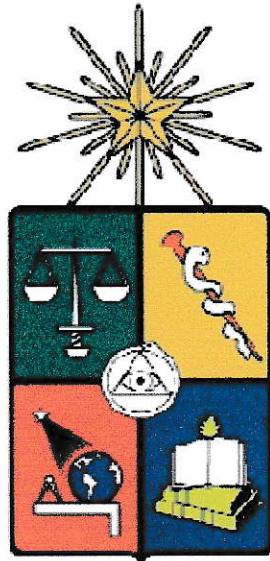


UCH-FC.
Q. Ambiental
P657
C.1

ANALISIS DE LA EXPERIENCIA MUNDIAL EN APLICACIÓN DE PURINES DE CERDOS, COMO RIEGO



Seminario de título entregado a la
Facultad de ciencias de la Universidad de Chile
En cumplimiento parcial de los requisitos
Para optar al título de



QUÍMICO AMBIENTAL

Luis Eduardo Pino Montecino

Director del Seminario de Título: **Ing. Agr. M.Sc. Sr. Sergio González**

Martineaux

Profesor Patrocinante:

Dr. Carlos Andrade

Agosto, 2003

**FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE**

**INFORME DE APROBACION
SEMINARIO DE TITULO**

Se informa a la escuela de pregrado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por el alumno

Luis Eduardo Pino Montecino

ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación del Seminario de Título como requisito para optar al título de Químico Ambiental

Comisión

Prof. Patrocinante: Dr. Carlos Andrade (Q.E.P.D)

Dr. Patricio Rivera

M.Sc. Héctor Bravo

Dedicatoria

La obtención de mi título profesional está dedicado a toda mi familia, y en forma muy especial a mi madre quién ha representado a lo largo de mi vida el apoyo permanente y el amor incondicional.

Te amo.

Agradecimientos

En primer lugar quisiera agradecer al Sr. Sergio González Martineaux, por darme la posibilidad de realizar mi seminario de título en el Centro Regional de Investigaciones Agropecuarias, INIA-CRI La Platina bajo su dirección.

También deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Sra. Sylvia Copaja por su constante apoyo y confianza a lo largo de todo mi proceso formación como químico ambiental.

Además, deseo agradecer a los integrantes de la comisión examinadora, Doctor Patricio Rivera, M.Sc. Hector Bravo y Doctor Carlos Andrade (Q.E.P.D).

Por último quisiera agradecer con todo mi corazón y sentimientos a mi familia: padres, hermano, señora e hija por su amor e incondicional apoyo durante toda mi formación como profesional, proceso que culmina con mi titulación.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
PROLOGO	1
CAPITULO I: INTRODUCCION	2
1. Antecedentes generales	4
2. Objetivos	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos	
CAPITULO II: REVISION BIBLIOGRAFICA	5
1. Antecedentes generales	5
2. Situación porcina	6
2.1. Situación en Chile	6
2.2. Situación en otros países	9
2.2.1. China	11
2.2.2. Estados Unidos	12
2.2.3. Unión Europea	13
2.2.4. Sudamérica	14
3. Ganadería intensiva y medio ambiente	15
3.1. Sistemas de producción	16
3.2. Manejo de residuos porcinos	16
3.2.1. Crianza estabulada confinada	17
3.2.2. Camas profundas	17
3.3. Tipos de estructuras usadas para la recolección y tratamiento del estiércol	20
3.3.1. Fosas de recolección	20
3.3.2. Drenaje por gravedad	20
3.3.3. Sistemas a chorro de agua	21
3.3.4. Equipos para raspado mecánico	21

3.4. Almacenaje y tratamiento del estiércol porcino	21
3.4.1. Estanques de decantación	22
3.4.2. Lagunas de tratamiento anaeróbico	22
3.4.3. Lagunas de etapas múltiples	23
3.4.4. Lagunas de tratamiento aeróbico	23
4. Características de las excretas porcinas	23
4.1. Generalidades	23
4.2. Principales usos de las excretas	24
4.2.1. Estiércol de cerdo usado como fertilizante	25
4.2.2. Compostaje del estiércol de cerdo	26
A) Métodos de compostaje	28
a) Pilas simples	28
b) Pilas estáticas ventiladas	30
c) Sistemas cerrados	32
c.1) Compostaje en tambor	33
c.2) Compostaje en túnel	34
c.3) Compostaje en contenedor	34
c.4) Compostaje en nave	34
B) Propiedades del cómpost	34
4.2.3. Lombricompostaje o Vermicompostaje	36
4.2.4. Fuente de alimento para rumiantes	37
A) Factores que afectan la producción de cerdaza	38
B) Composición Nutricional de la Cerdaza	39
C) Peligros potenciales sobre la Salud Humana y Animal	42
4.2.5. Material generador de energía	43
A) Digestión anaeróbica	43
a) Bacterias hidrolíticas	44
b) Bacterias acidogénicas	44
c) Bacterias acetogénicas	44
d) Bacterias metanogénicas	44

