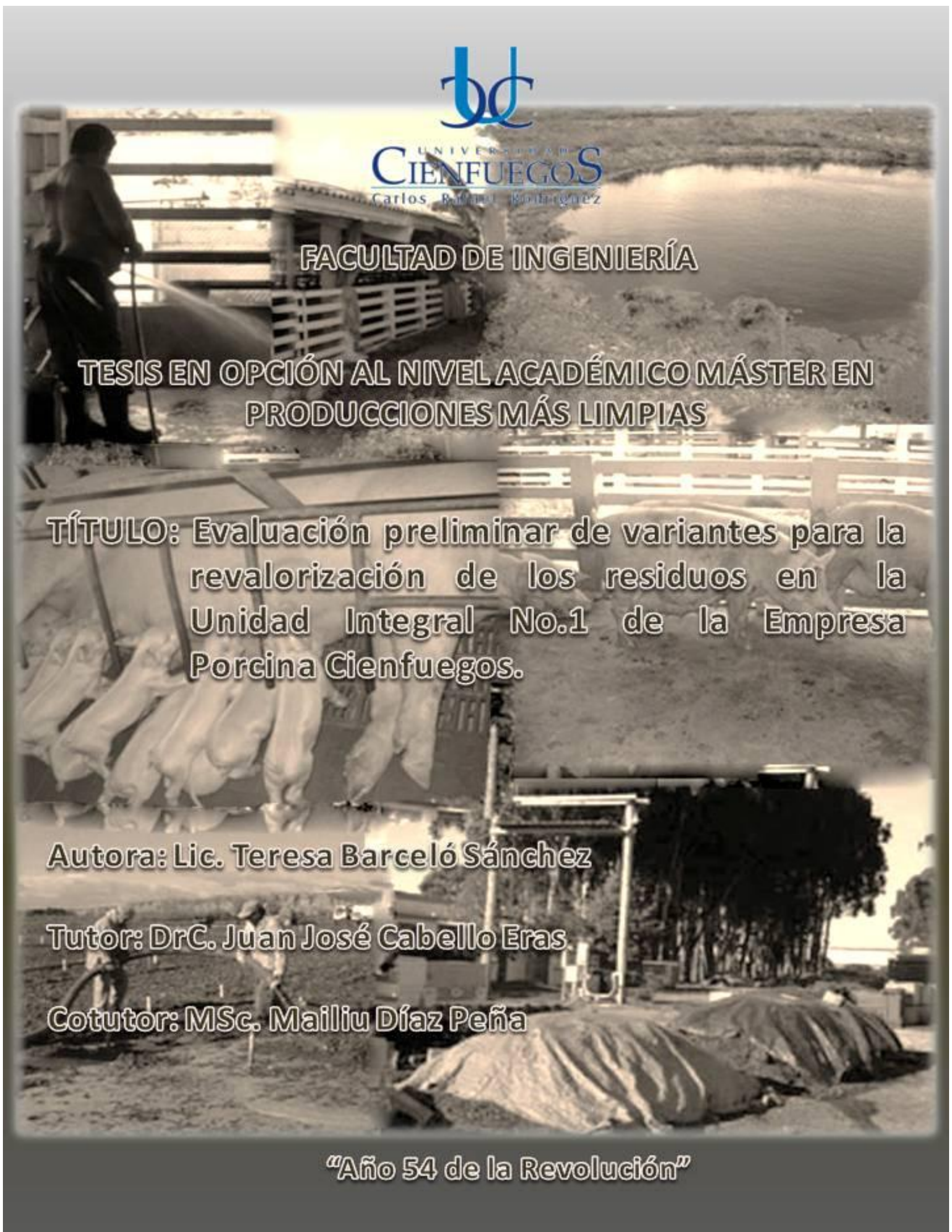


UNIVERSIDAD CIENFUEGOS Carlos Rafael Rodríguez

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS EN OPCIÓN AL NIVEL ACADÉMICO MÁSTER EN PRODUCCIONES MÁS LIMPIAS

TÍTULO: Evaluación preliminar de variantes para la revalorización de los residuos en la Unidad Integral No.1 de la Empresa Porcina Cienfuegos.

Autora: Lic. Teresa Barceló Sánchez

Tutor: DrC. Juan José Cabello Eras

Cotutor: MSc. Mailiu Díaz Peña

"Año 54 de la Revolución"

Agradecimientos

A mi tutor, por sus ideas, su ayuda y sobre todo por su confianza en que este trabajo llegara a feliz término.

A mi hija por su apoyo en todo momento.

A todos mis compañeros y amigos que de alguna manera u otra me han ayudado en el desarrollo de este trabajo.

A la dirección de la Unidad Integral No 1 que me apoyaron, a todos muchas gracias.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mi familia, y en especial a mi hija.

Resumen

La investigación se desarrolla con el objetivo de realizar una evaluación preliminar de variantes para la revalorización de los residuos en la Unidad Integral No.1 de la Empresa Porcina Cienfuegos con un enfoque de Producciones Más Limpia (PML) que contribuya a la disminución del impacto ambiental con un mejor aprovechamiento de los residuales. En la misma se realiza un análisis crítico de bibliografía nacional e internacional relacionada con alternativas de aprovechamiento de los residuales de la producción porcina; se mide la emisión de purín y de los efluentes líquidos; y se estima las potencialidades de alternativas para la utilización de los residuales porcinos. Las mediciones y evaluaciones permitieron determinar que la emisión de residuales está sobredimensionada por el derroche de agua, la separación de los sólidos del efluente debe ser una acción de inmediata, la implementación por separado de las variantes analizadas no es factible para el aprovechamiento de todos los residuales porcinos, por lo que se requieren soluciones combinadas. Se recomienda realizar la evaluación técnica económica detallada de las variantes analizadas, y evaluar el impacto ambiental de las mismas.

Tabla de Contenido

Resumen

Introducción 7

Capítulo 1 - Estudios documentales 9

1.1– Producciones más limpias. Fundamentos generales. 9

1.2- Generalidades sobre el sector porcino. 10

1.2.1 – La producción porcina en el mundo. 11

1.2.2 – La producción porcina en Cuba. 11

1.3– Producción porcina y medio ambiente. 12

1.3.1 – Efectos sobre el agua. 14

1.3.2 – Efectos sobre el suelo. 15

1.3.3 – Efectos sobre el aire. 15

1.4 – Los efluentes de la explotación porcina. 16

1.4.1 – Caracterización del purín. 17

1.4.2 – Composición del Purín. 19

1.4.3 – Cuantificación del Purín. 20

1.4.4 - Sistemas de tratamiento de purines. 22

1.5 – Valorización de los residuos de la explotación porcina. 26

1.5.1 - Valorización agronómica como fertilizante. 27

1.5.2 - Fuente de alimento para rumiantes. 30

1.5.3 - Utilización para la generación de energía. 33

1.5.4 – Compostaje. 35

Capítulo 2- Características de la producción porcina en la provincia de Cienfuegos. 39

2.1-Introducción. 39

2.2- Descripción de la Empresa Porcina de la provincia de Cienfuegos. 39

2.2.1-Macrolocalización de la Empresa Porcino Cienfuegos. 40

2.2.2-Estructura organizativa de la Empresa Porcina Cienfuegos y sus Unidades Empresariales de Base. 40

2.2.3 -Organigrama de la Empresa Porcina de Cienfuegos. 42

2.3- Unidad Empresarial de Base Integral 1 Porcino Cienfuegos. 42

2.3.1- Organigrama de la Unidad Empresarial de Base Integral 1. 43

2.3.2- Distribución de la Unidad Integral 1. 43

2.4-Descripción del proceso productivo de la Unidad Integral 1. 44

2.5- Manejo de Portadores. 46

2.5.1-Manejo del agua. 46

2.5.2-Manejo de la energía. 47

2.6-Caracterización de los residuales de la Unidad Integral 1. 47
2.6.1-Residuos sólidos. 47
2.6.2-Residuos líquidos. 47
2.6.3-Emisiones atmosféricas. 47
2.7-Sistema de recolección de residuales de la Unidad Integral 1. 48
2.7.1-Trampa de sólidos. 48
2.7.2 -Laguna anaeróbica. 49
2.7.3-Laguna aeróbica. 50
2.7.4-Laguna facultativa. 51
Capítulo 3- Evaluación de alternativas para la revalorización de los residuales de la Unidad Integral No 1. 54
3.1 – Estimación de la producción de purín en el Integral Porcino No 1. 54
3.2 – Mediciones del flujo de agua de limpieza. 57
3.3 – Medición de la emisión de efluentes líquidos. 60
3.4 – Estimación de las potencialidades de producir biogás. 64
3.5 – Estimación del potencial de la utilización del purín como abono orgánico. 68
3.5.1 – Aplicación directa al campo de la fracción sólida del purín. 72
3.5.2 – Compostaje. 73
3.6 – Estimación del potencial de valorización del purín como alimento animal. 74
3.6.1 – Separación de la fracción sólida en el purín. 76
Conclusiones generales 80
Recomendaciones 81
Bibliografía 82
Anexos

Introducción

En la actualidad, se debate mucho sobre el cuidado del medio ambiente lo que es de gran importancia por la influencia que éste tiene sobre el desarrollo económico, la calidad de vida y salud de la población. La creciente sensibilidad y conciencia ecológica de la opinión pública ha contribuido a que la protección ambiental constituya uno de los objetivos prioritarios de la sociedad actual (PNUMA, 1999).

La sostenibilidad es hoy una obligación para el mundo puesto que está en peligro la supervivencia de la especie humana en la Tierra si no se contribuye en el mejoramiento del entorno y se trabaja sobre la base de lograr un desarrollo sostenible (CONAM, 2003).

Cuba, según concluyó el Fondo Mundial de la Naturaleza el 2006, era el único país en el mundo con un progreso hacia el desarrollo sostenible. Además marcha hoy a la vanguardia en tareas ecológicas y medioambientales. Se está realizando un trabajo de educación social y ambiental que se ha traducido en un aumento de la conciencia ciudadana.

A pesar de las dificultades económicas del país se ha logrado que en la planificación anual se destinen recursos financieros crecientes a la solución de problemáticas ambientales. Sobresalen los saldos significativos que muestra nuestro Estado en materia de ciencia, como la reducción de la carga contaminante en las cuencas hidrográficas, así como en bahías y macizos montañosos.

La agricultura cubana ha venido sufriendo cambios desde el triunfo de la Revolución hasta nuestros días, pero los cambios más bruscos a los que ha tenido que enfrentarse fueron con el derrumbe del campo socialista, situación que se ha ido superando, aplicando además un desarrollo sostenible de la agricultura cubana y en especial la agricultura cienfueguera está enfrascada en proyectos para una agricultura sostenible.

La Unidad Porcina Integral No 1 genera residuales líquidos y sólidos, que impactan el medio ambiente debido al manejo y tratamiento que se le realiza a los mismos, dado por la cría de más de 5000 animales en las distintas categorías. La modificación en las prácticas de limpieza y de manejo de desechos, la minimización del recurso agua para el proceso productivo, acompañado de un proceso de capacitación que propicie el cambio de actitudes, destrezas y el comportamiento permitirá un mejor aprovechamiento de los residuales con una consiguiente disminución del impacto ambiental.

En la investigación que se realizará en la Unidad Integral No 1 se propondrán acciones para la minimización, tratamiento y aprovechamiento de los residuos. A tal efecto se declara el siguiente **problema de investigación:**

El deficiente desempeño ambiental de la Unidad Integral No 1 de la Empresa Porcina de Cienfuegos.

Hipótesis: Es posible reducir el impacto ambiental de la Unidad Integral No.1 de la Empresa Porcina de Cienfuegos a través de propuestas del aprovechamiento de los residuales.

Objetivo general:

Realizar una evaluación preliminar de variantes para la revalorización de los residuos en la Unidad Integral No.1 de la Empresa Porcina Cienfuegos, con un enfoque de Producciones Más Limpia (PML) que propicie un mejor aprovechamiento de los residuales.

Objetivos específicos:

1. Realizar un análisis crítico de bibliografía nacional e internacional relacionada con alternativas de aprovechamiento de los residuales de la producción porcina.
2. Evaluar la emisión de purín y de los efluentes líquidos de la Unidad Integral No 1.
3. Estimar las potencialidades de alternativas para la utilización de los residuales porcinos de la Unidad Integral No.1.

Los aportes de la investigación se describen a continuación:

- Identificación de tecnologías para aprovechar los residuales de la Unidad Integral No 1.
- Se realizarán propuestas para aprovechar los residuales la Unidad Integral 1, con el fin de reducir la contaminación al agua, suelo y aire causada por el inadecuado manejo de los residuales en los centros porcinos.

Con vistas a cumplir los objetivos establecidos, este trabajo se ha estructurado en tres capítulos, conclusiones y recomendaciones.

En el Capítulo I, se realiza un análisis bibliográfico y documental del tema, en el cual se consideran las referencias bibliográficas para la evaluación y aplicación de Producciones Más Limpias en el sector porcino haciendo una descripción detallada de todo el proceso lo que posibilita el desarrollo del trabajo.

En el Capítulo II se explican las características de la Empresa Porcina en Cienfuegos, y específicamente la Unidad Integral No 1, caracterizando el proceso productivo y realizando una evaluación de Producciones Más Limpias de la unidad.

En el Capítulo III, se caracteriza cuantitativa y cualitativamente el residual y se proponen alternativas para el aprovechamiento de los residuales y se formulan soluciones de producciones más limpias a los principales problemas identificados.

Capítulo 1 - Estudios documentales.

1.1– Producciones más limpias. Fundamentos generales.

La Producción Más Limpia (P+L) es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada a los procesos, productos y servicios, con el fin de mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente (PNUMA/IMA, 1999).

La metodología de P+L desarrollada por Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) se basa en la evaluación de los procesos e identificación de las oportunidades para usar mejor los materiales, minimizar la generación de los residuos y emisiones, utilizar racionalmente la energía y el agua, disminuir los costos de operación de las plantas industriales, y mejorar el control de procesos e incrementar la rentabilidad de las empresas. Esta metodología se basa en tres conceptos fundamentales que se conocen la literatura especializada como las tres 3 R's, Reducción, Reutilización y Reciclaje (ONUDI, 1999) lo que se explica en la figura 1.

Fig 1 – Conceptos básicos de P+L. Fuente: (ONUDI, 1999).

Es importante destacar que la filosofía de producción más limpia está sobre todo relacionada con la reducción al máximo de la generación de residuos a lo largo de toda la cadena de producción. Sin embargo, no existe una producción limpia como tal, la generación de residuos es inherente a cualquier proceso productivo. Lo que se busca es evitar la generación excesiva de residuos, dado que por un lado es una pérdida económica como resultado del mal aprovechamiento de los recursos e insumos empleados, y por el otro, los residuos son contaminantes y afectan a la salud y

al ambiente, por lo que su reducción permite prevenir impactos ambientales negativos(CONAM, 2003).

Por ende, el enfoque de la producción más limpia, trata de reducir de manera continua la generación de residuos y contaminantes en cada etapa del ciclo de vida mejorando el desempeño económico.

Las prácticas de producción más limpias "tiene como objetivo propiciar acciones que contribuyan a disminuir la carga contaminante al ecosistema, en función de garantizar la protección de su diversidad biológica, al mismo tiempo que se incrementan la eficiencia y los beneficios"(GTZ, 2007).

En la tabla 1 se resumen los de beneficios técnicos, económicos y ambientales que se pueden obtener al implementar la estrategia de P+L.

Tabla 1 – Beneficios esperados de la aplicación de una estrategia de PML. Fuente: (ONUDI, 1999) (CONAM, 2003).

Al reducir	Se incrementa
-El uso de la energía en la producción -La utilización de materias primas. -La cantidad de residuos y la contaminación. -Los riesgos de accidentes laborales, lo que a su vez implica reducción de costos(ejemplo: primas de seguros más bajas) -La posibilidad de incumplimiento de normas ambientales y sus correspondientes sanciones. -Costos en la producción -La tasa de uso de recursos naturales y la tasa de generación de residuos contaminantes. -Los riesgos medio ambientales en caso de accidentes	-La calidad del producto. -La eficiencia, a través de una mejor comprensión de los procesos y actividades de la empresa. -La motivación del personal. -El prestigio, al mejorar la imagen de la empresa al socializar los resultados del proceso. -La competitividad en nuevos mercados nacionales e internacionales. -Ingresos y ahorros de la empresa. -La protección del medio ambiente. -La mejora continua de la eficiencia medioambiental en las instalaciones de la empresa y de los productos.

1.2- Generalidades sobre el sector porcino.

La porcicultura es una actividad de crianza que tiene diferentes niveles de tecnificación de acuerdo al tipo de explotación agropecuaria. Va desde una crianza artesanal que por lo general es poco

tecnificada y emperica, hasta una crianza industrial que se basa en todos los adelantos científicos y tecnológicos disponibles (Urbina Bravo, 2010).

1.2.1 – La producción porcina en el mundo.

La producción porcina es de gran importancia dentro de la alimentación humana ya que aporta más del 39% de la producción mundial de carne para consumo humano, lo que equivale a 15,3 kg de carne por persona y año (FAOSTAT, 2004), siendo en su conjunto el sector con mayor presencia dentro de la actividad agropecuaria.

La población mundial de cerdos en el año 2006 fue de 985 millones de cabezas (FAOSTAT, 2004) con una tendencia al alza debido fundamentalmente a China. La distribución del censo es bastante heterogénea concentrándose la mayor parte en Asia (63%), especialmente en China (52% del censo mundial), seguido del continente europeo (16%), EEUU (6%) y Brasil (3%). Por último se encuentran África (2%) y Oceanía (1%) con una importancia minoritaria dentro del sector, como se puede ver en la figura 2.

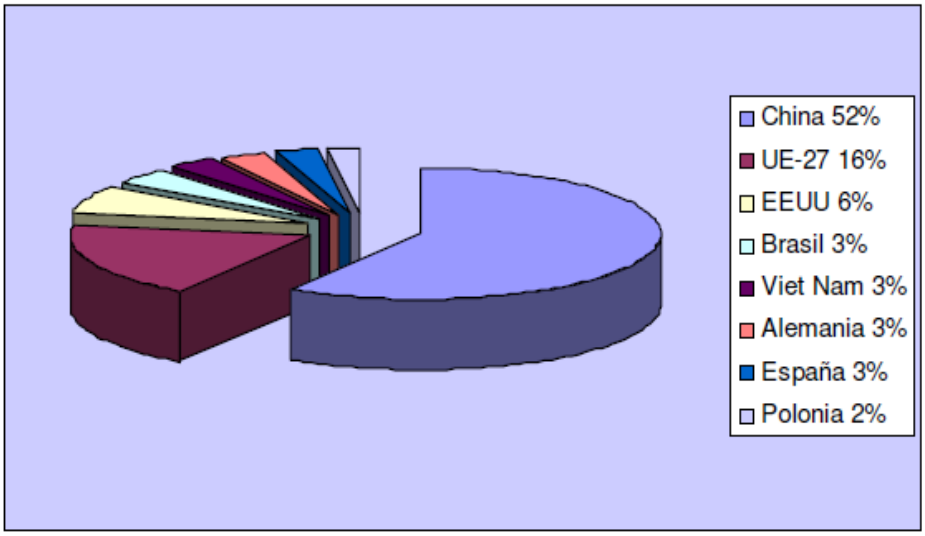


Fig 2 – Producción mundial de cerdos. Fuente: (FAOSTAT, 2004).

1.2.2 – La producción porcina en Cuba.

La explotación del cerdo en Cuba data del período de la colonización española, en que fue introducida esta especie. Antes del triunfo de la Revolución, la producción porcina del país se reducía casi exclusivamente a la aportada por los campesinos mediante pequeñas unidades, dentro de las cuales se generaban los excedentes que se destinaban al consumo de la población.

Con el triunfo de la Revolución se produjeron cambios importantes en la rama porcina, por las ventajas que posee esta especie para la producción de carne. Para su rápido desarrollo se tomaron toda una serie de medidas:

1. Introducir animales de razas especializadas con vistas al estudio de su comportamiento en el país y al mejoramiento de la masa existente.

2. Crear una estructura administrativa a escala nacional para dirigir la explotación porcina.
3. Intensificar la producción, dedicando cuantiosos recursos en la construcción de diferentes tipos de centros porcinos.
4. Establecer un sistema de alimentación basado en la utilización de subproductos de origen nacional.
5. Crear centros de investigación y aplicación a escala nacional de la medicina veterinaria.
6. Formar técnicos superiores y de nivel medio así como obreros calificados capaces de hacerle frente a las demandas de la explotación porcina moderna.

La producción de ganado porcino en Cuba, ha sido fomentada y desarrollada a partir de dos producciones, la especializada y la de productores privados o por cuenta propia (Pérez, 1991; Heredia, 2004). Estos dos tipos de producción han permitido promover y generar resultados dentro de la ciencia y la técnica, incrementando su eficiencia, competitividad y sostenibilidad.

En la tabla 2 se puede apreciar la evolución de la producción porcina en Cuba entre 2010 y 2011.

Tabla 2 – Producción porcina en Cuba. Fuente: (ONE, 2011).

	Cerdos entregados a sacrificio	**2010/2011**	**Toneladas Entregadas a sacrificio**	**2010/2011**
Cuba	470 183	119,8	37 797, 2	123,7
Pinar del Río	31 377	169,4	2 655, 8	328,3
Artemisa	3 619	370,4	326, 8	358,1
La Habana	52 610	237,9	3 800, 3	200,0
Mayabeque	10 340	219,8	792, 2	224,7
Matanzas	30 721	91,9	2 655, 6	94,1
Villa Clara	48 338	108,7	4 060, 5	120,0
Cienfuegos	45 699	109,9	3 852,8	91,5
Sancti Spíritus	39 812	120,8	3 510,3	114,0
Ciego de Avila	28 032	68,3	2 397,3	72,0
Camaguey	26 186	100,5	2 064,5	93,7
Las Tunas	18 966	211,4	1 419,4	208,9
Holguín	35 102	103,3	2 552,2	132,0
Granma	24 631	111,9	2 138,5	120,4
Santiago de Cuba	57 623	99,4	4 127,5	111,2
Guantanamo	12 991	140,8	1 075,4	161,8
Isla de la Juventud	4 136	161,1	368,1	165,9

1.3– Producción porcina y medio ambiente.

