2011).
- Poseen capacidad de adaptación a variaciones bruscas de caudal y de la carga orgánica aplicada, por los elevados tiempos de retención.
- Representan un almacenamiento a largo plazo.
- Presentan la posibilidad de recircular el líquido de la última laguna y utilizarlo para el llenado de fosas.
- No poseen consumo energético.
- Son sistemas simples de operar. La naturaleza no se equivoca, no hay equipos que se dañen, ni complicaciones para lograr el éxito. Su construcción es muy simple, involucrando principalmente las actividades de movimiento de tierra y sellado.
- Poseen bajo costo de operación (solamente mantenimiento). Los costos de operación son muy bajos, comparándolos con los costos de otros sistemas de tratamiento. Este bajo costo hace que muchas veces se considere que el funcionamiento de estos sistemas de tratamiento sean de menor calidad que otros, siendo por lo general tan eficiente como los sistemas artificiales.

#### Desventajas del tratamiento en lagunas:

- La opinión pública las ve como un “depósito abierto de deyecciones”.
- Es necesario un sistema de separación de sólidos (sistema primario) al comienzo de la laguna, a fin de mejorar su eficiencia.
- Requiere un costo inicial alto (obra civil de excavación e impermeabilización del sistema).
- Exigen una cantidad importante de superficie para su construcción (costo del terreno).
- De no ser impermeabilizado correctamente puede correr el riesgo de contaminar (por lixiviación) la napa freática.
- Podrían producir la emisión de gases ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) a la atmósfera.
- Generan una pérdida del valor fertilizante del efluente final
- El hecho que su rendimiento se vea afectado por el clima.
- La producción de malos olores, principalmente cuando se hacen trabajos de mezcla (agitación) y extracción, en lagunas anaeróbicas, por la generación de metano y la volatilización del amonio. De todos modos, esta no produce importantes emisiones de olores de efectuarse con ella un adecuado manejo.

ANEXO 3: Parámetros a tener en cuenta para la localización y el diseño de un sistema de lagunas.

#### **3.1.1.3.3. Tratamiento por Biodigestión.**

Este escenario se presenta como una solución para el tratamiento de purines de alta carga orgánica, la que a pesar de involucrar altos costos económicos de implementación, puede presentarse como una inversión a mediano

plazo por la posibilidad de reducir materia orgánica (en un 50 a 60%), generar energía y obtener abono orgánico. Sin embargo, el reactor anaeróbico no es eficiente en reducir nitrógeno, por lo cual si ese es el elemento limitante, se deberá contar con un sistema adicional de eliminación. Lo que si se logra es una importante reducción de olores (INIA, MINAGRI. 2005).

- Biodigestores anaeróbicos.

Los biodigestores son tanques cerrados dentro de los cuales la materia orgánica es degradada en condiciones anaeróbicas, es decir sin oxígeno, por acción de microorganismos transformándola en metano (biogás), dióxido de carbono y agua (bioabono) (IRG y CNP+L. 2009). Todo proceso de este tipo se lleva a cabo en tres etapas simultáneas que se describieron anteriormente; en la primera de ellas se transforma por hidrólisis compuestos orgánicos complejos (proteínas, grasas, carbohidratos, etc.) en compuestos de menor peso molecular. Los productos de esta etapa son los que sirven de sustrato a las bacterias formadoras de ácidos en la etapa siguiente, en donde se producen ácidos, sales, alcoholes, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). En el último paso, las bacterias transforman estas sustancias en metano y dióxido de carbono (biogás). Este biogás es recuperado y quemado.

Los biodigestores anaeróbicos son, al mismo tiempo, una alternativa que funciona correctamente en la remoción de organismos patógenos. Un estudio realizado por Cruz, Martínez, Naranjo y Sosa (2004) muestra una diferencia significativa para el conteo total de gérmenes aerobios mesófilos viables, gérmenes anaerobios, huevos de helmintos y coliformes fecales, entre la entrada y la salida del residual del biodigestor. El elevado porcentaje de remoción de aerobios mesófilos viables totales en el efluente indicó el buen funcionamiento del digestor desde el punto de vista constructivo y operativo, al mismo tiempo que infiere un exitoso comportamiento de los aspectos microbiológicos y bioquímicos de la fermentación anaerobia.

En los sistemas que cuentan con reactores anaeróbicos, uno de los principales objetivos como vimos anteriormente, es la generación de biogás para su posterior utilización como energía calórica o eléctrica. Con respecto a este punto, las excretas porcinas, por las características omnívoras del cerdo, produce una mayor cantidad de biogás que otros ganados, el cual tiene un alto nivel energético.

El biogás es un combustible cuyo poder calórico es de aproximadamente 5.400 kcal/m<sup>3</sup> o 6,27 kwh/m<sup>3</sup>. Se conforma entre un 50 a 75% de metano, 25 a 45 % de dióxido de carbono y pequeñas trazas de nitrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno y otros (INIA, MINAGRI. 2005). El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano, y normalmente se encuentra alrededor de 20 y 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 a 38 MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural (Monroy y Viniegra, 1990 en Cervantes et al. 2007)

En general, el biogás producido en un proceso anaerobio puede ser utilizado o convertido en la misma forma como otros gases combustibles. De esta forma, a este tipo de tecnologías se le puede incorporar una fase de aprovechamiento de energía. La idea es llevar el flujo de gas a una turbina de electricidad que al funcionar genere, además de la energía eléctrica, el calor

necesario para mantener el sistema en funcionamiento. A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar, mediante combustión directa en estufas simples o para calefacción de pabellones, oficinas u otros. Sin embargo, también puede ser utilizado como reemplazo de la gasolina o el diesel en motores de combustión interna, a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica por medio de un generador. En el caso de los motores a diesel, el biogás puede reemplazar hasta el 80 % del diesel (la baja capacidad de ignición del biogás no permite reemplazar la totalidad de este combustible en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión). Por otra parte, en los motores a gasolina, el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma. En general, en los proyectos a nivel agropecuario se le ha dado preferencia a los motores a diesel considerando que se trata de un motor más resistente y que se encuentra con mayor frecuencia en el medio rural (Cervantes y Yescas, 2004).

Es muy importante que el biogás, cuando es producido se queme, aunque preferiblemente debe ser usado como combustible, porque si se emite hacia la atmósfera será un gas peligroso por el efecto invernadero que produce. Hay actualmente un número de situaciones como éstas en diferentes países, principalmente en el sector industrial de tratamiento de aguas, donde el biogás producido no se usa del todo, o no es usado apropiadamente. Este es el caso particular, donde la producción de energía no ha sido el motivo de la instalación del tratamiento anaerobio. Esto no es únicamente un desperdicio de recursos económicos, también es una amenaza para la estabilidad del medioambiente (Cervantes et al. 2007).

Una estrategia para lograr una mejor digestión de los desechos sólidos es la aplicación de altas temperaturas en el proceso. Las principales ventajas que ofrece la digestión anaerobia termofílica son: una mejor eliminación de patógenos y una velocidad de hidrólisis más alta, lo cual se refleja en una mayor eficiencia en cuanto a la producción de biogás (Ghosh, 1987; Henry, 1987; van Lier, 1995; en Cervantes et al. 2007).

El uso de un biodigestor genera los siguientes beneficios:

- Beneficios Ambientales

- Protección del suelo, del agua, y del aire por la no contaminación por purines y por la sustitución de energías convencionales por energías renovables.
- Permite disminuir la tala de los bosques debido al reemplazo de la leña por el biogás.
- Reduce en un 70 % la carga contaminante que se vierte generalmente a las corrientes superficiales (IRG y CNP+L. 2009).
- Menor producción de lodos que degradación aerobia.
- El líquido obtenido del tratamiento es menos oloroso que el purín.
- Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas. Aunque el nivel de destrucción de patógeno variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85 % de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión (INIA, MINAGRI. 2005).

- Beneficios Económicos

- Transformación de desechos orgánicos (purines) en fertilizante de alta calidad y biogas. Esto puede implicar beneficios económicos a través de la sustitución de fertilizantes y energía (calor, luz, electricidad).
- Reducción en un 70 % en la compra de otros combustibles (IRG y CNP+L. 2009).
- No se requiere aireación; menores costos energéticos.
- Otras ventajas
- Menor sensibilidad a cambios de concentraciones del purín que en degradación aerobia.
- Óptimo funcionamiento con altas cargas orgánicas.

Entre sus principales limitaciones, se puede mencionar:

- Menor eficiencia que otros tratamientos en relación a la eliminación de la DBO. En algunos casos, es necesario realizarle un tratamiento posterior al efluente digerido para poder ser volcado a un cuerpo de agua o utilizado como riego.
- La puesta en marcha puede demorar algunos meses (1-6 meses).
- Lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano
- Altos costos de inversión y mantenimiento (en caso de requerir ser calefaccionado, etc.)
- Sensible a ciertos inhibidores y compuestos tóxicos (ej.:  $O_2$ ,  $H_2O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $H_2S$ ,  $HCN$ ,  $SO_3^-$ ) (INIA, MINAGRI. 2005).
- A menor temperatura ambiental el proceso resulta más lento.
- Debido a las condiciones reductoras del sistema, por acción de reacciones bioquímicas en ausencia de oxígeno, se producen otros compuestos ( $H_2S$ , mercaptanos, ácidos orgánicos y aldehídos) produciendo corrosión y malos olores si no existe un eficiente manejo (INIA, MINAGRI. 2005).
- Si el biogás producido durante el proceso degradativo no es utilizado como fuente energética ni quemado, la emisión del gas metano contribuye al efecto invernadero (FAO - INTA. 2012).

Los tipos de tratamientos anaeróbicos pueden dividirse en dos grandes grupos, dependiendo de cómo se desarrolla el cultivo microbiano: Sistemas con película fija y sistemas con biomasa suspendida. Se entiende como biomasa a la masa biológica o fracción orgánica de un flujo dado.

#### **ANEXO 4: Diseño de un Sistema de Biodigestión Anaeróbica**

##### **3.2. Reutilizaciones del efluente.**

Las excretas porcinas, son un subproducto de la producción ganadera que generalmente se cataloga como residuo. Sin embargo, es un material con numerosos usos entre ellos; fertilizante orgánico, mejorador de suelos, alimento para rumiantes, materia prima para generar energía, insumo en la elaboración de compost y substrato en lombricultura.

La depuración de los purines de cerdo mediante un tratamiento primario o físico-químico genera un material semisólido llamado guano. Mediante los tratamientos secundarios, biológicos o químicos se genera un material llamado

lodo. El no aprovechamiento de estos materiales supone, ante todo, una pérdida de energía del ecosistema y por tanto se debe intentar su recuperación, con el fin de mantener los equilibrios ecológicos generales.