B) Condiciones que se deben controlar para la producción de biogás	45
a) Acidez del medio	46
b) Temperatura	46
c) Contenido en sólidos	46
d) Alcalinidad	47
e) Acidez volátil	47
f) Nutrientes	48
g) Tóxicos o inhibidores	48
h) Densidad de carga	49
i) Tiempos de residencia	49
j) Biogás producido	49
5. Instrumentos regulatorios y recomendaciones aplicables a ámbitos no Incluidos en la normativa actual en uso	50
5.1. Instrumentos legales de carácter general	50
5.2. Normativas aplicables a la localización de industrias	51
5.3. Normativas aplicables a la protección de aguas	51
5.4. Normativas aplicables a los residuos sólidos	52
5.5. Normas que regulan las emisiones atmosféricas	54
5.6. Normas que regulan olores	55
CAPITULO III: PARTE EXPERIMENTAL	60
1. Introducción	60
2. Metodología y plan de trabajo	61
2.1. Caracterización de residuos provenientes de planteles porcinos	61
2.1.1. Toma de muestras y análisis practicados	61
2.1.2. Muestreo de purines y efluentes	63
2.1.3. Manejo de residuos en planteles visitados	64
CAPITULO IV: RESULTADOS	66
1. Resultados analíticos de purines	66
1.1. Variación del pH en purines y efluentes	66

proveniente de los planteles porcinos	
1.2. Variación de la Conductividad Eléctrica en purines y efluentes de planteles porcinos	68
1.3. Variación del contenido Sulfatos en purines y efluentes provenientes de planteles porcinos	71
1.4. Variación del contenido Cloruros (mg/L) en purines y efluentes proveniente de planteles porcinos	75
1.5. Variación del contenido de nitrógeno en purines y efluentes proveniente de planteles porcinos	75
1.5.1. Nitrógeno nítrico	75
1.5.2. Nitrógeno amoniacal	77
1.5.3. Nitrógeno mineral	79
1.5.4. Nitrógeno total	80
1.6. Variación del contenido de Fósforo Total en purines y efluentes de planteles porcinos	81
1.7. Variación de la DQO en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos	83
1.8. Variación de la DBO ₅ en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos	85
1.9. Variación del contenido de Sólidos Totales en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos	86
1.10. Variación de la Relación de Adsorción de Sodio en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos	88
1.11. Variación del Na% en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos	89
CAPITULO V: CONCLUSIONES	92
1. Revisión bibliográfica	92
2. Análisis Purines y Efluentes	93
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA	95

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Producción mundial porcina entre los años 1994 – 1998	10
2. Principales productores mundiales de carne de cerdo, 1999	11
3. Crecimiento del número de reproductoras en los mayores productores de EEUU, de 1996 a 1999	13
4. Cerdos en América del Sur: Planteles y Producción, 1999	15
5. Producción diaria de nutrientes para fertilización según el estado fisiológico	25
6. Composición mineral de DFP frescos	39
7. Composición química proximal de los desechos fecales porcinos frescos (DFP) según la etapa productiva (% en base a MS) ⁽¹⁾	40
8. Composición química proximal y mineral del desecho fecal porcino preprensado y prensado (% base materia seca), obtenidos en el país.	40
9. Ganancia de peso en toretes alimentados con estiércol de cerdo fresco (ECF), melaza y rastrojo de maíz	41
10. Valores umbrales para la detección de olores y valores ACGIH para diferentes sustancias	56
11. Gases y olores en sitios de crianza de porcino (MWPS et al.; 1985)	57
12. Normas primarias para calidad de aire en distintos países	58
13. Materia regulada por cada país e instrumento legal	59
14. Variación del pH de purines y efluentes proveniente de los planteles porcinos muestreados	67
15. Variación de la Conductividad Eléctrica ($\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	69
16. Variación del contenido de Sulfatos (mg/l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	72
17. Variación del contenido Cloruros (mg/l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	73