Los principales efectos medioambientales ligados a las explotaciones porcinas intensivas están relacionados con la producción de estiércoles y purines, debido a que si bien son productos que

inicialmente no contienen compuestos de alto riesgo medioambiental, la producción y acumulación de los mismos en grandes volúmenes puede plantear problemas de gestión (Sainz, 2010).

La producción porcina tiene características de los sistemas productivos agropecuarios en general que estimulan la generación y vertimiento de residuos al ambiente (Reyes, 2009).

- Producción especializada con poca o nula integración. La existencia de producciones de una sola especie vegetal (monocultivos) o animal hace que la mayoría de los insumos necesarios en el proceso productivo sean importados y que los desechos producidos deban ser exportados al ambiente. Se estimula entonces la entrada y salida de recursos con poco o nulo reciclaje dentro del sistema.
- No hay reutilización de las aguas servidas por la falta de integración. Como consecuencia de esto anterior, los residuos líquidos y sólidos, en especial las excretas, no pueden ser usadas en actividades de fertilización y producción de energía, por tanto no se puede ver su verdadero valor.
- Pérdida de energía y nutrientes en el proceso. Los residuos que salen de la explotación poseen energía, materia orgánica y nutriente, entre otros recursos, que pueden ser utilizados y se pierden en el proceso. Estos recursos deben obtenerse en el mercado, lo que a su vez tiene implicaciones económicas.
- Se privilegia el rendimiento financiero en el corto plazo. La preocupación por los efectos ambientales negativos de la producción ha sido generalmente olvidada o relegada a un segundo plano. Recientemente ha crecido la conciencia hacia dichos efectos o simplemente estos han sido impuestos mediante regulaciones ambientales. En este orden de ideas tradicionalmente lo más importante era la posibilidad de un rendimiento económico en el corto plazo.

En el caso de las producciones porcinas en particular (Chara, 2007) señala que "estas son criticadas, por los impactos ambientales negativos que causan sobre las fuentes de agua, y como tal, son tal vez las producciones agropecuarias más vigiladas por las autoridades ambientales".

Los principales impactos ambientales de la producción porcina se relacionan a continuación (Reyes, 2009):

- Contaminación del agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas.
- Deterioro de la calidad del aire por la generación de gases tóxicos, principalmente dióxido de carbono, (CO_2), amoniaco (NH_3), ácido sulfhídrico, (H_2S) y metano (CH_4), que afectan a los trabajadores, a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos.
- Contaminación por metales pesados, sobre todo cobre y zinc, que el cerdo solo absorbe en un 5 y 15%, excretando el resto.

- Contaminación microbiológica en la aplicación de excretas a terrenos agrícolas y pérdida de biodiversidad por erosión genética.

Por su parte en la Guía de buenas prácticas ambientales para el sector porcino (Cámara Oficial de Comercio de Lorca, 2007) señala como principales efectos ambientales de la explotación porcina:

- Eutrofización de las aguas en los puntos de vertido con la consiguiente desaparición del oxígeno y la vida animal.
- Riesgos para la salud humana por ingestión de aguas contaminadas y productos agrícolas con concentraciones anormales de compuestos tóxicos.
- Emisión de malos olores, gas metano (efecto invernadero, destrucción capa ozono) y amoniaco (elemento causante de lluvia ácida).
- Daños a la vida vegetal: aparición de clorosis y necrosis, alteraciones en el sistema radicular y en el desarrollo vegetativo y acumulación en tejidos vegetales.
- Contaminación de acuíferos y de suelos por lixiviación de aguas cargadas de nitratos y metales pesados: alteración de un ecosistema difícil de recuperar.

La figura 3 ilustra los principales efectos ambientales de la explotación intensiva del ganado porcino.

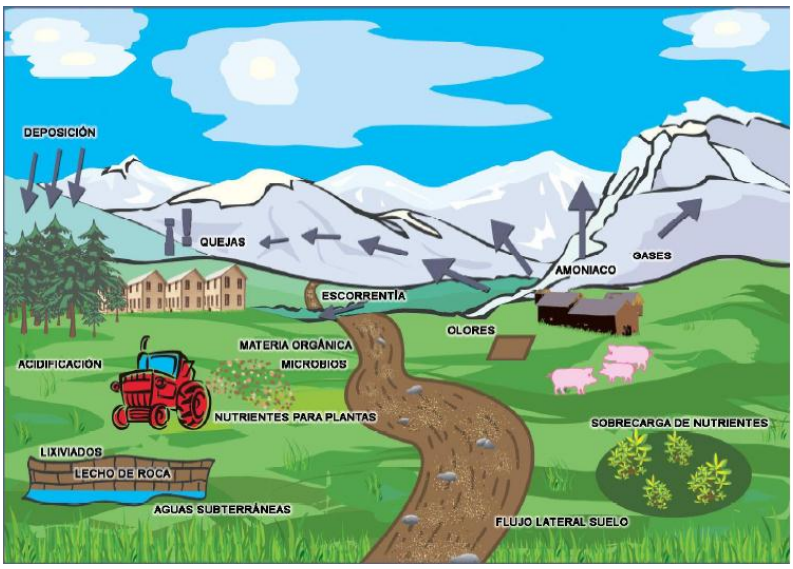


Fig 3 – Efectos ambientales de la explotación intensiva del ganado porcino. Fuente: (Sainz, 2010)

1.3.1 – Efectos sobre el agua.

La contaminación del agua superficial por las excretas se manifiesta por la presencia de amonio y sulfatos, entre otros. El exceso de nutrientes favorece el crecimiento de las algas desencadenando con ello el agotamiento del O_2 disuelto, favoreciendo la proliferación de larvas de insectos nocivos, y en casos severos se provoca la eutrofización de los cuerpos de agua. Por su parte el amonio es tóxico para los peces y los invertebrados acuáticos (Pacheco, 1997).

La disposición incorrecta de las excretas propicia también el desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos para los mismos animales, quienes a su vez pueden transmitir enfermedades como peste porcina clásica, rotavirus, colibacilosis, parásitos gastrointestinales, salmonella y la proliferación de moscas que pueden actuar como vectores mecánicos y/o biológicos (ACP, 2002).

1.3.2 – Efectos sobre el suelo.

El vertido de un volumen de estiércol excesivo puede ocasionar la acumulación de nutrientes en el suelo y producir su alteración en pH, la infiltración al subsuelo de nitratos produce contaminación microbiológica. Otro problema es la acumulación de metales pesados en las capas superficiales del suelo. Particularmente por la presencia de sales de hierro y cobre (Kato, 1995).

Los residuos porcinos con elevados contenidos de materia orgánica de entre un 30 a un 50% contienen compuestos que se oxidan. Inicialmente se oxidaran los componentes carbonados dando lugar a anhídrido carbónico, hidrógeno y amoníaco y posteriormente los compuestos nitrogenados mediante el proceso de nitrificación, donde el amoniaco pasa a nitritos NO y finalmente a nitratos NO_3. Estos procesos se llevaran a cabo por bacterias existentes en el suelo y en el agua (ACP, 2002).

Cuando el vertido de estos residuos se realiza en forma indiscriminada y continuada la fracción sólida del estiércol ocasiona en primera instancia una acción mecánica, la cual consiste en una colmatación por taponamiento de los poros del suelo disminuyendo la capacidad de drenaje del terreno. Posteriormente comienza una acción química en donde se presenta una degradación estructural del suelo por la acción del sodio (Na) finalmente por la acumulación progresiva de los residuos se genera una acción biológica consistente en el desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos para los animales y el hombre. Con relación a la fracción líquida su efecto no es tan severo siempre y cuando se mantengan las condiciones de aerobiosis del terreno (ACP, 2002).

1.3.3 – Efectos sobre el aire.

Las emisiones de amoníaco, sulfuros de hidrógeno, metano y dióxido de carbono producen molestias por los olores desagradables, siendo además precursores de trastornos respiratorios en el hombre y animales, entre otros problemas como es la contribución de la destrucción de la capa de ozono por la producción de óxido nitroso N_2O como parte de los gases emitidos durante la degradación microbiana (Pacheco, 1997).

La problemática de compuestos volátiles originados por actividades porcinas, con relevancia medio ambiental y susceptibles de alterar las características de la atmosfera, se centran principalmente en las emisiones de: amoníaco y metano (ACP, 2002).

Amoníaco (NH_3): el amoniaco se volatiliza principalmente de la orina después de la descomposición de la urea por la enzima ureasa amonio: la urea es la fuente de aproximadamente el 85% del aminoácido que proviene de los alojamientos de los cerdos.

Metano (CH_4): se produce principalmente por la descomposición bacteriana de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Se produce como resultado de la descomposición de las excretas de los cerdos.

La tabla 3 resume las principales emisiones gaseosas y donde se produce.

Tabla 3 – Emisiones gaseosas y puntos de emisión. Fuente: (Sainz, 2010).

Emisiones al aire	Punto de producción principal
Amoníaco	Alojamientos animales, almacenamiento y aplicación en campo
Metano	Alojamientos animales, almacenamiento y tratamiento del purín
Óxido nitroso	Almacenamiento y aplicación de estiércol o purín
Dióxido de carbono	Alojamientos animales, energía usada como calefacción y transporte
Olor	Alojamientos animales, almacenamiento y aplicación en campo
Polvo	Preparación y almacenamiento del pienso, alojamientos animales, almacenamiento y aplicación de estiércol sólido

1.4 – Los efluentes de la explotación porcina.

La explotación porcina intensiva trae como consecuencia la acumulación de grandes cantidades de materia orgánica (deyecciones y otros residuos) en determinadas zonas geográficas ocasionando una importante carga contaminante que contribuye al progresivo deterioro medioambiental de las zonas de producción (Martínez, 2009).

El manejo de purines porcinos ha tomado importancia por la tendencia a aumentar el tamaño de los criaderos de cerdos en sistemas de producción intensiva confinada en donde se genera una

cantidad considerable de desechos, y por otra parte, una mayor conciencia trente a la protección del medio ambiente por parte de la sociedad (Peralta, 2005).

Los residuos que se generan en los pabellones dependen del tipo de explotación, ya sea por crianza convencional estabulada confinada, o por crianza estabulada abierta o cama caliente.

En la crianza convencional, los animales son mantenidos en corrales sobre piso falso, los cuales son lavados diariamente, y los residuos generados corresponden a una suspensión acuosa denominada purín, que contiene las excretas animales líquidas y sólidas, el agua de lavado de pisos y la cama animal propiamente tal como (paja, viruta, u otro material) compuesta mayoritariamente por residuos vegetales fibrosos.

En la crianza estabulada abierta, todas las excretas son contenidas por una cama vegetal, la que es retirada como residuo sólido una vez que el grupo pasa a otra fase de crianza, o llega a su peso final de sacrificio. En la figura 4 se puede apreciar los tipos de explotación porcina con sus respectivas formas de residuos.

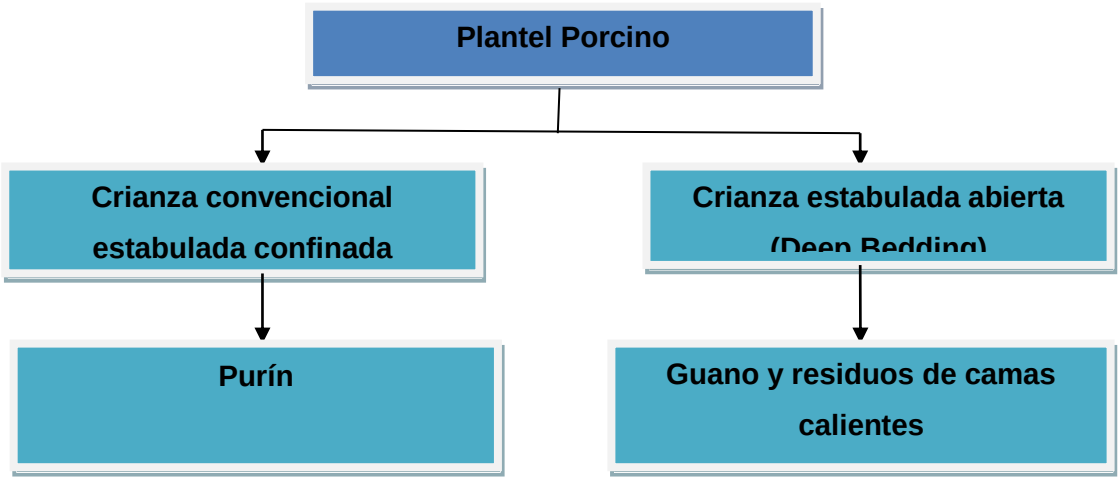


Fig 4 – Tipos de explotación porcina y sus efluentes. Fuente: (Peralta, 2005).

1.4.1 – Caracterización del purín.

La calidad y composición del estiércol y purín así como la forma en que se almacena y maneja son los principales factores determinantes en los niveles de emisión de sustancias potencialmente contaminantes procedentes de la actividad ganadera intensiva. Por esto es muy importante considerar los factores que afectan tanto a las características como a la composición del estiércol o purín generado en una granja.

Las características del purín se ven afectadas en primer lugar por el tipo de pienso definido por la concentración de nutrientes y por la eficacia con la que el animal lo puede transformar en producto. Como las características de los piensos varían enormemente la concentración en nutrientes del estiércol fresco muestra variaciones similares. Si se consigue reducir la concentración de nutrientes en el purín se disminuirán las emisiones potenciales (Martínez, 2009).

En la tabla 5 se puede apreciar la generación de purines y emisiones de nitrógeno esperadas para diferentes etapas de desarrollo de los cerdos.

Tabla 4– Generación de purín y emisiones de nitrógeno esperadas. Fuente: (Martínez, 2009).

Tipo de ganado porcino(plaza)	**Estiércol líquido y semilíquido (m^3/año)**	**Contenido en Nitrógeno (kg/plaza y año)**
Cerdo en ciclo cerrado(incluye madre y su descendencia hasta el final del cebo)	17,75	57,60
Cerda con lechones hasta destete(de 0 a 6 kg)	5,10	15,00
Cerda con lechones hasta 20 kg	6,12	18,00
Cerda de reposición	2,50	8,50
Lechones de 6 a 20 kg	0,41	1,19
Cerdo de 20 a 50 kg	1,80	6,00
Cerdo de 50 a 100 kg	2,50	8,50
Cerdo de cebo de 20 a 100 kg	2,15	7,25
Verracos	6,12	18,00

Factores que afectan el volumen o producción de remanentes (Urbina Bravo, 2010).

- **Cantidad de cerdos:** Hay una relación directa entre el número de cerdos y la cantidad de remanentes producidos, a mayor cantidad de cerdos mayor producción de remanentes en la granja.
- **Distribución por tamaño de la población de cerdos en la granja:** A mayor tamaño de los cerdos mayor producción de heces y orina, generándose mayor producción de remanentes en la granja.
- **Tipo de alimento utilizado:** A mayor calidad del alimento balanceado hay una mejor digestibilidad del mismo y por consecuencia una menor producción de heces, por el contrario, los alimentos muy fibrosos producen un mayor volumen de heces.
- **Clima:** Cuando la temperatura y la humedad relativa en el ambiente son altas, el cerdo consume menos alimento y menos agua.

- **Tipo de bebedero utilizado (chupeta o pila):** Relacionado con la cantidad de agua que se puede derramar, siendo el de chupeta el más eficiente.
- **Sistema de limpieza.**

1.4.2 – Composición del Purín.

La excreta es el conjunto de orina y heces que produce el animal. La orina representa aproximadamente el 45% y las heces el 55% del contenido volumétrico total de excretas, la humedad es cercana al 90% y el contenido de materia seca es próximo al 10%. La densidad de la excreta fresca es ligeramente mayor a 1,0 siendo así, un fluido de peso comparable al agua (Peralta, 2005).

La excreta porcina contiene sólidos que flotan y sólidos que sedimentan, además de sólidos en suspensión. 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).

El pH varía entre 6 y 8, tendiendo a la neutralidad en la medida que las excretas sean más frescas. La alcalinidad y conductividad son propiedades más propias del agua de lavado y de bebida, que de la excreta (Cornare, 1997).

Para los cálculos, se utiliza la mezcla de excreta con agua de lavado, la que se realiza en los galpones generando el denominado purín. La relación excreta - agua de lavado depende del tipo de lavado con que cuenta la empresa. Si bien esta relación varía aproximadamente de 1,6 a 1,18 (18 litros de agua de lavado por 1 litro de excreta), el productor puede obtener la relación en base al gasto promedio de agua mensual o bien preestablecer la relación de forma estimativa.

La caracterización resulta fundamental para la planificación del manejo de purines, su importancia radica en ser uno de los criterios principales en la selección del sistema de tratamiento y en su posterior diseño de ingeniería.

Los principales parámetros, que caracterizan al purín desde el punto de vista de sus constituyentes y el volumen producido, que se necesitan para el diseño de un sistema de tratamiento de purines son:

- Flujo medio total diario (m^3/día).
- Demanda biológica de oxígeno DB05 (mg-I-1).
- Sólidos volátiles (mg-I-1).
- Nitrógeno total (mg-I-1).
- Fósforo (mg-I-1).

En la tabla 6 se puede apreciar la composición característica del purín de cerdo obtenida por Martínez en sus estudios, las granjas porcinas deben realizar análisis sistemáticos de las características de los residuales que emiten.

Tabla 5 – Composición del purín. Fuente: (Martínez, 2009).

	nig/1
sólidos totales	20.728
sólidos volatiles	10.270
sólidos fijos	10.458
SSV	4.860
SSF	1.800
SST	6.660
DQO	55.000
N-NH4+	2.844
N-NOx	26
N-orgánico	1.800
N-total	4.670
P	2.300
K	2.938
Alcalinidad	5.187
PH	7.4

1.4.3 – Cuantificación del Purín.

La medición de caudal forma la base de la mayoría de los estudios y proyectos de ingeniería, y su precisión es crucial para el éxito de cualquier intento de tratamiento de efluentes.

El flujo de purines que se debe obtener es el producido en un día común de productividad del plantel. Se deben obtener mediciones horarias para abarcar las variaciones de flujo dentro del día y así, determinar los caudales máximos y mínimos (Peralta, 2005).

El flujo se puede evaluar a través de la medición en los canales abiertos de evacuación de los purines. Para ello hay dos alternativas, instalar medidores de flujo en los canales que provienen de los galpones o medir el caudal de agua de lavado antes de su utilización y sumándolo al flujo de excretas que se puede calcular aproximadamente se puede determinar el flujo de purín.

El método más económico de medir el flujo en canales abiertos es a través de un flotador, en la figura 5 se ilustra este procedimiento.

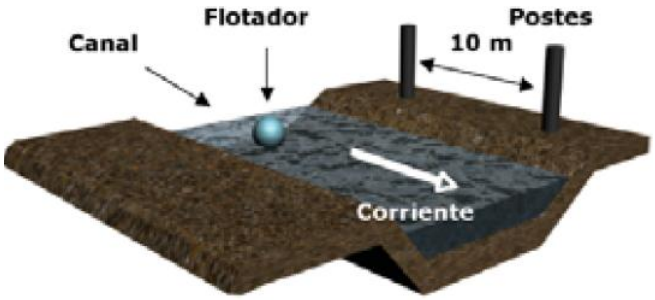


Fig 5 – Medición del flujo de purín en canales abiertos con un flotador. Fuente: (Peralta, 2005).

Para la medición se debe seleccionar un tramo recto y de sección uniforme, con una longitud de al menos 30 m, marcar un longitud de 10 m y realizar varias mediciones del tiempo que el flotador demora en recorrer ese tramo, el producto de la velocidad del flotador por el área de la sección del canal permitirá estimar el flujo de purín.

El flujo total de excretas y de sus componentes se puede determinar a través de los valores dados en la tabla 7, los que se multiplican por el número de animales en cada etapa del proceso productivo por las emisiones.

Tabla 6 - Producción de excretas según el estado del animal. Fuente: (Libby, 2005).

Etapa animal	Peso (kg)	Producción Excretas (lt/día)	Sólidos totales (kg/día)	DBO, (kg/día)	Sólidos volatiles (kg/día)	Nitrogeno (kg/día)	Fósforo (kg/día)	Potasio
Cría	16	1	0,09	0,08	0,08	0,01	0,01	0,01
Recría	29	1,8	0,18	0,14	0,14	0,01	0,01	0,01
Gestación	125	4,2	0,37	0,30	0,30	0,03	0,02	0,02
Maternidad con cría	170	15,1	1,36	1,09	1,09	0,10	0,08	0,08
Verraco	159	5,3	0,45	0,38	0,38	0,04	0,03	0,03

También se puede calcular el flujo total de excretas según el peso de los animales a partir de los datos dados en la tabla 7.

Tabla 7– Producción de materia fecal y orine con proporción al peso vivo (%). Fuente: (Salazar, 2004).

Estado	Producción de estiércol % de peso		Peso kg/ animal	Producción de estiércol kg/animal/día
	Promedio	Rango		
Hembra vacía	4.61	3.3-6.4	160	6.91
Hembra gestante	3.00	2.7-3.2	180	5.40
Hembra lactante	7.72	6.0-8.9	190	14.67
Macho reproductor	2.81	2.0-3.3	200	5.62
Lechón lactante	8.02	6.8-10.9	3.5	0.28
Precebo	7.64	6.6-10.6	16	1.22
Levante	6.26	5.9-6.6	35	2.19
Finalización	6.26	5.7-6.5	80	5.01

1.4.4 - Sistemas de tratamiento de purines.

Las tecnologías de tratamiento de residuos tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental producido por descargas y, generar residuos finales que cumplan con los flujos y concentraciones de contaminantes estipulados en la legislación vigente, o en las políticas de la empresa (Zaror, 2000).