### **3.2.1. Reutilización del guano.**

El sólido separado por tratamientos primarios denominado guano, se puede utilizar directamente como abono usando criterios ambientales tales como pendiente del terreno, exposición al viento y control de escurrimiento superficial, entre otros. No obstante, la estabilización del guano optimiza su calidad como nutriente y permite su uso en agricultura orgánica. La estabilización se consigue a través de la implementación de sistemas de compostaje, solarización o adición de cal (INIA, MINAGRI. 2005). Una vez estabilizado, además de utilizarse como abono orgánico, también puede ser utilizado para alimentación de otras especies animales.

#### **3.2.1.1. Utilización directa como abono.**

Al momento de separar el purín a través de filtros (tratamiento primario), el sólido (guano) tiene aproximadamente  $13 \text{ kg N/m}^3$ , del cual, 33 % es amoniacal. Considerando una pérdida de nitrógeno por almacenamiento (volatilización de la fracción amoniacal) y humedad, la fracción sólida puede llegar a  $8,6 \text{ kg N/m}^3$ , disponible íntegramente en forma orgánica. De esta cantidad, sólo un 40 % está disponible inmediatamente para la planta, por lo tanto, por cada metro cúbico de sólidos, se tienen 3,4 kg de nitrógeno disponible, y 5,1 kg de nitrógeno no disponible inmediatamente (INIA, MINAGRI. 2005).

La fertilización directa con la fracción sólida del purín, dependerá de las necesidades de las plantas respecto al nitrógeno disponible. Si el cultivo es altamente demandante de nitrógeno, como por ejemplo el maíz y algunas praderas, la recomendación agronómica debe ser clara en que se necesita una fuente adicional de nitrógeno (10 a 15 % del requerimiento total), en especial en las primeras etapas fenológicas del cultivo. En cultivos menos exigentes en nitrógeno disponible, todo el nitrógeno puede adicionarse a partir de la fracción sólida (INIA, MINAGRI. 2005).

#### **3.2.1.2. Compostaje.**

Anteriormente se mencionó la posibilidad de fertilizar directamente con guano, debido a su contenido de nutrientes. Sin embargo, existe una forma de estabilizar los desechos orgánicos para su posterior utilización como fertilizante. Este proceso, que consiste en la descomposición de la materia orgánica lábil hasta alcanzar su forma más estable, se conoce como compostaje.

El “Manual de Buenas Prácticas Pecuarias para la producción y comercialización porcina familiar” (FAO - INTA. 2012) define como compostaje a “la descomposición aeróbica y estabilización biológica de substratos orgánicos,

bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas como resultado del calor producido biológicamente, para producir un producto final estable (humus), libre de patógenos y semillas, y que puede ser aplicado de forma beneficiosa al suelo”. En este proceso, los responsables de la degradación de la materia orgánica son los microorganismos nativos, bacterias, hongos y actinomicetes.

El objeto del proceso del compost es lograr la estabilización definitiva del guano, reduciendo el volumen entre un 70 y 80% del volumen inicial de los residuos por separado. El producto final es un material estable, con baja temperatura, color café oscuro, olor a tierra y que no atrae vectores, puesto que por efecto del proceso de compostaje, el compost se higieniza y se sanitiza (POCH AMBIENTAL S.A. 2005).

Es un proceso natural, reforzado y acelerado por la mezcla de desechos orgánicos con otros ingredientes de una manera predeterminada para un crecimiento microbiano óptimo (INIA, MINAGRI. 2005). Para compostar excretas de cerdo o demás residuos generados en el proceso de producción porcina es necesario añadir un sustrato sólido rico en carbono que permita alcanzar la relación carbono nitrógeno adecuada y que actúe como agente estructurante.

El fundamento de inocuidad del compost generado, se basa en el hecho que su origen es netamente orgánico y está formado principalmente de microorganismos muertos y sólidos orgánicos estabilizados, siendo un producto que principalmente por las altas temperaturas que sufre en su proceso de estabilización, logra una higienización (IRG y CNP+L. 2009).

El no aprovechamiento del compost supone, ante todo, una pérdida de energía de nuestro ecosistema y por tanto se debe intentar su recuperación, con el fin de mantener los equilibrios ecológicos generales. Por otra parte, los suelos cultivados generalmente presentan un déficit considerable de materia orgánica, acrecentado en los últimos años por el manejo irracional a que han sido sometidos muchos de ellos, lo que lleva consigo una creciente necesidad de abordar de modo científico esta situación. Es por eso que se debe considerar el aporte significativo de nutrientes que se logra a través de la incorporación de compost al suelo. En este sentido, es importante destacar que la utilización de este material, provocaría efectos positivos a los ecosistemas sobre las cuales se realice la aplicación.

- Etapas del proceso de compostaje:

En este tratamiento se pueden diferenciar dos etapas: descomposición y maduración.

1) Etapa de descomposición

La descomposición es un proceso de simplificación donde las moléculas complejas se degradan a moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas. Esta etapa se compone de dos fases: una mesófila con temperaturas hasta los 45 °C que es el tiempo de crecimiento y aclimatación de los microorganismos y suele durar entre 2 y 4 días, y una termófila con temperaturas que pueden llegar a los 70 °C originado por un proceso exotérmico debido a la actividad biológica (FAO - INTA. 2012). En esta fase se produce la sustitución de los microorganismos iniciales por otros que se adecuan a condiciones térmicas entre los 50 °C y 70 °C (termófilos). Este periodo es muy importante ya que, al alcanzarse temperaturas



tan elevadas, se consigue uno de los objetivos principales del compostaje: eliminar los microorganismos patógenos (coliformes, *Salmonella spp*, *Streptococcus spp*, *Aspergillus spp*.) y las semillas de malezas con lo que se asegura la inocuidad del producto final (FAO - INTA. 2012). La mayor parte de la materia orgánica se oxida, con lo que la masa se estabiliza, se pierde humedad y se libera dióxido de carbono.

## 2) Etapa de maduración

En la etapa de maduración se pueden diferenciar dos etapas, una de enfriamiento y otra de estabilización. La primera etapa se desarrolla con temperaturas menos elevadas (menores a 40 °C). La etapa de la estabilización se desarrolla a temperatura ambiente y se caracteriza por una baja actividad microbiana debido a la aparición de organismos superiores. Es un proceso de oxidación final y estabilización del compost. Los microorganismos termófilos disminuyen su actividad dando paso a la proliferación de otros, como los hongos, que continúan el proceso de descomposición: los basidiomicetos, que van degradando la lignina; los actinomicetos, que descomponen la celulosa; etc. En esta fase, a partir de los componentes orgánicos se sintetizan coloides húmicos, hormonas, vitaminas, antibióticos naturales y otros compuestos que favorecen el desarrollo vegetal.

Durante esta etapa no es necesario un sistema de aireación ni una elevada frecuencia de volteo, ya que la actividad biológica es mucho más estable y los requerimientos de oxígeno son inferiores a los de la etapa de descomposición. El espacio también es mucho menor debido a la reducción de peso y volumen que se da en la fase de descomposición (50 % aproximadamente) (POCH AMBIENTAL S.A. 2005).

De lo anterior, se resume que la estabilización y sanitización que se consigue en el proceso de compostaje, se realizará primero a través de la fuerte disminución de la actividad biológica hacia el final del proceso, con lo que el producto no continúa cambiando, no emite olores y no es atractivo para vectores. La higienización en tanto, se logra con temperaturas termofílicas (> 55 °C) por un periodo mayor a 2 semanas y reduce a niveles inocuos la presencia de microorganismos patógenos, diferentes estados de insectos y propágulos de malezas.

- Condiciones que se deben cumplir para conseguir un compostaje efectivo:

- Aireación: La presencia de oxígeno es imprescindible para que se desarrolle el proceso en condiciones aerobias. Si la aireación es deficiente se retrasa la fermentación aeróbica y origina procesos de fermentación anaerobia, con sensibles pérdidas de N y C, malos olores y bajas temperaturas (GITEP, 2006). La aireación también permite regular la humedad y la temperatura. Durante todo el proceso de descomposición de la materia orgánica, el oxígeno debe ser repuesto para favorecer la degradación de la misma. La provisión de oxígeno en caso de ser necesario, se puede producir por diferentes sistemas de aireación (FAO - INTA. 2012).

- Porosidad en la masa: Si el residuo carece de porosidad debe ser acondicionado con material estructurante, ya que es importante operar en condiciones de trabajo

que faciliten la existencia de poros (con diferentes tamaños) y que éstos estén ocupados equilibradamente por aire y agua.

- **Temperatura:** es la primera información de que el proceso de descomposición se ha iniciado, y por lo tanto es un indicador de su funcionamiento. Los cambios de temperatura durante la evolución del proceso proporcionan información directa del correcto funcionamiento del mismo. Se considera que la mayor diversidad microbiana se consigue entre 35 y 40 °C, la máxima biodegradación entre 45 y 55 °C y la higienización cuando se superan los 55 °C (temperaturas altas aseguran la eliminación de los patógenos) (FAO - INTA. 2012).

- **Humedad:** La descomposición aeróbica puede producirse con contenidos de humedad variable siempre que se airee adecuadamente. Si la humedad es máxima habrá menos oxígeno y serán necesarias remociones más frecuentes. Si los residuos están muy secos, los microorganismos no pueden metabolizar adecuadamente y los procesos de descomposición se interrumpen. El contenido de agua del material a compostar es muy importante ya que los microorganismos sólo pueden utilizar las moléculas orgánicas si están disueltas en agua. Además, el agua favorece la migración y colonización microbiana. El porcentaje de humedad no debería ser inferior al 50% (GITEP, 2006). Siendo óptimo que cuente con un 25-35% de materia seca (IRG y CNP+L. 2009).

- **pH:** es un parámetro que condiciona la presencia de microorganismos, ya que los valores extremos son perjudiciales para determinados grupos. Para conseguir que al inicio del compostaje la población microbiana sea la más variada posible hay que trabajar a pH cercanos a 7. El pH es indicador de la evolución del proceso. Así, en el inicio, el pH puede disminuir debido a la formación de ácidos libres, pero a lo largo del proceso aumenta por el amoníaco desprendido en la descomposición de las proteínas (FAO - INTA. 2012).

- **Relación carbono-nitrógeno:** para que el proceso de compostaje se desarrolle correctamente es importante conseguir un equilibrio entre los diferentes nutrientes, especialmente entre el nitrógeno (N) y el carbono (C). Estos dos elementos deben encontrarse en una proporción adecuada, para evitar que el proceso sea más lento en el caso de relación carbono/nitrógeno alta, o para evitar la pérdida de nitrógeno cuando la relación es baja. Los materiales de origen vegetal seco, pajas, hojas secas, virutas, etc. aportan alto carbono y los materiales de origen animal aportan el nitrógeno (GITEP, 2006).

La relación C/N de un residuo se puede ajustar mezclando éste con otro residuo de características complementarias. Es importante tener en cuenta la relación C/N realmente disponible para los microorganismos. El nitrógeno es el elemento más difícil de conservar ya que se pierde por lavado en forma de nitratos, desnitrificación como nitrógeno gaseoso y por volatilización en forma de amoníaco. Se estima como relación C/N óptima valores entre 25 y 35 al inicio, pues se considera que los microorganismos utilizan de 15 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno (FAO - INTA. 2012).