18.	Variación del contenido Nitrógeno Nítrico (mg/l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	76
19.	Variación del contenido Nitrógeno Amoniacal (mg/l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	77
20.	Variación del contenido Nitrógeno mineral (mg/l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	79
21.	Variación del contenido Nitrógeno Total (mg/l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	80
22.	Variación del contenido de Fósforo Total (mg/l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	82
23.	Variación de la DQO (mg O ₂ /l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	84
24.	Variación de la DBO ₅ (mg O ₂ /l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	85
25.	Variación del contenido de Sólidos Totales (mg/l) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	86
26.	Variación de la RAS en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	88
27.	Variación del Na% (Sodio Porcentual) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	90

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Existencia de Ganado Porcino en relación a la demás ganadería existente en el País	7
2.	Existencia de Ganado Porcino por Regiones	8
3.	Faenamiento de Carne de Cerdo por Regiones	8
4.	Método de compostaje por secado en filas (windrow)	30
5.	Método de compostaje con pilas estáticas (static pile)	32
6.	Variación del pH de purines y efluentes proveniente de los planteles porcinos muestreados	67
7.	Variación de la Conductividad Eléctrica de purines y efluentes proveniente de los planteles porcinos muestreados	69
8.	Variación del contenido de Sulfatos en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	72
9.	Variación del contenido Cloruros en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	74
10.	Variación del contenido Nitrógeno Nítrico en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	76
11.	Variación del contenido Nitrógeno Amoniacal en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	78
12.	Variación del contenido Nitrógeno Mineral en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	79
13.	Variación del contenido Nitrógeno Total en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	81
14.	Variación del contenido de Fósforo Total en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	82
15.	Variación de la DQO en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	84
16.	Variación del contenido de Sólidos Totales en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	87
17.	Variación de la RAS en purines y efluentes	89

provenientes de los planteles porcinos muestreados	
18. Variación del Na% (Sodio Porcentual) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados	90

GLOSARIO

Acuífero: Agua subterránea.

Aeróbica: Con disponibilidad de oxígeno molecular.

Aminas: Compuestos químicos nitrogenados.

Anaeróbica: Sin disponibilidad de oxígeno molecular.

APL: Acuerdo de Producción Limpia.

Cerdaza: Corresponden a las excretas de cerdos.

Cómpost: Material que se genera a partir de la descomposición aeróbica de residuos sólidos orgánicos animales y vegetales y sirve como mejorador del suelo agrícola, parques y jardines, y recuperación de tierras no-fértiles.

Compostificación: Proceso controlado de descomposición biológica de los residuos sólidos orgánicos que permite la producción de Cómpost.

DBO: es lo que se conoce como demanda biológica de oxígeno y es un dato que se obtiene de pruebas en laboratorio realizadas a muestras del agua contaminada bajo análisis. Este valor significa, en sencillo, la cantidad de oxígeno que un procedimiento biológico (en el cual, hay microorganismos involucrados) requiere para "procesar" la materia orgánica presente. Esto es, descomponerla en sus diferentes elementos hasta llevarla a compuestos muy sencillos.

DQO: es demanda química de oxígeno, también es un dato a obtener en laboratorio como resultado de pruebas realizadas a muestras del agua contaminada que se desea tratar. Este término, como cantidad, incluye el dato de **DBO** más otra cantidad de oxígeno, la cual también es requerida en el tratamiento a aplicar y para procesar otra materia u otros elementos presentes en el desecho. Materia que también usa oxígeno para cambiar de estado, pero que al hacerlo no participan microorganismos, sino que son cambios que suceden por medio de alguna reacción química. Siempre el **DQO** es un valor más grande que el **DBO**.

Digestión Anaeróbica: Un proceso biológico que es utilizado para producir biogás (una combinación de metano y dióxido de carbono) a partir de la porción orgánica biodegradable del estiércol del ganado. Este gas puede ser utilizado como una fuente de energía. Además del gas, el material semisólido restante (el cual es inodoro y todavía contiene la mayoría de los nutrientes) puede ser utilizado como cama o fertilizante.

Efluente: Líquido procedente de las piscinas de resuspensión de sólidos que contienen orines, agua y estiércol líquido. Este es el que se aplica al campo.

Estiércol: Subproducto de la producción ganadera que incluye excremento animal, Material de Cama, agua de lavado, alimento salpicado, limpiadores, y pelo.

Fertilizantes: productos químicos utilizados para satisfacer satisfactoriamente las necesidades de las plantas.

Guano: fracción sólida las deyecciones, producto de la separación por separador gravitacional. Utilizado como mejorador de suelos en la agricultura.

Humus: Material que se genera mediante la crianza de lombrices, útil para mejorar el suelo agrícola, parques y jardines y recuperación de tierras no-fértiles.

Lombricultura: Técnica de crianza controlada de lombrices con residuos sólidos orgánicos para producir Humus.