Los sistemas de tratamiento se clasifican en (Juantorena, 2000; Cardona, 2008):

1. **Tratamiento primario**: tiene por objetivo preparar el residual para el tratamiento secundario que es más profundo. Durante el tratamiento primario se elimina del residual los sólidos suspendidos empleando para ello diferentes operaciones tales como: cribado, sedimentación, flotación, etc. Además se homogeniza el residual para evitar que posibles fluctuaciones básicas puedan incidir sensiblemente sobre el tratamiento secundario se ajusta el pH y el contenido de fósforo y nitrógeno. Cuando el residual posee una elevada carga orgánica dentro del tratamiento primario es posible incluir una etapa de digestión anaerobia.
2. **Tratamiento secundario**: es centro de la planta de tratamiento, el residual se somete a un tratamiento más profundo utilizando para ello una o más etapas. Los procesos aquí empleados pueden ser de dos tipos: biológicos o químicos, estos tratamientos se basan en la oxidación biológica o química de la materia orgánica presente.

Juantorena en su estudio evalúa siete alternativas para el tratamiento del purín.

1. Sistema tradicional empleado en Cuba.

2. Sistema anaeróbico de alta velocidad.
3. Sistema de filtro anaeróbico y digestión anaeróbica de lodos.
4. Sistema anaeróbico de flujo ascendente y digestor anaeróbico.
5. Sistema de cultivo de micro algas Chlorella sp. en película fina y digestor anaeróbico.
6. Sistema de cultivo de micro algas en lagunas de baja profundidad y digestión anaeróbica de lodos.
7. Sistema de lodos activados.

En la tabla 9 se puede apreciar el resultado del análisis realizado por este autor, que definió varios criterios y evaluó cada uno de los siete métodos que estudio.

Tabla 8- Comparación de los sistemas de tratamiento de residuales porcinos. Fuente: (Juantorena, 2000).

No	Alternativas	Criterios de selección						
		Contaminación (10)	Costo de instalación (9)	Consumo energético (8)	Imagen pública (7)	Área de la instalación (6)	Recuperación de recursos (4)	Total
1	Sistema tradicional empleado en Cuba	2	8	10	2	8	2	242
2	Sistema anaeróbico de alta velocidad.	6	8	10	3	8	3	293
3	Sistema de filtro anaeróbico y digestión anaeróbico de lodos.	8	7	8	4	7	4	293
4	Sistema anaeróbico del flujo ascendente y digestor anaeróbico	10	6	5	10	7	5	326
5	Sistema anaeróbico del flujo ascendente y digestor anaeróbico.	10	5	3	10	6	10	315
6	Sistema de cultivo de microalgas *Chlorella sp* en película fina y digestor	10	6	2	9	4	6	281

	anaeróbico.							
7	Sistema de lodos activados.	9	6	3	8	3	2	256

En la tabla 9 se puede apreciar una síntesis de operaciones aplicables al tratamiento de residuos de las explotaciones porcinas.

Tabla 9– Síntesis de operaciones aplicables al tratamiento de residuales porcinos. Fuente (Flotats, 2010).

Proceso	Aplicado a fracción S, L o T	Objetivo	Necesidades energéticas limitantes
1-Balsas de homogenización, estercoleros	T,S,L	Regular la producción continua al consumo estacional de cultivos. Regular entradas discontinuas a plantas de tratamientos. Reducir patógenos.	
2-Separación de fases	T	Separar para propiciar líneas específicas de tratamiento, transporte o aplicación a fracción S o L resultante.	Energía eléctrica
3-Aplicación de enzimas y bacterias a balsas	T	Aumentar concentración de sólidos. Transformar N amoniacal a orgánico.	
4-Nitrificación	L	Transformar N amoniacal a nítrico.	Energía eléctrica
5-Desnitrificación	L	Transformar N nítrico a N2. Eliminar materia orgánica fácilmente degradable.	
6-Descomposición aeróbica heterótrofa	L,T	Eliminar materia orgánica.	Energía eléctrica
7-Digestión anaerobia	T,L,S	Producir CH4 (energía). Eliminar materia orgánica. Higienizar	
8-Compostaje	T,S	Eliminar/estabilizar materia orgánica. Higienizar. Obtener abono orgánico de calidad.	Energía mecánica/eléctrica
9-Reducción biológica de fósforo(F)	L	Transferir P soluble a fase biológica sedimentable. Eliminar materia orgánica fácilmente degradable.	Energía eléctrica
10-Precipitación química	L	Transferir algunos componentes a fase sedimentable. Separar P(apatitas, estruvita)	
11-Secado	S	Separar agua. Reducir volumen	Energía térmica

pelitización			
12-Evaporación/ concentración	L	Separar agua. Reducir volumen	Energía térmica
13-Stripping/absorción	L	Recuperar N amoniacal.	Energía eléctrica/ térmica
14-Higienización térmica	T	Eliminar/inactivar patógenos. Hidrólisis térmica	Energía térmica
15-Dosificación de aditivos	T,S,L	Modificar composición para adecuarla a cultivos o posibilitar otros procesos	
16-Ozonización	L	Oxidación compuestos orgánicos recalcitrantes	Energía eléctrica
17-Filtración en membrana/osmosis inversa	L	Separar sales. Reducir conductividad	Energía eléctrica

Aspectos a tener en cuenta en la selección de la tecnología de tratamiento del purín (Juantorena, 2000).

- Ubicación de la instalación porcina.
- Número de animales establecidos.
- Área de terreno disponible para el tratamiento.
- Característica del terreno.
- Factibilidad económica.
- Obtención de subproductos del proceso (biogás, fertilizantes, fuente de proteínas).

El manejo de las excretas al interior de la granja depende del tipo de piso construido en los corrales, salvo en situaciones en que se maneja cama permanente o profunda; en este sentido, existen básicamente dos sistemas de piso que determinan el tipo de manejo de las excretas (Cardona, 2008).

- Corral convencional con piso sólido o continuo (cemento) donde las excretas sólidas y líquidas son evacuadas al menos una vez al día.
- Pisos ranurados en los cuales la orina, la excreta sólida y el agua de lavado se almacenan por debajo del piso de los cerdos y de ahí son evacuados a los tanques estercoleros con una frecuencia variable.

El manejo de las excretas con cama permanente conocido como camas profundas (espesor superior a 30 cm) o camas blandas (inferior a 10 cm), es un sistema que ha venido adquiriendo un gran auge en los últimos años. Este, consiste en engordar cerdos sobre camas de material absorbente ya sea de viruta, bagazo, cascarilla de arroz, etc., que no produzca residuos (sólidos o

líquidos) fuera del galpón. En este sentido, los animales al entrar a los corrales presentan un mayor confort, delimitan un área seca y otra húmeda y no se requiere utilizar agua para el lavado de los corrales por lo cual cuando las camas son retiradas al final del periodo de engorde, pueden disponerse como fertilizantes o enmiendas agrícolas complementando un ciclo natural; el objetivo es buscar tres turnos en la cama antes de limpiar el galpón (ACP, 2004).

La situación en Cuba es descrita por (Juantorena, 2000), señalando la existencia de centros integrales de ganado porcino con diferentes capacidades llegando hasta 25 000 cabezas. Con una alimentación basada en miel, pienso líquido (alimento elaborado) y pienso seco; la limpieza de las naves se efectúa con agua a presión.

En el caso de la limpieza con agua a presión el residual porcino es el agua que se recoge de los centros integrales, sin previa separación de sólidos por tamizado o decantación. El volumen de vertido puede oscilar entre 60 y 80 litros por puerco de 100 kg de peso; su característica principal es el importante contenido en sólidos totales de 25 a 50 kg/m^3, de los que un 80 % son sólidos en suspensión, y hasta un 30 % de la materia seca son sólidos minerales (Duran, 1997).

1.5 – Valorización de los residuos de la explotación porcina.

Las excretas porcinas generalmente son consideradas como un residuo y lo más usual en nuestro país es aplicarle algún tratamiento al final del tubo para minimizar su impacto ambiental, desde un punto de vista de producción más limpia, es un material con numerosos usos y deben ser consideradas un subproducto, entre las principales aplicaciones esta su uso como fertilizante orgánico, mejorador de suelos, alimento para rumiantes, materia prima para generar energía, insumo en la elaboración de compost y substrato en lombricultura (Peralta, 2005).

En un estudio realizado en nuestro país se estimó la cantidad de subproductos que se pueden obtener en una granja de 20000 cerdos, estimándose potencialidades de producir hasta un millón de m^3 de metano, 600 toneladas de materia orgánica con un contenido aproximado de 40 t de nitrógeno, 100 t de fósforo y 10 t de potasio (Viñas, 1996). El significado económico de estos subproductos en aquel momento se resume en la tabla 11, donde puede apreciar que la inversión propuesta se amortizaba en dos años.

Tabla 10 – Potencial económico estimado en los residuales porcinos en una granja de 20000 cerdos. Fuente: (Viñas, 1996).

Productos	**Valores($ USD anual)**
Biogás	108 569.49
Lodo digerido(fertilizante)	227 599.52
Nutrientes en efluente líquido(riego)	66 979.10
Efluente(agua para riego)	26 462.50
	Total 429 610.61
Costo de inversión	
Costo de operación total	678 257.48
Ganancia neta anual	121 084.19
Período de recuperación(años)	308 526.42
Índice de costo:$1.56/m³ de agua tratada	2.20
	$0.15/kg. DBOrem.

1.5.1 - Valorización agronómica como fertilizante.

Las excretas de cerdo, en estado sólido (residuos de camas calientes y guano) o en su estado líquido (purines), constituyen una excelente fuente de nutrientes para el desarrollo de las plantas, en forma de abono orgánico. Son un recurso valioso que debe ser reutilizado en las explotaciones aplicándolo al suelo durante los períodos de cultivo, con el método que más se adapte a las necesidades del productor, en base a las características de la explotación y a las exigencias ambientales. Puede aplicarse directamente el efluente líquido o la materia sólida con un procesamiento previo.

El nitrógeno de las excretas es el elemento de fertilización más importante, debido a que el alimento suministrado a los cerdos tiene altos contenidos de proteína. En las excretas, el nitrógeno total se compone principalmente de nitrógeno orgánico (40%), y de nitrógeno amoniacal (60%) (Peralta, 2005).

El excedente de nitrato no aprovechado por las plantas es lixiviado a través del perfil del suelo, ya que es altamente soluble en agua. Los excesos de nitrógeno por encima de las necesidades de los cultivos se convierten en riesgo de contaminación de aguas. Por ello es necesario realizar un diseño con criterios agronómicos y ambientales en el sistema de aplicación directa al suelo.

Los sólidos son separados de purín a través de un tratamiento primario (Peralta, 2005).

Las pantallas estacionarias o cribas las que solo pueden remover parte del agua libre por gravedad y nada de la depositada por capilaridad en las mezclas de sólidos y líquidos. Estos aparatos solo son eficaces con aguas residuales extremadamente diluidas (menos del 1% de sólidos, 99% humedad). Si los desechos tienen que diluirse para facilitar su separación, entonces

el volumen de dilución del agua empleada es tan grande que incrementa significativamente el volumen de aguas residuales que se deben tratar. En la figura 8 se muestra este equipo.

Fig 6- Separador de pantallas estacionarias o cribas. Fuente: (Peralta, 2005).

Los separadores de tornillo prensa exprimen toda el agua libre, más algo de la depositada por capilaridad, produciendo sólidos secos como se pude apreciar en la figura 9, estos se pueden transportar fácilmente y usarse en alimentos balanceados. Los sólidos separados tienen un contenido óptimo de humedad para que continúe el proceso de deshidratación y almacenarlos por un largo plazo, adquiriendo una estructura de partículas en forma de panal. Esta estructura de los sólidos separados permite el movimiento libre del aire para el composteo y/o el secado a un bajo contenido de humedad tanto para la deshidratación o la formulación en raciones alimenticias. Con este método se recupera tanto el alimento digerido como el no digerido y se disminuye la cantidad de humedad.

Fig 7 - Separador de tornillo prensa. Fuente: (Peralta, 2005).

Al momento de separar el purín a través de filtros (tratamiento primario), el sólido tiene aproximadamente 13 kg N/ m^3 del cual, 33% es amoniacal. Considerando una pérdida de nitrógeno por almacenamiento (volatilización de la fracción amoniacal) y humedad, la fracción sólida puede llegar a 8,6 kg N-On3)-1, disponible integralmente en forma orgánica. De esta cantidad, solo un 40% está disponible inmediatamente para la planta, por lo tanto, por cada metro cubico de sólidos, se tienen 3,4 kg de nitrógeno disponible, y 5,1 kg de nitrógeno no disponible inmediatamente (Peralta, 2005).

La producción potencial de nutrientes para uso agronómico de una explotación porcina se puede calcular a partir de los datos de la tabla 11.

Tabla 11 – Producción diaria de nutrientes para fertilización según el estado fisiológico. Fuente: (Pérez, 2007).

Estado	PESO X	Nitrógeno	P2O5	K2O
	kg	gr/100kg	gr/100kg	gr/100kg
Hembra lactante*	90	133	69	79
Pie de cría no lactante	75	52	31	34
Precebo	16	54.3	36.8	36.7
Levante	35	45.1	31.1	34.4
Finalización	80	44.5	34.9	34.9

*Gramos por cada 100kgde peso; incluye la camada.

Un estudio de caso sobre la aplicación de la crianza en cama y el uso de la porquinaza como abono es reportado por (Pinto, 2006), lográndose un ahorro de agua de un 70 %, en la tabla 12 se puede apreciar la composición de la porquinaza después de preparada para su uso agrícola.

Tabla 12 – Composición de la porquinaza seca. Fuente: (Pinto, 2006).

Parámetro	% En peso(seco) porquinaza
Nitrógeno	2.98
Fósforo	2.64
Potasio	1.22
Sodio	0.11
Calcio	1.065
Magnesio	1.22
Zinc	0.16

Humedad	20.45
Cobre	0.010
Níquel	18.4
PH	7.28
Materia Orgánica	46.20
Carbono Orgánico	26.78

1.5.2 - Fuente de alimento para rumiantes.

Uno de los aspectos que concita interés en las explotaciones porcinas es la posibilidad de utilizar la excreta o el guano en la alimentación de rumiantes. La composición química de las excretas y guano se caracteriza porque tienen un alto contenido de proteína cruda, fibra cruda, cenizas, y valores bajos de extractos etéreos (Peralta, 2005).

Desde hace treinta años, (Smith y Wheeler, 1979) hicieron énfasis en que los productos de excretas animales pueden ser reciclados y usados como alimentos en sistemas que son viables tienen gran significación en la agricultura. Estos investigadores planteaban que los animales rumiantes podían desempeñar un papel determinante en estos sistemas, al poder usar estos materiales que consideraban de baja calidad, por su habilidad inigualable para usar nitrógeno no proteico y celulosa, que son precisamente dos de los componentes importantes en estas excretas.

La excreta porcina tienen entre un 5 y 30% de la energía requerida por el animal en la dieta, y esta fracción nutritiva tiene una alta digestibilidad (Henning y Flachowsky, 1982). Dada su condición de monogástrico, el cerdo concentra en las excretas altos niveles de pared celular (44,6%), lignocelulosa (24,3%), lignina (4,9%), celulosa (16,9%), y hemicelulosa (20,3%).

En la tabla 13 se muestra valores estimados de la composición de las excretas de distintos animales.

Tabla 13- Composición de excretas de distintos animales Fuente: (Ly, 2003).

	Excreta			
	Aviar1	Aviar Deshidratada1	Vacuna2 (toros)	Porcina2,3
NTO_4	73	52	48	48
Nx6.25	31	28	20	24
Fibra cruda	17	13	20	15
Calcio	2.4	8.8	0.9	2.7
Fósforo	1.8	2.5	1.6	2.1
Potasio	1.8	2.3	0.5	1.3

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

En la tabla 14, se puede apreciar la composición mineral promedio de las excretas porcinas frescas.

Tabla 14 – Composición mineral de excretas frescas. Fuente: (Cerda, 1990).

Minerales	Promedio	Rango
Cenizas	181 gr/kg	163-236
Calcio	32 gr/kg	11-59
Fósforo	25 gr/kg	12-34
Potasio	12 gr/kg	7-25
Magnesio	8 gr/kg	4-25
Cobre	249mg/kg	22-636
Zinc	526 mg/kg	128-891
Hierro	1940 mg/kg	764-4700
Manganeso	342 mg/kg	114-561
Cobalto	6,1 mg/kg	2,2-15,2
Molibdeno	0,3 mg/kg	0,2-0,5

En la tabla 15 se muestra la composición de la excretas base seca.

Tabla 15 – Composición de las excretas base seca. Fuente: (Ly, 2003).

Concepto,% excretas2	Excretas1	Residuos sólidos de
Materia seca	-	30.70
Cenizas	15.32	4.74
Fibra cruda	14.78	17.04
Fibra detergente ácido	-	21.68
Fibra detergente neutro	-	70.68
Extracto etéreo	8.02	2.99
Proteína cruda(Nx6.25)	23.503	10.56
Calcio	2.72	-
Fósforo	2.13	-
Energía bruta, KJ/g MS	19.12	16.81

(Kill, 1998) sugirieron que hasta un 20% de este material fecal podría utilizarse en la dieta de cerdos en acabado. Un resumen de los resultados obtenidos por este autor se muestra en la tabla 16.

Tabla 16 – Fuente: (Kill, 1998).

Índice	**Valor**
Digestibilidad, %	
Materia seca	58.3
Nitrógeno	53.2
Energía	51.3
Energía digestible, kJ/g	9.16
Energía metabolizable, kJ/g	8.26
Proteína digestible,%	13.15

La extracción mecánica de los sólidos de los purines que se encuentran en los pozos de acumulación, generan un material más manejable en una unidad de crianza intensiva, esto es porque tienen un menor contenido de agua (70%). Sin embargo, cuando se realiza la extracción, además de la pérdida de agua, hay pérdida de otros componentes, lo que disminuye el valor nutricional de los sólidos. En la extracción de sólidos también se afecta la fracción fibrosa expresada como paredes celulares, la que tiene un gran incremento, llegando a alcanzar un 24% sobre el purín no prensado. Las diferencias en la composición química entre los purines y el sólido prensado denominado guano, se presenta en la tabla 17(Peralta, 2005).

Tabla 17 – Composición química de los purines y guanos. Fuente: (Peralta, 2005).

Composición química proximal y Mineral	**Pre-prensado (Excretas)**	**Prensado (Guano)**
Materia seca	16,6+-1,9b (11,1)	35,9+-6,2ª (17,4)
Proteína cruda	11,0+-1,9ª (17,2)	7,5+-1,5b (19,6)
Fibra cruda	25,5+-3,7z (14,5)	31,6+-7,2y (22,9)
Extracto etéreo	4,5+-1,6ª (34,2)	3,0+-1,0b (32,6)
Extracto no nitrogenado	52,3+-6,5 (12,5)	52,5 (12,3)

Ceniza	6,3+-2,2y (34,2)	4,7+-1,6z (34,3)
Calcio	1,5+-0,6 (40,0)	1,4+-0,5 (35,6)
Fósforo	0,5+-0,3 (70,1)	0,4+-0,2 (49,9)

El uso de excretas frescas no es totalmente aceptado debido a la supuesta presencia de microorganismos, posiblemente patógenos, tanto para los animales como para el hombre. Para evitar este problema, las excretas y el guano ha sido probado en forma de ensilaje solo o combinado con otros ingredientes, seco y húmedo en dietas para ovinos y bovinos; buscando sustituir granos o fuentes proteicas dado su contenido de alrededor del 20% de proteína cruda. Este es un proceso que disminuye las pérdidas de nutrientes, elimina los patógenos e incrementa el consumo voluntario. Es posible además incorporar otros subproductos agroindustriales como la paja de cereales y la melaza, sin embargo da origen a un producto voluminoso relativamente difícil de manipular y con un menor contenido de energía(Peralta, 2005).

En el trabajo de (Ly, 2003) donde se investiga el uso de las excretas porcinas como alimento en distintos animales se concluye que: “El uso de excretas porcinas, tratadas o no por diferentes vías, como material para reciclar dentro de la misma especie, como alimento, no parece ofrecer resultados alentadores, tanto desde el punto de vista de su valor nutritivo, como de los rasgos de comportamiento que determina, a menos que sea sometida a un procedimiento de ensilado con materiales tales como granos o forraje, esto de hecho, mejoraría el valor nutritivo de las excretas, y extendería el volumen de otros alimentos a suministrar a los animales, a costa de disminuir su valor intrínseco como alimento”(Ly, 2003).

Sin embargo la colusión general desalienta esta práctica “Dentro de la estrategia de utilizar las excretas animales en general y las porcinas en particular, como una vía de conciliar la producción animal con el medio ambiente, no parece que la alternativa de utilizar estas excretas como alimento, pueda competir exitosamente con su valor como fertilizante *per se* o mejoradas mediante lombricultura o preparación de composta, o como insumo para la producción de biogás y fertilizante” (Ly, 2003).

1.5.3 - Utilización para la generación de energía.

Los purines también pueden servir de materia prima para producir energía a través de la producción de biogás en reactor anaeróbico o biodigestor.

El biogás es un combustible cuyo poder calórico es de aproximadamente 5.400 kcal-(m^3)1 o 6,27 kwh-(m^3)-1, se conforma entre un 50 a 75% de metano, 25 a 45 % de dióxido de carbono y pequeñas trazas de nitrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno y otros gases.

Para alimentar los equipos que generan el biogás (biodigestores) se puede utilizar excretas de bovinos, caprinos, porcinos, y otros animales. Estudios indican que la utilización del estiércol de cerdo en los biodigestores produce más gas. Este gas producido a partir de los desechos de animales, posee múltiples usos (Gingis, 1998).

Un biodigestor es, en términos generales, un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Como fruto de este proceso se obtiene un gas combustible que posee aproximadamente 66% de metano y 33% de bióxido de carbono. El material resultante de la biodigestion, o efluente, puede ser directamente usado como abono y como acondicionador del suelo, pues los nutrientes como el nitrógeno se tornan más disponibles, mientras los otros como el fósforo y el potasio no se ven afectados en su contenido y su disponibilidad.

Las ventajas principales del uso de biodigestores para valorizar los residuos de la producción porcina 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 $2m^3$ de biogás que tienen el calor equivalente a 2 litros de propano, los cuales se pueden quemar en un generador para producir 3.5 kwh/día.
- Se reduce el problema de los olores generados 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 (NH_3-N).
- 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 0 a cuerpos de agua.
- La digestión anaerobia en un digestor puede reducir la DBO y los sólidos suspendidos totales (SST) en un 60 - 90%.
- 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.