- **Estabilidad y madurez de compost:** Un compost inmaduro y sin estabilizar puede provocar muchos problemas durante su almacenaje, distribución y uso. En la práctica se le llama compost maduro a un material térmicamente estabilizado, lo cual no implica necesariamente una estabilización biológica. El concepto de estabilidad biológica del compost se entiende como la tasa o grado de descomposición de la materia orgánica, lo cual se puede considerar en función de

la actividad microbiológica. Se puede definir el grado de madurez como sinónimo únicamente de ausencia de fitotoxicidad en el producto final, producido por determinados compuestos orgánicos fitotóxicos (amoníaco, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos hidrosolubles), que se forman durante la etapa activa del compostaje (FAO - INTA. 2012).

- Pasos en el proceso del compostaje.

Inicialmente se depositarán los guanos recibidos, formando una pila de compostaje. Se estima que cada pila tendrá un ancho aproximado de 2 a 3 metros por 1,5 metros de alto, y cada una podrá tener hasta 100 metros de largo. En cada pila se depositará el guano recibido, y, en caso de ser necesario, se lo mezclará con lodos obtenidos de tratamientos secundarios, de tal forma que se alcance una relación óptima de Carbono/Nitrógeno, siendo la relación ideal entre 23:1 a 35:1. El volteo de las pilas de compost se realizará por lo menos una vez a la semana al inicio del proceso de compostaje, manteniendo de este modo las condiciones aeróbicas, y controlar la temperatura y evitar generación de olores. Las pilas se regarán de acuerdo a necesidad determinada por el personal encargado de la cancha, de modo de mantener la humedad entre un 40 y un 50%, pareja en toda la pila, sin lixiviados, para no percolar el suelo ni dañar el producto. Si hubiera exceso o falta de humedad, el proceso de compostación se detiene para recuperar nuevamente las condiciones de operación. Con el volteo del material se reduce el tamaño de los “terrones”, aumentando de este modo la superficie de evaporación (IRG y CNP+L. 2009).

- Los métodos para compostaje se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Pilas estáticas con aireación pasiva. Se da cuando la mezcla tiene una porosidad y una estructura que favorece el intercambio gaseoso. Para garantizar el suministro de oxígeno, se pueden incorporar tubos que atraviesen el montón de forma horizontal o vertical.
- Pilas estáticas con aireación forzada. Se acelera la actividad microbiana mediante un sistema de tuberías combinado con un suelo poroso sobre el que se asienta la masa.  
Este método consiste en mezclar el material de compostaje y apilar la mezcla, donde el aire es arrastrado o forzado. El exterior de esta pila generalmente se aísla con abono terminado u otro material. Las dimensiones de esta pila estática están limitadas por la cantidad de aire que puede ser proporcionada por los sopladores y las características del material apilado. Los sistemas de aireación forzados, se implementan por succión (vacío), o por medio de las cañerías perforadas a través de presión positiva (forzado) (INIA, MINAGRI. 2005).
- Hileras con agitación mecánica. En este caso, el compost se distribuye en montones de mayor longitud, y con un sistema de volteo, se airea y homogeniza. Este método consiste en apilar el material a compostar en montones largos y estrechos. Para mantener una condición aeróbica, la mezcla de este material debe voltearse periódicamente. Esto expone el material a las condiciones ambientales e impide el aumento de la temperatura.
- Reactores o silos. Combinan la aireación forzada y la agitación mecánica.

- Las principales ventajas del compostaje son:

- La obtención de un material sólido más fácilmente manejable y transportable ya que reduce el peso, el volumen, el contenido de humedad y la actividad del material inicial.
- Higienizado: La fase termófila del proceso del compostaje, elimina patógenos permitiendo la utilización del compost como abono orgánico.
- Disminuye los riesgos de contaminación por nitratos y emanación de olores por la transformación del nitrógeno amoniacal en nitrógeno orgánico y nítrico
- La obtención de una enmienda que puede ser utilizada para mejoramiento de suelo, logrando que el producto obtenido tenga un mayor valor agronómico.
- Es un método económico: Requiere de poca a nula instalación (solo la utilización de escasa mano de obra para el mantenimiento) (FAO - INTA. 2012).
- Es un producto comercializable: Una de las características más atractivas del compostaje es que existe un amplio mercado para el producto, compuesto principalmente de empresas de agricultura orgánica (INIA, MINAGRI. 2005).

-Desventajas del compostaje:

- La disponibilidad y costo del sustrato (IRG y CNP+L. 2009).
- Si el material es utilizado en el suelo sin que aún se encuentre estable y maduro, se corre el riesgo de contaminación (físicoquímica y biológica).
- La necesidad de espacios extensos y la posibilidad de pérdidas de nitrógeno a la atmósfera en forma de amoníaco si la relación carbono-nitrógeno es baja (IRG y CNP+L. 2009).

- Ventajas de la aplicación de compost como mejorador de suelos:

El compost puede ser utilizado directamente como sustrato o bien como acondicionador del suelo, mejorando las condiciones químicas y biológicas de éste. Tiene un gran potencial como enmienda orgánica o restituidor de materia orgánica en el suelo, ya que la presencia de ésta en proporciones adecuadas es fundamental para asegurar la fertilidad del suelo. Además, la materia orgánica produce en el suelo una serie de efectos de recuperación agro-biológica. Las propiedades del compost, después de su incorporación al suelo, se acercan a la del humus, cumpliendo las siguientes funciones:

- Disminuye la compactación, facilita el laboreo del suelo, mejora la estructura y estabilidad de los suelos.
- Aumenta la capacidad de retención hídrica.
- Provee elementos nutritivos mejorando la fertilidad.
- Estimula la actividad microbiana.
- Favorece la formación de humus y complejos arcillo-húmicos.
- Aumenta la resistencia de las plantas a enfermedades.

### **3.2.1.3. Fuente de alimentación directa para otras especies animales.**

Uno de los aspectos que concita interés en las explotaciones porcinas es la posibilidad de utilizar la excreta o el guano en la alimentación de rumiantes. La excreta se presenta como una alternativa potencial a la integración vertical de

sistemas de producción animal, reduciendo la contaminación producida por la acumulación de éstos desechos en las granjas porcinas.

Independientemente de las estrategias de procesamiento y/o recolección de la excreta, su composición química y valor nutricional la ubican como un material similar a subproductos del procesamiento agroindustrial de cereales con elevado contenido de nitrógeno. Un trabajo realizado por Gonzalo Rojas y Álvaro Ojeda (2002) indica que la cerdaza puede ser incorporada a raciones de vacunos de ceba confinados sustituyendo hasta un 30% de subproductos del procesamiento agroindustrial de cereales (afrechillo de trigo) con elevado contenido de nitrógeno, sin generar diferencias en la respuesta animal en términos de ganancia de peso vivo ( $0,958 \pm 0,06$  kg/animal/día), con consumos de  $14,1 \pm 1,4$  kg MS/animal.

La composición química del guano se caracteriza porque tienen un alto contenido de proteína cruda, fibra cruda, cenizas, y valores bajos de extractos etéreos. La excreta porcina tienen entre un 5 y 30 % de la energía requerida por el animal en la dieta, y esta fracción nutritiva tiene una alta digestibilidad (Henning y Flachowsky, 1982 en INIA, MINAGRI. 2005). Dada su condición de monogástrico, el cerdo concentra en las excretas altos niveles de pared celular (44,6%), lignocelulosa (24,3%), lignina (4,9%), celulosa (16,9%), y hemicelulosa (20,3 %) (Hillard, 1977 en INIA, MINAGRI. 2005). El contenido de fibra dietaria expresado como pared celular, tiene alrededor del 50 % del total de materia seca, el que resulta similar al encontrado en un heno de alfalfa de buena calidad. Del estudio de los valores correspondientes a las fracciones de FND (Fibra Detergente Neutro) ( $65,8 \pm 9,5$  %) y FAD (Fibra Detergente Ácido) ( $35,4 \pm 6,8$  %), se desprende que estos son similares a los citados para pastos tropicales de mediana a baja calidad nutricional, aunque muestran una relación celulosa : lignina inferior al nivel frecuentemente alcanzado por estos mismos pastos (Rojas y Ojeda, 2002).

El contenido de minerales se presenta elevado ( $12 \pm 5,6\%$ ), con una buena participación del calcio y fósforo, lo que sitúa a las excretas como una importante fuente de estos elementos. A pesar de la alta variabilidad, los contenidos de cobre ( $276 \pm 136,8$  ppm) y hierro ( $2738 \pm 1236,5$  ppm) están por encima de los niveles considerados como máximos permitidos en raciones para bovinos de carne, identificados en 115 ppm y 1000 ppm para cobre y hierro, respectivamente. La relación nitrógeno: azufre es de 6,4:1, siendo inferior al 12:1 requerido por bovinos de carne para una eficiente síntesis de proteína microbiana (Rojas y Ojeda, 2002).

El guano de cerdos contiene también otros elementos, como plomo, cadmio y arsénico, los cuales estarían en niveles levemente superiores a los presentes en forrajes verdes y que eventualmente pueden llegar a ser nocivos. Por otra parte se ha determinado la presencia en excretas de grandes cantidades de vitamina A, y del complejo vitamínico B (Henning y Flachowsky, 1982 en INIA, MINAGRI. 2005).

Una de sus principales ventajas como insumo alimenticio es que permite reducir el costo de alimentación con la consecuente disminución de los costos de producción, incrementando el margen al productor.

### 3.2.2. Reutilización de los lodos.

Los lodos se generan en sistemas de tratamiento de purines con lagunas anaeróbicas o con reactores anaeróbicos de película fija. Estos lodos presentan una densidad entre  $1060 \text{ kg/m}^3$  y  $1300 \text{ kg/m}^3$ , con una humedad entre 80 y 94 %, formando un material semilíquido que no puede ser quemado por los altos costos energéticos que involucra volatilizar su humedad, y que no se puede enterrar ya que podría percolar hacia el nivel freático. Además contiene una alta concentración de carga orgánica (DBO) y de nutrientes (sobre todo N), por lo que se hace indispensable un sistema para su estabilización (INIA, MINAGRI. 2005).

La estabilización es un proceso químico o biológico en el cual las sustancias orgánicas son oxidadas a materia inorgánica y los organismos patógenos se eliminan, disminuyendo así, la generación de olores y vectores (INIA, MINAGRI. 2005). Es por ello que el lodo debe ser estabilizado para disponerlo de forma segura en el suelo o para su reutilización. Las alternativas de estabilización requieren diferentes grados de inversión y variarán en complejidad.

