

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

“DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE PURINES DE UNA EMPRESA PORCINA EN CONFINAMIENTO”

ALUMNOS

GALLO, Bruno Eliel

GALLO, Dante Leonel

DIRECTORA

Ing. Agr. **Muñoz**, María Verónica

Docente Auxiliar de Sistema de Producción Animal No Rumiante.

2016

Índice

	Pág.
Resumen.....	3
Introducción.....	4
Objetivos Generales.....	6
Objetivos Específicos.....	6
Hipótesis.....	6
1. Producción Porcina en Argentina.....	7
1.1. Situación Actual.....	8
1.2. Estructura del Sector Porcino.....	10
1.3. Sistemas de Producción.....	11
2. Contaminación Ambiental en Producciones Porcinas.....	13
2.1. Residuos Porcinos.....	13
2.2.1. Efluente.....	15
2.2.2. Característica cualitativas del Efluente.....	16
2.2.3. Parámetros químicos y físicos de los Efluentes.....	17
2.2.4. Contaminación del Efluente.....	20
3. Tratamiento de Efluentes Porcinos.....	24
3.1. Métodos Biológicos.....	24
3.1.1. Lagunas de Estabilización.....	24
3.1.2. Digestión Anaeróbica.....	26
3.1.3. Activadores Biológicos en Fosas y Lagunas.....	30
3.1.4. Biodigestores.....	31
3.1.5. Cogeneradores de Energía.....	36
3.1.6. Compostaje.....	37
4. Legislación.....	42
5. Normas ISO 14000 y 50000.....	44
Materiales y Métodos.....	46

Resultado y Discusión.....	47
Conclusiones.....	50
Bibliografía.....	51

Resumen

Con la salida de la convertibilidad, la actividad porcina en Argentina se transformó en una producción rentable. Analizando el período 2002 – 2015, se puede afirmar que tuvo un vuelco cualitativo en la forma de producir carne. Esto demanda manejo y reutilización de los volúmenes de efluentes que genera la producción intensiva. Sin un tratamiento adecuado, pueden resultar en una fuente de contaminación y deterioro del medio ambiente. Los objetivos del presente trabajo final de graduación fueron delinear instalaciones para un eficiente tratamiento biológico de purines en biogás, estimar las conversiones del biogás producido en energía térmica y eléctrica, determinar el uso consultivo de la cogeneración térmica y eléctrica en el sistema de producción y evaluar el aprovechamiento del agua tratada en el proceso biológico para la recirculación en las fosas de los sitios de producción. Para esto se realizó una revisión bibliográfica intensiva, se procedió a calcular DBO₅ y DQO por cada 100 kilos de PV. Se efectuó el cálculo y dimensionamiento de fosas de recolección de purines del sistema y tándem lagunar para vaciado bimestral, en un establecimiento en confinamiento de 1500 madres. Finalmente, se observó que, aunque la cantidad de biogás generada en un establecimiento porcino confinado no logre cogenerar la cantidad de energía térmica y eléctrica que demandada, puede contribuir a cubrir cierta parte y a su vez aportar biofertilizantes no contaminantes ya que, durante la digestión anaeróbica en los biodigestores, la DBO₅ disminuye un 90%.

Introducción

Con la salida de la convertibilidad, en el 2002, la actividad porcina en Argentina comenzó nuevamente a ser una producción rentable, las importaciones de cerdos desde Brasil, disminuyeron considerablemente y el consumo de carne fresca aumentó, estando hoy en 10,54 kg per cápita promedio (MINAGRI, 2015). La producción en el 2014 fue de 442.025 toneladas con un stock de 5.110.083 cabezas. (MINAGRI, 2015). Analizando la actividad en este marco de tiempo se puede afirmar que tuvo un vuelco cualitativo donde no hubo un aumento sustancial del número de productores, pero sí modificaciones en la forma de producir carne. Esto significa que las producciones de pequeña escala comenzaron a incorporar mayor tecnología y a aumentar el número de madres alentando 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 (60%), se produjo 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 observó 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).

El 40% de las madres, que genera el 60% de la producción de cerdos en nuestro país es en sistemas de confinamiento, debido a esto, es trascendente considerar el volumen de estiércol y orín que se produce aproximadamente por animal de acuerdo a su etapa fisiológica y el consumo de agua del establecimiento, ya que estos datos ayudaran a planificar los objetivos y metas dentro de un esquema de manejo del purín en las granjas (FAO - INTA, 2012).

Este cambio cualitativo generado, demanda de los productores 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 contaminación, con el consecuente deterioro de la salud del medio ambiente (AEGA, INTA, 2011).

La cantidad de deyecciones calculada por día para este tipo de producción, se estima en promedio en un 6,7 % del peso vivo total del establecimiento o granja. Dato muy importante para lograr dimensionar la escala del problema y el diseño necesario para su tratamiento y eliminación (FAO - INTA, 2012).

Frente a la toma de conciencia de la degradación de los recursos ambientales y la crisis energética existente, es importante considerar una producción intensiva sin consecuencia medioambientales negativas. Por esta razón, el tratamiento de los desechos porcinos es indispensable debido a la dimensión del problema que representa, no sólo por el aumento de los volúmenes producidos, sino también por la degradación y contaminación de los recursos agua, suelo y aire, la proliferación de plagas (moscas, roedores, entre otras) y la generación de olores indeseables producidos.

Hoy las explotaciones en confinamiento con manejo intensivo poseen escasa información sobre posibilidades viables de eliminación de efluentes. Las excretas, vistas por muchos como un contaminante ambiental, pueden generar recursos muy valiosos mediante su procesamiento, de forma tal, que al reciclarse parte de la energía y de sus nutrientes, contribuyen a hacer sostenible la producción porcina y de otras especies animales integradas.

Existe un sistema de tratamiento biológico basado en reacciones anaeróbicas llevadas a cabo a través de lagunas descomponedoras de materia orgánica en forma biológica y biodigestores que tienen múltiples ventajas. Entre ellas, disminuir la demanda biológica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO), y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que la anaerobiosis produce un biogás que se puede utilizar para innumerables fines: producir electricidad, energía térmica y también utilizar el efluente resultante como biofertilizante para el abono de cultivos. Como resultado de estas reacciones se suprimen los patógenos, se reduce el volumen de sólidos en semanas, de hasta un 40%, y los olores disminuyen significativamente no sólo en el lugar de almacenamiento, sino también una vez desparramado en el campo. La producción de biogás en un sistema intensivo de producción de cerdos puede llegar a cubrir en gran medida la demanda energética del sistema (Braun et al, 2013).

Tratar los efluentes significa la materialización del concepto de producción animal de alta calidad y rentabilidad, incorporando los conceptos de biogás, bioenergías y

biofertilizantes como sistema de saneamiento de residuos zootécnicos, preservando la no contaminación del medio ambiente como premisa fundamental de alto valor cualitativo y cuantitativo en el proceso productivo (Braun, 2013).

Objetivos generales

- * Calcular la producción de purines de una empresa porcina en confinamiento.
- * Dimensionar las instalaciones de recolección para purines en las naves de producción.
- * Diseñar el tándem lagunar anaeróbico, facultativo y aeróbico.

Objetivos específicos

- Delinear instalaciones para un eficiente tratamiento biológico de purines en biogás.
- Estimar las conversiones del biogás producido en energía térmica y eléctrica.
- Determinar el uso consultivo de la cogeneración térmica y eléctrica en el sistema de producción.
- Evaluar el aprovechamiento del agua tratada en el proceso biológico para la recirculación en las fosas de los sitios de producción.

Hipótesis

El tratamiento biológico de purines de un establecimiento de producción porcina en confinamiento permite cogenerar energía eléctrica y térmica a partir de la producción de biogás para el aprovechamiento sustentable de la empresa.

1. Producción Porcina en Argentina

En Argentina, la producción de cerdos se desarrolló como una actividad complementaria en el núcleo maicero, a cargo de miles de pequeños productores que para aumentar sus ingresos, transformaban el grano en carne. En sus comienzos los sistemas de explotación fueron diversos, pero el que más predominaba era el extensivo a campo. Permitió 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.

Sin embargo, nuestro comercio interno presentaba una inelasticidad muy firme debido a la abundancia, calidad, bajo precio y hábitos de consumo de la carne vacuna. Este marco colocó durante mucho tiempo a la carne porcina, solamente para la producción de chacinados y fiambres, mientras en el resto del mundo se posicionaba como la principal fuente de proteína de origen animal para el consumo humano. 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).

En la década de los 80 la producción porcina se desarrollaba con períodos económicos cíclicos dentro de una estructura macroeconómica cerrada que compensaban los vaivenes de la producción (Millares, 2012).

En los 90 el escenario fue drástico para muchas actividades agropecuarias, dentro de ellas, la porcina fue una de las más afectadas por la convertibilidad y la apertura económica. Esta situación disminuyó por un lado 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. El resultado se puede observar en los datos estadísticos de la época donde se aprecia una disminución importante de productores porcinos, pérdida de stock y oferta nacional de carne porcina con un aumento considerable de las importaciones en carne fresca, proveniente más que nada de Brasil (SENASA, 2013).

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.

1.1. Situación Actual:

Se estima que en el país tenemos 5.110.083 de cabezas (MINAGRI, 2014). Con respecto a la distribución del stock podemos observar que el 25,84% lo tiene Buenos Aires, le sigue Córdoba con un 22% y un 17,7% Santa Fe (MINAGRI, 2013).

Provincia	Total Porcinos Cantidad	%
BUENOS AIRES	1.090.911	25,84%
CORDOBA	929.204	22,01%
SANTA FE	747.420	17,70%
ENTRE RIOS	250.140	5,92%
CHACO	213.126	5,05%
SALTA	204.034	4,83%
SAN LUIS	158.966	3,77%
LA PAMPA	137.778	3,26%
FORMOSA	136.374	3,23%
SANTIAGO DEL ESTERO	82.618	1,96%
MISIONES	49.485	1,17%
CORRIENTES	43.292	1,03%
MENDOZA	28.524	0,68%
NEUQUEN	22.886	0,54%
SAN JUAN	22.468	0,53%
TUCUMAN	20.572	0,49%
JUJUY	18.500	0,44%
CATAMARCA	17.573	0,42%
RIO NEGRO	16.838	0,40%
LA RIOJA	15.091	0,36%
CHUBUT	13.115	0,31%
SANTA CRUZ	2.384	0,06%
TIERRA DEL FUEGO	655	0,02%
Total	4.221.954	100%

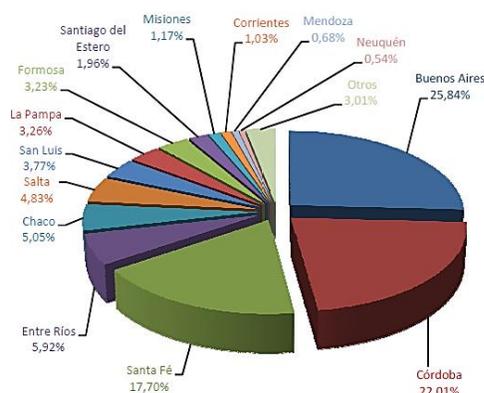
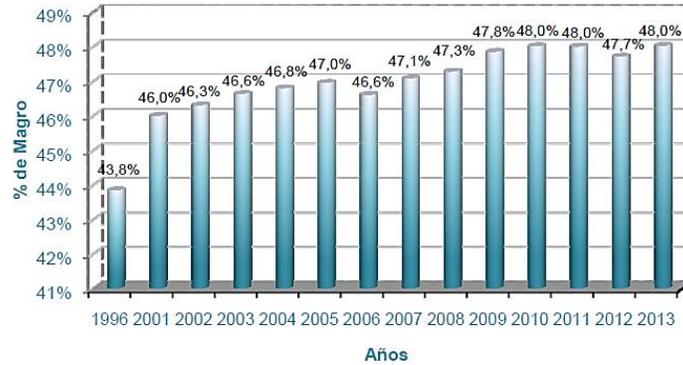


Figura N° 1. Cantidad de porcinos por provincia. MINAGRI, 2013 – Anuario. pág. 4.