La obtención de energía (biogás) puede aumentar sensiblemente la rentabilidad de las explotaciones porcinas, 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 m^3 de biogás que tienen el calor equivalente a 2 litros de propano. Los cuales se pueden quemar en un generador para producir 3.5 kwh/día (ACP, 2002).

Por cada 1000 kg de sólidos totales (ST) del residuo tratado se pudiera obtener unos 250 m^3 de metano, que en países tropicales como el nuestro, la relación en el proceso de obtención de metano y el consumo de energía supera los 10/1, cantidad que avala su rentabilidad (Viñas, 1996).

(Viñas, 1996) realiza el estudio de factibilidad de la producción de Biogás en una granja de 20 000 cerdos que produce aproximadamente 600 m^3 de residuales diarios, estima que la producción de biogás puede ser del orden de 1 000 000 de m^3 anuales. La inversión propuesta se amortizaba en dos años y el costo de producir un m^3 de metano en aquel momento era de 6 centavos.

1.5.4 – Compostaje.

Otra forma de aprovechar los residuos porcinos como fertilizante es producir compost. El compostaje es un proceso natural, reforzado y acelerado por la mezcla de desechos orgánicos con otros ingredientes (residuos vegetales, por ejemplo) de una manera predeterminada para un crecimiento microbiano óptimo. Este proceso convierte un material de desecho orgánico, en un producto orgánico estable frente a las condiciones ambientales. Además, esteriliza en alto grado el guano animal (Peralta, 2005).

Los pasos requeridos para el compostaje son:

a) Pre-acondicionamiento de materiales.

Se refiere a una acción mecánica sobre el material (molienda del material crudo), que puede ser necesario para aumentar el área de la superficie expuesta de la mezcla del abono para reforzar la descomposición por microorganismos.

b) Mezclado de los desechos con un agente enmendante.

Involucra la mezcla del desecho con un agente que hace aumentar el volumen, como el aserrín o viruta de madera. Esta mezcla generalmente se hace con un cargador frontal en un tractor, pero pueden usarse otros métodos más sofisticados.

c) Aireación con inyección de aire forzado, o volteo mecánico.

Una vez que los materiales son mezclados, el proceso del compostaje comienza. Las bacterias empiezan a multiplicarse, consumen carbono y oxígeno libre. Para sostener la actividad microbiana, se debe agregar aire para mantener el oxígeno en la pila de compostaje. El aire puede

ser agregado por simple mezcla o en cada volteo del compost. Las bajas concentraciones de oxígeno generalmente producen anaerobiosis, tiempos más lentos del proceso y olores.

d) Ajuste de humedad.

Debe agregarse una cantidad de agua predefinida para alcanzar determinado porcentaje de humedad en el medio, evitando el exceso.

e) Secado (optativo).

Este secado puede ser necesario si el compost terminado va ser comercializado, debido a las largas distancias que deberá recorrer, o su uso inmediato, como cama caliente.

f) Aporte de agentes que incrementen el volumen y que pueden ser reutilizados.

Si se usan materiales para aumentar volumen, como tiras de neumáticos o grandes astillas de madera en la mezcla del compost, ellos pueden ser recuperados del compost final, para ser reutilizados en un nuevo proceso.

g) Almacenamiento.

Una vez finalizado el proceso, este material puede necesitar ser guardado por un período de tiempo en que las condiciones climáticas son adversas. Si es posible, este compost deberá cubrirse para prevenir lixiviados o escurrimiento.

Los beneficios del producir compost y utilizarlo son: (Peralta, 2005)

1. *Acondicionamiento del suelo.*

El compost tiene un gran potencial como enmienda orgánica o restituidora de materia orgánica en el suelo, ya que la presencia de ésta en proporciones adecuadas es fundamental para asegurar la fertilidad del suelo. Además, la materia orgánica produce en el suelo una serie de efectos de recuperación agro biológica.

2. *Facilita el manejo del guano.*

El compostaje reduce el peso, el volumen, el contenido de humedad y la actividad del estiércol.

3. *Aplicabilidad al suelo.*

Generalmente la excreta y el guano se añaden directamente al suelo proporcionado una menor calidad que la del compost. El uso presenta beneficios al convertir el nitrógeno presente en el purín o en las excretas a una forma orgánica más estable, por lo que se reducen las pérdidas de nitrógeno ya sea por lixiviación u otro proceso.

Además, el estiércol posee una relación C/N superior al compost, por lo que al ser aplicado al suelo este queda inmovilizado y no disponible para el cultivo, a diferencia del compost, que tiene una relación C/N que facilita la disponibilidad del nitrógeno

4. *Disminuye los riegos de contaminación y olores.*

El compostaje puede disminuir la contaminación por nitratos y emanación de olores.

5. *Destruye los patógenos.*

La fase termófila del proceso de compostaje, elimina patógenos permitiendo la utilización del compost como abono orgánico.

6. ***Es un producto comercializable.***

Una de las características más atractivas del compostaje es que existe un amplio mercado para el producto, compuesto principalmente de empresas de agricultura orgánica.

Conclusiones parciales.

1- El impacto ambiental de la producción porcina y su reducción es un tema actual y frecuentemente tratado en la literatura especializada.

2- La aplicación de estrategia de producciones más limpia es registrada en varios países.

3- En la literatura especializada se realizan varias propuestas para estimar y medir los efluentes de las explotaciones porcinas.

4- Existen varias formas de revalorizar los residuos de las producciones porcinas la más conocida y difundida en nuestro país es la producción de biogás.

Capítulo 2- Características de la producción porcina en la provincia de Cienfuegos.

2.1-Introducción.

En el presente capítulo se realiza una caracterización general de la Empresa Porcina Cienfuegos y específicamente de la Unidad Integral No 1, así como la descripción del proceso que se desarrolla en la unidad y el tratamiento de los residuales.

La producción porcina actual está cada vez más influenciada por criterios de calidad dado a los factores relacionados con la salud de los animales, seguridad alimentaria, criterios medioambientales y normas de bienestar animal son cada vez más valorados por los consumidores y por tanto incluidos en los criterios de producción para generar mayor confianza en el producto final.

En las unidades porcinas la tecnología de producción es en cadenas, con ciclos uniformes y continuos, lo que permite una mayor organización del trabajo y explotar de forma intensiva los animales y utilizar eficientemente las instalaciones.

2.2- Descripción de la Empresa Porcina de la provincia de Cienfuegos.

Esta empresa está conformada por 10 unidades de producción, de ellas: siete productoras porcinas, dos productoras de pienso y una de inseminación artificial, ubicadas en los municipios de Lajas, Palmira, Cienfuegos, Cumanayagua y Abreus.

La Misión y la Visión de la Empresa están declaradas de la siguiente forma:

Misión: Producir y Comercializar carne de cerdo para los destinos planificados y contribuir a la sustitución de importaciones así como la Producción de alimento con destino animal.

Visión: Lideramos la producción y comercialización de carne de cerdo en el territorio con un Consejo de Dirección estable y preparado, trabajadores y productores motivados y capacitados. Logramos alcanzar las producciones previstas, siendo eficientes, productiva y económicamente.

Políticas:

- Aplicación de la ciencia y la innovación tecnológica para la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente con prioridad en la transferencia de tecnología.
- Prioridad en la elaboración de proyectos de innovación tecnológica encaminados a la búsqueda de tecnologías limpias y/o soluciones ambientales, sustitución de importaciones e incremento de exportaciones.
- Prioridad en la creatividad para llevar a cabo la introducción del resultado en la práctica social.
- Prevalencia de la gestión del conocimiento en los programas de formación y capacitación del talento en el territorio.
- Prioridad por el control eficiente del presupuesto asignado a la actividad científica.

- Prioridad para la utilización de las bases científicas en el ordenamiento económico, ambiental y sociocultural del territorio.

La Empresa Porcina Cienfuegos es productora de carne de cerdo, superando estrictos controles de calidad antes de su salida al mercado nacional y al turismo. Además es productora de piensos, que destina a satisfacer las necesidades de sus unidades de crías y multiplicación y los convenios con productores individuales.

2.2.1-Macrolocalización de la Empresa Porcino Cienfuegos.

Fig 1-Vista aérea de la Empresa Porcina de Cienfuegos.

La Empresa Porcino de Cienfuegos se encuentra ubicada en la finca “La Julia”, el Consejo Popular Paraíso, municipio de Cienfuegos, provincia de Cienfuegos, con personalidad jurídica independiente y patrimonio propio, creada por la Resolución No. 213 – 76 firmada por el Ministerio de la Agricultura el 30 de noviembre de 1976, con carácter nacional mediante.

La misma está conformada por la infraestructura administrativa y de aseguramiento a la producción, con una distancia media a sus unidades productivas de 20 km.

2.2.2-Estructura organizativa de la Empresa Porcina Cienfuegos y sus Unidades Empresariales de Base.

La Empresa Porcina en su estructura organizativa se distribuye por:

Integrales: Son aquellas unidades que poseen todas las categorías porcinas como reproductoras, crías, verracos, las mismas pueden disponer de auto reemplazo (se abastecen de cochinatas), lechonas (ones), cebas y sin autoreemplazo (reciben las cochinatas).

Unidad de cría: Unidades que producen precebas con destino a cebaderos estatales o convenios. Pueden disponer de autoreemplazo o no.

Multiplicadoras con precebas: Unidades que producen cochinatas terminales, las lechonas no aptas para la reproducción se comercializaran como precebas.

Cebaderos estatales: Unidades que se encargan de recibir precebas para llevarlas hasta la fase terminal.

Unidades Productoras Estatales: UEB Integral I, UEB Integral II, UEB Multiplicador, UEB Planta de pienso líquido (incluye una planta con tecnología Española y otra con tecnología China para la producción de pienso seco), UEB San Agustín, UEB María Teresa, UEB Hondones, UEB Gavilán, UEB Inseminación.

Unidades Municipales: UEB Aguada, UEB Abreus, UEB Rodas, UEB Cienfuegos, UEB Palmira, UEB Cruces, UEB Lajas, UEB Cumanayagua.

Se trabaja en el sector no especializado, orientando y controlando las diferentes modalidades de convenios porcinos (reproductoras y cebas). Cada uno de estos convenios posee un expediente con la documentación establecida, entre los que se encuentra la licencia ambiental a los convenios de 5 o más reproductoras y de 50 o más cebas.

La masa porcina de la empresa se encuentra distribuida en los municipios y se muestra en la figura 2.

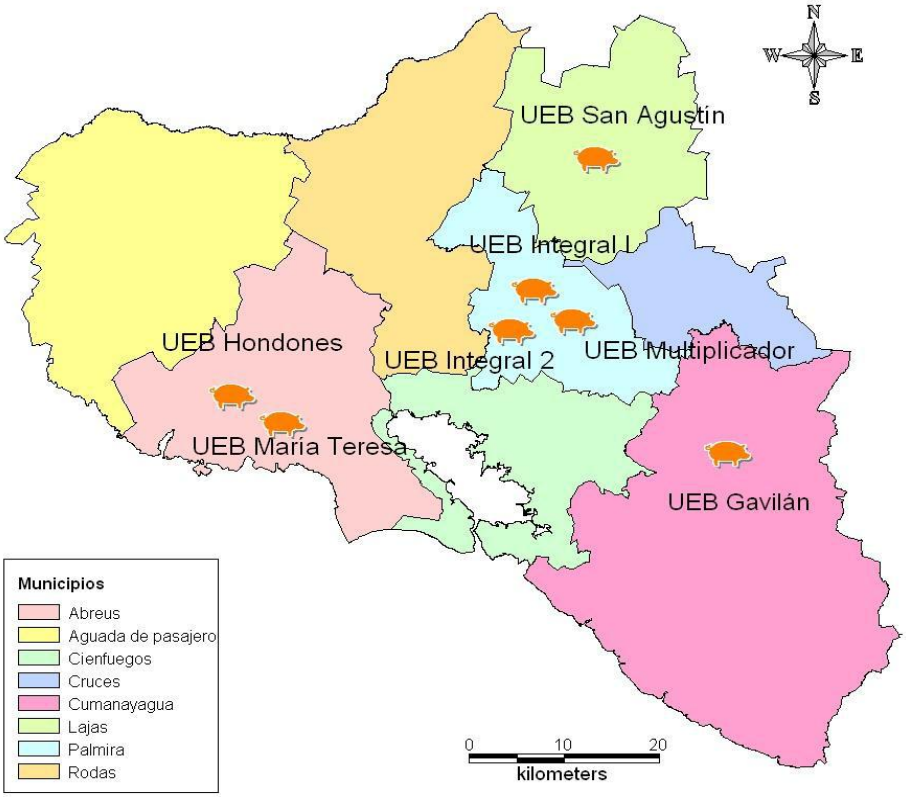
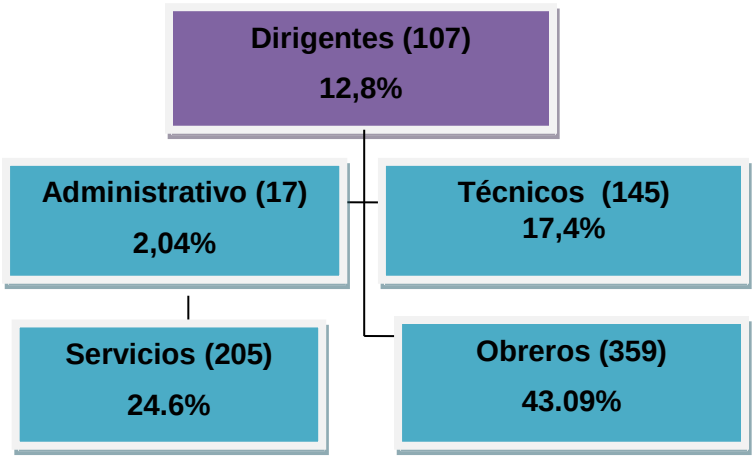


Tabla 1: **Distribución Geográfica de las diferentes áreas de producción de la Empresa Porcina.**

Empresa (Áreas de producción y servicios)	UEB de Cría San Agustín UEB de Cría Multiplicador UEB de Cría Integral 1 UEB de Cría Integral 2 UEB de Cría María Teresa UEB de Cría Hondones UEB de Cría Multiplicador Gavilán UEB Productora de Pienso UEB Aseguramiento UEB Porcina Lajas UEB Porcina Cruces UEB Porcina Palmira UEB Porcina Cienfuegos UEB Porcina Cumanayagua UEB Porcina Rodas UEB Porcina Abreus UEB Porcina Aguada de Pasajeros

El capital humano de la Empresa Porcina de Cienfuegos es el siguiente y se muestra en la figura 3.



El total de trabajadores alcanza la cifra de 833, de ellos Nivel superior 69, técnicos medios 229, obreros calificado 104, otro nivel de escolaridad 431, directos a la producción 749, indirectos 94.

2.2.3 – Organigrama de la Empresa Porcina de Cienfuegos. (Ver anexo I)

2.3- Unidad Empresarial de Base Integral No 1 Porcino Cienfuegos.

El Centro Integral Porcino No. 1, perteneciente a la Empresa Porcina de Cienfuegos, se encuentra situado en la Finca “La Caridad”, km 2, Carretera Central (tramo de Cienfuegos a Palmira). Limita por el norte con el Centro de Crías Multiplicador y la Planta Pienso Líquido Terminado, así como áreas del sector privado; por el sur se encuentra el Centro Integral Porcino No. 2, al este la carretera de acceso y viviendas de algunos trabajadores y al oeste limita con ríos y áreas del

sector privado y cooperativas. Se encuentra situada en el cuadrante 046 127-49 perteneciendo al municipio de Palmira.

Fig 4 -Unidad Integral I.

El **objeto social** del centro es la producción de precebas para conveniar con empresas Estatales, Cooperativas y Campesinos Privados.

Misión: Producir 16 112 precebas, entregar 654 atas terminadas con un peso promedio de más de 100kg para el cumplimiento de la política de auto reemplazo.

Visión: Sobre cumplir los indicadores económicos productivos. Alcanzar y mantener la categoría de excelencia. Tener a los trabajadores motivados para un mayor rendimiento en la producción.

2.3.1- Organigrama de la Unidad Empresarial de Base Integral I.

La entidad cuenta con un total de 61 trabajadores, de ellos 12 son mujeres y están estructurados como se muestra en la figura 5. De ellos son graduados de nivel superior 3, técnicos medios 17 y otro nivel 41.

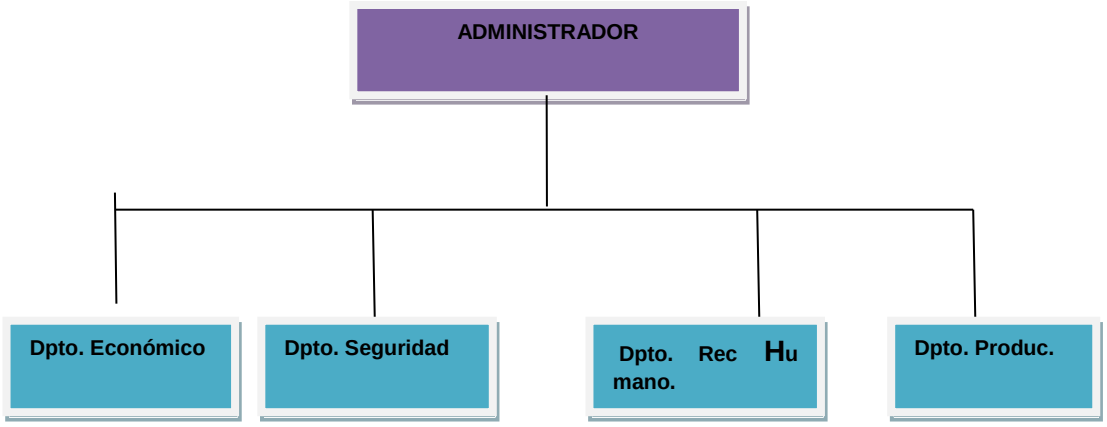


Fig- 5 Organigrama de la Unidad Integral 1.

2.3.2- Distribución de la Unidad Integral I.

Sus instalaciones ocupan un área de 15 Ha y cuenta con:

- Naves de reproducción: 8
- Naves de maternidad: 6

- Naves de Precebas: 12
- Almacén Central: 2 (piensos, medicamentos, víveres)
- Planta de Tratamiento de Residuales.

Mostrado en la figura 6 esquema de la Unidad Integral 1.

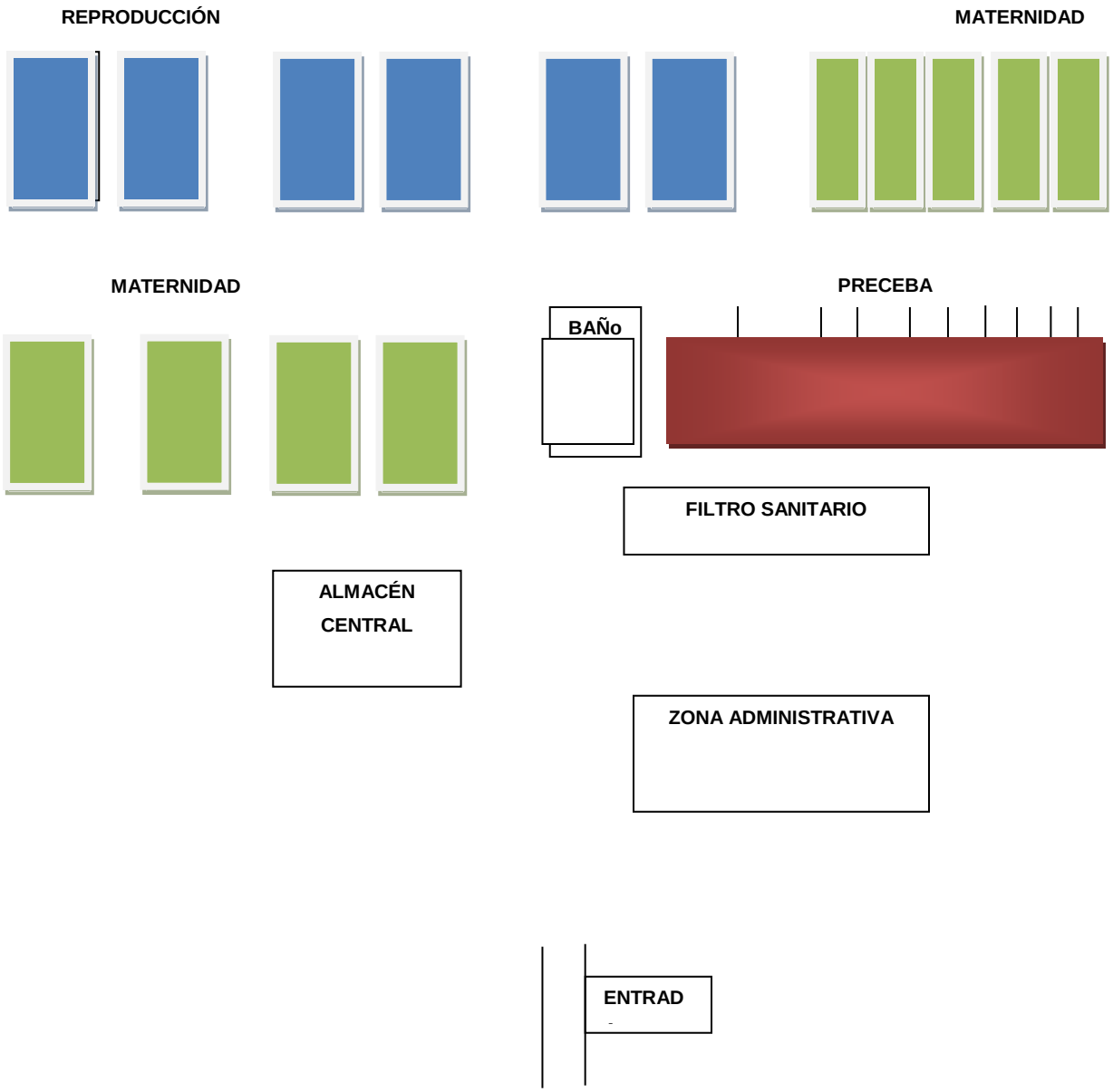


Figura 6- Esquema de la Unidad Integral 1.