A continuación se muestran diferentes sistemas de estabilización del lodo:

#### - Solarización

La solarización es un proceso de secado natural sobre una matriz de drenaje de arena, pavimento o membranas flexibles, llamada “eras de secado”. Las canchas constan de poca profundidad en donde los lodos se disponen para que drenen y se evaporen reduciendo así la humedad del material. La energía para aumentar la temperatura del lodo es de origen solar. Las canchas presentan un sistema de captación del líquido percolado a través de pozos o tuberías de drenaje subterráneo, donde el líquido es elevado con bombas para disponerlo nuevamente en la superficie de la cancha o bien aplicarlo al suelo.

El proceso de secado debe comprender un tiempo mínimo de tres meses con una temperatura ambiente superior a  $0^\circ\text{C}$  y una cubierta que desvíe las aguas de lluvias para evitar el aumento de la humedad en el lodo (INIA, MINAGRI. 2005).

#### - Estabilización con cal

El objetivo de esta práctica es la reducción de la presencia de patógenos, la eliminación de olores desagradables y la inhibición de su putrefacción; además de lograr una precipitación de los lodos (logrando separar gran cantidad de los sólidos y así obtener un efluente líquido con menor carga orgánica). La estabilización alcalina ha mostrado alta eficiencia en la remoción de huevos de helmintos. Se basa en la creación de condiciones fisicoquímicas capaces de inhibir el proceso de degradación biológico de la materia orgánica contenida en el efluente. Este procedimiento no reduce volúmenes ni el contenido de materia orgánica, solamente afecta la proliferación microbiana.

El procedimiento consiste en el agregado de cal viva ( $\text{CaO}$ ) o cal hidratada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) (material alcalino utilizado) para lograr mantener el pH por encima de 11,5 (2 dos horas como mínimo) lo cual crea el ambiente propicio para evitar la proliferación de microorganismos (FAO - INTA. 2012).

Ventajas:

- Requiere poca inversión.
- Se obtiene un lodo que puede ser utilizado para encalar suelos.

- Se logra obtener un efluente líquido con menor contenido de sólidos y materia orgánica.
- Se elimina la proliferación de olores y plagas.

Desventajas:

- Si no se asegura el mantenimiento del pH puede no lograrse la estabilización biológica, provocando la putrefacción de los barros, con la consiguiente utilización de barros no estabilizados biológicamente en suelos agrícolas.

Los lodos, sin estabilizarse, pueden ser:

- Utilizados en mezcla con compostaje de guano: Al compostaje de guano se le puede aplicar lodo como una forma de agregar humedad y nutrientes a la mezcla. Si se aplica el método de compostaje con pilas no aireadas, la temperatura de los lodos debe mantenerse a 55 °C o más, por un período a lo menos de 15 días. Durante dicho período, las pilas deben ser volteadas un mínimo de cinco veces. Usando el método de compostaje no confinado o pilas aireadas estáticas, la temperatura mínima de los lodos será de 40 °C por 5 días (INIA, MINAGRI. 2005).

Los lodos, una vez estabilizados, pueden ser:

- Aplicados como alimentación para otras especies: El lodo estabilizado puede mezclarse con el guano para servir como alimento directo para animales rumiantes siempre que las condiciones sanitarias del material lo permitan.
- Aplicados al suelo en terrenos agrícolas o forestales como fertilizante, y/o recuperador de suelos.

### **3.2.2.1. Aplicación de lodos en la agricultura.**

Los lodos originarios de purines porcinos se catalogan como lodos no peligrosos, ya que no presentan ninguna característica de toxicidad, reactividad, inflamabilidad o corrosividad.

No obstante, es obligatorio realizar análisis de coliformes fecales para asegurar estar bajo la concentración de 1.000NMP (Número Más Probable) por gramo de lodo en base seca, si se quiere abonar predios con cultivos que crezcan a ras de piso y se consuman crudos. Las restricciones territoriales del uso de lodos estabilizados en la agricultura son el no aplicar en suelos saturados con agua durante algún período del año o cuya napa freática se encuentre a menos de 1 metro de profundidad o en suelos cubiertos con nieve. La aplicación de lodos, su forma, tasa y oportunidad, debe estar orientado en base a los criterios sanitarios y agronómicos (contenido de nutrientes requeridos por los cultivos, principalmente nitrógeno y carbono) dados por las características de la explotación porcina y del terreno/suelo de cada predio (INIA, MINAGRI. 2005).

- Ventajas de la aplicación de lodos como mejorador de suelos

Los beneficios para el rendimiento de los cultivos y la calidad de los suelos de utilizar abonos orgánicos en sistemas de rotación, cuentan con el apoyo de la experiencia de muchos agricultores.

Las propiedades de los lodos, después de su incorporación al suelo, se acercan a la del humus, cumpliendo las siguientes funciones:

- Aporte de materia orgánica: que mejora la labranza, la estructura y estabilidad del suelo, la permeabilidad, y la capacidad de retención hídrica. Todo ello hace que disminuya la erosión del suelo y que, en algunos casos se use lodo como acondicionador.
- Aumenta la diversidad biológica de los suelos, estimulando la actividad microbiana (Millares, 2011).
- Favorece la formación de humus y complejos arcillo-húmicos.
- Contiene cantidades importantes de nutrientes esenciales; tanto los principales nutrientes de las plantas, N, P, como también nutrientes menores como Mg, S.
- Es favorable económicamente por la posible reducción en la compra de fertilizantes: Ahorro financiero, menor dependencia de fuentes externas y puede evitar problemas de inestabilidad de precios.

### **3.2.3. Reutilización del efluente líquido tratado.**

Como se explicó anteriormente, como resultado de tratamientos primarios y secundarios, se generan aguas residuales, con una carga contaminante inferior al efluente generado inicialmente que pueden ser reutilizados para diversos fines como son el lavado de instalaciones, o como agua para riego. Cuando se trata de utilización para uso público o ambiental (corrientes de agua con ecosistemas vivos) es necesario un tratamiento terciario para oxigenar el agua a un nivel que mantenga vida animal (peces y anfibios). Las lagunas de aireación son el bioproceso más recomendado.

#### **3.2.3.1. Utilización de aguas tratadas para riego.**

El riego puede ser definido como la aplicación de agua al suelo con el objetivo de proporcionar la humedad necesaria para el crecimiento de las plantas. Si la aplicación se va a realizar en un lugar aislado y a cultivos que no crecen a ras de piso y que no se consuman crudos, el nivel mínimo de pretratamiento es un tratamiento primario como la filtración gruesa de los sólidos que proporciona el nivel óptimo para la aplicación de efluentes al suelo y al mismo tiempo impiden obstrucciones en los sistemas de distribución. Pero si se van a regar cultivos de consumo humano, se puede emplear adicionalmente al tratamiento primario un tratamiento biológico. Las lagunas son particularmente efectivas para la remoción de coliformes fecales y nitrógeno, lo cual las convierte en soluciones de preaplicación adecuada para muchos sistemas donde el nitrógeno es el factor limitante de diseño (INIA, MINAGRI. 2005).

Para realizar la reutilización de los efluentes de cerdos previamente tratados, es importante tener en cuenta las propiedades del suelo (grado de dispersión de las partículas, la estabilidad de los agregados, su estructura y su permeabilidad), las características fisicoquímicas, microbiológicas y parasitológicas del agua y las características del cultivo utilizado (FAO-INTA, 2012). Algunos de los parámetros a tener en cuenta, se describen a continuación:



- El balance de nutrientes

Los nutrientes en las aguas residuales recuperadas actúan como fertilizantes en la producción de cultivos y espacios verdes. Sin embargo, en algunos casos en los que su contenido excede la demanda de las plantas, puede provocar problemas. Por ejemplo, para el caso del nitrógeno, un exceso de este elemento durante la última etapa de crecimiento, puede resultar negativo para muchos cultivos, provocando un excesivo crecimiento vegetativo, madurez retrasada o no uniforme o un descenso en la calidad del cultivo. También el exceso de nitrógeno puede provocar la lixiviación de este compuesto a las napas de agua subterráneas (FAO-INTA, 2012). Por todo esto, si lo que se persigue es reutilizar el agua tratada dentro de las mismas granjas, esto podría ser factible mediante la eliminación de los nutrientes remanentes (N y P) mediante un post tratamiento.

Para lograr un correcto uso de las aguas residuales, se recomienda realizar los análisis correspondientes, tanto del agua como de los requerimientos del suelo, para así evitar posibles errores en su uso.

Algunos de los aspectos a tener en cuenta a la hora de reutilizar el agua para riego son:

- La calidad microbiológica del agua.

Uno de los requisitos fundamentales para que los sistemas de tratamiento de residuales sean sistemas totalmente efectivos en el control de la contaminación ambiental, es que los residuales tratados cumplan con los parámetros microbiológicos establecidos internacionalmente. Los criterios de calidad sugeridos para el uso inocuo de las aguas residuales en agricultura establecen que las aguas residuales tratadas contengan menos de 1000 ufc/ml de coliformes fecales y menos de 1 huevo viable de nematodos intestinales por litro para su uso en agricultura (Strauss, 1985; Cairncross y Mara, 1990 en Cruz et al., 2004). Los criterios microbiológicos internacionales establecidos en cuanto a huevos de helmintos para el empleo de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura, consideran que residuales orgánicos con valores iguales o inferiores a 1 huevo/l no constituyen un riesgo efectivo para la salud pública (Cairncross y Mara 1990 en Cruz et al, 2004).

- La salinidad del agua.

La salinidad del agua se determina mediante un parámetro llamado conductividad eléctrica (CE) y es una de las características mas importantes en el momento de determinar la aptitud de un agua para riego. La CE se expresa en mmho/cm o decisiemens por metro (dS/m). La CE también se utiliza como medida indirecta de la concentración de sólidos disueltos totales (TDS). Los TDS se expresan como mg/l.

La presencia de sales afecta el crecimiento vegetal de las plantas por tres mecanismos:

- Efectos osmóticos provocados por la concentración de sales en el agua del suelo.
- Toxicidad de iones específicos. Causada por la concentración de un determinado ion. Dentro de los principales causantes de este fenómeno se pueden mencionar al sodio, el cloro, el cobre, el hierro y el boro, entre otros.

- La dispersión de las partículas del suelo. Provocada por la presencia importante de sodio y por una baja salinidad. Cuanto mayor es la salinidad del suelo en la zona radicular, mayor es la cantidad de energía que deben consumir las plantas para ajustar la concentración de sales en el interior del tejido vegetal (ajuste osmótico) para conseguir el agua necesaria del suelo. Por lo tanto, hay menos energía disponible para el crecimiento de la planta (FAO-INTA, 2012).

- El contenido de Sodio del agua.