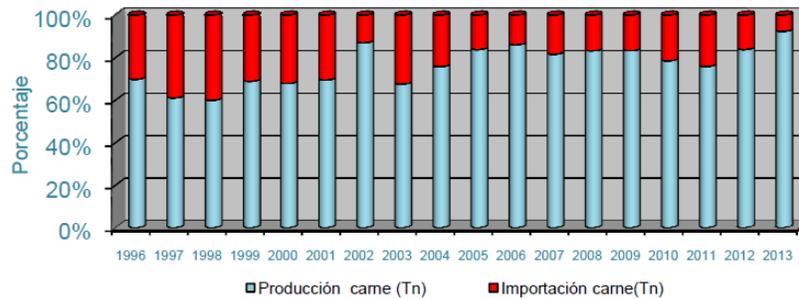
El crecimiento sostenido de esta actividad se refleja en algunos indicadores tales como el número de animales faenados, 36,7% más que el 2010 y una producción de 442.025 toneladas de carne. El consumo de carne registrado en el 2014 fue de 10,10 kg/hab/año y hasta abril del corriente año se estima un consumo promedio de 10,54 kg, 21,8% más que en 2011 (MINAGRI, 2015). El porcentaje de carne magra, también ha ido evolucionando positivamente a lo largo de estos últimos años, teniendo un registro de 48,02% en el 2013.



Fuente: Área Porcinos - Dirección de Porcinos, Aves de Granja y No Tradicionales, con datos la Dirección de Matriculación y Fiscalización del MAGyP.

Figura N° 2. Evolución del contenido de tejido magro de las reses porcinas de Argentina.

Con respecto a las importaciones, han sufrido un cambio muy importante desde la década del 90. En el 2014 se importó 8.929 toneladas. En el siguiente gráfico, perteneciente al último anuario 2013, podemos observar la participación de las mismas en el consumo aparente.



Fuente: Área Porcinos - Dirección de Porcinos, Aves de Granja y No Tradicionales, con datos de la Oficina de Estadísticas de Comercio Exterior – SENASA.

Figura N° 3. Participación de la importación en el consumo aparente (Tn eq. carne)

En el 2014 se registró 7.543 toneladas de carne para exportación; 51,8 % de la misma fue destino Hong Kong, 12,3% a Chile y 11,9 % a Colombia. Lo que más se exporta son menudencias y vísceras, le siguen las harinas y por último carne fresca en un 8,3% aproximadamente.

La relación insumo producto, maíz-capón, sigue siendo positiva, haciendo de esta actividad todavía rentable en la transformación de grano a carne. Teniendo en cuenta el precio

del kilo de maíz cercano a \$ 1 y el precio del kilo de capón alrededor de \$ 13 el kilo, nos sigue dando una excelente relación.

1. 2. Estructura del Sector Porcino en Argentina

Según el SENASA (2012) los pequeños productores concentran más del 66% de las cerdas a nivel nacional, las cuales se encuentran distribuidas en un 98% en establecimientos de hasta 100 madres.

Estos valores dan cuenta del alto porcentaje de productores en escalas de autoconsumo y que aún no han podido crecer en función a esta actividad. Este estrato puede ser categorizado como de subsistencia y es posible que decidan abandonar la producción ante otras oportunidades más rentables. En el otro extremo, observamos que aquellos productores de más de 500 madres poseen una media de 1.400 madres por establecimiento, por lo cual podemos asociarlos con una agricultura de carácter empresarial (FAO – INTA, 2012).

Como se puede apreciar, la producción extensiva es la que predomina en explotaciones familiares; se estima que aproximadamente el 65% de las madres se encuentran en manos de estos pequeños y medianos productores. Muchos de los problemas que se observan en los estratos productivos familiares suelen estar vinculados con bajos niveles de productividad medidos en kg carne/madre/año, consecuencia de deficiencias en el manejo, déficits nutricionales, instalaciones inadecuadas y mala genética (FAO – INTA, 2012).

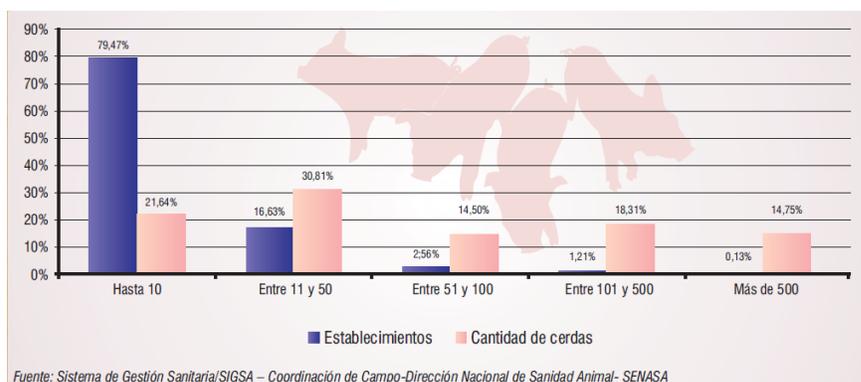


Figura N° 4. Distribución de cantidad de cerdas en los distintos estratos productivos.

En la tabla N°1, se detallan algunas características básicas presentes en los diferentes estratos de productores de porcinos en Argentina, considerándose las dos primeras EAPs familiares, las cuales presentan un nivel de tecnificación baja y una brecha tecnológica considerable sobre el resto de explotaciones (Brunori et al, 2012).

Tabla N°1. Estratificación de establecimientos según cantidad de cerdas.

	Estratificación de productores según número de madres			
	1-50 madres	51-100 madres	100-500 madres	Más de 500 madres
Sistema productivo	A campo	A campo Confinamiento del engorde	Generalmente confinadas	Totalmente confinados
Producto- ciclo	Lechones	Ciclo completo	Ciclo completo	Ciclo completo
Comercialización	Acopiadores o intermediarios	Intermediarios o directa a frigoríficos	directa a frigoríficos	Industrializa y comercializa marca propia
Infraestructura	Generalmente precaria	buena	buena	alta
Productividad promedio (lechones/ madre/ año)	10 a 12	12 a 16	16 a 20	20 a 22
Brecha tecnológica (capones/ madre/ año)	400- 600	400	200	-
Mano de obra (tipo)	Familiar	Familiar y asalariada	Asalariada	Asalariada

Fuente: Brunori *et al* (2012)

1.3. Sistemas de Producción

Existe una amplia variedad de sistemas de producción porcina en el mundo según el grado de intensidad, es decir diferentes grados de relación entre las proporciones de capital y mano de obra empleados por unidad de tierra en ocupación.

Por lo tanto podemos dividir en tres grandes grupos la producción porcina:

Sistema Extensivo: 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 más difundida está basada en pasturas con suplementación de granos. 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. El capital invertido en instalaciones es menor pero se necesitan grandes extensiones de campo.

Este sistema no alcanzó buenos índices productivos, observándose cuellos de botella en el manejo reproductivo, parto y la lactancia.

Sistema Mixto: combinación estratégica de las características de los sistemas extensivos y en confinamiento. 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.

Sistemas Intensivos: conjunto de instalaciones y prácticas que tienen como finalidad la producción de cerdos utilizando la menor área posible. Gran inversión en capital y mano de obra. Se procede al confinamiento de los animales durante toda su vida. Se requieren instalaciones adecuadas a cada etapa del desarrollo, estricto control de las raciones proporcionadas y una planificación correcta (GITEP, 2006).

Brunori (2012) nos informa en su trabajo que, con respecto a los sistemas de producción porcina en Argentina, se estima que el 39% de las madres se encuentran bajo confinamiento con una productividad promedio de cerda/año de 20 capones. El 61% restante, en sistemas de producción a campo o mixtos cuya productividad por madre/año se estima alrededor de 10 a 14 capones. En situaciones mejoradas (sistemas al aire libre o mixto con manejo intensivo) alcanzan valores de 16 a 18 capones por madre/año.

2. Contaminación Ambiental en Producciones Porcinas

Las excretas generadas en las producciones porcinas, resultan responsables de impactos sobre el aire, el suelo y el agua ya que se concentran en áreas reducidas y con una fuerte carga de nutrientes, metales pesados, antibióticos, otras drogas veterinarias y patógenos (Herrero y Gil, 2008). También son responsables de generar olores indeseables cuando no tienen un adecuado tratamiento y la proliferación de plagas sinantrópicas (FAO – INTA, 2012).

Es importante destacar que toda actividad intensiva genera un deterioro ambiental que puede ser mitigado por una correcta gestión en este caso de las excretas, transformando así un deshecho en un recurso. Se puede convivir con y en el medio ambiente sin dañarlo, siempre y cuando las emisiones no superen la capacidad de neutralización de los mismos ecosistemas (Sánchez Gómez, 2006).

De esta manera queda plasmada la importancia de tratar los residuos porcinos en los sistemas de producción con manejo intensivo para mantener la sustentabilidad ambiental.

2.1. Residuos porcinos

Las excretas porcinas están conformadas por un 45% de orina y un 55% de heces, la humedad es del 90% y el contenido de materia seca es del 10% aproximadamente. La densidad de la misma es cercana a 1, siendo un fluido de peso comparable con el agua. Posee sólidos que flotan, algunos que sedimentan y otros que se mantienen en suspensión. (INIA; MINAGRI. 2005).

Se pueden presentar como purines o estiércoles dependiendo del sistema que se lleve a cabo.

Los estiércoles están formados por las deyecciones sólidas y líquidas más las camas del ganado, que han sufrido procesos fermentativos.

Los purines están definidos por ser una mezcla de deyecciones sólidas y líquidas con el agregado del agua proveniente de los bebederos, lavado y agua de lluvia. También están formados por restos de cama y alimento.

Según el tipo de producción porcina que se desarrolle y su grado de intensificación el impacto ambiental de los purines no tratados será diferente.

Para el caso de las explotaciones extensivas a campo se destaca el bajo impacto que ejercen sobre el medio ambiente, ya que el animal al estar libre, distribuye por sí mismo las heces, evitando de esta manera la recolección de estiércol concentrado en un lugar. Lo más relevante en este tipo de sistemas es evitar la saturación del suelo con excretas y la erosión del mismo junto a la contaminación del agua.

Las ventajas de los sistemas al aire libre cuando tienen un manejo correcto, radican en una buena planificación de rotación de lotes agrícolas con los de ganado porcino, logrando así una adecuada fertilización, mantenimiento y aporte de materia orgánica al suelo.

Un esquema de rotación de 2 a 3 años evita el exceso de nitratos (NO_3) y fósforo (P), en el suelo manteniendo sus valores dentro de los rangos aceptables, que dependen de la zona donde se ubique el emprendimiento, tipo de suelo, topografía, clima y alimentación del ganado porcino (FAO – INTA, 2012).

Cuando avanzamos en el grado de intensificación dentro de un sistema mixto, en donde generalmente la parte de recría y terminación presenta algún grado de confinamiento, comenzamos a tener concentraciones elevadas de efluentes y el tratamiento de los mismos se hace fundamental.

Una alternativa que ha surgido en este último tiempo, es confinar estas etapas en el sistema de cama profunda que consta de galpones sin piso de concreto o fosa, sino de piso de tierra recubierto de una buena cama de paja, lo que permite una adecuada percolación de residuos. El manejo que se realiza es solamente de excretas sólidas y no líquidas y se reduce un 50% las emisiones de amoníaco (NH_3) en comparación a los sistemas confinados.

Hay un menor impacto ambiental, se logra un correcto manejo de las deyecciones. Existe un menor consumo de agua ya que no se realiza lavado de instalaciones o fosas. Se puede utilizar la cama como fertilizante orgánico o materia prima para compostaje y humus de lombriz. Y se logra una disminución considerable de moscas, olores y emisiones de amoníaco al ambiente.