2.4-Descripción del proceso productivo de la Unidad Integral 1.

En la Unidad Integral No 1 la producción porcina se desarrolla en naves acondicionadas con los requisitos de producciones epizoóticas y zootécnicas lo que permite asegurar el mayor control de la masa desde la gestación hasta la preceba.

La alimentación de la masa porcina se recibe de la planta de pienso líquido, planta de pienso seco, piensos nacionales y piensos importados.

El sistema de producción de la unidad se organiza en las siguientes áreas mostradas en la fig 7.

Fig 7- Áreas del proceso productivo.

-Área de Reproducción:

En esta área se ubican las reproductoras vacías, celadores y verracos. Las puercas vacías que fueron destetadas con 26 días de lactancia, de 4 a 7 después presentan celos y son trasladas a la sala de monta donde son cubiertas por el verraco y luego pasan 72 horas las puercas a los cepos, luego de los cepos pasan a la nave de cubierta donde están 5 semanas hasta la confirmación, después que se corrobora su gestación pasan a la nave de gestación donde están 11 semanas hasta que pasan al área de maternidad, este proceso de reproducción dura 16 semanas aproximadamente, es decir 110 días. En esta unidad los sábados son los días de cambio de área de reproducción.

Fig 8- Área de Reproducción.

-Área de Maternidad:

Se alojan las reproductoras próximas al parto, las paridas y sus crías. La hembra ingresa a esta etapa 7 días antes del parto, es llevada a jaulas cuna donde permanecerá entre 21 y 28 días, que es el tiempo de lactancia del lechón. Esta etapa es muy delicada debido a la susceptibilidad de los lechones a factores externos como el ambiente, enfermedades, etc; por lo tanto, requiere de una atención más personalizada. Aquí cada reproductora tiene su tarjeta viajera, en esta área los jueves se realizan los destetes.

Fig 9- Área de Maternidad.

-Área de Preceba:

Se reciben los animales que vienen del destete a los 26 días, vienen con un peso aproximadamente de 6 kg, permanecen en esta área 49 días alcanzando un peso promedio de 22 kg. Este proceso dura 75 días y en el centro los viernes se realizan cierre del proceso con la venta u otros fines.

Figura 10- Área de Preceba

2.5- Manejo de Portadores.

2.5.1-Manejo del agua.

En la Unidad Integral 1 el agua es suministrada por un pozo que está ubicado al norte a 150 m en la finca La Caridad, destinado para el acarreo del agua, donde es bombeada por una turbina a una cisterna principal en donde es almacenada. A través de la turbina va a un tanque elevado donde se clora y la misma va por gravedad a las tetinas y para la limpieza mediante mangueras a las instalaciones. No existe metro contador para el pago del consumo del agua y no se factura este servicio.

Se realizó un estimado de consumo de agua por animal de 25 litros de agua. La limpieza se realiza en 1 hora de trabajo con mangueras a presión. Las fuentes de agua se encuentran alejadas de las áreas de eliminación de desecho.

En la Unidad se realiza el análisis de agua cada tres meses con el objetivo de valorar la calidad de la misma. Se realiza un análisis microbiológico que es directamente en las tetinas y cisterna con el objetivo de analizar si el agua es potable y que no esté contaminada. Realizando el conteo de organismos coliformes y normas más probables (NMP), que en las evaluaciones realizadas ha arrojado -2,2 cifras que indican que hay ausencia del Escherichia Coli.

2.5.2-Manejo de la energía.

La energía es suministrada por la Red de Distribución Nacional. El centro tiene un metro contador que es para las cuatro Unidades del Porcino con una tarifa de 56 000 kw y 10 000 kw es asignado a la Unidad Integral 1, esta distribución se realiza de acuerdo a la cantidad a consumir según plan de producción.

2.6-Caracterización de los residuales de la Unidad Integral 1.

2.6.1-Residuos sólidos.

Durante todo el proceso productivo desarrollado en esta unidad en todas sus etapas se generan residuos los cuales están constituidos por las excretas de los cerdos, son el conjunto de orina y heces que produce el animal. La orina representa aproximadamente el 45% y las heces el 55% del contenido volumétrico total de excretas. Otros residuos que se pueden considerar son los generados por los comederos y bebederos, desechados por su mal estado, así como las jeringas y material veterinario utilizado durante la crianza. En efecto por cada 50 kg de peso vivo en granja se producen 2.25 kg de excretas al día.

La excreta porcina contiene sólidos que flotan y sólidos que sedimentan, además de sólidos en suspensión.

Diariamente, se generan alrededor de 0,968 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 0,75 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kilos de peso vivo.

2.6.2-Residuos líquidos.

En la Unidad Integral 1 la mayor producción de residuos líquidos se genera por la orina de los cerdos y por el agua de lavado de los corrales. Estos residuos requieren de un tratamiento previo ya sea a través de lagunas de oxidación o plantas de tratamiento que remuevan los contaminantes presentes en el efluente, hasta llevarlo a los parámetros establecidos en la Norma Técnica para el Vertido de Aguas Residuales en Cuerpos Receptores.

2.6.3-Emisiones atmosféricas.

En la Unidad Integral I se producen malos olores que afectan a las poblaciones aledañas. Esto se debe a la generación de los siguientes gases:

- Dióxido de carbono y metano (CO_2 y CH_4).
- El amoníaco (NH_3).
- El sulfuro de hidrógeno (SH_2).

El dióxido de carbono proviene principalmente de la respiración de los animales. El amoníaco, el metano y el sulfuro de hidrógeno de la acción de determinadas bacterias sobre las deposiciones de los animales.

2.7-Sistema de recolección de residuales de la Unidad Integral 1.

Las tecnologías de tratamiento de residuos tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental producido por descargas y, generar residuos finales que cumplan con los flujos y concentraciones de contaminantes estipulados en la legislación vigente, o en las políticas de la empresa (Zaror, 2000).

Los sistemas de tratamiento pueden ser clasificados como sistemas convencionales y naturales. A la vez, los sistemas naturales de tratamiento de residuales se clasifican en métodos o sistemas acuáticos y en métodos o sistemas terrestres.

En la Unidad Integral 1 se aplica el sistema de tratamiento natural, específicamente es utilizado el método o sistema acuático (sistema de lagunas). En este Integral no se aplica el método o sistema terrestre dado que no se reutiliza las excretas como abono orgánico, ni existe un biodigestor.

El sistema de tratamiento de la Unidad Integral 1 está conformado por:

Trampa de sólidos	1
Laguna anaeróbica	1
Laguna facultativa	1
Laguna aeróbica	1

2.7.1-Trampa de sólidos.

Los residuos de la Unidad Integral 1 son separados de las aguas residuales a través de un tratamiento primario que consiste en enviar estos residuos que se encuentran suspendidos o son arrastrados en las aguas residuales a un sistema de separadores de rejillas o filtros. En la Unidad Integral I se aplica en la separación de sólidos el proceso de filtración que se realiza mediante trampas de sólidos (ver fig 11). Las mismas se encuentran en malas condiciones donde este proceso no ocurre adecuadamente trayendo como consecuencia en esta separación que no se obtengan subproductos con buenas propiedades para el manejo. El líquido se desplaza por las tuberías con dificultad por la obturación de los sólidos, el centro además no presenta canchas de secado ni lugares habilitados para el almacenamiento de la parte sólida.

Fig 11.- Trampa de sólidos.

Las lagunas de tratamiento pueden ser clasificadas por el tipo de degradación biológica (aeróbica, anaeróbica o facultativa), por la frecuencia de descarga y por la disposición espacial.

2.7.2 -Laguna anaeróbica

La laguna anaeróbica de la Unidad Integral I se encuentra ubicada a 250 m y tiene una profundidad de 2,4m a 6m, en su interior se desarrollan procesos biológicos conducentes a reducir la demanda de oxígeno (DBO) y los nutrientes que vienen en el efluente.

Los sólidos no degradados se acumulan en el fondo, dando lugar a la formación de una capa de lodo. A medida que aumenta el tiempo de almacenamiento de lodo en la laguna, su contenido en materia orgánica disminuye debido a la degradación anaerobia a la que están sometidos.

La laguna anaeróbica de la Unidad Integral 1 produce malos olores debido a que no está diseñada y operada apropiadamente, no se encuentra ubicada a la distancia recomendada entre 500m y 1000m de sitios residenciales y preferiblemente en una posición contraria a la dirección predominante del viento, no presenta el máximo de profundidad de 8m, lo cual está establecido debido a que la presencia de oxígeno disuelto es muy perjudicial para el proceso de digestión anaeróbico, estas lagunas se encuentran con falta de mantenimiento (enyerbamiento y desechos alrededor de la laguna), además no se elimina adecuadamente la limpieza del lodo en la laguna y ni son aplicados al suelo(ver fig 12).

Fig-12 Laguna anaeróbica

2.7.3-Laguna aeróbica.

En la Unidad Integral 1 la laguna aeróbica es un estanque poco profundo de 0,3m a 0,45m, diseñado con el propósito de maximizar la penetración de luz y favorecer el crecimiento de algas, por medio de la acción de la fotosíntesis.

Las condiciones aeróbicas (presencia permanente de oxígeno) se mantienen siempre en toda la profundidad de la laguna y los desechos son degradados por microorganismos aeróbicos.

El aporte de oxígeno necesario para la degradación se produce por la acción fotosintética de las algas que conviven en el estanque.

Se observa en esta laguna que el líquido tiene turbidez lo que dificulta que penetre la luz para que ocurra una óptima fotosíntesis de las algas (ver fig 13).

Fig 13 -Laguna aeróbica.

2.7.4-Laguna facultativa.

Este tipo de lagunas están diseñadas en la Unidad Integral 1 en dos zonas definidas. Una se mantiene aeróbica, mientras que otra es anaeróbica. Por lo general estas lagunas son aeróbicas durante el día, así como durante algunas horas de la noche. El aporte de oxígeno se genera, al igual que en lagunas aeróbicas, a partir de las algas y de la difusión.

En el estrato superior de la laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Aquí se trata de obtener un líquido de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada degradación de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes, no cumpliéndose así este objetivo de la laguna facultativa pues existen deficiencias e incumplimientos en el sistema de tratamiento de la Unidad Integral 1 (ver fig 14).

En el estrato superior de la laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Fig-.14 Laguna facultativa.

Después de haber realizado un análisis del sistema de recolección de residuales en la Unidad Integral 1 se identificaron que existen dificultades que impiden que se realice un uso correcto de los mismos, pues se vierte gran cantidad de productos residuales que muestran el mal manejo de aguas residuales y desechos, lo que esto incide en el proceso productivo, ocasionando efectos ambientales en el suelo, aire y agua. Provocando:

- ✓ Contaminación del agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas.

- ✓ Deterioro de la calidad del aire por la generación de gases tóxicos, principalmente dióxido de carbono, (CO_2), amoniaco (NH_3), ácido sulfhídrico, (H_2S) y metano (CH_4), que afectan a los trabajadores a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos.
- ✓ Contaminación microbiológica en la aplicación de excretas a terrenos agrícolas y pérdida de biodiversidad por erosión genética.
- ✓ Contaminación de acuíferos y de suelos por lixiviación de aguas cargadas de nitratos y metales pesados: alteración de un ecosistema difícil de recuperar.

Si los tratamientos de residuales de la Unidad Integral 1 fueran aplicados correctamente se les consideraría de gran relevancia debido a la reutilización de nutrientes, minerales y materia orgánica de las excretas, que dan posibilidad de cumplir con el grado de control esperado que indican las normativas de calidad de aguas.

Las tecnologías de tratamiento de residuos tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental producido por descargas y, generar residuos finales que cumplan con los flujos y concentraciones de contaminantes estipulados en la legislación vigente, o en las políticas de la empresa (Zaror, 2000).

Conclusiones Parciales:

1- Aunque se cuenta con una estrategia ambiental en la Unidad Integral No 1, esta no se aplica rigurosamente.

2- En la Unidad Integral No 1 Cienfuegos no se paga el consumo de agua lo que provoca un derroche indiscriminado de este recurso.

3- En la Unidad Integral No 1 no se realizan acciones para la reutilización de sus efluentes, el sistema de recolección de tratamiento de residuales se encuentra deteriorado por falta de mantenimiento y aplicaciones tecnológicas.

Capítulo 3- Evaluación de alternativas para la revalorización de los residuales de la Unidad Integral No 1.

No existe una solución única y universal de tratamiento de deyecciones ganaderas que asegure la eliminación del problema. La solución es una combinación de gestión y tecnología, adaptada a cada realidad, y siempre con el objetivo, u objetivos, que se definan en cada zona en función del balance de nutrientes realizado en ésta, del problema de transporte que se deba resolver y de otros requerimientos que se deban cumplir (Juantorena, 2000).

Los residuos de la producción porcina potencialmente valorizables deben verse como recursos a gestionar, en lugar de contaminantes a eliminar. Las deyecciones deben considerarse un subproducto de la producción animal y ser tratadas adecuadamente para convertirlas en fuente de recursos. Esta gestión depende de condicionantes locales, tales como la accesibilidad a los cultivos, los costos de transporte o los precios de los fertilizantes minerales (Juantorena, 2000).

Teniendo en cuenta que el estiércol es el principal subproducto que se genera en una explotación porcina y el que más controversia causa se debe buscar soluciones globales y de carácter integrado con implicación de todas las partes afectadas a fin de poder ofrecer soluciones adecuadas a las condiciones de producción que permitan (Martínez, 2009).

- Minimizar la carga del estiércol (acciones en la alimentación).
- Minimizar el volumen (acciones en la granja).
- Mejorar las prácticas de manejo del estiércol.
- Integración entre agricultura y porcicultura.

En el presente capítulo se estimará la cantidad de purín que se produce en el Integral Porcino 1 y se evaluaran varias alternativas para su aprovechamiento.

3.1 – Estimación de la producción de purín en el Integral Porcino No 1.

Los principales factores que influyen sobre la cantidad purín producido son la cantidad de cerdos en la granja y la distribución por tamaño de dicha población (Urbina Bravo, 2010).

En la tabla 1 se puede apreciar la cantidad promedio de animales estratificada por distintas categorías que durante el año 2010 estuvieron en el Integral 1.

Tabla 1 – Cantidad de animales por categoría en 2010.

	Número de animales											
Categoría	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
Verraco	62	60	65	65	63	73	71	69	66	66	44	48
Reproductora	1041	1034	1008	1014	1026	987	955	930	923	952	975	1014
Cría	1906	1914	1751	1829	2044	1745	1544	1585	1712	1617	1520	1268
Lechonas	151	133	105	124	164	209	174	109	76	160	166	86
Cochinatos	15	15	17	17	12	2	0	5	5	15	31	26
Atas	109	51	24	45	43	58	49	70	61	72	113	98

Atas desarrollo	109	127	174	169	155	155	172	205	255	198	137	168
Preceba	1728	2148	2608	2199	1479	1307	2825	1681	1541	1852	1241	1087

El peso promedio establecido para cada categoría se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2 – Peso promedio por cada categoría.

Categoría	Verraco	Reproductora	Cría	Lechonas	Cochinatos	Atas	Atas Desarrollo	Precebas
Peso, kg	180	160	7	40	120	120	120	22

Partiendo de las tablas 1 y 2 se puede determinar el peso de la masa animal en pie en el integral según su categoría, lo que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 – Peso total de los animales en pie por categoría en 2010.

Categoría	Peso, t											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Verraco	11.2	10.8	11.7	11.7	11.3	13.1	12.8	12.4	11.9	11.9	7.9	11.2
Reproductora	166.6	165.4	161.3	162.2	164.2	157.9	152.8	148.8	147.7	152.3	156.0	166.6
Cría	13.3	13.4	12.3	12.8	14.3	12.2	10.8	11.1	12.0	11.3	10.6	13.3
Lechonas	6.0	5.3	4.2	5.0	6.6	8.4	7.0	4.4	3.0	6.4	6.6	6.0
Cochinatos	1.8	1.8	2.0	2.0	1.4	0.2	0.0	0.6	0.6	0.6	3.7	1.8
Atas	13.1	6.1	2.9	5.4	5.2	7.0	5.9	8.4	7.3	7.3	13.6	13.1
Atas desarrollo	13.1	15.2	20.9	20.3	18.6	18.6	20.6	24.6	30.6	31.6	16.4	13.1
Preceba	43.2	53.7	65.2	55.0	37.0	32.7	70.6	42.0	38.5	46.3	31.0	43.2
Total	268.3	271.8	280.4	274.4	258.5	250.1	280.5	252.3	251.6	262.4	245.9	268.3

La estimación o medición del flujo de purines para el diseño de los sistemas de tratamiento en las explotaciones porcinas o la evaluación de alternativas de uso de los residuales se debe realizar para un día común de actividad, estableciendo los flujos máximo y mínimos (Peralta, 2005).

La estimación del flujo de purines que produce la masa porcina en el Integral 1 se realizará en base al promedio de animales por cada categoría entre los doce meses del año 2010, esta será la población diaria que se utilizará como base de cálculo y se muestra en la tabla 4.

En la tabla también se muestra el factor de emisión de purines que se utilizará en los cálculos y que ha sido tomado a partir de las fuentes bibliográficas referenciadas en el estudio documental realizado en el primer capítulo, este factor estará expresado en kg de estiércol/(cabeza-día).

Tabla 4 - Base de cálculo para la estimación de la producción de purines.

Categoría	Número de animales día	Peso total, t	Estiércol kg/(cabeza-día)
Verraco	64	12	7,4
Reproductora	986	158	6,3
Cría	1742	12	0,3
Lechonas	143	6	2.2
Cochinatos	12	1	5
Atas	63	8	5
Atas desarrollo	169	20	5
Precebas	1241	47	1,22

La orina representa aproximadamente el 45% de la excreta y las heces el 55 %. El contenido de humedad de la excreta esta alrededor del 88 % el contenido de materia seca es del 12%. Cerca del 90 % de los sólidos se excretan en las heces y la orina contiene el 10% de los sólidos (Martínez, 2009).

La densidad de la excreta fresca es ligeramente menor de 1,0 kg/l (aunque son comunes los valores ligeramente superiores a 1,0). El total de los sólidos tiene una densidad baja, de 0,84 kg/l. La excreta porcina contiene sólidos que flotan y sólidos que se sedimentan, además de sólidos en suspensión (Martínez, 2009). En el presente trabajo se adoptará la densidad de la excreta como 0,84 kg/l y el orine como 1 kg/l.

En la tabla 5 se pueden apreciar los resultados de la estimación de la emisión de purín en el Integral No I.

Tabla 5 - Estimación de la emisión de purín en el Integral No I.

Categoría	Purín, kg/día	Orina, l/día	Heces	
			l/día	kg/día
Verraco	473,6	213,1	260,5	218,8
Reproductora	6211,8	2795,3	3416,5	2869,8
Cría	522,6	235,2	287,4	241,4
Lechonas	314,6	141,6	173,0	145,3
Cochinatos	60	27,0	33,0	27,7
Atas	315	141,8	173,3	145,5
Atas desarrollo	845	380,3	464,8	390,4

Precebas	1514,02	681,3	832,7	699,4
Total	10 256,62	4615,5	5641,1	4738,5

De la tabla se puede concluir que como promedio cada día de operaciones del Integral porcino su masa animal emite 10,2 toneladas de purín, de ellos 4,6 de orine y 5,6 de heces.

3.2 – Mediciones del flujo de agua de limpieza.

Es evidente que la principal fuente de incorporación de agua a la corriente de efluente del integral porcino es el proceso de limpieza de los corrales, que en este caso se realiza a través de mangueras convenientemente situadas en las naves, en la figura 1 se puede apreciar su realización. El objeto fundamental de este proceso es eliminar las heces acumuladas ya que la mayor parte del orine fluye directamente hacia el sistema de recolección según los cerdos lo emiten.

La limpieza la realizan dos o tres operarios por nave y el tiempo estimado de realización es del orden de una hora diaria, los operarios alternan las mangueras según la zona de la nave que estén limpiando.

El agua mezclada con las heces se recoge en los colectoras situados a ambos lados de la nave que lo conducen hacia el sistema de recolección que termina en las lagunas para el tratamiento final de los efluentes.

La medición del flujo de agua de limpieza se realizó en todas las naves del integral en cinco días hábiles. Se dio seguimiento al proceso de limpieza y se midió el tiempo utilización de cada manguera mediante un cronómetro y el flujo correspondiente mediante un recipiente graduado.

Para la estimación de gasto de agua en la limpieza de las naves se trabajó con los valores promedio del tiempo de uso de las mangueras cada nave y del flujo promedio de agua por ellas, determinándose el agua utilizada como promedio en cada operación de limpieza por cada nave. En el **anexo II** medición del consumo de agua de limpieza se muestran los datos de las mediciones realizadas y en las tablas 6, 7 y 8 se resumen los resultados para las naves de maternidad, reproducción y preceba indistintamente.

Fig 1 – Limpieza de los corrales.

Tabla 6 – Resultados de la medición del consumo de agua de limpieza en las naves de maternidad.

Nave No	Tiempo de uso promedio de las mangueras, min	Flujo de agua Promedio, l/min	Número de mangueras	Volumen de agua Promedio en la nave, litros/operación limp
1	19	86	5	8 029
2	15	84	6	7 678
3	24	103	8	19 720
4	20	115	5	11 543
5	25	116	6	17 203
6	17	118	6	12 261
Volumen de agua de limpieza en el área de maternidad, l/día				**76 434**

Tabla 7– Resultados de la medición del consumo de agua de limpieza en las naves de reproducción.

Nave No	Tiempo de uso promedio de las mangueras, min	Flujo de agua Promedio, l/min	Número de mangueras	Volumen de agua Promedio en la nave, litros/operación limp
1	22	126	8	22 506
2	20	111	8	17 467

3	20	113	8	17 914
4	19	134	8	20 727
5	19	121	8	17 968
6	18	110	8	15 936
7	24	119	8	22 854
8	16	115	8	14 544
Volumen de agua de limpieza en el área de reproducción, l/día				**149 920**

Tabla 8 – Resultados de la medición del consumo de agua de limpieza en las naves de preceba.