El deterioro de las condiciones físicas del suelo (incrustaciones, acumulación de agua, reducción de la permeabilidad) es otro efecto indirecto de una alta concentración de sodio en el agua utilizada para riego. Debido al deterioro de sus condiciones físicas, el suelo puede disminuir la velocidad de infiltración, lo cual provoca que no sea posible suministrar a la vegetación las cantidades de agua necesarias para un crecimiento adecuado. El problema de la infiltración de agua se desarrolla en los primeros centímetros del suelo, y suele estar relacionado con la estabilidad estructural de la capa superficial. Para poder determinar posibles problemas de infiltración, se puede utilizar la tasa de absorción de sodio (RAS):  $RAS = Na\sqrt{(Ca + Mg)/2}$ . Donde la concentración de cationes se expresa en meq/l (FAO-INTA, 2012).

- Sistemas de riego

Para implementar el sistema de riego, se podrán instalar bombas con capacidad necesaria para evacuar los efluentes. Los efluentes son conducidos hacia las áreas de riego, por cañerías, de forma tal que ésta se disemine directamente a cada surco de riego. En el caso del riego de cultivos y praderas anuales, éste se puede desarrollar por aspersión o por surcos, y en caso de frutales o viñas, puede ser por goteo (POCH AMBIENTAL S.A. 2005).

#### 4. Legislaciones vigentes.

En Argentina existen diferentes normativas generales que, por carencia de normativas específicas, se aplican a las actividades ganaderas intensivas. Existen provincias que han empezado a trabajar en normativas para explotaciones intensivas como Córdoba, Entre Ríos, Buenos Aires, no obstante no hay normativas específicas que regulen lo referente a cada situación.

A continuación se describe brevemente la legislación existente en materia de protección ambiental.

##### 4.1. Nacionales.

- Artículo 41 de la Constitución Nacional: garantiza que todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y que tienen el deber de preservarlo. También indica que las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.
- "Ley General del Ambiente" (Ley N° 25675; 2002): brinda presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.
- "Régimen de Gestión Ambiental de Aguas" (Ley N° 25688; 2002), que establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional, regula sobre el vertido de sustancias en aguas superficiales, y que además propone determinar los límites máximos de contaminación aceptables para los distintos usos.
- "Gestión Integral de Residuos Industriales" (Ley N° 25612; 2002), establece los requisitos para la generación, tratamiento y disposición final de los residuos con lo cual podrían considerarse a las explotaciones ganaderas.
- "Ley de Residuos Peligrosos" (Ley N° 24051; 1992) y Decreto reglamentario 831/93. Si bien aborda las cuestiones generales referidas a la contaminación ambiental, establece los niveles guía que se pueden encontrar en diferentes recursos naturales, por ejemplo el agua y sus usos.
- Para el caso de la calidad del agua se considera el "Código Alimentario Argentino", que establece los criterios para agua potable (Capítulo XII). Artículo 982 - (Res. MSyAS N° 494/94)

##### 4.2. Provinciales.

Buenos Aires

- Ley N° 11723 del Ambiente

- Ley N° 10510 Regula el funcionamiento de los establecimientos dedicados a la cría, acopio y/o comercialización de porcinos y decreto reglamentario N° 4933/89
- Ley N° 5965 Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera y su resolución N° 236/03 límites de descarga admisibles.
- Código de Aguas (1999). Establece el régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires.

#### Córdoba

- Ley N° 7343 Ley General del Ambiente. Y sus decretos N° 3290 y N° 2131/00
- Decreto N° 2068. Resolución N° 259. Programa de Producción agropecuaria Sustentable.
- Ley N° 9306/06 regulación de los sistemas intensivos y concentrados de producción animal (SICPA).
- Decreto N° 415/99 Normas para la protección de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la Provincia.

#### Santa Fe

- Ley N° 11717 Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (Art. 18 a 21)

#### Entre Ríos

- Ley N° 6260 y Decreto N° 5837/91.
- Ley N° 9092

#### Corrientes

- Ley N° 4731 Medioambiente. Preservación, conservación y defensa.
- Ley N° 5067 De Evaluación del Impacto Ambiental.

#### Misiones

- Ley N° 3079 Medio Ambiente. Impacto Ambiental. Evaluación.

#### Chaco

- Ley N° 3964 Principios rectores para la preservación, recuperación, conservación, defensa y mejoramiento ambiental.

#### Formosa

- Ley N° 1060 Ecología. Política ecológica y ambiental.

#### Santiago del Estero

- Ley N° 2342 Medio Ambiente. Efectos degradativos del medio ambiente.

#### Tucumán

- Ley N° 6253 Medio Ambiente. Defensa, conservación y mejoramiento del ambiente. Régimen. Capítulo II: Del Impacto Ambiental
- Decreto N° 2204 Medio ambiente. Evaluación del impacto ambiental. Régimen.

#### Salta

- Ley N° 6986 Ley de Medio Ambiente. Título III: Disposiciones Orgánicas, Capítulo VI: Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental.

#### San Juan

- Ley N° 6571 Medio Ambiente. Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley N° 6634 Ley general del ambiente.

#### Mendoza

- Ley N° 5961 Medio Ambiente. Preservación del ambiente.

#### La Pampa

- Ley N° 1914 Ley Ambiental Provincial

#### Neuquén

- Ley N° 1875 Ley sobre preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente.
- Decreto N° 2109 Preservación, conservación, defensa y mejoramiento del Ambiente. Reglamentación, reglamenta la Ley N° 1875.
- Decreto N° 1131 Crea el Comité Provincial del Medio Ambiente

#### Río Negro

- Constitución: Art. 84, inc. 4
- Ley N° 2342 Medio Ambiente. Efectos degradativos del medio ambiente.

#### Chubut

- Ley N° 4032 Evaluación de impacto ambiental a todos los proyectos consistentes en realización de obras, instalaciones o cualquier otra actividad.

#### Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur

- Ley N° 6321 Ambiente y recursos naturales Normas generales y metodología de aplicación para la defensa, conservación y mejoramiento.
- Ley N° 55 Medio Ambiente. Preservación, conservación, mejoramiento y defensa.

### 4.3. Locales.

En localidades del interior del país, por presiones de los habitantes que ven que serán afectados por la instalación de nuevos criaderos o su intensificación, surgen proyectos de ordenanzas municipales para reglamentarlos.

### C) Conclusiones

- A raíz del estudio de la producción porcina mundial y nacional, puede vislumbrarse un crecimiento sostenido del sector en los últimos años. Los índices muestran un futuro optimista en lo que respecta a la producción porcina en Argentina, que requerirá informar acerca de las bondades de la carne de cerdo y disminuir el precio en góndola, adecuándolo al que debiera ser su precio real.

- En nuestro país, los impactos ambientales de la porcicultura se derivan, básicamente, de la intensificación que viene manteniendo la producción en los últimos años, que se caracteriza por una concentración de enormes cantidades de animales en un número cada vez más reducido de unidades productivas, una utilización indiscriminada de agua para lavado de las instalaciones, el empleo de sistemas de alimentación ricos en proteínas que el aparato digestivo del cerdo no puede asimilar en su totalidad, etc.

- Este crecimiento, no ha sido acompañado de un adecuado estudio del los posibles impactos ambientales que tiene una incorrecta disposición de los efluentes generados ni de la cuantificación del impacto económico de los efectos de la polución existente. Tampoco se ha acompañado de un conocimiento acerca de las tecnologías de tratamiento y sus costos ni de la legislación ambiental, fiscal y de las normas vigentes con respecto a estas temáticas.

- Se observa también la necesidad de contar con información fehaciente a escala nacional de la cantidad de establecimientos de producción intensiva, o con alguna instancia del ciclo productivo bajo confinamiento.

- Del estudio realizado acerca del impacto ambiental que pueden causar los efluentes generados en producciones porcinas intensivas, se concluye que la contaminación se da cuando se realiza una incorrecta disposición de los efluentes, cuando la superficie para reutilizar el efluente no tiene el tamaño necesario, o cuando el purín no posee las características adecuadas para su emisión al suelo, aguas superficiales y profundas.

- Los principales inconvenientes en el suelo son aquellos relacionados con la formación de costras superficiales, la erosión y el exceso de metales pesados que pueden ser perjudiciales para los cultivos que se desarrollen sobre ese suelo. Con respecto a la contaminación en las aguas superficiales, ésta se dará mayormente a causa del escurrimiento de efluentes desde áreas donde se acumulen, con su posterior vertido hacia cauces provocando la llamada eutrofización (abundancia anormalmente alta de nutrientes en un ecosistema o ambiente), con su consecuente empobrecimiento de la biodiversidad. Con respecto a la contaminación en aguas profundas, ésta se da mayormente a causa de la imposibilidad de las plantas del suelo de absorber todo el nitrógeno y minerales contenidos en el efluente, con lo cual se produce un desbalance que puede provocar acumulación de minerales por lixiviación con pérdidas de nitratos solubles, llegando a aguas profundas, excediendo los niveles tolerables de nitrato en agua. Al mismo tiempo, los microorganismos patógenos, juegan un papel fundamental en la contaminación del agua, principalmente porque esta representa un medio para la supervivencia y transmisión de los mismos. El principal problema en la contaminación atmosférica es la generación de compuestos tóxicos volátiles producidos en la descomposición de la materia orgánica de los residuos que llegan al aire en forma de gases, olores y polvo.

- Debe destacarse que no se recogen testimonios concluyentes en nuestro país sobre el deterioro de los distintos componentes de nuestro medio ambiente, principalmente se observa la falta de datos con respecto a la cantidad de efluente generado y volcado inapropiadamente al medio.

- A raíz del estudio de cuestiones relacionadas al manejo de efluentes en producciones porcinas, podemos destacar como primer medida la adopción de prácticas para disminuir la cantidad y mejorar la calidad de material contaminante como pueden ser: la formulación adecuada de la dieta aportada al animal para que sea menor la carga de elementos eliminados con las deyecciones, la utilización racional de aguas de lavado, y la adopción de ciertas prácticas en el interior de los galpones tendientes principalmente a la reducción del volumen generado de efluentes.

- Con respecto a los posibles tratamientos a llevar adelante se destaca la importancia de realizar previamente una adecuada caracterización del efluente, con el fin de seleccionar un sistema de tratamiento que se adapte al purín generado en cada establecimiento en particular.

- Una vez realizada la caracterización, la selección del adecuado sistema de tratamiento también dependerá de la superficie con la cual se cuente para disponer los purines. Aquellos que posean amplias superficies de uso agrícola, podrían diseñar algún sistema de tratamiento primario con posterior aplicación de aguas residuales al suelo bajo diversos sistemas de riego, siempre teniendo en cuenta las recomendaciones para evitar acumulación de nutrientes en suelo y aguas. Aquellos productores que no dispongan de suficiente terreno, podrían optar por algún tratamiento secundario como un sistema de laguneo o de biodigestión con reutilización de aguas residuales para lavado de las instalaciones.

- En el caso de los tratamientos por biodigestión, éstos se tornan costosos y de difícil implementación para las producciones promedio de nuestro país, con lo que lo más recomendable podrían ser los sistemas de tratamiento por lagunas con reutilización de los lodos en agricultura y riego con aguas residuales tratadas.