En los sistemas confinados, los animales permanecen sobre pisos enrejillados, que necesitan ser lavados diariamente. De esta manera, los residuos generados pasan a formar una suspensión acuosa denominada efluente o purín que, contiene las excretas de los animales tanto líquidas como sólidas, el agua del lavado y los desperdicios de alimento. Esta descarga de residuos demanda un manejo que involucre un proceso de estabilización de los purines generados (MINAGRI, INIA, 2005).

2.2. 1. Efluente

El efluente porcino, como anteriormente habíamos expresado, está conformado por heces, orina, alimento desperdiciado, agua de bebida y otros.

La composición del mismo va a depender del peso del animal, su estado fisiológico, el sistema de producción en el que se encuentra, la dieta, la época del año, el estado de los bebederos, tipo de almacenamiento, tiempo de residencia del efluente y cantidad de agua utilizada en la limpieza.

El volumen promedio generado por cada etapa en la producción podemos observarlo en la siguiente tabla (N°2):

Tabla N°2: Producción media diaria de estiércol (kg), estiércol + orina (kg) y efluentes líquidos por animal por fase.

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

Materia seca entre 3 % a 10%

Committe of National Pork Producers Council, Brasil 2004.

Teniendo en cuenta los valores enunciados en la tabla anterior, el stock de madres comerciales, el porcentaje que se encuentran bajo sistemas intensivos, su respectiva productividad y la producción promedio de efluente animal-día del orden de los 20 litros,

podemos estimar que Argentina tiene una producción nacional de efluentes de **39.858.600** litros o **39.859** m³/día. Este dato nos muestra la magnitud parcial del problema de los efluentes generados en nuestro país, ya que no se cuenta con la información suficiente para calcular el número de cabezas de los sistemas mixtos que también generan efluentes en sus etapas confinadas.

2.2. 2. Características cualitativas del Efluente

El purín está conformado por grandes cantidades de hidratos de carbono, lípidos, aminoácidos, proteínas, urea, compuestos azufrados, macronutrientes en contenidos elevados y micronutrientes. A su vez poseen una población microbiana conformada por bacterias, virus y hongos.

Su alto potencial contaminante está definido básicamente por los siguientes parámetros:

- ✓ Alto contenido de materia orgánica.
- ✓ Alto contenido de macronutrientes, (N, P, K) y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn).
- ✓ Emisión de gases con efecto invernadero (GEI), amoníaco, metano y óxido nitroso.
- ✓ Presencia de metales pesados como el cobre y pesticidas.

Para poder determinar su potencial y comparar con otras cargas, debemos utilizar determinadas unidades como lo son la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y la demanda bioquímica de oxígeno (DQO).

El cerdo genera una excreta con una elevada proporción de nutrientes por ser ineficiente en la asimilación. Sólo puede aprovechar el 33% de la proteína de la dieta consumida. El nitrógeno no absorbido se encuentra en las heces (16%) y en la orina (51%), luego el 34% se transforma en gas y un 32% se incorpora al suelo (BPP, 2012).

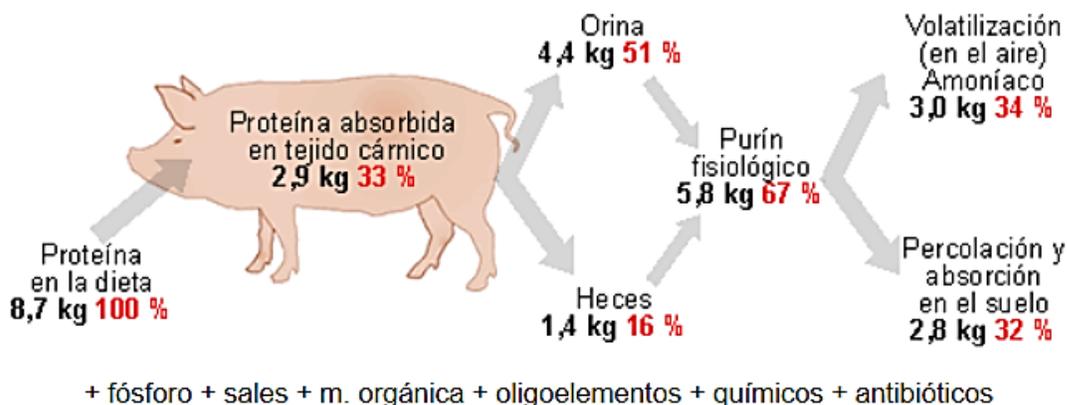


Figura N° 5. Dinámica de la utilización de recursos proteicos aportados a un cerdo durante el proceso de producción (Ajinomoto Animal Nutrition, 2000).

2.2. 3 Parámetros químicos y físicos de los efluentes.

- **DBO₅**: es la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos para degradar la materia orgánica por vía biológica a un tiempo y temperatura específica. Se expresa en mg/litro de oxígeno disuelto a los 5 días y a una temperatura constante de 20 °C. Es el método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. El cálculo se efectúa determinando el contenido de oxígeno de una muestra de agua y lo que queda después de un tiempo determinado (se toman 5 días como medida estándar) comparada con otra muestra semejante conservada durante este período a una temperatura de 20 °C en un recipiente cerrado, fuera del contacto del aire y en la oscuridad, para evitar el aporte de oxígeno por fotosíntesis. La diferencia entre los dos contenidos representa la DBO en 5 días (DBO₅).

- **DQO**: demanda química de oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltos o en suspensión en una muestra líquida (Peralta *et al*, 2005). Mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar por vía química la totalidad de la materia orgánica. Se expresa en miligramos de O₂ por litro (mg/l). Los productos que se obtienen son CO₂ y agua por parte de la materia orgánica y NH₃ por parte del nitrógeno orgánico.

La DQO se determina adicionando una cantidad pesada de dicromato potásico (K₂Cr₂O₇) a un volumen conocido de muestra, acidulando el medio (pH<7) y destilando a reflujo el sistema durante 2 o 3 horas. El dicromato sobrante de la oxidación de la materia

orgánica se evalúa mediante un agente reductor (generalmente sulfato amónico ferroso). La diferencia entre la cantidad inicial de dicromato y la determinada por valoración con el agente reductor, es la consumida en la oxidación de la materia orgánica presente en el efluente (Jiménez, 2008).

Siempre el valor de DQO debe ser mayor que el de DBO₅, debido a que no toda la materia oxidable químicamente (condiciones energéticas) pueden ser bio-oxidable (condiciones suaves). En general, se puede decir que cuando DBO₅/DQO es < 0,5 estamos ante un efluente fácilmente biodegradable, mientras que si este cociente es inferior a 0,2 será escasamente biodegradable (Jiménez, 2008).

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).

- **Sólidos Totales:** es la suma de los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos en la muestra. (Gestión Ambiental, 2000). En el caso de los efluentes existe una gran proporción de sólidos en suspensión de digestión lenta (Cervantes et al, 2007).

- **pH:** es una medida de la concentración de iones hidronio (H₃O⁺) en la disolución. En las medidas de pH hay que tener presente que estas sufren variaciones con la temperatura y que los valores indicados son para 20 °C. En el caso de los efluentes porcinos, el pH varía entre 6 y 8, tendiendo a la neutralidad en la medida que las excretas sean más frescas.

- **CE:** conductividad eléctrica. Parámetro que mide la concentración de sales en un medio líquido o sólido. Cuantas más sales tengamos mayor será la conductividad del medio. Se mide a través de un conductímetro. La alcalinidad y conductividad son propiedades más del agua de lavado y de bebida, que de la excreta (Carr, 2009).

Cuando necesitamos caracterizar el efluente para luego determinar el tratamiento que le vamos aplicar existen dos metodologías, 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 (Peralta *et al*, 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.

Con respecto a la caracterización esta queda definida, como lo vimos con anterioridad, por los siguientes parámetros:

DBO₅ (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 (m³/día)

La cuantificación del flujo se puede realizar a través del uso de instrumentos medidores llamados caudalímetros, o en su defecto, a través de la medición directa por el método del flotador (Peralta *et al*, 2005).

Una forma de evaluar el caudal es a través de la medición en los canales abiertos de evacuación de purines. Para ello se debe contar con un caudalímetro para cada canal que provenga de galpones, pueden ser de inserción o ultrasónicos. El flujo total que se pretende calcular será la suma de todos los canales existentes en el plantel.

Otra menos exacta pero más económica es la medición de caudal de agua de lavado antes de su utilización, inmediatamente después de su extracción subterránea o superficial mediante caudalímetros de tubería.

El flujo de excretas se puede calcular a partir del número de animales por etapas fisiológicas del plantel y de tablas de composición, como la N° 2, presentada con anterioridad. Luego sumamos el caudal de agua de lavado y obtenemos el flujo de purín o efluente a tratar.

- ✓ Cálculo de flujo total de excretas:

$$FT_e = FE_r \cdot NA_r + FE_g \cdot NA_g + FEm \cdot NAM$$

Donde:

FT_e : Flujo total de excretas en $lt \cdot día^{-1}$

FE_r : Flujo de excretas de recrias en $lt \cdot día^{-1}$

FE_g : Flujo de excretas de engorda en $lt \cdot día^{-1}$

FEm : Flujo de excretas de maternidad con crías en $lt \cdot día^{-1}$

NA_r : Número de animales de recrias

NA_g : Número de animales de engorda

NAM : Número de animales maternidad con crías

- ✓ Cálculo de flujo total

$$Fp = FTe + Fal$$

Donde:

Fp : Flujo de purines en $(lt \cdot d^{-1})$

FTe : Flujo total de excretas en $(lt \cdot d^{-1})$

Fal : Flujo del agua de lavado en $(lt \cdot d^{-1})$

Y a la vez;

$$Fal = Rd \cdot FTe$$

Donde:

Rd : Relación de dilución excretas: agua de lavado.

2.2. 4 Contaminación del Efluente

La contaminación en el suelo se produce por una aplicación excesiva de excretas como fertilizante orgánico en los cultivos, rompiendo el equilibrio preexistente dando lugar a uno nuevo que altera la calidad del suelo receptor. Los principales contaminantes son el N, P y metales pesados.

También se ha observado que el vuelco repetido de purines en la misma superficie produce costras, reduciendo en algunos tipos de suelo la permeabilidad de los mismos, favoreciendo la erosión, acumulación de sales y metales pesados que resultan tóxicos para los microorganismos del suelo (FAO - INTA, 2012).

En el suelo existe naturalmente un equilibrio entre el N orgánico y el N inorgánico. Los purines con relaciones bajas de C/N (menos del 20%) tienden a una mayor formación de amoníaco, es decir, una mineralización más rápida. El hecho de que haya una sobre fertilización nitrogenada produce que los nitratos no puedan ser absorbidos por los cultivos y se lixivien en aguas subterráneas, generando contaminación.

Es importante tener en cuenta, que en los purines de ganado porcino el N se encuentra en un 40% como orgánico y en un 60% como inorgánico.

En el caso del P, el proveniente del purín como el de los abonos inorgánicos tienen la misma eficiencia, y la concentración en los purines varía según el tipo de producción, conversión animal y tipo de alimento balanceado (Sánchez Gómez, 2006).

Generalmente, este elemento no suele presentar efectos de toxicidad en la mayoría de los suelos.

Otro elemento que tiene un comportamiento similar al fósforo es el potasio, solamente podemos observar problemas en las praderas pastoreadas por ganado vacuno, ya que este elemento tiene un efecto antagónico con el magnesio en sangre del mismo (Rodríguez, 2002).

Con respecto a los metales pesados tenemos que considerar que el cerdo asimila muy poco de los elementos que incorpora en la dieta, en el orden del 5 al 15% del cobre y zinc respectivamente, excretando el resto. Por lo tanto, es factible que la fracción de Cu y Zn asimilable del suelo aumente a límites de toxicidad ante una práctica repetida de fertilización con purines (FAO – INTA, 2012).