Nave No	Tiempo de uso promedio de las mangueras, min	Flujo de agua Promedio, l/min	Número de mangueras	Volumen de agua Promedio en la nave, litros/operación limp
1	22	122	8	21 258
2	20	112	8	17 682
3	20	117	8	18 876
4	19	133	8	20 166
5	19	122	8	18 104
6	19	107	8	15 997
7	23	116	8	21 587
8	15	116	8	13 529
9	23	107	8	19 665
10	23	114	8	20 757
11	19	119	8	17 921
12	22	122	8	21 258
Volumen de agua de limpieza en el área de reproducción, l/día				**205 543**

En la tabla 9 se muestran los estimados de consumo de agua de limpieza por cada categoría de nave y el volumen total estimado de agua utilizada en limpieza diariamente.

Tabla 9 – Estimado del volumen de agua utilizada en la limpieza de las naves.

Categoría	Consumo de agua de limpieza, l/día	Cantidad de animales	Gasto de agua por animal l/animal día
Maternidad	76 434	1 960	39.0
Reproducción	149 920	833	180.0

Preceba	205 543	1 628	126.3
Total	**431 897**	**4 421**	**97.7**

De la tabla se puede concluir que el consumo de agua en la limpieza es muy superior a la norma de consumo de 25 litros animal/día para animales de 90kg de peso, según el Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina, 2008. La situación real es peor aún al no considerarse en el agua de consumo de los cerdos.

3.3 – Medición de la emisión de efluentes líquidos.

Para la medición del flujo de la corriente de residuales líquidos se utilizó el método descrito en la figura 5 del capítulo I, pero adaptado a canales cerrados.

El emisario final del Integral No1 está construido con tubos de concreto de 30 pulgadas de diámetro (762 mm), en la figura 2 se muestra el interior del emisario en una foto tomada a través de uno de los registros abiertos.

Fig 2 – Emisario final y efluente.

El emisario tiene registros abiertos cada 30 metros, estos se muestran señalados con flechas en la figura 3.

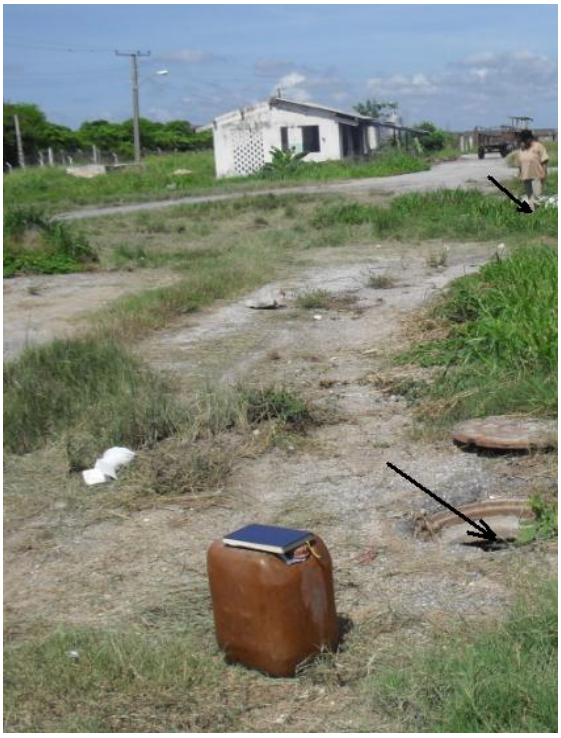


Fig 3 – Registros en el emisario final.

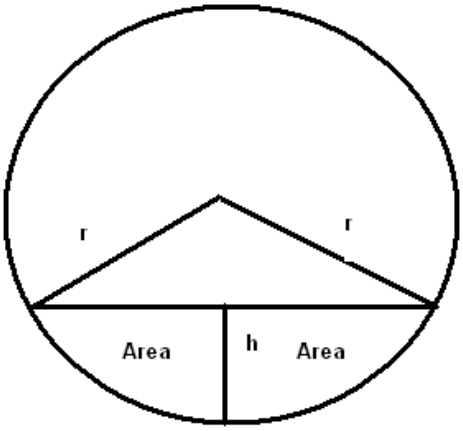
La medición del flujo del emisario final se realizó en los mismos cinco días en que se midió el consumo de agua de limpieza. La medición consistió en arrojar un flotante en un registro y medir el tiempo en llegar al registro consecutivo y la altura de la corriente dentro del emisario, en la figura 4 se puede apreciar el momento de introducir el flotante.

Fig 4– Introducción del flotante en la corriente de residuales líquidos.

Las mediciones de la altura del efluente en el emisario se replicaron 6 veces a intervalos de 10 minutos en los horarios comprendidos entre las 9 y 10 h; 11 y 12 h; 13 y 14 h y entre las 15 y 16

horas y en los cinco días en que se realizó el trabajo de campo en correspondencia con lo recomendado por (Peralta, 2005).

En la figura 5 se muestra la ecuación utilizada para determinar el área de la sección transversal de la corriente del efluente líquido a partir de su profundidad.



$$A = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \left(\pi - \frac{1}{2} sen^{-1}\left(\frac{r}{r-h}\right) - sen\left(\pi - \frac{1}{2} sen^{-1}\left(\frac{r}{r-h}\right)\right)\right)$$

r = 254 mm

Fig 5– Determinación del área de la sección transversal de la corriente de efluente.

En la tabla 10 se muestran los resultados de las mediciones de flujo horario en el emisario de salida y en el **anexo III** se pueden apreciar los resultados de las mediciones.

Tabla 10 – Resultados de las mediciones de flujo en el emisor de salida.

Hora	**Flujo medio, m^3/h**
9 a 10	68.12
11 a 12	56.50
14 a 15	18.68
16 a 17	7.50

En la tabla se puede apreciar que el mayor flujo se produce en la mañana durante las operaciones de limpieza, lo que se corrobora también en la figura 1 en la que se grafican los resultados medios de las mediciones del flujo en cada hora en los cinco días investigados.

El flujo medio de 8 a las 13 horas es de 62.3 m^3/h que es aproximadamente el horario de limpieza, por lo que el volumen total estimado de la emisión de efluente líquido en este horario seria de 437 m^3, ligeramente mayor que el resultado de la medición del consumo de agua en la limpieza, de haber sido posible realizar con mayor precisión y en todas las horas la medición el resultado hubiera sido algo mayor aún si se considera que en la medición de las 14 horas aún está fluyendo parte del agua utilizada en la limpieza, el purín producido por las animales, las pérdidas en los

sistemas de agua para beber, las fugas en las mangueras de limpieza y el agua de usos social que se utiliza en la cocina y en los baños del personal.

El flujo promedio de las 14 a 18 horas es de 12,4 m^3/h por lo que en esas horas se puede estimar el volumen del efluente vertido en 60 m^3 y considerando en la noche un flujo medio estimado como la mitad de la medición de las 17 horas el volumen de agua en la noche madrugada seria de 45 m^3.

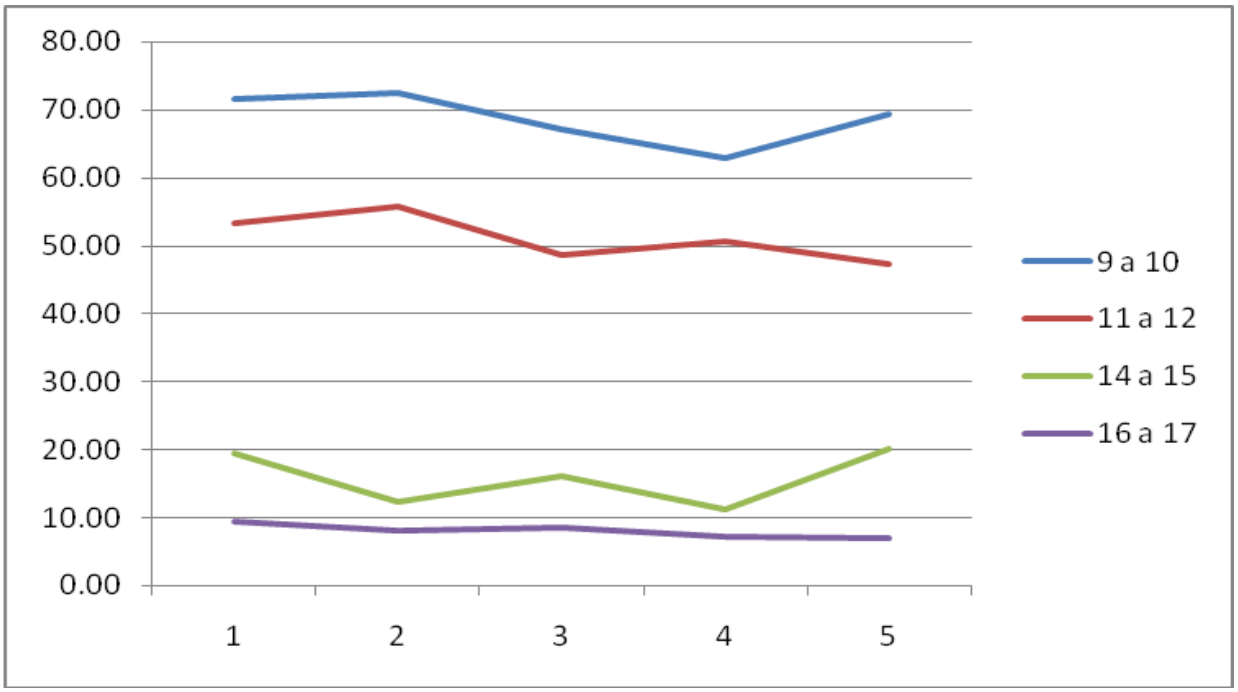


Fig 6– Resultados de la medición del caudal del efluente por horas.

La estimación del volumen de residuales diarios a partir de la medición del flujo en el emisario de salida es del orden de los 542 m^3/día de los que 431 m^3 se incorporan como resultado de la limpieza de los corrales y el resto como resultado de salideros, perdidas del agua de beber, consumo social y el orine de los animales.

Aunque estas estimaciones son resultado de mediciones realizadas con un alto nivel de incertidumbre como consecuencia de los métodos rústicos utilizados, en la literatura especializada se señala reiteradamente que es mejor una aproximación como esta que no disponer de datos.

Las mediciones realizadas en el emisario final ratifican el resultado obtenido de la medición del agua utilizada en la limpieza acerca del sobre consumo de agua que se produce en esta instalación. Según las mediciones y estimaciones realizadas en el emisario final el consumo de agua por animal está en el orden de los 128 l/animal día, seis veces superior a la norma de 25 l/animal día e incluso al estimado realizado por (Duran, 1997) para este método de limpieza predominante en Cuba, de 60 a 80 litros día por animal de 100 kg de peso.

Este sobreconsumo de agua es resultado en primer lugar del hecho de que el combinado porcino no pague el agua, esto produce la total despreocupación tanto de los directivos como de los operarios acerca de su consumo, un desconocimiento total sobre el gasto de agua y más aún sobre el volumen del efluente líquido ignorándose totalmente el costo energético del agua y los nefastos resultados ambientales que trae sobrecargar los sistemas para el tratamiento de residuales.

3.4 – Estimación de las potencialidades de producir biogás.

El tratamiento aeróbico en un biodigestor para producir biogás es uno de los tratamientos más recomendados para los efluentes de las granjas porcinas.

Sobre las potencialidades del Integral 1 para producir biogás se han realizado varios estudios, particularmente (Clavijo y Álvarez, 2012) realizaron la evaluación de factibilidad para la instalación de un biodigestor de 55 m^3 de capacidad que trabajaría con carga libre e ininterrumpida mientras transcurre la limpieza de las naves, sin previa elaboración de la mezcla. Su capacidad de producción sería del orden de los 18 m^3 de biogás día y el costo de la inversión estaría en el orden de los 71 000 pesos asegurando las necesidades para la cocción de alimentos de los trabajadores y calentamiento de agua requerida en el proceso productivo (Clavijo y Álvarez, 2012).

Otra variante más ambiciosa evaluada fue la de construir dos tanque de 90 m^3 de capacidad que permitirían una producción de 60 m^3 de biogás día, que excede la demanda del Integral I y debe buscársele destino, la inversión requerida en este caso está en el orden de los 100 000 pesos y se amortiza en menos de un año por el ahorro en la leña utilizada para la cocción de alimentos.

La evaluación del potencial para la obtención de biogás se inicia con la caracterización de los efluentes.

La relación entre el contenido de excreta y el agua de lavado depende del tipo de lavado que se aplique, según la literatura especializada esta varía entre 6 y 18 litros de agua por litro de purín (Libby, 2005). En el caso del Integral I las mediciones realizadas permiten estimar el consumo de agua de lavado en el orden de los 430 000 litros/ días, mediante las estimaciones realizadas a partir de indicadores de la literatura y la composición media de la masa animal la emisión total de purín está en el orden de las 10 356 litros/día por lo que en esta caso particular la proporción es de 45 litros de agua por litro de purín.

En la tabla 11 se muestra la composición típica del purín de cerdo.

Tabla 11– Composición del purín. Fuentes: (Libby, 2005); (Clavijo y Álvarez, 2012).

	Sólidos totales (mg/l)	DB0 (mg/l)	DQ0 (mg/l)	Nitrógeno (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Potasio (mg/l)	Densidad (kg/l)
Promedio	48 652	15 413	49 240	1 227	2 072	4 226	1

En la tabla 12 se muestran los resultados de la caracterización de los residuales del Integral I (Brito y Gómez, 2007), los resultados de las mediciones de la demanda química de oxígeno y los sólidos totales están en el mismo orden a la entrada de la primera laguna de oxidación que resultaría de aplicarle la dilución estimada de 45 litros de agua por litro de purín.

Tabla 12 – Resultados de la caracterización del residual del Integral No 1. Fuente: (Brito y Gómez, 2007)

Análisis	U/M	Entrada Primera laguna
1.PH	U	7.14
2 .Conductividad Eléctrica (CE)	μS/cm	3246
3. Fósforo Total (P_T)	mg/litro	57
4. Sólidos Totales (ST)	mg/litro	162
5. Demanda Biológica de Oxígeno(DQO)	mg/litro	544
6. Demanda Química de Oxígeno(DBO_5)	mg/litro	1880
7. Sólidos Totales (ST)	g/L	2.92

Aplicando los valores de la composición dados en la tabla 11 al estimado de generación diaria de purín en el Integral No 1 se puede tener un valor aproximado de la producción diaria de estos elementos.

Tabla13– Estimación de la emisión diaria en el Integral No 1.

Purín, (kg/día)	Sólidos totales (kg/día)	DQ0 (kg/día)	Nitrogeno (kg/día)	Fósforo (kg/día)	Potasio (kg/día)
10 256	498	505	12.5	21	43

En la literatura especializa se pueden encontrar varias formas de estimar el potencial de producción de biogás a partir de la demanda química de oxigeno (DQO) “Mediante el proceso de digestión anaerobia, la eliminación de 1 kg de DQO se puede transformar en un máximo de 0,35 m3 de metano (CH_4)” (Flotats, 2001). También se puede calcular a partir de los sólidos totales contenidos en le fluente líquido “Por cada 1000 Kg. de sólidos totales (ST) del residuo tratado se pudiera obtener unos 250 m^3 de metano” (Viñas, 1996).

De utilizar para la carga del biodigestor la corriente del efluente líquido se introducirían alrededor de 500 kg/día de DQO lo que permitiría obtener un máximo de 175 m^3 de biogás por día de trabajo de la instalación.

Un aspecto clave en este propósito es sin dudas el volumen del biodigestor que se requeriría, para su estimación de utilizar la siguiente ecuación (Peralta, 2005):

$Vb = Fp*Tr$

Donde:

Vb: Volumen del biodigestor en m^3

Fp: Flujo de purines en m^3/día

Tr: Tiempo de retención en días.

El tiempo de retención hidráulica en los digestores está en el orden de 10 a 20 días, según que el régimen de trabajo de estos.

El volumen requerido para procesar el nivel de vertimiento actual estaría entre 4300 y 8600 m^3, como ya se señaló este nivel de vertimiento es sobredimensionado por el derroche de agua, si se aplicaran estrategias de ahorro de agua y la instalación se aproximara a las normativas para el consumo de agua, este volumen se reduciría notablemente y estaría en el orden de los 2200 m^3 requeridos,

Teniendo en cuenta que aproximadamente el 90 % de los sólidos se excretan en las heces y solo el 10 % en la orina (Martínez, 2009) se puede realizar una estimación del potencial de producción de biogás si se recogen las heces antes de limpiar y se utilizan mezcladas con agua para la carga del biodigestor. Esto tendría además la ventaja de reducir notablemente la demanda de agua para la limpieza de los corrales,

La emisión de sólidos totales es de 498 kg por día, de los que 448 se encuentran en las excretas, con los que se podría obtener hasta 112 m^3 de biogás por día y el volumen requerido en los biodigestores sería mucho menor.

La emisión de excretas es de 5641 litros por día, logrando una recolección del 90 % la carga diaria del biodigestor sería de 5 m^3 de excretas y 15 m^3 de agua y el volumen requerido en los depósitos estaría entre 240 y 500 m^3, mucho menor que el requerido para la carga directa de la corriente efluente.

Esta opción tiene el inconveniente de que se requiere un mecanismo eficaz para la recolección de la excreta, que generalmente consiste el barrido de los corrales hacia las canales colectoras de donde el agua de lavado que posteriormente se aplique las llevara hacia trampas colectoras donde quedarán retenidas para su posterior recolección y traslado a la zona de preparación de la carga de reactor.

Otra importante desventaja de la revalorización de la excreta porcina a través de la producción de biogás lo constituye la infraestructura logística requerida para su aprovechamiento en gran escala a nivel doméstico y de aprovechamiento interno en el integral, que solo tiene capacidad para consumir.

Por esta causa en los países desarrollados se procura que el aprovechamiento final del biogás sea en la producción de energía eléctrica según el esquema mostrado en la figura 7.

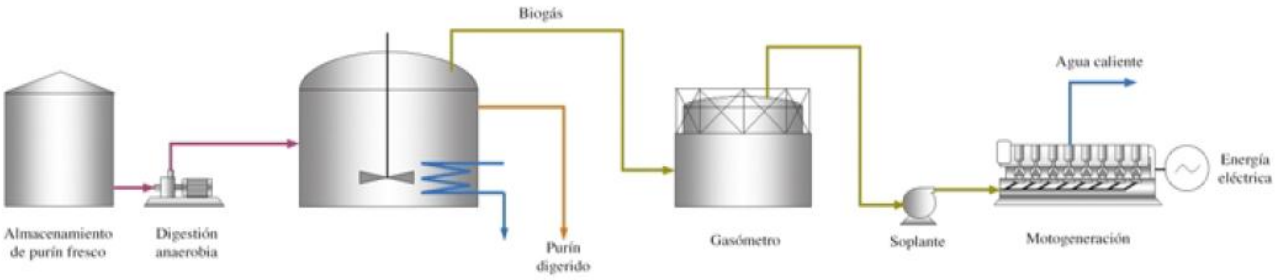


Fig 7– Esquema de la producción de electricidad a partir de purín. Fuente: (Angulo, 2012).

Este tipo de instalación generalmente no tiene rendimiento económico ya que la electricidad producida no cubre la amortización de la alta inversión que requiere y de los costos de operación (Angulo, 2012).

En la tabla 14 se pueden apreciar los datos generales de una instalación de este tipo con una capacidad de 100 000 t/año de purín.

Tabla14– Datos de una instalación de generación eléctrica a partir del purín. Fuente: (Angulo, 2012).

Capacidad	100.000 t/a (DQO: 70.000 mg/l)
Régimen mesofílico	(37 C, 20 días de retención)

Generación de biogás	1,5 mill. de Nm^3/año(65% CH_4)
Generación eléctrica	4 mill.de kwh/año (motogenerador de 0,5 MW)
Calor disponible (agua caliente)	2 millones de kwh/año
Calor adicional opcional recuperable de humos del motogenerador	2 millones de kwh/año
Inversión	3 millones de €
Coste neto de tratamiento	6 a 8 E/t de purín(sin transporte de purín)

En la tabla se puede apreciar claramente que la inversión requerida está en el orden de los 3 millones de euros y el costo de tratamiento en el orden de los 6 euros por tonelada de purín, unos 800 000 euros anules.

Teniendo en cuenta que la emisión de purín en el integral está en el orden de las 360 toneladas al año, la mitad de ellas excretas, una instalación para el total aprovechamiento de este recurso en la producción de electricidad requerirá mayor capacidad que la mostrada en la tabla 14 y por tanto requeriría una inversión de más de 3 millones de euros, algo sumamente difícil en la situación actual de nuestro país.

A partir de lo antes expuesto sobre el aprovechamiento de los residuales del Integral No 1 para producir biogás lo más razonable es construir un biodigestor que satisfaga la demanda de energía térmica para la cocción de alimentos y otros menesteres, lo que se amortiza en menos de un año a partir del ahorro de otros combustibles como la leña.

La construcción de instalaciones de mayor capacidad produciría un excedente de complicado destino pues no hay zonas residenciales cercanas para su consumo y se requeriría su almacenaje a presión y posterior distribución con todos los gastos y complicaciones logísticas que esto origina.

3.5 – Estimación del potencial de la utilización del purín como abono orgánico.

Las excretas de cerdo constituyen una excelente fuente de nutrientes para el desarrollo de las plantas, en forma de abono orgánico. Son un recurso valioso que puede ser reutilizado en las explotaciones aplicándolo al suelo durante los períodos de cultivo, con el método que más se adapte a las necesidades del productor, en base a las características de la explotación y a las exigencias ambientales(Chara, 2007).

La aplicación al suelo está definida como la aplicación controlada de los efluentes al suelo con el objeto de alcanzar un tratamiento y remoción de los constituyentes que normalmente transportan

estos efluentes, como asimismo, una forma de reutilización de agua y de nutrientes en la producción agrícola (Urbina Bravo, 2010).

En este tipo de aplicaciones, el suelo cumple dos funciones, por un lado es el medio receptor de los efluentes evitando de esta manera el vertido a otros medios, y a la vez, actúa como agente activo ya que en la superficie como en su interior se producen procesos de degradación, eliminando nutrientes, materia orgánica, microorganismos y reteniendo otros componentes como metales pesados.

En la tabla 15 se relacionan las tasas de emisión de nutrientes según la categoría de desarrollo de los cerdos.