- A raíz del estudio de las legislaciones vigentes en materia de producción porcina, se observa la escasez de normativas específicas. Hoy en día, existen algunas leyes regulatorias pero de cuestiones ambientales generales, con lo cual se torna difícil adaptarlas a un establecimiento porcino.

#### Consideraciones finales:

La mitigación del impacto ambiental causado por producciones porcinas, podrá efectivizarse con el esfuerzo combinado de distintos actores, como son los productores, autoridades, investigadores que provean de soluciones técnicas y empresas que puedan ayudar a ejecutarlas.

Para poder implementar medidas eficaces resulta fundamental tener al alcance cierta información relacionada con la actualidad de la problemática. Para ésto, será necesario estudiar ciertos aspectos en forma más detallada (antecedentes, monitoreo y estudios específicos). Los aspectos más relevantes a estudiar, en forma general, están referidos a:

- información fehaciente sobre cantidad de establecimientos (y de animales) que realizan su producción bajo confinamiento permanente y en forma temporaria.
- estudios locales sobre el impacto de continuas aplicaciones de estiércol sobre el suelo.

- cuantificación del impacto económico de los efectos ocasionados por la polución ya existente y sus correspondientes medidas de mitigación valoradas económicamente.
- conocimiento y comprensión de la problemática ambiental a nivel de la población.

Las acciones correctivas que se implementen deberán estar contenidas en información, comunicación y programas de educación, junto a legislaciones adecuadas y desarrollo de tecnologías apropiadas a las características de cada tipo de producción. Entre las tecnologías que podrían desarrollarse, se pueden enumerar: modelos de contaminación a escala de predio, cuenca y regiones geográficas, indicadores específicos para el monitoreo de los sistemas intensivos y sus ecosistemas vecinos, equipamiento de costos reducidos para que el productor pueda implementar la reutilización de estiércol y efluentes en sus establecimientos, tecnología relacionada con la nutrición de precisión, entre otros.

El productor agropecuario, por lo tanto, se enfrenta a diversos desafíos para cubrir los requerimientos exigidos por el consumidor y los mercados globalizados. En este nuevo contexto, resulta muy importante que considere los impactos ambientales de su producción. Para ello deberá realizar un manejo integrado del suelo, el agua y los efluentes dentro del mismo establecimiento rural.



## D) Anexos

**ANEXO 1:** Resumen de algunos de los equipos de separación más usados (Extraído de *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina*. Santiago, Chile. INIA, MINAGRI. 2005).

### - Separadores de harnero (tamiz) inclinado estacionario.

En estos separadores, el purín entra por la parte superior del harnero, la fracción líquida pasa a través de una malla, y el sólido rueda por la superficie de ésta, obteniéndose la separación. A estos separadores se les adiciona un tornillo o transportador sinfin en el extremo inferior donde cae por filtración la fracción sólida, para hacerla pasar por una apertura de sección restringida, logrando un exprimido adicional que favorece el sólido en cuanto a disminuir su humedad. La eficiencia alcanzada por esta unidad es de 70% en separación de humedad.

### - Separadores con filtro prensa de tornillo.

En este tipo de separadores, una malla cilíndrica contiene en su interior un filtro prensa tornillo sinfin. La malla puede estar formada por varillas. En el extremo final se encuentra una salida restringida por un mecanismo que permite variar la presión ejercida sobre el material que pasa a través de él. Cuando los purines entran a esta malla, la fracción líquida sale a través de los espacios alrededor de la malla y la fracción sólida es empujada por el tornillo sinfin hasta el otro extremo, y por la restricción que existe en la salida, se le da un exprimido que permite que la fracción sólida salga con un bajo contenido de humedad. La eficiencia alcanzada por esta unidad es de 80% en separación de humedad, 20% en DBO<sub>5</sub> y 30%, del nitrógeno. Además, a este sistema se le puede adicionar un sistema de vibración para mejorar la eficiencia en la separación.

### - Filtro rotatorio.

En una malla cilíndrica o un tambor perforado, se deja fluir el purín. A medida que gira el cilindro sobre su eje, el líquido pasa a través de él, y el material sólido se queda en la superficie del tambor para ser descargado a otro lugar. Para mejorar la eficiencia en remoción de humedad de la fracción sólida, se instala un rodillo de presión que efectúa la labor de exprimido del material separado.

**ANEXO 2:** Descripción de los procedimientos para realizar la aplicación al suelo de las aguas residuales obtenidas luego del tratamiento primario (Extraído de *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina*. Santiago, Chile. INIA, MINAGRI. 2005)

#### Sistema de tasa lenta (TL)

Este procedimiento es uno de los más usados para realizar el tratamiento de efluentes, y en su tecnología, es muy similar al riego agrícola tradicional. Consiste básicamente en la aplicación de un caudal controlado de efluente sobre la superficie del terreno, donde previamente se ha instalado una masa forestal o un cultivo. Con ello se consigue, además de la depuración del efluente, el crecimiento de especies vegetales, lo que entrega valor agregado al sistema por su valor fertilizante y el agua, que es usada para evapotranspiración.

La depuración se realiza mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas por medio de una triple acción: física (filtración), química (intercambio iónico, precipitación y co-precipitación, fenómenos de óxido-reducción, absorción) y biológica (degradación de la materia orgánica); teniendo lugar en los horizontes superiores del suelo, donde se encuentra la capa biológica activa.

El cultivo en este tipo de sistema de aplicación es de gran importancia, dado que cumple tres funciones fundamentales. Por un lado extrae nitrógeno, elemento normalmente crítico desde el punto de vista del diseño; produce un aumento de la velocidad de infiltración del efluente y, a veces en forma marginal, otras veces en forma importante, produce ingresos incrementales a la explotación pecuaria. La selección del cultivo, en ambos tipos, debe considerar entre otros, la demanda de N de cada especie o variedad. En general, la carga orgánica no es un factor demasiado limitante para los sistemas TL. Cuando se utilizan efluentes que poseen un alto contenido de compuestos orgánicos, normalmente la situación se maneja alternando períodos de aplicación con períodos de no aplicación. Un valor considerado límite es evitar utilizar los sistemas de TL cuando la carga orgánica supere los 330 kg de DBO/ha/día ya que podrían presentar problemas por la generación de olores (Reed, et al., 1995 en INIA, MINAGRI. 2005).

Estos sistemas de tratamiento utilizan básicamente cualquier método de riego disponible, desde riego presurizado como aspersión y goteo, a riego superficial como surcos, bordes o riego tendido. Lo importante es que las características del método no limiten la aplicación.

#### Sistema de infiltración rápida (IR)

El sistema de infiltración rápida es un método de aplicación al suelo en el cual el efluente es tratado en la medida que percola a través de un suelo permeable. La aplicación es generalmente de tipo intermitente, gravitacionalmente o en forma presurizada por aspersión, y el tratamiento ocurre por una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el interior del suelo. Por lo general, estos sistemas no consideran vegetación, dado que las tasas hidráulicas de aplicación son muy altas, limitando la absorción de nutrientes de parte de las plantas.

Este tipo de sistema de aplicación normalmente tiene como objetivo la recarga de napas subterráneas o de cauces superficiales mediante la intercepción

de aguas subterráneas. Adicionalmente puede ser usado para reutilizar aguas residuales, las que luego de ser tratadas en la matriz del suelo, son bombeadas desde el acuífero hacia la superficie.

El sistema de IR requiere de suelos con alta permeabilidad, de tipo franco arenosos, arenosos o gravosos, con velocidades de infiltración superiores a los 10 o 15 cm/día. Adicionalmente, el sitio debe presentar condiciones de drenaje bueno a excesivo, preferentemente con ausencia de nivel freático dentro de los 3 primeros metros de suelo. En términos de pendiente, se deben preferir suelos con pendientes inferiores al 5 %, dado que a pendientes superiores y debido a las altas tasas de aplicación, existen riesgos de escurrimiento, erosión o distribución de los efluentes. Las áreas propensas a escorrentía superficial, inundación o anegamiento, no son adecuadas para la ubicación de balsas de infiltración y deben evitarse en su totalidad.

Para este tipo de sistemas, la carga máxima de aplicación de DBO y nitrógeno depende de las condiciones ambientales donde la aplicación se desarrolla no habiendo criterios específicos al respecto. Lo importante es que la carga orgánica aplicada sea tal, que la tasa de descomposición la degrade con gran facilidad, no produciendo olores molestos.

#### Sistema de flujo superficial (FS)

El tratamiento por flujo superficial llamado también filtración por pasto, es un sistema de depuración relativamente nuevo. La técnica consiste en forzar la escorrentía del efluente, mediante la aplicación en láminas, sobre un suelo previamente acondicionado (en pendiente y con vegetación no arbórea), alternando periodos de riego con periodos de secado. Estos suelos poseen pendientes suaves y uniformes, y la aplicación se desarrolla a tasas orgánicas inferiores a las que se utilizan en el método de tasa lenta.

Los procesos de degradación físicos, químicos y biológicos, se encargan de disminuir la carga de DBO y nutrientes que ocurre al escurrir el efluente por terrenos con suelos o estratos superficiales relativamente impermeables. El objetivo del sistema es alcanzar cierto grado de tratamiento en los efluentes que, en estos sistemas, es generalmente bajo para la degradación del nitrógeno y fósforo (48 y 28 % respectivamente), obteniendo rendimientos para la DBO<sub>5</sub> y los sólidos en suspensión en torno al 90 y 70 % respectivamente.

El efluente se distribuye gravitacionalmente en la zona superior de los terrenos empastados con pendientes y largos seleccionados, de modo que pueda fluir en superficie hasta unas zanjás de captura de la escorrentía superficial situadas ladera debajo de la pendiente, donde el efluente es descartado o recuperado.

Es necesario disponer de una cubierta vegetal uniforme y densa para evitar la erosión y facilitar los procesos de eliminación de la materia orgánica y nutrientes. Para ello, se deben seleccionar especies vegetales tolerantes al agua y con adaptación a las condiciones climáticas de la zona, como por ejemplo alfalfa. Los efluentes se aplican alternando fases de humidificación y secado, otorgando la aireación necesaria de la superficie para la degradación de la materia orgánica. Estos sistemas se suelen emplear en terrenos con suelos o sustratos sub-superficiales relativamente impermeables. La distancia al nivel freático debe tener un mínimo de 30 cm. para permitir la degradación del efluente que no es

aprovechado por la cubierta vegetal y que percola. La topografía ideal para sistemas de flujo superficial, ya que disminuyen los costos de construcción, son los terrenos ligeramente inclinados con pendientes entre 1 a 8 %.

### **ANEXO 3:** Parámetros a tener en cuenta para la localización y el diseño de un sistema de lagunas.

#### **Disposición Espacial**

Los sistemas de lagunas pueden ser aplicados espacialmente en serie o en paralelo dependiendo del objetivo del plan de manejo y de la cantidad de purines a tratar.