Material de Cama: Puede afectar drásticamente las características del Estiércol. Ya sea que sea utilizado para el bienestar de los animales o añadido para absorber el exceso de humedad, debe de tomarse en cuenta en el diseño de la instalación de almacenamiento.

Algunos sistemas requieren que el Estiércol sea de una consistencia para que permanezca en el montón y no se escurra. Para producir esta consistencia, añada Material de Cama tal como aserrín o viruta al Estiércol. El contenido de humedad de la cama determina la cantidad de Material de Cama necesitado. Entre más seco sea el material, menos necesitará usted añadir. Materiales comunes de cama incluyen: paja, aserrín, viruta, periódico despedazado, y arena.

Nitrato: es la forma en que las plantas utilizan el nitrógeno, siendo este móvil en suelos neutros o alcalinos, por lo que pueden lixiviar fácilmente, si encuentran las condiciones favorables tales como suelos permeables o zonas lluviosas.

Purín: El Purín está constituido por las deyecciones líquidas mezcladas con agua.

Reciclaje: Reuso de los residuos sólidos, sean tratados previamente o no.

Residuo sólido: Conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad práctica o valor comercial para la persona o actividad que los produce.

Residuo sólido orgánico: Residuo sólido putrescible (por ejemplo, cáscaras de frutas, Estiércol, malezas, etc.).

Residuo sólido inorgánico: Residuo sólido no putrescible (por ejemplo, vidrio, metal, plástico, etc.).

vermicompostaje: Proceso de producción de Humus de lombriz.

RESUMEN

A nivel mundial, la experiencia acumulada en el manejo de los purines y efluentes está orientada a su utilización en la producción agrícola debido a sus aportes como fertilizantes y mejoradores de suelo por sus altos contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y otros elementos necesarios para el crecimiento de las plantas. Esto constituye un sistema natural de tratamiento que complementado con sistemas convencionales puede disminuir su potencial contaminante por nitrógeno, sales y otros compuestos.

La experiencia expuesta en este trabajo muestra que los máximos productores de cerdo en el mundo consideran que la vía más factible para dar un uso benéfico o por lo menos inocuo a los purines y efluentes, es su empleo en la agricultura. Para ello estos países han llevado a cabo estudios tendientes a establecer las tasas de aplicación de estos subproductos de manera que no causen daños en el medio ambiente.

Como consecuencia directa de estos estudios realizados en países desarrollados, se han llegado a desarrollar manuales de buenas prácticas agrícolas (específicos para el lugar de estudio), que aseguran en buena medida una mejor utilización de purines y efluentes de acuerdo a los requerimientos específicos de cada tipo de cultivo y de cada región según sean sus características.

En Chile, los estudios recién están comenzando y por ello no se cuenta con información nacional anterior respecto al tema. Un gran porcentaje de los purines y efluentes producidos por los planteles porcinos nacionales son aplicados al suelo en forma de riego, lo que se considera una forma de tratamiento. Esta forma de disposición de los efluentes está dentro de las metodologías avaladas por el APL (Acuerdos de Producción Limpia), aunque se ha detectado que, en muchos planteles, la superficie disponible para realizar estas aplicaciones es claramente insuficiente para una adecuada disposición de ellos.

ABSTRACT

At world-wide level, the accumulated experience in the handling of purines and effluents has been directed to its use in the agricultural production due to its fertilizing contributions and also they give a better quality to the soil by its high contents of organic matter, nitrogen, phosphorus and other necessary elements for the plants growth. This constitutes a natural treatment system that complemented with conventional systems could decrease its nitrogen, salts and other compounds polluting potential.

The experience exposed in this work show that the biggest producers of pig in the world consider that the most feasible route to give at least innocuous to a beneficial use to purines and effluents, is to use them in Agriculture. These countries have carried out directed studies to establish the application rates of these by-product so that they do not cause environmental damage.

As a direct consequence from these studies made in developed countries, they have created some "Good Agricultural Practices" manuals (specific for the studied place), that assure a better use of the purines and effluents according to the specific requirements of each type of crop and region based on its characteristics.

In Chile studies are just beginning, for that reason we do not have previous information related to this topic. A big percentage of purines and effluents produced by national pig establishments are applied to the ground by irrigation form. This form of disposition for the effluents is within the methodologies guaranteed by the APL (Acuerdos de Producción Limpia) (Clean Production Agreements), although it has detected that in many establishments the surface available to make these applications is clearly insufficient for a suitable disposition of them.