Tabla 15– Tasas de emisión de nutrientes. Fuente: (Sainz, 2010).

Etapa animal	Nitrógeno(kg/día)	Fósforo (kg/día)	Potasio (kg/día)
Verraco	0,04	0,03	0,03
Reproductora	0,03	0,02	0,02
Cría	0,01	0,01	0,01
Lechonas	0,02	0,015	0,015
Cochinatos	0,02	0,015	0,015
Atas	0,025	0,02	0,02
Atas desarrollo	0,025	0,02	0,02
Precebas	0,02	0,015	0,015

A partir de estos factores de emisión y de la cantidad de animales por categoría presentados en la tabla 15 se puede estimar la emisión de nutrientes en el purín por día de operaciones en el Integral 1, esta se puede apreciar en la tabla 16.

Tabla 16– Estimación de la emisión de nutrientes en el purín.

Etapa animal	Nitrógeno(kg/día)	Fósforo (kg/día)	Potasio (kg/día)
Verraco	2.6	1.9	1.9
Reproductora	29.6	19.7	19.7
Cría	17.4	17.4	17.4
Lechonas	2.9	2.1	2.1
Cochinatos	0.2	0.2	0.2
Atas	1.6	1.3	1.3
Atas desarrollo	4.2	3.4	3.4
Precebas	24.8	18.6	18.6
Total	83.3	64.6	64.6

El potencial máximo de aportación de nutrientes por el Integral I estaría en el orden de las 30 toneladas al año de Nitrógeno y 23 de Fósforo y Potasio respectivamente.

En las condiciones del Integral No 1 y su zona circundante existen varios inconvenientes que obstaculizan en gran medida la revalorización del purín mediante la aplicación directa al suelo.

En la figura 8 se puede apreciar la aplicación de purín de manera directa al suelo en España donde se producen 45 millones de toneladas anuales de purines, que equivalen a 500.000 toneladas anuales de nutrientes agrícolas, un estimado del 20 % del total de fertilizantes utilizados anualmente en ese país (Angulo, 2012). La creación de la infraestructura logística para este tipo de aplicación requeriría inversiones cuantiosas.

Fig 8 – Aplicación directa del purín al suelo en España. Fuente (Lorca, 2007).

La aplicación del estiércol líquido al suelo es un método de disposición cómodo y de bajo costo que también puede beneficiar al suelo a través del reciclado de nutrientes esenciales. El estiércol animal es benéfico para los suelos debido a que los organismos del suelo descomponen la materia orgánica que a su turno puede aumentar la capa arable, la aireación y la fertilidad, incrementar la capacidad de retención de agua y potencialmente reducir la erosión por viento y agua. La aplicación adecuada de estiércol a las tierras puede sostener una producción intensiva de cosechas sin depender de adiciones significativas de fertilizantes externos (Pacheco, 1997).

Para la aplicación a través de fertirriego existen básicamente tres procedimientos para realizar la aplicación al suelo: tasa lenta (TL); infiltración rápida (IR) y flujo superficial (FS). Estos tres tipos de sistemas utilizan procesos físicos, biológicos y químicos en el interior de la matriz del suelo para lograr el tratamiento y se representan en la figura 9.

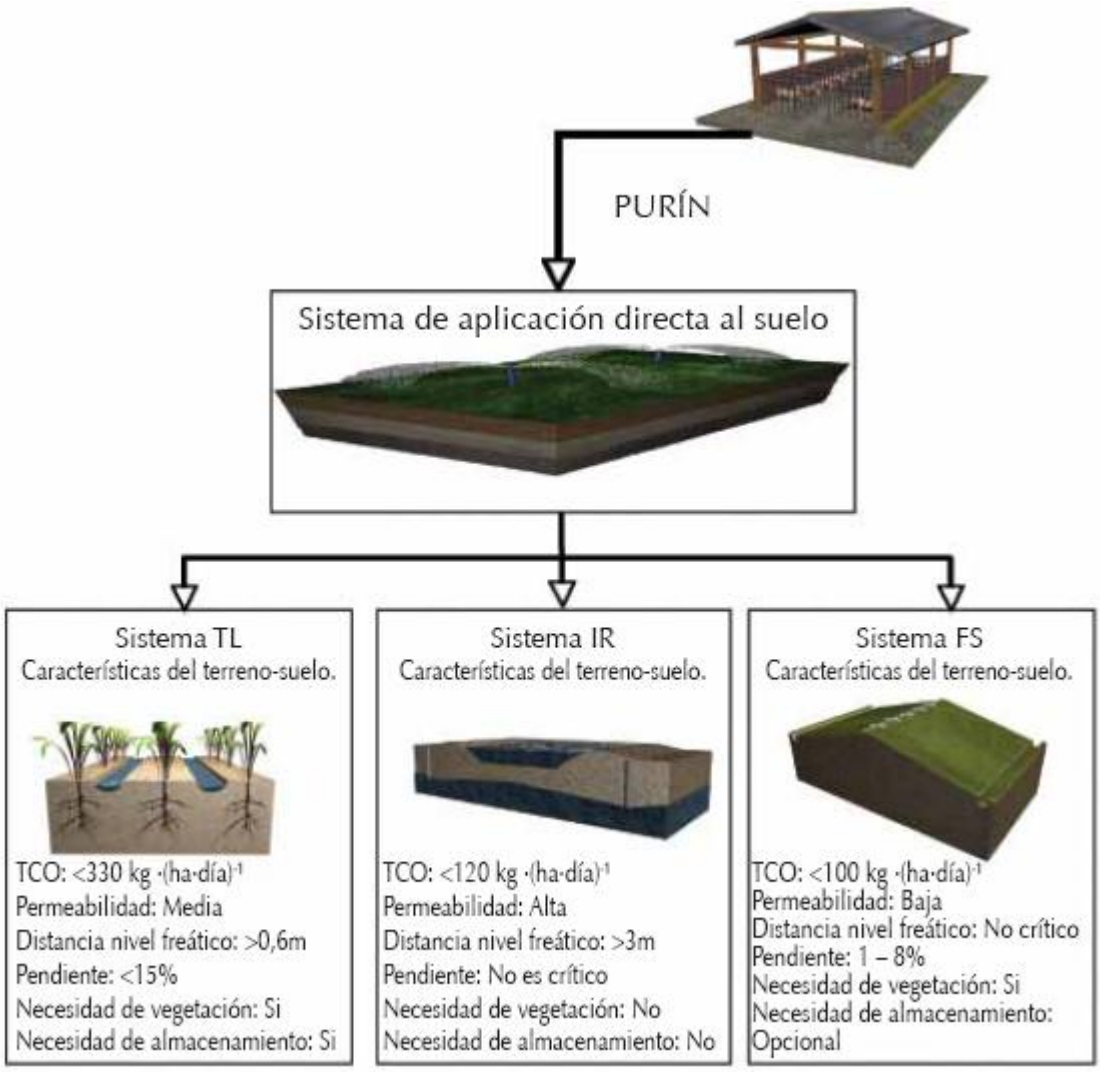


Fig 9– Aplicación directa del purín a través de fertirriego. Fuente (Peralta, 2005).

Este sistema de aplicación también requiere cuantiosas inversiones tanto en los sistemas de bombeo y conducción del purín como en los mismos campos donde se aplica al exigir determinadas pendientes lo que obligaría a un costoso trabajo de nivelación de los campos.

Otro inconveniente es la exigencia de un riguroso control agrotécnico para minimizar los riesgos ambientales pues el exceso de aplicación de nitrógeno a terrenos agrícolas o el vertido de los purines insuficientemente tratados a cauces produce la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas a límites que atentan contra la salud humana (Angulo, 2012) y con la aplicación de purín al campo se pueden aportar además metales pesados que están presentes como complemento mineral en la dieta de los animales y su asimilación es escasa apareciendo en las deyecciones. Tienen una alta persistencia y se acumulan en el suelo con un efecto es a largo plazo (Sainz, 2010).

3.5.1 – Aplicación directa al campo de la fracción sólida del purín.

Este sistema prevé la separación del fracción líquida y sólida del purín, sea por recogida del sólido antes del lavado de los corrales o por su separación de la corriente del efluente a través de algún tipo de sistema de colado o filtrado.

El sólido separado del purín tiene 13 kg de Nitrógeno por m^3, del cual, 33% es amoniacal. Considerando una pérdida de nitrógeno por almacenamiento (volatilización de la fracción amoniacal) y humedad, la fracción sólida puede llegar a 8,5 kg de nitrógeno por m^3 disponible íntegramente en forma orgánica. De esta cantidad, solo un 40% está disponible inmediatamente para la planta, por lo tanto, por cada metro cubico de sólidos, se tienen 3,4 Kg de nitrógeno disponible, y 5,1 Kg de nitrógeno no disponible inmediatamente (Peralta, 2005).

La fertilización directa con la fracción sólida del purín, dependerá de las necesidades de las plantas respecto al nitrógeno disponible. Si el cultivo es altamente demandante de nitrógeno, como por ejemplo el maíz la recomendación agronómica debe ser clara en que se necesita una fuente adicional de nitrógeno (10 a 15% del requerimiento total), en especial en las primeras etapas fenológicas del cultivo. En cultivos menos exigentes en nitrógeno disponible, todo el nitrógeno puede adicionarse a partir de la fracción sólida (Ramírez, 2009).

En los resultados expuestos en la tabla 13 se estimó que la fracción sólida del purín emitido diariamente es del orden de los 5,6 m^3 por lo que el Integral No 1 potencialmente podría aportar a los cultivos en las áreas colindantes 19 kg de Nitrógeno disponible inmediatamente y 28,5 no disponible inmediatamente diariamente, el aporte anual estaría en el orden de las 18 toneladas de nitrógeno.

Este tipo de aplicación requeriría la implementación de un sistema para la separación de las fracciones sólida y líquida, reduciría notablemente la carga contaminante que va a las lagunas de tratamiento y no requeriría prácticamente de inversiones para su implementación, de hecho puede utilizarse en cultivos de autoconsumo que se fomente en las áreas interiores de la instalación como los mostrados en la figura 10.

Fig 10– Cultivos de autoconsumo en el interior de la instalación.

3.5.2 – Compostaje.

El compostaje es otra alternativa en lo que respecta a la fertilización con excretas de cerdo a través de la cual se estabilizan los desechos orgánicos para su posterior utilización como fertilizantes. Este proceso que consiste en la descomposición de la materia orgánica hasta alcanzar su forma más estable. Este proceso convierte un material de desecho orgánico, en un producto orgánico estable frente a las condiciones ambientales. Además, esteriliza en alto grado el guano animal.

En el capítulo I se explicaron los beneficios de la aplicación de compost al suelo y de su producción a partir de las heces de los cerdos, en nuestro país existen numerosas experiencias en la producción de compost, lo que no requiere de grandes inversiones y tiene la ventaja sobre la aplicación directa que es una materia estable y se puede almacenar para suministrarla al cliente cuando lo necesite.

La forma más práctica de producir compost en las condiciones del Integral I es Secado en filas o hileras. Este método consiste en apilar el material a compostar en montones largos y estrechos. Para mantener una condición aeróbica, la mezcla de este material debe voltearse periódicamente. Esto expone el material a las condiciones ambientales e impide el aumento de la temperatura. Algunas ventajas y desventajas de este método son:

Ventajas:

- El secado rápido con temperaturas elevadas.
- Un producto más seco, que favorece su manipulación.
- Facilidad de manejar volúmenes altos de material.

- El producto es muy estable.
- Bajo capital de inversión.

Desventajas:

- Ineficiente en cuanto a espacio requerido.
- Los costos operacionales son altos.
- Es vulnerable a los cambios del clima.
- Las hileras deben ser volteadas para mantener las condiciones aérobicas, lo que obliga a tener equipo especial de volteo.
- El material al voltearlo, genera olores.

En la figura 11 se muestra la producción de compost con esta técnica.

Fig 11– Producción de compost mediante secado en filas. Fuente: (Peralta, 2005).

3.6 – Estimación del potencial de valorización del purín como alimento animal.

En la literatura se plantea que el uso de las deyecciones de los cerdos como complemento del alimento animal no compite en viabilidad y resultados con uso como abono por cualquiera de las vías que se realice su aplicación, sin embargo en las condiciones del Integral 1 y de la porcicultura cubana en general puede resultar atractivo.

En la tabla 17 se muestra la composición química de las excretas porcinas según la categoría en que estos se encuentran determinada para base húmeda (BH) y para base seca (BS).

Tabla17– Composición química aproximada de las excretas según la etapa productiva. Fuente: (Asociación Colombiana de Porcicultores, 2002; CERDA, 1990).

Etapa de desarrollo	Masa Seca (%)		Proteína Cruda (%)		Fibra Cruda (%)		Energía Bruta Mcal/kg	
	BH	BS	BH	BS	BH	BS	BH	BS
Verraco	32	13,2	23,4	7,9	18,4	19,0	4,5	4.0
Reproductora	29	12,3	14,0	10,9	17,3	18,7	4,3	3.9
Cría	22,3	10,4	20,7	11,3	13,8	13,2	4,5	5,1
Lechonas	26,1	9,8	16,6	17,0	16,8	17,2	4,5	2,4
Cochinatos	25,7	9,8	18,8	17,0	16,8	17,2	4,5	2,4
Atas	24,5	8,9	18,8	17,0	16,8	17,2	4,5	2,4
Atas desarrollo	24,5	8,9	18,8	17,0	16,8	17,2	4,5	2,4
Precebas	26,2	7,7	22,2	7,4	16,8	17,2	4,7	4,3

La excreta de cerdo tiene un contenido de humedad del orden del 90 % y un 10 % de materia seca (Peralta, 2005).

Para el aprovechamiento de la excreta como alimento esta debe ser separada del líquido, secada y eventualmente prensada por lo que estimación del potencial de aporte como alimento animal se realizara a partir de la composición en base seca y de los resultados presentados en la tabla 17 se puede estimar el potencial de la emisión de nutrientes para la alimentación animal en el purín por día de operaciones en el Integral 1, esta se puede apreciar en la tabla 18.

Tabla18– Estimado del contenido de alimento animal en el purín.

Etapa de desarrollo	Masa seca, kg	Proteína cruda, kg	Fibra cruda, kg	Energía Bruta Mcal
Verraco	2.9	1.7	4.2	0.9
Reproductora	35.3	31.3	53.7	11.2
Cría	2.5	2.7	3.2	1.2
Lechonas	1.4	2.5	2.5	0.3
Cochinatos	0.3	0.5	0.5	0.1
Atas	1.3	2.5	2.5	0.3
Atas desarrollo	3.5	6.6	6.7	0.9
Precebas	5.4	5.2	12.0	3.0
Total	52.5	52.5	53.0	85.2

La producción de alimento animal potencial en el Integral I si se aprovecha el 100 % de las excretas está en el orden de los 470 kg diarios con un contenido estimado de 52 kg de masa seca, 52 kg de proteína cruda y 53 kg de fibra cruda con un contenido energético de 82 Mcal.

El alimento que se produzca por esta vía se puede utilizar para la cría de animales como autoconsumo, sean conejos, pollos, ocas u otro, también se puede suministrar a productores de la zona circundante.

3.6.1 – Separación de la fracción sólida en el purín.

La separación sólido - líquido ha sido usada en una forma u otra en las granjas porcicola por cerca de 30 años. Debido a que el estiércol se separa en una fracción líquida y una sólida, se requieren equipos para ambas situaciones. Los sistemas mecánicos pueden remover 25% o más de los sólidos mientras otros sistemas que utilizan la gravedad pueden remover más del 50% (Martínez, 2009).

La separación permite obtener subproductos con mejores propiedades para el manejo y transporte, el líquido puede desplazarse por tuberías sin el peligro que se obturen y el sólido puede disponerse en instalaciones de secado o en lugares habilitados para el almacenamiento o transportarse dentro o fuera de la instalación. También facilita el almacenamiento de los desechos, reduciendo la generación de olores, manteniendo el contenido nutritivo (Peralta, 2005).

Las situaciones más comunes en las cuales podría ser aconsejable la separación de sólidos son:

- Dificultad en el manejo de la porquinaza líquida tal como se produce;
- Insuficiente área de cultivos con respecto a la cantidad de fertilizante producido:
- Aplicación a cultivos emergentes:
- Disminución en el tamaño de los sistemas de almacenamiento y tratamiento:
- Obtención de un material sólido de alto valor.

Los sistemas de separación más utilizados son por gravedad y mecánicos, sus principales características son las siguientes (Martínez, 2009):

Sistemas de separación mecánicos.

- Puede remover más del 30% de los sólidos totales.
- Remueve más del 25% de materia orgánica biodegradable.
- Los sólidos separados son más estables (menos olor) que el estiércol líquido durante el almacenamiento y la aplicación al terreno.

- El sistema mecánico requiere mantenimiento.

Sistemas de separación por gravedad.

- El proceso de separación tiene larga duración.
- Más del 30% de los sólidos pueden ser removidos.
- Generalmente es menos costosa que la separación mecánica.
- Los sólidos son más húmedos y menos estables que los sólidos separados mecánicamente.
- Debe existir un fondo en pavimento para el tanque facilitando la remoción por medio de un cargador.

La capacidad de remoción de sólidos de los sistemas más comúnmente utilizados en la industria porcina varía entre el 15 y el 40%. Utilizando con base en gravedad y largos tiempos de retención, se obtienen estas cifras altas de remoción, pero a costa de obtener un material sólido con humedad muy alta, mayor generación de olores (Urbina Bravo, 2010).

El método de más inmediata y factible aplicación en las condiciones del integral es el barrido en seco de la porquinaza, que se recomienda en aquellas explotaciones o secciones que no tienen pisos ranurados.

El estiércol se retira mediante raspado y paleo trasladándose en vagones. Es demandante de mano de obra y aunque después del raspado requiere lavado con agua contribuye a un notable ahorro de esta. Por este método se puede separar más del 50 % de los sólidos.

La separación mecánica también es aplicable en el Integral No 1, los separadores mecánicos no son tecnológicamente complejos y se puede construir sin dificultad en nuestro país, de hecho en la Universidad de Cienfuegos se diseñó un separador de criba inclinada con prensa de tornillo sinfín que incluye el sistema para el bombeo de la porquinaza, en la figura 12 se muestra el esquema del sistema.

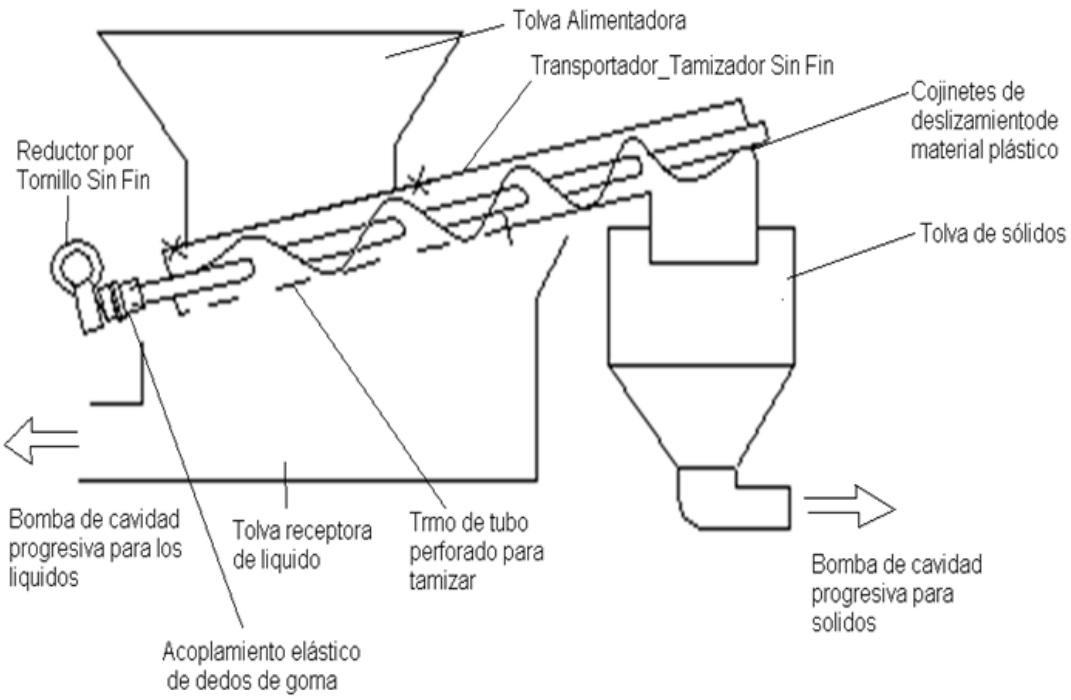


Figura 12 – Esquema del sistema de separación de sólidos diseñado en la Universidad de Cienfuegos.

El efluente se vierte en la tolva de alimentación y la parte sólida queda en la criba, el transportador sinfín la arrastra hacia la tolva de sólidos de donde pasa al área de destino final.

El equipo tiene una capacidad de proyecto de 2 toneladas hora y utiliza un motor de 0,5 kw para el transportador sinfín, dos motobombas de 0,75 kw y un reductor sinfín, estos son los elementos de importación que tienen un valor estimado de entre 2 000 y 3 000 USD, el resto del equipo se puede construir en la provincia.

En el diseño en determinadas condiciones se puede prescindir de ambas bombas lo de reduce a un estimado de 1000 USD el costo en divisas.

La remoción de DBO derivada de la separación de sólidos dependerá de cada sistema de separación y más aún del manejo dado a cada uno de los sistemas. Muy difícilmente se obtendrán remociones superiores al 35% siendo el 20% una cifra media (Martínez, 2009). Esto significa que la separación de los sólidos representaría una reducción de más del 20 % de la carga contaminante que hoy se arroja a las lagunas.