- Disposición en serie: Las lagunas dispuestas en serie otorgan un aumento en la calidad bioquímica del líquido tratado, por lo que se aplica en proyectos donde se requiere alcanzar un alto grado de calidad en el efluente.

- Disposición en paralelo: El uso de lagunas en paralelo no mejora la calidad bioquímica del efluente, pero en cambio, ofrece muchas ventajas desde el punto de vista de construcción y operativo, sobre todo cuando se utilizan para degradar altos flujos de purines. Además, el contar con dos lagunas o más, permite sobrecargar una mientras se lleva a cabo la limpieza de la otra en los períodos de mantención o extracción de lodos.

La Organización Mundial de la Salud (1987) recomienda que se cuente con al menos dos lagunas anaerobias en paralelo para asegurar la continuidad de la operación en caso de limpieza y retirada de los lodos en una de las dos unidades.

#### **Ubicación**

- El sitio debería estar cerca de la fuente de purines, y preferentemente en una posición topográfica inferior de manera que el purín pueda ser transportado hacia la laguna por gravedad.
- También es necesario situarlas teniendo en cuenta la dirección de los vientos dominantes en verano, para que lleven los olores lejos de residencias cercanas, lugares habitados o caminos públicos. Llámese vientos predominantes a la dirección del viento de mayor perdurabilidad en el tiempo.
- El sitio debería estar tan lejos de las casas como sea posible (al menos 500 m). Es preciso respetar distancias mínimas frente a vecinos y centros urbanos.
- Se recomienda construir barreras naturales (eucaliptos, por ejemplo) alrededor de la laguna para disminuir el impacto visual o paisajístico. Además, los árboles absorben compuestos olorosos y pueden generar turbulencia ayudando a la dispersión de los olores.
- La laguna debe emplazarse colina abajo con respecto a los pozos de abastecimiento de agua (pozos de captación de aguas de bebida) y de las fuentes de agua superficial (ríos, embalses u otros cursos de agua).
- El terraplén perimetral deberá tener una altura mínima sobre el terreno natural de al menos 0,75 m para evitar la entrada de aguas de escorrentía.

#### **Dimensionamiento**

Parámetros que se requieren para el diseño de lagunas:

- Caudal
- Eficiencia de eliminación
- Tiempo de retención
- Profundidad
- Constante de velocidad

- Factor de dispersión del estanque

- Volumen

Se basa en multiplicar el volumen diario a tratar por el tiempo de residencia recomendado que es de 120 días (Millares, 2011).

V: Volumen de la laguna:  $V = V_p \times TRH$

$V_p$ : Volumen de efluentes eliminados por día en la granja.

TRH: Tiempo de Residencia Hidráulica (120 días)

$V_e = V + V_s$

$V_e$ : Volumen estimado de la laguna

V: Volumen de la laguna

$V_s$ : Volumen de seguridad

Volumen de seguridad:  $\beta \cdot \text{vol. necesario} \cdot (\alpha + \text{balance hídrico})$

$\beta$  coeficiente en función de profundidad ( $1/2,5 = 0,4$ )

$\alpha$  coeficiente de seguridad recomendado = 0,25

Balance hídrico sumatoria de los 4 meses críticos de lluvias media y (datos meteorológicos) sumatorias de los 4 meses críticos de evaporación media

- Profundidad

Una gran profundidad se traduce en una menor área superficial y por ende una menor transferencia de calor desde el medio líquido hacia el ambiente. Esto último cobra importancia en zonas con climas fríos. Otras ventajas de construir lagunas profundas son la minimización de la generación de olores por presentar menor área superficial, disminuyendo el impacto visual y aumentando la mezcla vertical de los contenidos de la laguna (INIA, MINAGRI. 2005).

Además, se contempla cierta profundidad ( $P_r$ ) para amortiguar la adversidad de las condiciones climáticas locales del sitio de emplazamiento. Las profundidades abarcadas son las siguientes:

- Profundidad necesaria para la precipitación máxima mensual acumulada que incide en la superficie de la laguna.

- Borde libre de 30 cm como seguridad ante potenciales desbordes.

Sin embargo, en la laguna existe una pérdida de agua proporcionada por la evaporación.

Para considerar esta pérdida de forma de no sobrestimar demasiado la capacidad del sistema, se puede considerar la evaporación mínima mensual de la localidad el sitio de emplazamiento.

### Entradas y Salidas de agua

La descarga de agua puede estar por debajo o por encima del nivel de agua de la laguna, las entradas por debajo del nivel son más propensas a la obstrucción mientras que las entradas por encima del nivel de agua están sujetas a congelarse durante las épocas de mucho frío. Los dispositivos de entrada y salida deben estar en lados opuestos de la laguna (Millares, 2011).

El sistema de entrada se puede realizar a través de tuberías de alimentación extendidas a 3 o 4 m adentro de la laguna. Podría ser necesario utilizar más de una tubería de alimentación, si es que la laguna fuera muy grande, de manera que pueda ser llenada uniformemente. Las entradas se pueden hacer con tubos de plástico de al menos 150 mm de diámetro.

El sistema de salida de los líquidos tratados se compone de tuberías de desborde que transportan estos líquidos libres de sólidos desde una laguna a la otra en ciertos sistemas, o de una laguna al sistema de aplicación directa al suelo, en otros. La tubería de desborde se debe localizar al extremo opuesto, con la toma de agua 50 cm por debajo del nivel de la lámina de agua y se dará una pendiente debajo de la entrada de purines de un 1% a los caños de interconexión de lagunas. La pendiente del fondo es necesaria para otorgar bajos movimientos al líquido que se traslada de la entrada a la salida de la laguna. Las pendientes utilizadas son del orden de 1%. No obstante, se puede construir una laguna con un fondo sin pendiente si se otorga una diferencia de alturas entre el sistema de entrada y salida (INIA, MINAGRI. 2005).

#### Frecuencia de descarga

- Descarga continua: En esencia, el flujo de entrada llena la laguna y la rebalsa, teniendo en general un flujo similar de evacuación, o sea, permanentemente está entrando y saliendo un flujo constante que si no fuera por la evaporación, tenderían a ser iguales.
- Descarga discontinua: Cierta volumen de líquidos tratados es removido de la laguna en tiempos definidos por una frecuencia, cuatro veces al año por ejemplo. Normalmente, si la descarga es al suelo la periodicidad está relacionada con el estado de la vegetación o la estación del año. Es por ello que a este tipo de descarga se le llama comúnmente vertido por lotes.
- Retención completa: Estas lagunas no descargan al ambiente, con la excepción de la percolación profunda cuando ésta es permitida y el agua es eliminada por evaporación. Por esta razón el área de este tipo de lagunas es lo suficientemente grande para que la evaporación se maximice. No obstante, este tipo de mecanismo para lagunas anaeróbicas puede llegar a ser inaplicables para el rubro, debido principalmente a los costos de construcción y de terreno para las extensas áreas que ocupan.

#### Impermeabilización:

Las lagunas pueden ser construidas con o sin revestimiento. Del estudio de suelos se podrá conocer el grado de permeabilidad del terreno, pero el diseño de las lagunas no contempla la infiltración de líquidos hacia el subsuelo o hacia la napa subterránea. Se debe presentar un ambiente hermético que garantice que no habrá potencial riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por infiltración, asegurando a la vez no perder nutrientes por esta vía.

En el caso en que no hiciera falta impermeabilizarlo, estas pueden ser excavadas directamente en el suelo, debiendo tener cuidado de fuentes superficiales de agua.

En suelos con alta capacidad de infiltración (arenosos) se deberá utilizar un revestimiento con material impermeable. Los diferentes tipos de revestimiento o sellado deben ser aplicados en función de la distancia mínima a la profundidad de la napa freática que posea el terreno a utilizar y en función del drenaje que pueda presentar este mismo terreno.

Se recomienda, acondicionar el suelo natural compactándolo, con tal de impedir el escape de líquidos, y luego realizar un sellado con arcilla compactada con un espesor de ésta de 30 cm, de tal forma de lograr una conductividad

hidráulica no superior a  $10^{-7} \text{ cm/s}^{-1}$  en su defecto Se puede revestir con algún tipo de material plástico (polietileno de alta densidad HPDE) el fondo de la laguna. A continuación se describen los diferentes tipos de revestimiento o sellado que pueden utilizarse para garantizar la impermeabilidad de una laguna.

- Sellado por compresión.

El propósito de la compactación del suelo es cambiar las propiedades físicas de los materiales subyacentes para formar una base más firme. La compactación del suelo se puede lograr por medio de fuerzas estáticas, de impacto o vibratorias. Por medio de fuerzas estáticas, un objeto grande con un gran peso estático rueda sobre el suelo para aumentar su densidad. Por medio de fuerzas de impacto, un objeto golpea contra la superficie del suelo a una frecuencia baja. Si no se hace la compactación correctamente en todo el espesor de la capa, la parte de arriba queda bien compactada, pero la de abajo queda suelta. Esto crea una condición llamada “puente”, donde el material compactado flota sobre el suelo sin compactar, lo cual es una causa común de fallas prematuras (INIA, MINAGRI. 2005).

- Sellado por cubiertas de tierra.

Los suelos impermeables o de textura fina compuestos de arcillas con una conductividad hidráulica de  $10^{-5} \text{ cm/s}$ , pueden extraerse para comprimirlos sobre el suelo permeable del fondo de la laguna y formar una capa de al menos 30 centímetros de suelo.

- Sellado con arcilla.

Las arcillas podrían ser utilizadas para sellar los suelos con buen drenaje. La arcilla debería ser mezclada con el suelo, comprimida, y saturada completamente. Si se aplica apropiadamente, se formará un sello, el cual es prácticamente impenetrable para el líquido. La preocupación al utilizar arcillas expandidas como sellador es que se agrietan al no encontrarse saturadas en líquido, lo que se evita si se procura mantener siempre el volumen mínimo de tratamiento (VMT), incluso para períodos de extracción de lodos (INIA, MINAGRI. 2005).

- Sellado con membranas flexibles.

Las membranas de revestimientos de PVC son delicadas al impacto físico, por lo que se debe tener cuidado en no perforar el revestimiento durante la instalación y el uso. Por otro lado, las geomembranas HDPE presentan mayor resistencia para la extracción de lodos con maquinarias (INIA, MINAGRI. 2005).

### Control de olores

Para controlar y minimizar la generación de olores, la laguna se puede cubrir en su superficie con revestimientos artificiales de plástico para prevenir que los olores sean emitidos al aire.

### Control del nivel de lodos

La acumulación de lodo en la laguna debería ser vigilada frecuentemente. Una acumulación que sobrepasa los límites de diseño en el volumen de lodos indica un mal funcionamiento biológico del sistema.



#### **ANEXO 4:** Diseño de un Sistema de Biodigestión Anaeróbica

Los tipos de tratamientos anaeróbicos pueden dividirse en dos grandes grupos, dependiendo de cómo se desarrolla el cultivo microbiano: Sistemas con película fija y sistemas con biomasa suspendida. Se entiende como biomasa a la masa biológica o fracción orgánica de un flujo dado.