Cuando hablamos de la contaminación del agua, nos estamos refiriendo a una alteración en la calidad física, química y microbiológica de la misma. Los elementos que más inciden en estos cambios negativos son el N, el P, metales pesados, microorganismos patógenos y drogas.

En el caso de las aguas superficiales el efecto de la eutrofización es lo más relevante favorecida por una elevada concentración de N, P y temperatura del medio.

En aguas subterráneas, los contaminantes llegan por infiltración y lixiviación. Cuando la concentración de nitratos supera los límites aceptables, comienzan a representar una amenaza para la salud humana ya que los mismos interfieren en las moléculas de hemoglobina y por lo tanto en el transporte de oxígeno. Argentina establece un límite de 45 ppm (Urrutia Pérez *et al.* 2003 en Herrero, 2008). El fósforo es poco frecuente, porque enseguida se fija a partículas coloidales del suelo, dando a lugar a compuestos pocos solubles.

Para los metales pesados, Herrero y Gil, 2008, en su trabajo nos comentan que Sims & Wolf en 1994 demostraron que el proceso de quelación de los metales pesados en las excretas con alta proporción de sustancias orgánicas solubles aumenta la solubilidad de los mismos al igual que su disponibilidad.

Un estudio realizado en áreas rurales en Argentina mostró que 70% de las perforaciones de instalaciones de ordeño presentaron diversas contaminaciones de origen microbiano (Herrero *et al.* 2002). El incremento de sedimentos, 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 (Herrero y Gil, 2008).

Los residuos de drogas de uso veterinario y de hormonas en cuerpos de agua es un tema de interés reciente. 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).

La contaminación del aire proveniente de sistemas ganaderos intensificados tiene origen en diversas causas: gases con efecto invernadero (GEI), amoníaco, compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas aéreas e insectos y roedores. Los principales GEI producidos por la ganadería son el metano y el óxido nítrico.

En los sistemas cerrados (aves y porcinos), la concentración de amoníaco en el aire es importante debido a la concentración de excrementos, y se percibe a través de un olor desagradable. A partir de 20 ppm ya produce irritación de las mucosas (Hatch *et al.* 2002). En el aire, el amoníaco reacciona con otros gases (sulfhídrico, nítrico), los que al depositarse

por precipitaciones contribuyen a la acidificación de los suelos (Hatch *et al.* 2002). La acumulación de las excretas, de alimento y de animales en espacios reducidos también libera otra serie de gases y vapores. 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 (ACFA & AAFRD 2002).

3. Tratamiento de Efluentes Porcinos.

Los tratamientos para efluentes porcinos son los que se pueden observar en la tabla N° 3. La elección de algunos de los métodos estará basada en el análisis del sistema de producción y en los objetivos planteados, tales como utilizar los efluentes con destino de fertilizantes y abono, o como generadores de energía térmica y eléctrica.

Tabla N° 3: Tratamientos de efluentes Porcinos.

TIPOS de TRATAMIENTOS	
METODOS FISICOS: SEPARADORES DE SOLIDOS	<ul style="list-style-type: none">• Por gravedad• MECANICOS: Tamices, separadores de tornillo, prensas, etc.
METODOS FISICO-QUIMICOS	<ul style="list-style-type: none">• Evaporación• Filtración• Procedimientos mixtos
METODOS BIOLOGICOS	<ul style="list-style-type: none">• LAGUNAS• Digestores• COMPOSTAJE

Fuente: Ciudad, 2003.

3.1. Métodos Biológicos

3.1.1. Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización constituyen un sistema de tratamiento bioquímico de crecimiento suspendido, sin recirculación de sólidos sedimentados. Si bien constituyen el sistema más simple y sencillo de tratamiento de aguas residuales, son de una naturaleza muy compleja desde el punto de vista de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos responsables de su eficiencia.

Para su diseño tenemos que tener en cuenta el número máximo de cerdos que puede tener nuestro sistema productivo, definir el volumen de excretas, calcular el volumen de agua utilizado para el lavado de instalaciones y agua de desperdicio, y por último calcular el balance hídrico del lugar teniendo en cuenta el aporte de aguas de lluvias y su evapotranspiración.

Los tipos de lagunas que podemos encontrar son anaeróbicas, facultativas y aeróbicas.

- **Lagunas anaeróbicas:** se proyectan para altas cargas orgánicas y no contienen oxígeno disuelto. El proceso es semejante al de un digestor anaeróbico sin mezcla. La materia orgánica es estabilizada mediante su transformación en dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) principalmente.

- **Lagunas facultativas:** operan con una carga orgánica media. En las capas superiores hay un proceso aeróbico. En las capas inferiores se tiene un proceso anaeróbico, donde se produce simultáneamente fermentación ácida y metánica. Tienen como objetivo la reducción de nitrógeno y fósforo.

- **Lagunas aeróbicas:** soportan cargas orgánicas bajas y contienen oxígeno disuelto en todo instante y en todo volumen del líquido. En este tipo de lagunas resulta esencial el desarrollo de algas en la superficie, que liberan oxígeno durante la fotosíntesis. Este es tomado por las bacterias aeróbicas, que descomponen la materia orgánica generando gas carbónico que a su vez es utilizado por las algas para llevar a cabo el proceso fotosintético.

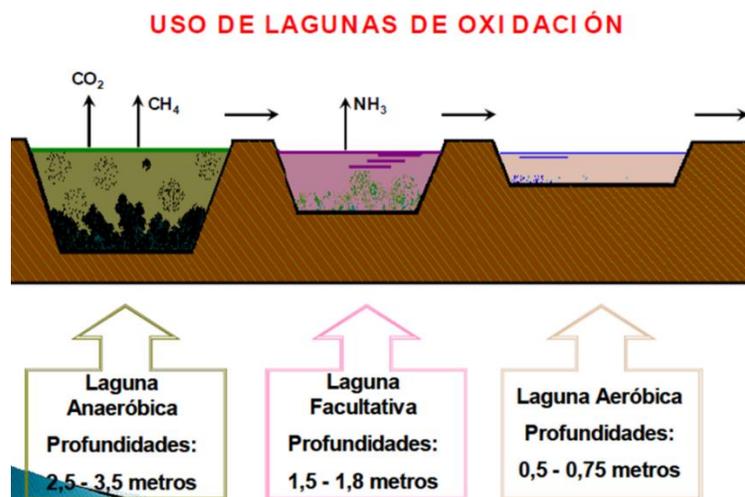


Figura N° 6. Diseño del tándem lagunar (Braun, 2013).

Con respecto a su diseño, las lagunas anaeróbicas pueden ser cuadradas, rectangulares, elípticas o circulares, en promedio la dimensión es de 5 m^3 por cada 100 kg de PV animal. Se recomienda un talud de aproximadamente 2:1 (horizontal: vertical) y contar

con un parapeto de 0,6 m de alto por 1m de ancho para evitar la entrada de agua de lluvia. Las lagunas nuevas deben llenarse, inicialmente, con agua limpia hasta un 50% de su capacidad. Es importante descargar las deyecciones diariamente. Camas de paja, virutas, materiales plásticos, aceites y otros contaminantes no deben arrojarse a las lagunas.

Cuando la concentración de sales supera los 5000 ppm la acción de las bacterias anaeróbicas se inhibe por lo tanto hay que eliminar el líquido sobrenadante hasta la mitad de su contenido (Rodríguez, 2004).

También es importante considerar, que aproximadamente el 20% de las deyecciones sólidas no son biodegradables o se degradan lentamente. Tal es el caso de cenizas, ligninas y celulosa. Estas se acumulan en el fondo y deben ser removidas. Se realiza cuando ocupan 1/3 del volumen de la laguna y pueden usarse como fertilizante.

Las lagunas se deben impermeabilizar para evitar la posible contaminación de acuíferos, a través de arcillas o láminas de polietileno.

Si bien las lagunas anaeróbicas tienen como ventajas que son fáciles de operar, reducen el potencial contaminante, se obtiene un efluente adecuado para riego agrícola (sobrenadante y tratado en las aeróbicas), tiene como desventajas no menores, el hecho de que para obtener altos grados de tratamiento requiere temperaturas altas, exige un intervalo de operación de pH bastante restringido, requiere concentraciones altas de alcalinidad, es sensible a la contaminación con oxígeno, puede presentar olores desagradables por H₂S, ácidos grasos y amidas y existen riesgos de salud por H₂S (Rodríguez, 2004).

3.1.2 Digestión Anaeróbica.

Es un proceso fermentativo que se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.

La digestión anaerobia es un proceso que se produce en ambientes naturales como los pantanos, en zonas anegadas para el cultivo de arroz, en los sedimentos de lagos y mares, en las zonas anóxicas del suelo, en fuentes de aguas termales sulfurosas y en el tracto digestivo de los rumiantes (Díaz-Báez, 2002).

En el campo del tratamiento de los efluentes, la contaminación orgánica es evaluada a través de la DQO, la cual mide básicamente la concentración de materia orgánica. La forma de apreciar lo que ocurre con la materia orgánica en el tratamiento anaerobio, es comparando su balance de DQO con el del tratamiento aerobio.

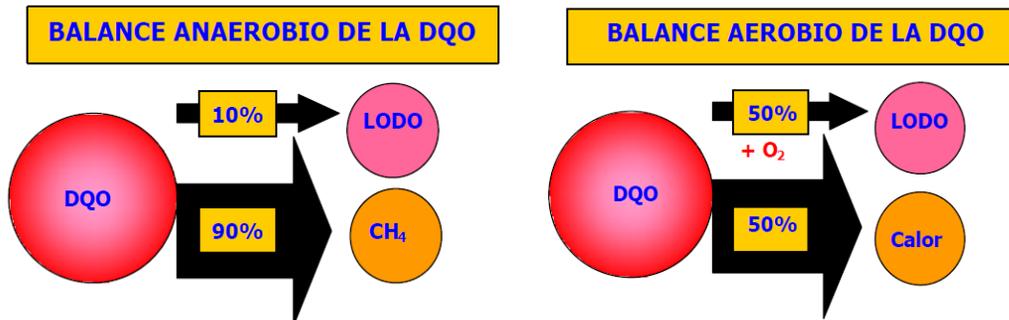


Figura N° 7. Balance Anaerobio y Aerobio de la Materia Orgánica (Rodríguez, 2004).

En el tratamiento anaeróbico de la materia orgánica, hay una transformación de la misma, sin presencia de oxígeno por lo que la capacidad de transferencia de electrones permanece intacta en el metano producido. Al no existir oxidación se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%) y solo una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%) (Rodríguez, 2004).

La degradación anaeróbica de la materia orgánica necesita de la intervención de diversos grupos de bacterias tanto facultativas como anaerobias estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados en cada grupo.

Hay tres grandes grupos tróficos y cuatro pasos de transformación:

- 1° Hidrólisis: llevado a cabo por el Grupo I de Bacterias Hidrolíticas.
- 2° Acidogénesis: realizado por el Grupo I pero en este caso con las Bacterias Fermentativas.
- 3° Acetogénesis: en esta etapa encontramos a las Bacterias Acetogénicas pertenecientes al Grupo II.
- 4° Metanogénesis: llevada a cabo por el Grupo III, Bacterias Metanogénicas.