Conclusiones parciales:

1. El consumo de agua en las operaciones de limpieza es de 128 l/animal día, lo que quintuplica la norma de consumo de 25 l/animal día.
2. El volumen de residuales diarios a partir de la medición del flujo de salida es del orden de los 542 m^3/día, sobredimensionado por el derroche de agua lo que dificulta su tratamiento y sobreexplota las instalaciones.
3. Para aprovechar todo el efluente de la granja en producir biogás se necesitaría un volumen en los biodigestores de 4300 y 8600 m^3 con el nivel de vertimiento actual y del orden de los 2200 m^3 si se cumple la norma de consumo de agua, y además una inversión de más de 3 millones de €, pues sería imprescindible una instalación para la producción de energía eléctrica.
4. La Unidad Integral 1 potencialmente podría aportar anualmente 30 toneladas al año de Nitrógeno y 23 de Fósforo y Potasio respectivamente para la aplicación como abono orgánico. La aplicación directa al campo requiere grandes inversiones en el equipamiento para la aplicación y transporte del purín, además de establecer controles rigurosos en la planificación y aplicación. La aplicación como compost es más viable e incluso la elaboración final la puede hacer el cliente.
5. La Integral 1 potencialmente podría producir aproximadamente 470 kg de excreta diarios con un contenido estimado de 52 kg de masa seca, 52 kg de proteína cruda y 53 kg de fibra cruda con un contenido energético de 82 Mcal. Aunque tecnológicamente no entraña gran complejidad desde el punto de vista sanitario puede ser complicado y sobre todo para los productores.
6. La separación de los sólidos representaría una reducción de más del 20 % de la carga contaminante que hoy se arroja a las lagunas.

Conclusiones generales

1. El tema de la reducción del impacto ambiental de la producción porcina y la revalorización de sus residuos es de gran importancia y se trata ampliamente en la literatura especializada.
2. La emisión de residuales en la Unidad Integral 1 está sobredimensionada por el derroche de agua en las operaciones de limpieza que quintuplica la norma de consumo establecida.
3. La separación de los sólidos del efluente debe ser una acción de inmediata implementación que se puede hacer de forma manual o mediante equipos tecnológicos de fácil construcción en el territorio.
4. La implementación por separado de las variantes analizadas no es factible para el aprovechamiento de todos los residuales porcinos, por lo que se requieren soluciones combinadas.

Recomendaciones

1. Realizar la evaluación técnica económica detallada de cada una de las opciones analizadas.
2. Evaluar los resultados que cada una de las opciones analizadas tendrá sobre el impacto ambiental de la instalación.

Bibliografía

Angulo, J. (2012). La digestión anaerobia en el tratamiento de efluentes de granjas de porcino. Retrieved from www.alcion.es.

Asociación Colombiana de Porcicultores (ACP). (2002). Guía Ambiental para el Subsector Porcicola., 102.

Brito Gómez, A. (2007). Caracterización de aguas residuales. Integral Porcino No 1.

Cámara Oficial de Comercio de Lorca. (2007). Guía de buenas prácticas ambientales para el sector porcino, 32.

Cardona Marín, J y Jaramillo Correa. (2008). *Caracterización de la gestión y uso del agua en fincas porcicola en la cuenca del río Quindío y Risaralda*. Tecnológica Pereira, Colombia.

Cerda, P. (1990). *Caracterización química y nutricional de los desechos fecales porcinos.* Medicina Veterinaria., Chile.

Chara J. (2007). El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva. Centro para la Investigación en Sistemas sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV).

CITMA, & Empresa Porcina. (2010). Política Ambiental de la Empresa Porcina.

Clavijo Cabanes, D; Álvarez, O. (2012). *Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina en las unidades pertenecientes a Palmira.* Diploma, Cienfuegos.

Colectivo de autores. (2008). Manual de procedimiento porcino.

Colectivo de autores. (1998). Valor nutritivo e inclucao dos dejetos de suinos para suinos em terminacao, (27), 1151-1159.

CONAM. (2003). Guía de implementación de P+L.

CORNARE y CORANTIOQUIA. (1997). Manejo de elementos de la producción porcina que pueden causar efectos ambientales.

Evaluación del uso de cama en la producción sostenible de cerdos. (2006). Retrieved from http://infoagro.net/shared/docs/a2/Produccion sostenible.

FAOSTAT. (2004). Retrieved from http://faostat.fao.org/default.aspx.

García Sainz, I. (2010). Guía de mejores técnicas disponibles del sector porcino., 136.

Gingis, M. (1998). Concepto sobre energías geotérmica, eólica, solar y de Biomasa. Retrieved from http://www.mflor.mx.

GTZ. (2007). Guía de buenas prácticas de gestión empresarial para pequeñas y medianas empresas. Retrieved from http:/www.gtz.de/en/dokumente/sp-sl-Competitividad-empresarial-larga.pdf.

Henning, A; Flachowsky, G. (1982). Pig excrement as new feedstuff for ruminants.

Heredia, J; Muñiz, M; y Ly, J. (2004). Una reseña corta sobre 45 años (1959-2004) en el desarrollo

de la porcicultura cubana., 13-30.

Juantorena Ugas, A. (2000). Alternativas para el tratamiento del residual porcino. Parte I, *XX* (3), 69-76.

Kato, Luis. (1995). La producción porcicola en México: Contribución al desarrollo de una visión integral., 21-41.

Ly, J. (2003). Uso de excretas en sistemas integrados de producción animal. *3*, *10*, 6-25.

Martínez del Olmo. (2009). Minimización del impacto ambiental y aprovechamiento energético de una explotación porcina de 3.000 madres. Retrieved from http:/www.eis.uva.es/energias-renovables/trabajos_07/Explotación.pdf.

Oficina Nacional de Estadística. ONE. (2011). Sector agropecuario. Indicadores seleccionados. Retrieved from http://www.one.cu/publicaciones/05agropecuario.

ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). (1999). *Manual de producción más limpia* (p. 17). Retrieved from http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/CP_ToolKit_spanish/PR-Introduction/Toolkit.pdf.

Pacheco A. J. Sauri, Ma. Rosa R. Cabrera. Armando S. (1997). Impacto de la Porcicultura en el Medio Ambiente, *1*, 53-58.

Peralta Alba, José María. (2005). *Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina* (Vol. 18). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias

Pérez, E y Muñoz, J. (1991). *Agricultura y Alimentación en Cuba.* La Habana: Ciencias Sociales.

Pérez, R. (2007). Porcicultura intensiva y medio ambiente en México: Situación actual y perspectivas. Retrieved from http://opac.udea.edu.co/cgi-.

Pinto, LA. (2006). Evaluación del uso de cama en la producción sostenible de cerdos. Retrieved from http://infoagro.net/shared/docs/a2/Produccionsostenible_de_cerdos.pdf.

PNUMA/IMA. (1999, February). *Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente.* Retrieved from http://www.pnuma.org/industria/documentos/.

Purdue Research Foundation. (2003). Retrieved from http://www.epa.gob/seahome/manure/ser/species2.htm#swine.

Reyes Gil, M. (2009). Producción porcina y el medio ambiente. *Observatorio de economía latinoamericana*. Retrieved from http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/cu/2010/vmrg.htm.

Salazar, G. (2004, de abril de 12). Uso de los desechos de origen animal en México: Situación actual y perspectivas. Retrieved from http://www.fao.org/ag/frg/.

Smith, L.W; Wheeler, W.E. (1979). Nutritional and economical value of animal excreta.

Suárez Reicino, M. (2011). *Diseño de equipo para la separación primaria de los sólidos de las*

aguas residuales en las Empresas Porcinas en Cuba. Cienfuegos.

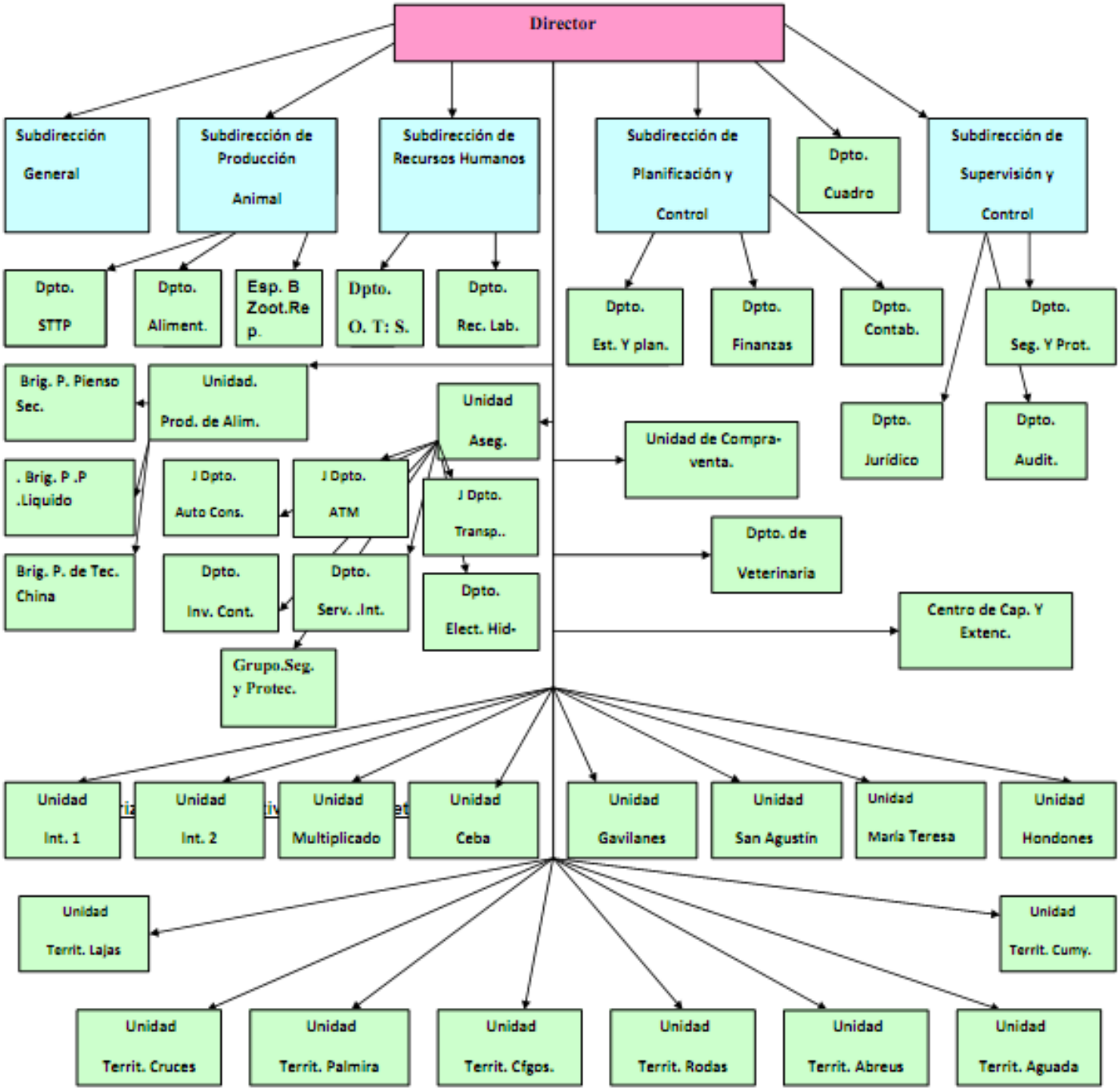
Urbina Bravo, A y Avendaño Mena. (2010, November). Tecnologías sostenibles para el manejo de remanentes en granjas porcinas., 44.

Viñas Álvarez, M. (1996). Tecnología para el tratamiento y aprovechamiento de residuales porcinos. Consolidación para el desarrollo. AIDIS.

Zaror, C. (2000). Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos.Retrievedfromhttp://es.scribd.com/doc/4568696/Introduccion-a-la-ingeniería-ambiental-para-la-industria-de-procesos.

Anexos

Anexo 1: Organigrama de la Empresa Porcina de Cienfuegos.



Anexo 2: Mediciones de consumo de agua de limpieza.

Naves de reproducción		Medición 1			Medición 2		
Nave	Manguera	Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen	Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen
1	1	104	46	80	104	35	61
	2	113	43	81	126	46	97
	3	113	45	85	110	45	83
	4	103	40	69	108	40	72
	5	125	41	85	114	41	78
2	1	121	44	89	110	45	83
	2	111	36	67	125	39	81
	3	117	39	76	128	44	94
	4	129	44	95	123	42	86
	5	130	38	82	101	36	61
	6	114	38	72	107	41	73
3	1	120	38	76	129	39	84
	2	105	35	61	125	36	75
	3	101	37	62	107	36	64
	4	122	45	92	107	37	66
	5	107	38	68	102	40	68
	6	113	46	87	109	35	64
	7	111	46	85	104	42	73
	8	122	45	92	119	41	81
Naves de maternidad							
4	1	112	45	84	110	42	77
	2	127	44	93	112	36	67
	3	103	39	67	128	35	75
	4	109	44	80	112	40	75
	5	117	35	68	110	46	84
5	1	129	39	84	125	37	77
	2	107	40	71	123	44	90
	3	117	43	84	116	42	81
	4	119	36	71	109	40	73
	5	106	45	80	108	36	65
	6	129	35	75	102	40	68
Naves de preceba							
6	1	109	38	69	101	46	77
	2	104	42	73	125	36	75
	3	100	37	62	114	40	76
	4	113	38	72	101	43	72
	5	100	36	60	111	45	83
	6	100	45	75	117	45	88

Anexo 2: Mediciones de consumo de agua de limpieza. (Continuación)

Medición 3			Medición 4			Medición 5	
Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen	Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen	Flujo, l/m	tiempo, min
115	39	75	130	40	87	129	42
101	38	64	103	38	65	127	42
128	45	96	130	44	95	101	46
116	40	77	117	41	80	124	41
126	35	74	102	43	73	110	35
105	38	67	117	45	88	112	38
101	38	64	104	39	68	127	45
102	35	60	104	45	78	120	35
107	46	82	106	43	76	110	44
107	40	71	106	37	65	102	43
114	46	87	110	36	66	113	43
127	37	78	114	44	84	115	42
107	36	64	121	37	75	108	35
121	40	81	127	41	87	106	37
107	40	71	101	35	59	113	40
110	43	79	126	37	78	129	41
128	46	98	104	38	66	122	45
100	42	70	100	46	77	106	40
105	35	61	118	44	87	120	40
109	37	67	127	38	80	110	45
130	41	89	126	45	95	114	42
105	41	72	100	38	63	112	44
116	35	68	109	46	84	106	45
120	44	88	116	38	73	125	43
103	43	74	100	39	65	110	41
111	43	80	104	38	66	102	38
101	40	67	118	39	77	119	45
116	38	73	126	46	97	110	36
102	36	61	105	43	75	127	39
102	37	63	102	40	68	104	41
123	35	72	105	40	70	105	37
116	36	70	111	40	74	111	44
102	35	60	120	36	72	129	41
128	44	94	120	38	76	123	44
109	37	67	105	36	63	109	45
119	42	83	100	41	68	100	42

Anexo 2: Mediciones de consumo de agua de limpieza. (Continuación)

	Promedios		
Volumen	Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen
90	116.4	40.4	78.4
89	114.0	41.4	79.1
77	116.4	45.0	87.2
85	113.6	40.4	76.5
64	115.4	39.0	74.8
TOTAL	115.2	41.2	79.2
71	113.0	42.0	79.3
95	113.6	39.4	74.9
70	114.2	39.6	75.5
81	115.0	43.8	83.9
73	109.2	38.8	70.5
81	111.6	40.8	75.9
TOTAL	112.7	40.5	76.2
81	121.0	40.0	80.5
63	113.2	35.8	67.6
65	112.4	38.2	71.9
75	110.0	39.4	72.6
88	114.8	39.8	76.1
92	115.2	42.0	81.1
71	104.2	43.2	75.0
80	116.8	41.0	80.1
TOTAL	112.2	41.1	77.0
83	113.6	41.4	78.2
80	121.8	41.6	84.7
82	109.6	39.4	71.8
80	110.4	42.0	77.1
90	117.6	41.2	80.7
TOTAL	114.6	41.1	78.5
75	113.4	39.8	75.0
65	109.4	40.6	74.3
89	114.2	41.8	79.7
66	116.0	39.2	76.0
83	109.6	39.8	72.7
71	107.8	38.6	69.0
TOTAL	111.4	40.0	74.3
65	108.6	39.2	70.6
81	113.4	39.6	74.6
88	113.0	37.8	71.5
90	117.0	41.4	80.8
82	106.8	39.8	71.0
70	107.2	43.0	76.9

Anexo 2: Mediciones de consumo de agua de limpieza. (Continuación)

Naves de reproducción		Medición 1			Medición 2		
Nave	Manguera	Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen	Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen
7	1	126	43	90	107	41	73
	2	117	40	78	115	44	84
	3	102	36	61	105	42	74
	4	105	40	70	128	43	92
	5	101	39	66	117	46	90
	6	119	42	83	124	35	72
	7	108	46	83	120	37	74
	8	109	39	71	120	44	88
8	1	115	39	75	129	42	90
	2	116	43	83	117	42	82
	3	113	46	87	120	46	92
	4	112	38	71	125	42	88
	5	128	42	90	123	46	94
	6	129	43	92	127	39	83
	7	104	44	76	112	39	73
	8	111	36	67	112	41	77

Anexo 2: Mediciones de consumo de agua de limpieza. (Continuación)

Medición 3			Medición 4			Medición 5	
Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen	Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen	Flujo, l/m	tiempo, min
116	43	83	127	40	85	118	39
127	39	83	128	39	83	109	42
104	46	80	128	45	96	125	36
112	43	80	116	46	89	123	36
104	36	62	118	36	71	117	45
102	46	78	121	40	81	105	37
109	36	65	118	41	81	121	36
104	45	78	106	43	76	110	36
122	45	92	103	38	65	113	45
108	42	76	103	40	69	118	45
112	35	65	128	46	98	104	46
108	37	67	111	38	70	129	36
117	39	76	121	46	93	111	39
114	39	74	126	45	95	104	37
125	46	96	105	41	72	111	44
105	46	81	115	36	69	117	40

Anexo 2: Mediciones de consumo de agua de limpieza. (Continuación)

	Promedios		
Volumen	Flujo, l/m	tiempo, min	Volumen
TOTAL	118.2	40.7	80.2
77	118.8	41.2	81.6
76	119.2	40.8	80.9
75	112.8	41.0	77.1
74	116.8	41.6	80.9
88	111.4	40.4	75.3
65	114.2	40.0	75.9
73	115.2	39.2	75.1
66	109.8	41.4	75.8
TOTAL	113.5	40.5	76.6
85	116.4	41.8	81.3
89	112.4	42.4	79.6
80	115.4	43.8	84.4
77	117.0	38.2	74.5
72	120.0	42.4	85.0
64	120.0	40.6	81.5
81	111.4	42.8	79.6
78	112.0	39.8	74.1
TOTAL	116.1	40.8	79.0

Anexo 3: Medición de flujo de emisor.

	hora	h1	v1	h2	v2	h3	v3	h4	v4	h5	v5	h6	v6	h media	v media, m/s	área, m^2	flujo, m^3/h
día 1	9 a 10	0.6	3.7	0.58	3.2	0.66	2.9	0.59	3.5	0.58	2.5	0.64	2.5	0.61	3.05	0.39	71.43
	11 a 12	0.51	3.2	0.48	3.7	0.49	2.3	0.45	3.2	0.52	2.2	0.46	2.8	0.49	2.90	0.31	53.29
	14 a 15	0.43	3.8	0.31	2.9	0.43	2.1	0.42	2.2	0.37	3.7	0.32	2	0.23	2.78	0.12	19.38
	16 a 17	0.19	1.9	0.17	2	0.14	1.7	0.19	2.1	0.17	2.8	0.12	2.6	0.16	2.18	0.07	9.39
																	38.37
día 2	9 a 10	0.59	3.6	0.55	3.6	0.63	2.1	0.5	2.9	0.53	3.8	0.67	3.5	0.58	3.25	0.37	72.42
	11 a 12	0.49	2.8	0.45	3.1	0.47	3.5	0.5	3.2	0.45	3.8	0.52	2	0.48	3.07	0.30	55.68
	14 a 15	0.33	3.5	0.31	2.1	0.3	3.2	0.31	3.3	0.33	2	0.36	2.1	0.17	2.70	0.08	12.29
	16 a 17	0.17	1.4	0.2	2.2	0.13	1.9	0.18	1.9	0.1	2.1	0.18	2	0.16	1.92	0.07	8.00
																	37.10
día 3	9 a 10	0.63	3.6	0.67	3.3	0.61	3	0.55	2.4	0.49	2.4	0.61	2.9	0.59	2.93	0.38	67.06
	11 a 12	0.5	3.1	0.49	3.3	0.45	2.5	0.48	2.7	0.46	2.4	0.47	2.3	0.48	2.72	0.30	48.72
	14 a 15	0.31	2.8	0.32	3.3	0.4	2.5	0.36	3.3	0.39	2.7	0.37	2.1	0.20	2.78	0.10	15.94
	16 a 17	0.1	1.2	0.2	1.2	0.2	2.3	0.2	2.1	0.19	2.5	0.1	2.5	0.17	1.97	0.07	8.58
																	35.08
día 4	9 a 10	0.66	2.7	0.6	3.2	0.67	3.5	0.64	2.1	0.63	2.1	0.55	2.1	0.63	2.62	0.40	62.85
	11 a 12	0.48	2.6	0.46	3.5	0.52	2.1	0.49	2.8	0.47	2.6	0.5	2.9	0.49	2.75	0.31	50.74
	14 a 15	0.31	2.1	0.37	2.6	0.42	2.7	0.38	3	0.45	3.1	0.33	2.5	0.16	2.67	0.07	11.14
	16 a 17	0.15	1.1	0.14	2.1	0.11	2.7	0.15	1.3	0.15	2.8	0.12	2.8	0.14	2.13	0.06	7.11
																	32.96
día 5	9 a 10	0.57	3.5	0.5	3.2	0.67	3.5	0.51	2.6	0.67	3.3	0.58	2.4	0.58	3.08	0.37	69.30
	11 a 12	0.52	2.6	0.52	2.8	0.51	2.6	0.48	2.3	0.51	2.7	0.45	2	0.50	2.50	0.32	47.40
	14 a 15	0.45	3.3	0.37	3.6	0.32	3.8	0.3	3.6	0.44	3.2	0.44	3.5	0.20	3.50	0.10	20.05
	16 a 17	0.11	2.7	0.13	2.1	0.11	1.3	0.14	2.3	0.2	2.4	0.13	1.7	0.14	2.08	0.06	6.94
																	35.92