##### **a- Sistemas de Película Fija/De cúpula fija/Chino.**

Los sistemas de película fija o filtros anaeróbicos, se caracterizan por presentar los microorganismos adheridos formando una película sobre un soporte inerte dentro de un depósito inundado de efluente para evitar presencia de oxígeno. El efluente a tratar fluye, a través de un soporte entrando así en contacto con una biopelícula o capa activa de materia orgánica de aproximadamente 1mm de espesor, medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias.

El nitrógeno contenido en el efluente, compuesto por ion amonio y nitrógeno orgánico, es transformado a nitrógeno gas con una eficiencia del orden del 30 %. La eficiencia en eliminación de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) se encuentra aproximadamente entre un 55 % y 65 %.

Este tipo de filtros es utilizado para el tratamiento de residuos de baja concentración a temperatura ambiente.

##### **b- Sistemas de Biomasa Suspendida/De crecimiento libre o suspendido/De cúpula móvil o flotante/Hindú.**

En estos los microorganismos se encuentran libres. A la vez, los sistemas con biomasa suspendida pueden clasificarse en biodigestores a mezcla completa y flujo pistón.

###### **- Sistemas de Biomasa Suspendida a Mezcla Completa.**

Su funcionamiento consiste básicamente en disponer homogéneamente el efluente en contacto con una población de microorganismos, en un reactor, donde éstos consumen bajo condiciones anaeróbicas, el material orgánico disuelto y suspendido.

El líquido saliente del biodigestor entra a un equipo de separación, un sedimentador por ejemplo, donde se obtiene el líquido final clarificado y flóculos microbianos (lodos), estos lodos son concentrados y recirculados parcialmente al biodigestor.

La eficiencia de eliminación de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es entre un 50 % y 60 %. El nitrógeno contenido en el purín, compuesto por ion amonio y nitrógeno orgánico, es transformado biológicamente a nitrógeno gas con una eficiencia del orden del 30 %.

Una desventaja que poseen es el consumo energético, ya que para alcanzar un líquido homogéneo en el sistema, debe existir la recirculación anteriormente descrita o bien la agitación mecánica dentro del biodigestor. El objetivo de mantener homogéneo es que los micro organismos se encuentren suspendidos como mezcla completa con el efluente dentro del biodigestor (INIA, MINAGRI. 2005).

###### **- Sistemas de Biomasa Suspendida en Flujo Pistón.**

En estos sistemas el purín no se encuentra homogéneo o mezclado totalmente, sino que entra al biodigestor por un extremo y se va degradando a

medida que avanza dentro de éste, hasta llegar al otro extremo que es la salida, de ahí el nombre flujo pistón.

Un biodigestor de tecnología de bajo costo es el de flujo pistón para bajos caudales.

Aunque su utilización sea factible para pequeños productores, significa una solución económicamente accesible, que además otorga beneficios a quien lo implemente.

Las eficiencias promedio de estas tecnologías de bajo costo son altas por tratarse de sistemas para bajos caudales y tiempos de retención sobre los 25 días. La remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) es de un 65 % y del nitrógeno es de un 45 %. Los coliformes se eliminan en un 90 % (INIA, MINAGRI. 2005).

- La selección del reactor a utilizar depende de diferentes factores, como son:

- Tiempo de residencia hidráulica (TRH): volumen del reactor/caudal de efluente
- Tiempo de retención celular: tiempo medio de permanencia de los sólidos biológicos en el sistema (edad del lodo)
- Masa sólidos sistema/masa sólidos retirada por unidad de tiempo
- Carga orgánica: (kg DQO/m<sup>3</sup>/día)
- Factores ambientales (temperaturas)
- Disponibilidad de área

En cuanto al TRH, se puede tomar como referencia que para procesos de digestión de baja carga, sin calefaccionar, ni mezclar, los TRH que se suelen utilizar oscilan entre 30-60 días; mientras que para procesos de digestión de alta carga, donde el contenido del digestor se calienta y mezcla, el TRH suele ser de 15 días o menos (Metcalf y Eddy, 1998). En todos los casos es importante favorecer el contacto del efluente a tratar con la biomasa activa en el reactor (para promover una degradación más eficiente) (FAO - INTA. 2012).

- Ubicación

Para la instalación de sistemas de tratamiento en general, se debe establecer un sitio cercano al plantel, para transportar por canal abierto, las excretas disueltas en el agua de lavado. A la vez, el sitio debe encontrarse próximo al de almacenamiento o uso del líquido tratado y con una pendiente adecuada para facilitar el transporte y salida del mismo. Se debe ubicar preferentemente protegido de los vientos fríos y donde se mantenga relativamente estable la temperatura, tratando de que reciba el máximo de energía solar.

- Dimensionamiento

Para calcular el volumen del biodigestor se utiliza un tiempo de residencia típico de 25 días, este tiempo será menor si el sistema se desarrolla a mayores temperaturas, por lo que dependerá directamente de la temperatura ambiente del sector y del aislamiento considerado para el biodigestor. Una vez obtenido el volumen del biodigestor, se debe proceder a calcular sus dimensiones y de ésta forma proyectar el espacio que ocuparía la instalación. Para calcular las dimensiones del biodigestor, se debe definir la geometría que tendrá (cilíndrico vertical, cilíndrico horizontal, rectangular, cónico, etc.) (INIA, MINAGRI. 2005).

- Componentes de un reactor anaerobio

- Cámara de carga. Es por donde se realiza el ingreso del efluente a tratar.
- Reactor. Es el estanque hermético. Debe garantizar la hermeticidad del sistema, como así también el aislamiento térmico, para evitar cambios bruscos de temperatura en el proceso.
- Cámara de descarga. Es por donde se retira el efluente ya digerido.
- Purga de fangos.
- Gasómetro. Donde se realiza la acumulación del biogás generado durante el proceso. El modelo más utilizado es la campana invertida.
- Quemador de gases. Para realizar la combustión del gas que se genere (si no es utilizado para otros fines energéticos).

## E) Bibliografía

- Acribia, S.A. *Manual del porcicultor*. Zaragoza, España. Editorial Acribia, S.A. 1997. Capítulo II: concepción y realización de una explotación. Pag 148.
- Araque, H.; González, C.; Sulbaran, L.; Quijada, J.; Vilorio, F. y Vecchionacce, H. 2006. *Alojamientos alternativos e impacto ambiental en la producción alternativa de cerdos*.
- Beily, M.E., Franco, R., Crespo, D. 2012. *Efluente proveniente de producciones intensificadas de cerdos en galpones con ciclo all in all out: Características físicas, químicas y biológicas*.
- Brunori, J. 2012. *Producción de cerdos en Argentina. Situación. Oportunidades. Desafíos*.
- Cadena porcina IERAL de Fundación Mediterránea. 2011. *Una Argentina Competitiva, Productiva y Federal*. Documento de trabajo año 17 - edición N° 89.
- Cervantes et al. 2007. *Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura*. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3 (1): 3-12.
- Concellon Martínez, A. *Porcinocultura. Explotación de cerdo y sus productos*. Barcelona, Editorial Aedos, 2ª edición ampliada, 1965. Capítulo IV: Edificaciones y equipo de las explotaciones porcinas. Estiércol y aguas residuales de las explotaciones porcinas. Pag. 235-236.
- Cruz, E; Martínez, V; Naranjo, R. y Sosa, R. 2004. *Evaluación microbiológica del efluente anaerobio de un biodigestor de cúpula fija*. Revista Computadorizada de Producción Porcina Vol.: 11 No. 2
- Expósito Vélez G. A. *Modelización de procesos biológicos para la eliminación de residuos ganaderos, teniendo en cuenta sus condicionantes especiales* (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Madrid (2004).
- González Irusta, G. I. *Planificación y evaluación económica, financiera y de impacto ambiental de la instalación de un biodigestor en un criadero de cerdos* (Tesis de Grado de Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Río Cuarto (2011).
- Grupo de Intercambio Tecnológico de Explotaciones Porcinas (GITEP). 2006. *Manual de capacitación en producción porcina*.
- Herrero, M y Gil, S. 2008. *Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal*.

- Hidalgo, M.D.; Del Alamo, J.; Granado, I.; Nunez, Y.; Hirsuta, R. 2001. *Reducción del contenido amoniacal del purín porcino mediante la técnica de stripping*. Tecnología del Agua. N° 208.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. 2005. *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina*. Santiago, Chile.
- International Resources Group (IRG) y Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras. 2009. *“Guía de Producción más Limpia para la producción porcina”*. Tegucigalpa, Honduras.
- Martínez, V; García M. D; y Ly, J. 2004. *Estimados de excreción fecal de cerdos como material de ingreso en biodigestores y para composta*. Revista Computadorizada de Producción Porcina Vol: 11 No. 2.
- Millares, P. 2011. *Manejo de Efluentes*. Informe de actualización técnica N°20, Feriscerdo 2011. 34-39.
- Millares, P. 2012. *El trabajo grupal en la producción porcina*. Síntesis del Material de las Charlas técnicas, Expo Suipacha 2012.
- Módulo Porcino, Área Estratégica de Gestión Ambiental (AEGA). INTA. 2011
- Mora, A. Armendáriz, I. R. Belmar, R. y Ly, J. 2000. *Algunos Aspectos de la Producción y Manejo de Cerdos en Exterior*. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2012. *Manual de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar*.
- Pérez Espejo, Rosario. 2001. *Producción Porcina y Contaminación del Agua en La Piedad, Mich.* Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 17, No 1. Instituto de Investigaciones Económicas. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Plaza C; García Gil J. C.; Soler Rovira P.; Polo A. 1999. *Problemática de los purines en España: su aprovechamiento agrícola como solución*. Residuos No 49.
- Rodríguez, Claudia. 2002. *Residuos Ganaderos*. Cursos de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC.
- Rojas, G. y Ojeda, A. 2002. *Caracterización de los residuos sólidos de efluentes de granjas porcinas y su utilización en vacunos de ceba en confinamiento*. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Revista Científica, FCV-LUZ. Vol. XII, N° 4, Pag. 265-270.
- Sánchez Gómez, L. 2006. *Estrategias nutricionales para reducir la magnitud de la contaminación ambiental*. Universidad Nacional de Colombia.

[www.e-seia.cl/archivos/sistema\\_tratamiento.PDF](http://www.e-seia.cl/archivos/sistema_tratamiento.PDF). *Sistema de Tratamiento de efluentes*. POCH AMBIENTAL S.A. 2005.

[www.gitep.com.ar](http://www.gitep.com.ar). Grupo de Intercambio Tecnológico de Explotaciones Porcinas (GITEP). *Anuario 2011*. Abril 2012.

[www.minagri.gob.ar](http://www.minagri.gob.ar). Ministerio de Agricultura, ganadería y Pesca. *Anuario Porcino 2011*. Abril 2012.