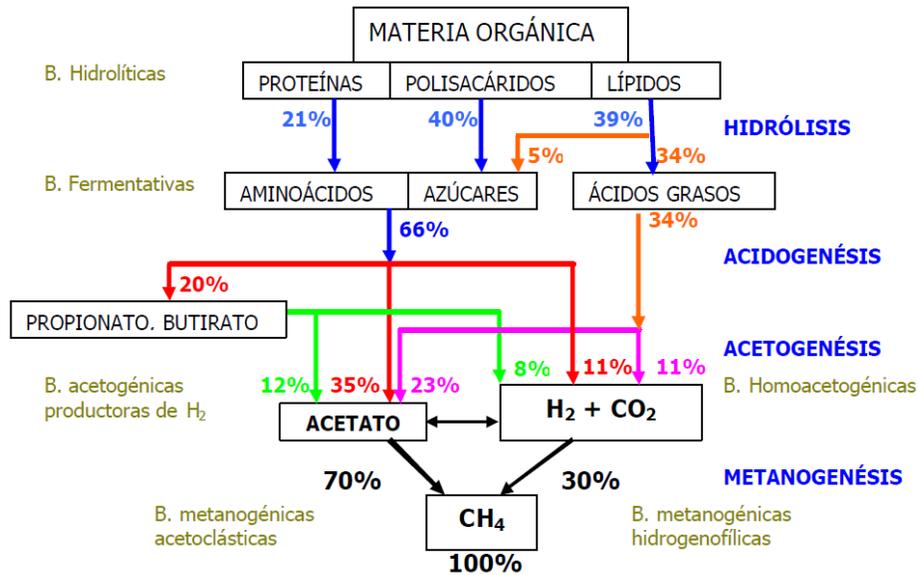


Figura N° 8. Etapas de la digestión anaeróbica (Madigan, 1997, van Haandel, 1994).

Como podemos observar en la figura N° 8 el proceso se inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas, y lípidos por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias hidrolíticas. Los productos, de bajo peso molecular, son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos, tales como los ácidos: acético, fórmico, propiónico y butírico. Estos finalmente son convertidos en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por las bacterias acetogénicas. Finalmente, las bacterias Metanogénicas transforman el acetato en metano y CO₂, o reduce el CO₂ en metano (Díaz-Báez, 2002).

La fermentación ácida tiende a bajar el pH, debido a la producción de ácidos grasos volátiles (AGVs), mientras que la metanogénesis solo se desarrolla cuando el pH es cercano al neutro. Cuando se produce una acidificación del sistema el metano deja de generarse, ésta es una falla muy común en los reactores anaerobios y deben ser evitados con una buena capacidad buffer que permita el equilibrio entre las dos fermentaciones.

Otro proceso involucrado en la digestión anaeróbica es la reducción de sulfato, en donde dicho compuesto se transforma en sulfuro de hidrógeno mediante la participación de las bacterias sulfato reductoras (BSR).

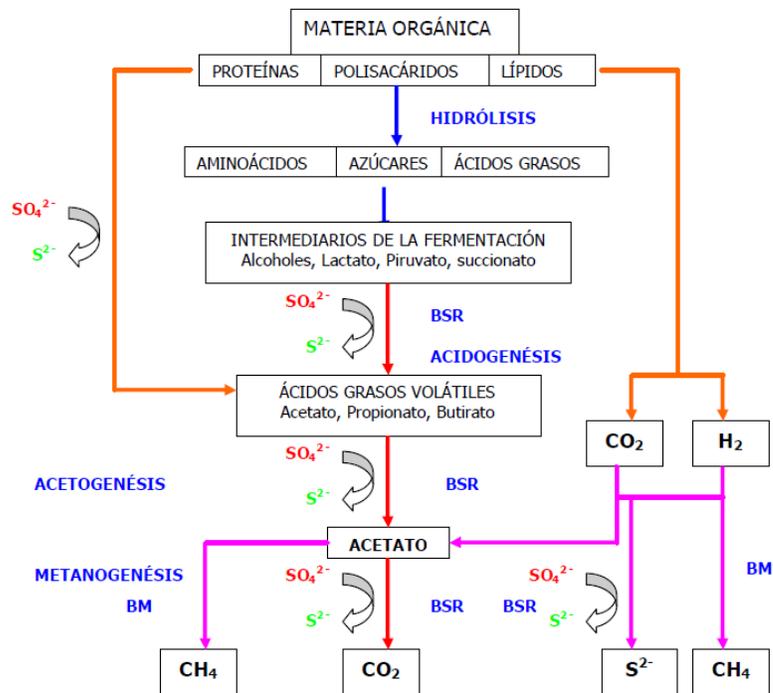


Figura N° 9. Sulfato reducción en la Degradación de la MO (Gibson, 1990).

La sulfato reducción puede generar algunos inconvenientes en la metanogénesis por:

1. competencia entre las BSR y las BM, por sustratos comunes y la consecuente disminución en la producción de metano;
2. inhibición de varios grupos bacterianos por la presencia de H₂S;
3. toxicidad generada por el H₂S, malos olores y corrosión.

A pesar de los problemas que ocasiona la sulfato reducción este proceso puede presentar algunas ventajas (Elferink, 1994):

1. contribuye a mantener un bajo potencial de óxido-reducción en el sistema;
2. constituye un método biotecnológico para la remoción de sulfato;
3. los complejos Metal-S²⁻ tienen baja solubilidad, propiedad que puede ser utilizada para la precipitación de metales pesados como Co, Ni, Pb, y Zn.

El hecho de mantener un pH cercano a la neutralidad, también contribuye al desarrollo de bacterias anaeróbicas que oxidan los sulfuros evitando la aparición de olores relacionados con la liberación de SH₂.

De todo este proceso, debemos rescatar y tener presente que la fermentación ácida en la digestión anaeróbica genera un pH < 7 y necesita temperaturas mayores a 15 °C y tiene tiempo de duración corto (\pm 5 días), la metanogénesis necesita un pH neutro, temperaturas mayores a los 25 °C y dura más de 22 días. Por lo tanto, el comportamiento de las lagunas anaeróbicas no va a ser el mismo en verano que en invierno.

3.1.3 Activadores Biológicos en Fosas y Lagunas

Son productos biológicos altamente concentrados que contienen cepas de bacterias seleccionadas y enzimas auxiliares, capaces de iniciar acciones biológicas en forma inmediata para lograr un control positivo de malos olores generados por compuestos orgánicos e inorgánicos.

Las bacterias en estos productos son secadas mediante un proceso especial y son reactivadas con facilidad mezclándolas con agua y permitiéndoles un tiempo de rehidratación.

Los activadores biológicos están mejor adaptados a las condiciones de pH y temperaturas de las fosas, superando ampliamente a las bacterias originales del estiércol e iniciando rápidamente el proceso de descomposición. Cambian la misma naturaleza de los compuestos causantes de malos olores por medio de hidrólisis y oxidación biológica. Como resultado de estas reacciones se suprimen los patógenos, la DBO₅ y la DQO del estiércol se reducen drásticamente, pudiendo esperarse que haya reducciones del volumen de sólidos, en semanas, de hasta un 40%, y los olores disminuyen significativamente no sólo en el lugar de almacenamiento, sino también una vez desparramado en el campo (Muñoz *et al*, 2003).

Braun *et al.*, 2013 en su trabajo Tratamiento ecológico para aumentar el rendimiento biológico de bacterias en las fosas bajo los slats en pistas de terminación de cerdos, estimó el pH, la T°, el potencial redox, concentración de sulfuros, DBO₅, DQO, Escherichia coli y Coliformes NMP (método del N° más probable), en fosas de terminación utilizando un preparado de bacterias de uso comercial como activador biológico de acción enzimática. Se

observó en los resultados de la medición hecha a los 60 días, que en el tratamiento T1 donde se le incorporó 112,5 g de un concentrado de 1,5 billones/g de microorganismos sin excipientes al ingreso de los cerdos, una estabilización de la MO hasta los productos finales CH₄ y CO₂. Las bacterias metanógenas crecieron mejor con temperatura T° (T1)(Tabla N°4). Los valores redox estables en T1 correspondieron a un ambiente muy reductor, rico en hidrógeno gas, y por tanto, apropiado para el crecimiento de microorganismos anaerobios estrictos, que indicaron menor eliminación de SH₂, menor DBO₅, menor DQO, menor presencia de E. coli y de Coliformes totales; y una posterior reducción de DBO₅ y DQO del medio. Un > pH en T1 benefició la presencia de estas bacterias que oxidan los sulfuros evitando la aparición de olores relacionados con la liberación de SH₂. Considerando estos resultados se llegó a la conclusión que el agregado de activadores biológicos de acción enzimática, para incrementar la depuración anaerobia, aumentan la eliminación de MO en fosas de tiempos pequeños de retención.

Indicadores de contaminación	30 días del inicio		60 días del inicio	
	T1	T2	T1	T2
T° (°C)	25 (± 0,3) a	19 (± 0,2) b	34 (± 0,2)a	28 (± 0,4)b
pH	6,8 (±0,02)a	6,0 (±0,04)b	7,0 (±0,01)a	6,5 (± 0,05)b
Pot. Redox (voltios)	-0,50 (± 0,001) a	-0,43 (±0,003) b	-0,53 (±0,002) a	-0,55 (±0,003) b
Sulfuros (mg/L)	124 (± 10) a	209 (± 17) b	0,60 (±0,01) a	145 (±) 11 b
DBO ₅ (mg/L)	4567 (±114) a	10907 (±203) b	715 (± 21) a	7765 (± 186) b
DQO (mg/L)	7564 (±177) a	15987 (±243) b	2108 (±97) a	5680 (±134) b
Escherichia coli (Col/100 ml)	876 (± 49) a	1432 (±75) b	173 (±11) a	435 (±38) b
Coliformes NMP (Col/100 ml)	4795 (±102) a	9675 (±246) b	554 (± 31) a	4536 (±189) b

Tabla N° 4. Promedio de las variables ± 1 ES (Braun et al, 2013).

3.1.4 Biodigestores

Un biodigestor es un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Como resultado de este proceso se obtiene un gas combustible que posee aproximadamente 66% de metano y 33% de dióxido de carbono, llamado biogás. El material resultante de la biodigestión, puede ser directamente usado como abono y acondicionador del suelo, ya que el nitrógeno se torna más disponibles, mientras que

otros elementos como el fósforo y el potasio no se ven afectados en su contenido y su disponibilidad.

Las principales ventajas de los biodigestores son:

- ✓ Los residuos de la producción porcina no necesitan tratamiento antes de su inclusión en el biodigestor.
- ✓ Obtención de energía (biogás). Puede ser empleada en la cocción de alimentos, calefacción de cerdos pequeños o reemplazo de combustible en el funcionamiento de motores. Esta producción neta de energía puede aumentar sensiblemente la rentabilidad de las explotaciones ganaderas, especialmente las de gran tamaño. **Cada 1000 kg de peso vivo de cerdo produce 4.8 kg de sólidos volátiles por día que pueden ser digeridos para producir 2 m³ de biogás que tienen el calor equivalente a 2 litros de propano, los cuales se pueden quemar en un generador para producir 3.5 kilowatts/día.**
- ✓ Se reduce el problema de olores generado por el almacenamiento de estiércol en la granja.
- ✓ Se mantiene el valor fertilizante del estiércol. La mitad o más del nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco (NH₃). Una pequeña cantidad de fósforo (P) y potasio (K) se sedimenta como lodo en la mayoría de los digestores.
- ✓ Su manejo es sencillo y no requiere mantenimiento sofisticado.
- ✓ Protección del ambiente por reducción de la carga contaminante de los residuos cuando se hacen vertimientos puntuales o a cuerpos de agua. La digestión anaerobia en un digestor puede reducir la DBO y los sólidos suspendidos totales (SST) en un 60 – 90%. La reducción de patógenos es mayor a 99% en 20 días de tiempo de retención hidráulica (TRH) de digestión mesofílica.
- ✓ El estiércol digerido es más fácil de almacenar y de bombear.
- ✓ El área necesaria para el procesamiento de la excreta es menor si se compara con los sistemas de tratamiento aeróbicos.
- ✓ Para algunos materiales, el costo es relativamente bajo y se puede recuperar la inversión gracias a que se economiza en la compra de otras fuentes de energía y de abonos.

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).

La producción de biogás siempre va a depender de la temperatura del sustrato, de la agitación dentro del biodigestor y de la relación C/N del purín. La utilización del biogás también va a depender de su pureza.

Existen diferentes tipos de biodigestores, básicamente se los clasifican en función a su frecuencia de cargado. Tenemos entonces:

Discontinuos: Se cargan una sola vez y se retira cuando ya se ha dejado de producir gas, solo entonces se renueva de materia orgánica. Se usa cuando la disponibilidad de materia orgánica es limitada o intermitente.

Semicontinuos: Se cargan en lapsos cortos como de 12 horas, 1 vez al día, o cada dos días, se utiliza cuando la disponibilidad de materia orgánica es constante en los días. Los principales son el hindú, el chino y el taiwanés, cada uno con ventajas y desventajas.

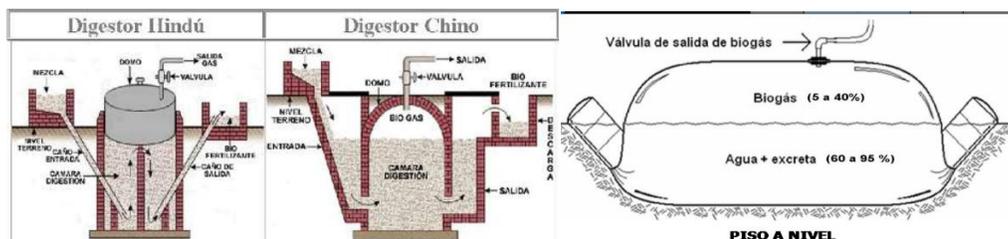


Figura N° 10. Tipo de digestores de carga semicontinua. (www.bio-digestores.blogspot.com)

Continuos: Se cargan permanentemente, y tienen como finalidad de tratamiento de aguas residuales, o efluentes de actividades pecuarias intensivas a gran escala.



Figura N° 11. Biodigestor continuo.

También tenemos en las producciones intensivas el diseño de biodigestores con geomembranas, que resulta de utilidad cuando se requiere trabajar con volúmenes importantes y en la medida que la profundidad de las excavaciones necesarias comience a resultar problemática, al aparecer demasiada humedad a causa del nivel de las napas freáticas.

El biodigestor tiene una geometría “alargada” donde la mezcla de materia orgánica y agua circula en “flujo pistón”. Este tipo de flujo permite que cada porción del residuo que ingresa por un extremo cumpla el tiempo de residencia necesario dentro del biodigestor antes de salir por el otro extremo.

En la construcción de este tipo de biodigestores se debe estabilizar e impermeabilizar los taludes para evitar cualquier tipo de percolación a las napas freáticas. La cubierta superior, que es una geomembrana, tiene el objetivo de recuperar todo el biogás producido, como también cumplir la función de gasómetro. Este propósito se logra con la forma que se le da a la cubierta, tal que permita “inflarse” hasta un determinado volumen.

La alimentación se realiza por un extremo, mediante una cámara de carga que comunica directamente con la cámara de digestión, o según el diseño a través de una cañería. Los sólidos pueden llegar, en forma de suspensión o “barro”, mediante algún medio mecánico de transporte (bombeo, tornillo sin-fin, cinta transportadora, etc.).

Los barros digeridos se retiran por el otro extremo, pudiéndose descargar por gravedad, o en algún caso mediante el auxilio de una bomba de tipo sumergible apta para manejar sólidos en suspensión, denominada generalmente “estercolera”.

La agitación del biodigestor se puede realizar en forma mecánica, colocando varios agitadores, distribuidos adecuadamente a lo largo de toda la longitud del biodigestor.

Alternativamente se logra una buena agitación mediante la re-compresión del mismo biogás producido y su distribución desde el fondo –mediante una red de cañerías- en todo el volumen del biodigestor.

También se utiliza la bomba para retirar el material digerido, para reciclar parte de la suspensión ya digerida hacia la entrada del biodigestor con el fin de mejorar el pH de ingreso, mezclar la materia orgánica que se alimenta con la flora anaeróbica, y lograr algún grado de agitación en la masa en digestión (Groppelli, 2015).



Figura N° 12. Biodigestor con geomembrana.



Figura N° 13. Estabilización de taludes y agitadores.



Figura N° 14. Bombas succionadoras de lodos y biodigestor en funcionamiento.

El sitio donde vamos a emplazar este tipo de biodigestores deberá ser un lugar cercano al consumo de gas, ya que las tuberías son caras y las presiones que se obtienen no permiten el transporte a distancias mayores de 30 metros. Deberá estar cerca del almacenamiento de efluente y con una pendiente adecuada para facilitar el transporte y salida del mismo. Alejado por lo menos 10 a 15 metros de cualquier fuente de agua para evitar posibles contaminaciones y ubicarse preferentemente protegido de vientos fríos, donde se mantenga relativamente estable la temperatura, tratando de que reciba el máximo de energía solar.

3.1.5. Cogeneradores de Energía:

Esta forma de producción de energía eléctrica y térmica a través del biogás se convierte en una atractiva estrategia para el manejo de su demanda, ya que no sólo le permite al productor suplir en parte o en su totalidad las necesidades de consumo de energía eléctrica y térmica, sino que también, disminuiría la demanda nacional. Esto estimula el tratamiento y manejo de los efluentes, contribuyendo al cumplimiento de las obligaciones ambientales.

Un metro cúbico de biogás equivale a 6,5 Kwh de energía, si lo convertimos en corriente eléctrica obtenemos entre 1,8 y 2,5 Kwh de energía eléctrica (en este caso utilizaremos 2 para efectuar los cálculos), y el resto se traduce en calor (50% más de la energía eléctrica obtenida).

En el caso de las producciones intensivas de cerdos, el consumo de energía eléctrica y térmica tiene una alta participación ya que muchos de los indicadores de eficiencia productiva dependen de la generación de una zona de confort térmico debido a que los cerdos son animales muy sensibles a los cambios de temperatura. La calefacción se debe aplicar en las plazas de partos y lactancia, y en los de transición por los requerimientos específicos en dichas etapas. En este sentido, también cobra importancia la refrigeración en épocas de altas temperaturas porque el calor también produce estrés y disminución de eficiencia.

La mayoría de las salas de destete incorporan calefacción y ventilación, siendo estos dos los que abarcan la mayor parte del gasto energético en esta fase de la producción.

En los sitios o plazas de engordes, la ventilación supone el mayor porcentaje de consumo de energía. Tras la ventilación, los otros parámetros que afectan sobre la utilización de energía son la iluminación y la alimentación.

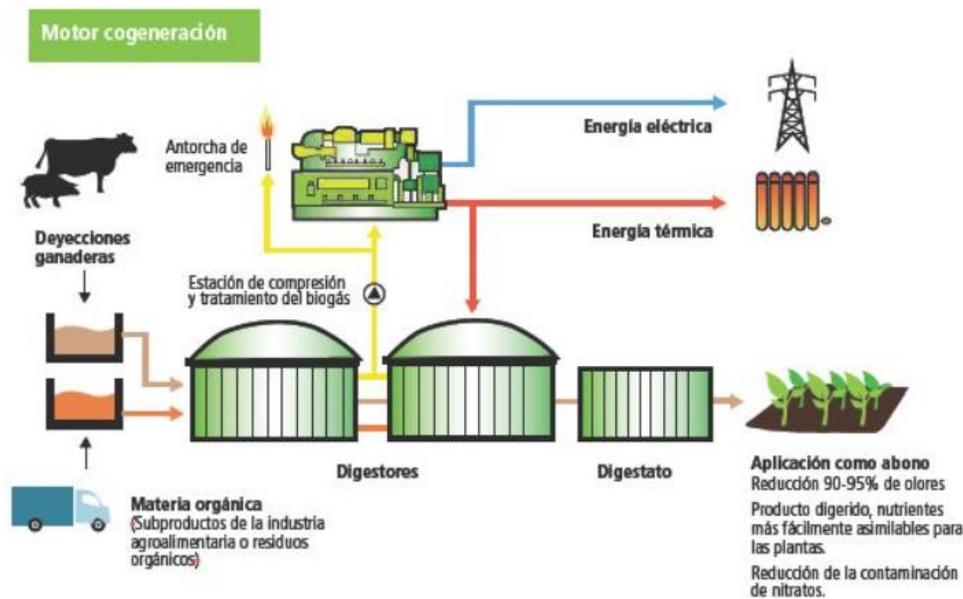


Figura N° 15. Esquema de una planta de biogás con cogeneración de energía.

3.1.6. Compostaje.

Se 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” (FAO & INTA, 2012). En este proceso, los responsables de la degradación de la materia orgánica son los microorganismos nativos, bacterias, hongos y actinomicetes.

Se destruye patógenos, convierte el N en formas orgánicas más estables, reduce el volumen de residuos (Wei, 2000) y satisface las necesidades de fertilización en la agricultura según la estación (Zhu, 2007). Los factores que se deben tener en cuenta en su elaboración son la temperatura, aireación, humedad y nutrientes. La relación C/N es muy importante, afectando el proceso de compostaje y la calidad del mismo. Se considera que una relación de 25-30 es la óptima para compostar (Fong et al., 1999).

Etapas del proceso de compostaje:

1) Etapa de descomposición

La descomposición es un proceso de simplificación donde las moléculas complejas se degradan a moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas. Involucra dos fases:

- Mesófila: con temperaturas hasta los 45 °C, tiempo de crecimiento y aclimatación de los microorganismos que dura entre 2 y 4 días;
- Termófila: con temperaturas de hasta 70 °C originado por un exotérmico debido a la actividad biológica (FAO & INTA, 2012). Se produce la sustitución de los microorganismos iniciales por otros que se adecuan a condiciones térmicas entre los 50 y 70 °C. De esta manera se consigue eliminar los microorganismos patógenos (coliformes, *Salmonella spp*, *Streptococcus spp*, *Aspergillus spp*.) y la semillas de malezas con lo que se asegura la inocuidad del producto final (FAO & INTA, 2012).

2) Etapa de maduración:

Se pueden diferenciar en dos:

- Enfriamiento: el material disminuye su temperatura a menos de 40 °C.
- Estabilización: se caracteriza por una baja actividad microbiana termófila dando paso a la proliferación de hongos que continúan al proceso de descomposición de lignina y celulosa entre otros. Se sintetizan coloides húmicos, vitaminas, antibióticos naturales y otros compuestos que favorecen el desarrollo vegetal.

Las condiciones para lograr el compostaje son:

- Aireación: la presencia de oxígeno es imprescindible para que se desarrolle el proceso. Si la aireación es deficiente se retrasa la fermentación aeróbica y origina la fermentación anaerobia, con sensibles pérdidas de N y C, malos olores y bajas temperaturas (GITEP, 2006). 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 que faciliten la existencia de poros.
- Temperatura: 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 supera los 55 °C (FAO & INTA, 2012).
- Humedad: no debería ser inferior al 50% (GITEP, 2006), siendo óptimo que cuente con un 25-35% de materia seca (CNP+L, 2009). Si la humedad es excesiva habrá menos oxígeno y si es deficiente los microorganismos no pueden metabolizar adecuadamente.
- pH: es un parámetro que condiciona la presencia de microorganismos, ya que los valores extremos perjudican a determinados grupos. Para conseguir que al inicio del compostaje la población microbiana sea la más variada posible debe mantenerse el pH cercano a 7. 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 una relación C/N alta, o para evitar la pérdida de nitrógeno cuando la relación es baja (GITEP, 2006). La relación C/N de un residuo se puede ajustar mezclando éste con otro residuo de características complementarias. Se estima una relación óptima con valores entre 25 y 35 al inicio, pues se considera que los microorganismo utilizan de 15 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno (FAO & INTA, 2012).
- Estabilidad y madurez del compost: un compost inmaduro y sin estabilizar puede provocar muchos problemas durante su almacenaje, distribución y su uso. En la práctica se le llame compost a un material térmicamente estabilizado, lo cual no

implica necesariamente una estabilización biológica. El proceso de estabilidad biológica 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).

Métodos para lograr el compostaje:

- 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. Las dimensiones de estas pilas están limitadas por la cantidad de aire que puede ser proporcionada por los sopladores y las características del material apilado.
- Hileras con agitación mecánica: con un sistema de volteo se airea y homogeniza el compost. Consiste en apilar el material en montones largos y estrechos. Para mantener una condición aeróbica, la mezcla de este material debe voltearse periódicamente. Esto expone al material a condiciones ambientales e impide aumentos de temperatura.
- Compostaje en reactores: Este se lleva a cabo en un contenedor o recipiente cerrado. La principal ventaja de este sistema es su rápida velocidad de descomposición (10 a 14 días), bajo requerimiento de terrenos, completo control del proceso y la calidad del producto final. Sin embargo, presenta un alto costo de instalación y operación (Mathur, 1991).

Las principales ventajas del compostaje son:

- La obtención de un material sólido fácilmente manejable y transportable ya que reduce el peso, el volumen, el contenido de humedad y la actividad del material inicial.
- La fase termófila del proceso elimina los 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 pueda ser utilizada para mejoramiento del suelo, logrando que el producto obtenido tenga un mayor valor agronómico.
- Es un método económico (FAO & INTA, 2012).
- Es un producto comercializable.
- Disminuye la compactación del suelo, mejora la estructura y la estabilidad,
- Aumenta la capacidad de retención hídrica.
- Provee elementos nutritivos mejorando la fertilidad.
- Estimula la actividad microbiana.
- Favorece la formación de humus (Vicari, 2012).

Desventajas:

- La necesidad de espacios extensos y la posibilidad de pérdidas de nitrógeno.
- Si el material es aplicado al suelo sin que aún se encuentre estable y maduro, se corre el riesgo de contaminación (físicoquímica y biológica) (CNP+L, 2009).

4. Legislación.

La Ley Nacional N° 25.675 llamada **Ley General de Ambiente** de la República Argentina se crea con el fin principal de brindar presupuestos mínimos para la gestión del ambiente. Fue sancionada el 06 de noviembre de 2002 y promulgada el 27 de noviembre de 2002 y contiene normas del derecho civil en materia de responsabilidad por daños ambientales, de derecho procesal asentando las bases estructurales del ambiente y de derecho administrativo.

Como antecedentes de esta ley ambiental se tuvo en cuenta el nuevo artículo 41 de la Constitución Nacional que cita que el ambiente "*debe ser apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer a las generaciones futuras*".

Tanto la ciudad como la provincia de Buenos Aires tienen leyes similares sancionadas desde la década de los 90. Las provincias de Chaco, Santa Cruz, Santiago del Estero, Tucumán, La Rioja, Salta, San Juan, Mendoza, Jujuy, Córdoba, Neuquén, Santa Fé y La Pampa tienen leyes provinciales de protección, preservación del medio ambiente y desarrollo sustentable.

La Ley de Ambiente de la Provincia de La Pampa n° 1.914, fue sancionada el 11 de enero de 2001. Tiene como objeto la protección, conservación, defensa y mejoramiento de los recursos naturales y del ambiente en el ámbito provincial, a través de la definición de políticas y acciones, la compatibilización de la aplicación de las normas sectoriales de naturaleza ambiental y la coordinación de las áreas de gobierno intervinientes en la gestión ambiental, promoviendo la participación ciudadana.

La presente Ley, garantiza, en la ejecución de sus políticas de gobierno, la aplicación de los siguientes principios de política ambiental: el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, en el marco de un proceso de crecimiento económico compatible con la preservación del ambiente (Desarrollo Sustentable), debe efectuarse conforme a los criterios de: unidad de gestión, tratamiento integral, economía del recurso, descentralización operativa, coordinación entre los organismos de aplicación involucrados en el manejo de los mismos, participación de los usuarios y por último, todo emprendimiento público o privado

cuyas acciones u obras sean susceptibles de producir efectos negativos sobre el ambiente, debe contar con una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) previa.

Con respecto al uso de energías renovables para la generación de energía eléctrica, Argentina tiene una ley sancionada en el 2007, denominada Ley 26.190: régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica. Tiene como objeto declarar de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad. Se establece como objetivo del presente régimen lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el ocho por ciento (8%) del consumo de energía eléctrica nacional, en el plazo de diez (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen.

En este marco estarían amparados todos los proyectos para generar energía eléctrica y térmica por medio del biogás, obtenido de los tratamientos de efluentes y otras materias primas.

El Dr. Steffen Gruber en 2010, junto a sus colaboradores presentaron *Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MW con una planta de biogás de alta eficiencia* en el marco agropecuario argentino, donde podemos observar detalladamente los costos beneficios de la aplicación de estas nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente. El equipo terminó concluyendo que existen posibilidades concretas de desarrollo de esta tecnología como aportante de energía al sistema argentino. Que los beneficios del cálculo económico dependen más del precio de maíz y del precio de venta de energías que de la inversión inicial de la planta. El proyecto tiene un beneficio económico. El cálculo económico puede dar como resultado beneficios mayores, si se incluye la venta de energía térmica producida y lo de los efluentes del proceso, como los biofertilizantes. Desde el punto de vista de la sustentabilidad, la inclusión del aprovechamiento de la energía térmica incrementaría la eficiencia global ya que se pasaría de una eficiencia del 40 % a una muy superior.

5. Normas ISO 14000 y 50000

En Argentina, son muy pocas las empresas que hasta el momento han tomado un compromiso con el cuidado del medio ambiente. En el caso de las producciones intensivas de cerdos es necesario que cada productor establezca un sistema de gestión ambiental ya que los impactos de contaminación son muy altos.

Las normas ISO 14000 son estándares voluntarios y no tienen obligación legal. Tratan mayoritariamente sobre documentación de procesos e informes de control. Han sido diseñadas para ayudar a las organizaciones privadas y gubernamentales a establecer y evaluar objetivamente sus sistemas de gestión ambiental. Proporcionan, además, una guía para la certificación del sistema por una entidad externa acreditada. No establecen objetivos ambientales cuantitativos ni límites en cuanto a la emisión de contaminantes. Tampoco fijan metas para la prevención de la contaminación ni se involucran en el desempeño ambiental a nivel mundial, sino que establecen herramientas y sistemas enfocados a los procesos de producción de una empresa u otra organización, y de las externalidades que de ellos deriven al medio ambiente. Los requerimientos de las normas son flexibles, y por lo tanto, pueden ser aplicadas a organizaciones de distinto tamaño y naturaleza (ISO, 2009).

Dentro de esta familia de normas ISO, tenemos las ecoetiquetas (ISO 14020-14024) que proveen información a los consumidores acerca de los productos, en términos de su carácter ambiental. Intentan alentar la demanda de bienes que no afectan o por lo menos no perjudican al medio ambiente y estimular así el potencial para una mejora ambiental continua (ISO, 2009).

En términos generales podemos decir que la Norma ISO 14001 apoya a las organizaciones que la utilizan para: “Identificar sistemáticamente y gestionar todos sus impactos ambientales en el sentido más amplio”.

La Norma ISO 50001 se enfoca principalmente al desarrollo e implantación de sistemas de gestión de la Energía. Se centra en la mejora continua del desempeño energético, la eficiencia y el consumo. Especifica los requisitos de un Sistema de Gestión de la Energía. Posteriormente la organización tiene que desarrollar e implantar una política energética y establecer los objetivos y planes de acción relacionados con su uso de la energía. Con esto se

pretende dar lugar a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y del impacto ambiental de la empresa, así como en los costos de la energía, a través un sistema de gestión energético.

La implementación de la ISO 50001, otorga los siguientes beneficios:

1. Proporciona un marco adecuado administrativo para la integración de la eficiencia energética en las prácticas de gestión de la organización. Estimula a las empresas en sus esfuerzos para promover la eficiencia energética en toda la cadena de suministro.
2. Permite hacer un mejor uso de todos los activos que consumen energía dentro de la empresa.
3. Genera información adecuada para desarrollar comparaciones empresariales (Benchmarking), ofrece la medición, documentación y presentación de informes sobre mejoras de la intensidad energética y sus efectos previstos en la reducción de gases de efecto invernadero (GEI, mediante diversos proyectos de reducción de emisiones de gases invernadero e impacto a la huella ecológica.
4. Desarrolla efectos de mejor transparencia y comunicación sobre la gestión de los recursos energéticos.
5. Permite mejores prácticas de gestión durante la gestión energética.
6. Posibilita la evaluación y ayuda a priorizar la aplicación de nuevas tecnologías de para el logro de una mayor eficiencia energética.

Se estima que la norma, dirigida a una amplia aplicabilidad a través de los sectores económicos nacionales, podría influir hasta en un 60% del consumo de energía del mundo (ISO, 2011).

Materiales y Métodos

En el presente trabajo se realizó una descripción detallada del contexto porcino en la Argentina, con un análisis de los sistemas productivos porcinos y la importancia del poder contaminante de sus efluentes. Se analizó el tratamiento de los purines junto al proceso biológico de hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis en las lagunas anaeróbicas, facultativas y aeróbicas. Se planteó los beneficios de las geomembranas flexibles de polietileno de alta densidad para el sellado de la laguna anaeróbica.

Se procedió también, al cálculo de la DBO₅ y DQO por cada 100 kilos de PV. Se efectuó el cálculo y dimensionamiento de fosas de recolección de purines del sistema y tándem lagunar para vaciado bimestral, en un establecimiento en confinamiento de 1500 madres.

Se describió el proceso de digestión anaeróbica en los biodigestores, y en función del poder calorífico del biogás obtenido, se estimó las posibilidades de uso para cogenerar energía eléctrica y térmica, junto al aprovechamiento de la misma en el uso de lámparas de calor eléctricas, suelos radiantes en salas de parición, destete y en engorde.

Para la ejecución de todos estos pasos se procedió a hacer una intensa revisión bibliográfica del tema, consulta de publicaciones científicas, revistas especializadas, monografías y entrevistas a especialistas en la materia e investigadores de la UNLPam relacionadas con el tema de investigación.

Finalmente, con la información obtenida, su interpretación, análisis y discusión se elaboró un informe basado en el cálculo y dimensionamiento de instalaciones para el tratamiento de efluentes de un sistema porcino intensivo. El documento tiene como objetivo ser una fuente de información para el proceso de enseñanza/aprendizaje de los alumnos de la Facultad de Agronomía, UNLPam, que también se ofrecerá para la divulgación desde la biblioteca de esta Casa de Estudio.

Resultados y Discusión

1. Dimensionamiento de Fosas y Tándem Lagunar:

Datos:

Cantidad de Madres: 1500

Reposición a los 130 kg de PV

Peso a faena: 105 kg de PV

Destete: 21 días

Nacidos vivos: 10

Mortalidad nacimiento-destete: 10%

Mortalidad posdestete: 2%

Mortalidad recría – terminación: 2%

Parición: 85%

Machos Activos para inseminación: 3 machos (dos pajuelas y uno descansa).

Duración pos – destete: 6 semanas

Duración recría – terminación: 15 semanas

Ciclo reproductivo: 145 días.

Parto cerda/año: 2,5

Parto efectivo cerda/año: 2,14

Total de partos/año: 3210

Partos semanales: 62

Nacidos vivos por semana: 620

Destetados por semana: 558

Cerdos en recría-terminación/semana: 533

Venta anual: 533 x 52 semanas: 27716 capones.

Hembras que entran en servicio/semana: 73

Plazas de Gestación (3 m²): 16 semanas x 73 hembras: 1168 plazas. Superficie: 3504 m²

Fosas: 3 naves de 10 m de ancho x 117 m de largo con una fosa de 0,36 m de profundidad.

Plazas de Parición (7m²): 4 semanas x 62 hembras: 248. Superficie: 1739 m²

Fosas: 2 naves de 10 m de ancho x 87 m de largo con una fosa de 0,11 m de profundidad.

Plazas Post-Destete (0,3 m²): 7 semanas x 558 animales/semana: 3906 plazas en 1172 m²

Fosas: 1 nave de 12 m de ancho x 98 m de largo con una fosa de 0,30 m de profundidad

Plazas Recría-Terminación (1m²): 16 semanas x 533 animales/semanas: 8528 plazas en 8582 m²

Fosas: 9 naves de 12 m de ancho x 95 m de largo con una fosa de 0,30 m de profundidad.

6 litros animal/día de purines x 3539 animales x 60 días: 1.274.040 litros o 1.274 m³ bimestrales.

1274 m³ x 6 bimestres: **7.644 m³** anuales

Volumen total del lagunar contabilizando la lluvia y evapotranspiración: 9.444 m³

Laguna anaeróbica: 1.511 m³ con 2 m de profundidad (50 m de largo x 15,12 m de ancho)

Laguna facultativa: 1.889 m³ con 1,5 m de profundidad (63 m de largo x 20 m de ancho)

Laguna aeróbica: 6.044 m³ con 1 m de profundidad. (100 m de largo x 60,44 m de ancho)

Superficie total de Lagunas: **8.060 m²**

2. DBO₅ y DBQ

DBO₅ solo para la producción de carne anual es = 3.000.000 kg PV x 0,25 kg de DBO₅ = **750.000 Kg de DBO₅**

DBQ solo para la producción de carne anual es = 3.000.000 kg PV x 0,75 kg de DQO = **2.250.000 kg de DQO.**

3. Cogeneración de energía eléctrica

1500 madres en producción generan 3.000.000 kg de carne/año /365 días

3.000.000 kg de carne/año /365 días = 8220 kg de PV/día /1000 = 8,22 x 2m³ de gas = **16,44 m³ de biogás**

16,44 m³ x 6,5 kwh energía eléctrica = 106,86 kwh

Del total el rendimiento de la cogeneración es del 76,92% de energía eléctrica y un 50% más de energía térmica; el 23,03% restante va destinado a biofertilizantes, compuestos el 95% por líquidos y sólo los 5% restantes sólidos.

82,19 kwh de energía eléctrica/día x 365 = **30000 kwh**

123,3 kwh de energía térmica/día x 365 = **45.004 kwh** o 16,44 m³ x 365 = 6000 m³ /0,39 eq. Butano = 15385 kg de gas = 1538 garrafas de 10 kg.

Referencias de consumo promedio:

*1 HP consume 0,75 KW/h

Una Planta de balanceados de 10.000 kg/h requiere potencia entre 240 – 300 HP ~ 202,5 kwh/día = 73.912,5 kwh/año.

Una casa común consume 4 KW/h x día y 120 KW/h por mes. Con más ingresos puede tener un consumo de 310 KW/mes.

De los resultados calculados para un sistema productivo de 1500 madres en confinamiento, podemos observar que:

1- La DBO₅ y DQO para la producción anual de carne es altísima, por lo tanto es esencial el tratamiento de los efluentes por medio de la digestión anaeróbica.

2- La cogeneración de energía térmica y eléctrica a partir del biogás generado de los efluentes porcinos puede contribuir a la demanda de consumo, pero no cubrirla en su totalidad.

Conclusiones

Argentina se caracteriza por una economía en donde el sector más importante es el agropecuario, por lo tanto, la producción intensiva de granos y carne son contaminantes y atentan con la sustentabilidad del medio ambiente.

La marcada intensificación de la actividad porcina en nuestro país demanda una gestión de los efluentes considerando factible el tratamiento biológico de los mismos para generar biogás.

El biogás constituye una parte muy importante en el “mix” de distintas tecnologías para obtener energía limpia, cuidar al medioambiente y no contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero.

Si bien los estiércoles porcinos son muy buenos para la producción de biogás, porque contienen bacterias que provienen de los tractos digestivos de los animales, su fracción orgánica se ve reducida y por lo tanto, no tienen un alto potencial de producción.

Aunque la cantidad de biogás generada en un establecimiento porcino confinado no logre cogenerar la cantidad de energía térmica y eléctrica que demanda esa empresa, puede contribuir a cubrir cierta parte y a su vez aportar biofertilizantes no contaminantes ya que, durante la digestión anaeróbica en los biodigestores, la DBO₅ disminuye un 90%.

Bibliografía.

ACFA - Alberta Cattle Ceeders' Association & AAFRD - Alberta Agriculture; food and rural development. 2002. Beneficial Management Practices - Environmental Manual for Feedlot Producers in Alberta. Pp. 45-88.

Aguirre, L. 2004. Guía de diseño y manual de instalación para producir gas metano y un abono líquido rico en nutrientes. UNAD. 47 pp.

Andreadakis, A. D. 1992. Anaerobic digestion of piggery wastes. Wat. Sci. Tech. 25: pp.: 9-16.

Braun, R.O. 2013. Eliminación mediante impactos ambientales positivos de estiércoles y purines en las empresas porcinas. Producción de Biogás. Memorias de Fericerdo. Córdoba, Argentina.

Braun, R.O.; Cervellini, J.E. 2010. Producción Porcina: bienestar animal – salud y medio ambiente – etología - genética y calidad de carne – formación de recursos humanos – enseñanza de la disciplina en la universidad. Ed. Nexo diNapóli. ISBN: 978-987-05-8475-9. 276 pp.

Braun, R.O.; Muñoz, M.V.; Pattacini, S.H. 2013. Energías Alternativas no contaminantes – Modelos para tratamiento de excretas, purines y efluentes en sistemas de producción porcina. Producción de Biogás. POIRe. Res. 158/13 CS. UNLPam.

Braun, R.O.; Scoles, G.E.; y Pattacini, S.H. 2012. Tratamiento ecológico para aumentar el rendimiento biológico de bacterias en las fosas bajo los slats en pistas de terminación de cerdos. Revista de Memorias XVII Jornadas de Actualización Porcina. XI Congreso Nacional de Producción Porcina. VI Congreso de Producción Porcina del Mercosur. Salta, Argentina. Supl. 1: 8.

Brunori, J. 2012. Producción de cerdos en Argentina. Situación. Oportunidades. Desafíos.

Boxal, A.; Fogg, L.; Blackwell, P.; Kay, P.; Pemberton, E. *et al.* 2004. Veterinary medicines in the environment. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 180:1-91.

Carr, J. 2009. Herramientas básicas para controlar el ambiente de las explotaciones. Suis: mayo: 24 - 37.

Centro Nacional de Producción Más Limpia. 2009. Guía de producción más limpia para la producción porcina. Tegucigalpa, Honduras. AGA& asociados.

Cervantes et al. 2007. Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3 (1): 3-12.

De la Torre, A; Arce, A; Díez, JA; Carballo, M; Vallejo, A. 2003. La problemática de los estiércoles y purines desde el punto de vista de la emisión de gases y olores. Porci 77: pp. 69-84.

Díaz-Báez, M.; Espitia, S. y Molina, F. (2002) Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología. UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia

FAO, INTA. 2012. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias para la producción y comercialización porcina familiar.

Fong, M; J Wong & M Wong. 1999. Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste. Shanghai Environ. Sci. 18 (2): 91–93.

Gibson, G. (1990) “Physiological and ecology of the sulfate-reducing bacteria”. A review. Journal Applied Bacteriology, 69:769-797

Gruber, S.; Hilbert, J.A.; Sheimberg, S. 2010. Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MW con una planta de biogás de alta eficiencia. INTA

Grupo Acms. Norma ISO 14001. 2004.

Grupo de Intercambio Tecnológico de Explotaciones Porcinas (GITEP). 2006. Manual de capacitación en producción porcina.

Hatch, D; Goulding, K.; Murphy, D. 2002. Nitrogen (1). Pp. 7-27 en: Haygarth, PM & SC Jarvis (ed.). Agriculture, hydrology and water quality. CAB International, Wallingford.

Herrero, M y Gil, S. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal.

Herrero, M.A. 2008. Distribución de contaminantes naturales y antropogénicos en agua subterránea de tambos en la Región Pampeana. Proceedings V Congreso Iberoamericano de Química y Física Ambiental 1:1-7. Mar del Plata, Argentina.

ISO 50001. Gestión de la energía. 2011. ISBN 978-92-67-10552-9.

Kümmerer, K. 2004. Resistance in the environment. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 54:311-320.

Madigan, M.; Mertinko, J. y Parker, J. (1997) *Biology of Microorganisms*. Prentice Hall. New Jersey, USA

Mathur, P. 1991. Composting processes, pp.147-183. En A.M. Martin (eds), *Bioconversion of waste materials to industrial products*. Elsevier Science Publishers, Essex IG118JU, England.

Millares, P. 2011. Manejo de Efluentes. Informe de actualización técnica N° 20, Fericesterdo 2011. 34-39.

Millares, P. 2012. El trabajo grupal en la producción porcina. Síntesis del Material de las Charlas técnicas, Expo Suipacha 2012.

Muñoz, M.J.; Martínez-Almela., J.; de la Torre, A. 2003. Evaluación global de los sistemas de tratamiento de purines. *Porci 77*: pp.: 55-68.

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.

Peralta, J.M., Araya, A., Herrera, C. 2005. Manejo de purines porcinos y tecnologías aplicables: 60–90. In: Peralta, J.M (Ed.) INIA – Ministerio de Agricultura. Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina. Colección libros INIA número 18. INIA, Santiago, Chile. 206 p.

Revista Gestión Ambiental, 2000 vol. 2(23) pág. 12-19

Rodríguez, C. 2002. Residuos Ganaderos. www.produccion-animal.com.ar

Rodríguez, J. A. 2004. Tratamiento anaerobio de aguas residuales.

Roselló, P. y Cazalli M. F. 2009. Medio ambiente y salud. Guatemala: Oficina Técnica de Cooperación de Guatemala. 55 pp.

Sánchez Gómez, L. 2006. Estrategias nutricionales para reducir la magnitud de la contaminación ambiental. www.produccion-animal.com.ar

Santalla, E. 2008. Evaluación, diagnóstico y propuestas de acción para la mejora de las problemáticas ambientales y mitigación de GEIs vinculados a la producción porcina, avícola y bovina (feedlots y tambos). Facultad de Ingeniería. UNCPBA. 56 pp.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 2010. Sistemas de biodigestión. Diario Oficial. Argentina.

Universidad Nacional de Venezuela, Facultad de Agronomía. Cátedra Sistemas de Producción Animal I. Programa Directorio Inicial. 2009. 55 pp.

Urrutia Pérez, R.; Parra Barrientos, O.; Acuña Carmona, A. 2003. Los recursos hídricos; una perspectiva global e integral. Pp 45 en: INET-GTZ (eds.). Buenos Aires, Argentina.

Van Haandel, A. y Lettinga G. (1994) Tratamiento Anaeróbico de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande, Brasil

Wei, Y. 2000. Efficient and economical composting of sewage sludge for small and mid-scale municipal wastewater treatment plants. Ph.D. Thesis. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences.

Zaccagnini, M.E.; Andriulo, A.; Quiroga, A.; Somma, D.; Stamatti, G.; Massoni, S.; Medero, L.; Gavier, G. Documento Técnico-Prospectivo. Área Estratégica Gestión Ambiental, 2011.

Zhu, N. 2007. Effect of initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. Bioresource Technology 98: 9-13.

www.minagri.gob.ar

www.senasa.gov.ar/

<http://www.epa.gov/seahome/manure/ser/species2.htm#swine>. Purdue Research Foundation.
2003.

www.bio-digestores.blogspot.com

<http://www.eg-ingenieria.com.ar/biodigestores-con-geomembranas.html>

www.opds.gba.gov.ar/index.php/leyes/ver/95

[https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_General_del_Ambiente_\(Argentina\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_General_del_Ambiente_(Argentina))

www.lapampa.gov.ar/images/stories/Archivos/.../Leyes/Ley_1914.pdf

www.argentinaeolica.org.ar/portal/.../Argentina_LEY%2026190.pdf

http://www.iso.org/iso/theiso14000family_2009.pdf