PRÓLOGO

El presente seminario de título se enmarca dentro del Proyecto "Generación de Información Local en Aplicación de Purines de Cerdo al Suelo, como apoyo a la Implementación de los Acuerdos de Producción Limpia", que está siendo ejecutado por INIA, en asociación con ASPROCER A.G. (Asociación de Productores de Cerdo). Este proyecto está siendo financiado por el Servicio Agrícola y Ganadero, a través del Fondo de Mejoramiento del Patrimonio Sanitario, más conocido como FONSAG.

El Proyecto tuvo como fecha de inicio el 01 de Enero del 2001, teniendo como fecha de finalización, el 30 de Junio del 2004. El Encargado Nacional del Proyecto es el Dr. José María Peralta Alba, actualmente Subdirector de Investigación del Centro Regional Carillanca, dependiente del Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Dentro de este proyecto, las actividades desarrolladas por el estudiante memorista fueron:

- Elaboración del primer borrador de la revisión bibliográfica sobre el manejo de purines producidos por planteles porcinos, en varios países, y
- Participación en actividades de campo, especialmente en las campañas de colecta de purines y efluentes desde diversos planteles porcinos.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes generales

El 23 de diciembre de 1999, se suscribió en Santiago, el Quinto Acuerdo de Producción Limpia (en adelante, el APL) entre 40 empresas productoras de cerdos de las regiones V, VI, VII, VIII, IX y Metropolitana, y el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, representado por la Secretaria Ejecutiva de Producción Limpia.

El objetivo de este tipo de acuerdos es estimular a las empresas de un mismo rubro, para que adopten medidas, orientadas a alcanzar mejores niveles de producción limpia; en lo que se refiere a las empresas productoras de carne porcina, la referencia es a un manejo ambientalmente más sólido de residuos sólidos y líquidos y control de olores y vectores de patógenos. Con ello, las empresas estarán facilitando y promoviendo el desarrollo de tecnologías no contaminantes, que les permita alcanzar estándares ambientales superiores y, como consecuencia de ello, mejorar sus niveles de competitividad y mantenerse en los mercados externos.

El elemento central de todo sistema de manejo, que pretenda enmarcarse en el desarrollo sostenible, será una disposición de los residuos sólidos y líquidos de esta actividad, que permita a los productores deshacerse de ellos, en una forma que sea inocua para el medio ambiente.

Los planteles porcinos generan grandes volúmenes de purines, correspondientes a la suspensión acuosa emergente de los pabellones que contienen los animales. De acuerdo a la terminología vigente y aceptada por el SAG, los purines pueden separarse en guano y efluentes, si son sometidos a una separación de fases.

Es posible estimar un volumen diario de purines, los que fluctúan alrededor de los 6-10 litros/(animal-día), lo que traducido a una población de 1 millón de cabezas, significa

volúmenes diarios evacuados, cercanos a los 60-100.000 m³/día, con un porcentaje de sólidos variable entre 10 y 30%. En términos de sólidos, ese volumen de purín se traduce en 6.000-30.000 ton/día que deben ser dispuestos, de alguna manera.

Los purines presentan características químicas variables, aunque es habitual un alto DBO₅ (generalmente, entre 500 y 5.000 mg/L), una alta carga de sólidos (entre 1.000 a 10.000 mg/L), un alto contenido de nitrógeno, predominantemente en forma amoniacal (lo que les impone capacidades fitotóxicas, si son aplicados en crudo), que puede superar los 3.000 mg/L, alta carga de microorganismos patógenos y una alta conductividad eléctrica (generalmente, entre 2.000 y 20.000 µmhos/cm a 25°C), debida, posiblemente, a adiciones de sustancias hidrosolubles a la dieta animal.

Estas características le confieren a los purines, dos características trascendentes. Por un lado, pueden ser considerados como un subproducto de alto valor agregado, dado su elevado contenido de macronutrientes (nitrógeno amoniacal, especialmente), por lo que puede ser convertido en un fertilizante de bajo costo. Por la otra, en un escenario de manejo que no considere la dimensión ambiental, pueden suponer una amenaza para el ambiente y la salud pública, debido a la presencia de patógenos, al riesgo de lixiviación de nitratos e inducción de la salinización de suelos.

Consecuentemente, la realidad en el manejo de estos efluentes se orienta a su utilización en producción agrícola (sistemas naturales de tratamiento), su tratamiento para disminuir su potencial contaminante por nitrógeno (vía tratamientos convencionales) o ambos en forma secuencial. En Chile, un gran porcentaje de los efluentes producidos por los planteles porcinos está siendo aplicado al suelo en forma de riego, lo que se considera una forma de disposición ambientalmente amistosa.

Esta forma de disposición de los purines o efluentes, si ha habido una separación de fases, está dentro de las metodologías avaladas por el APL, aunque debiera haber una evaluación de si la superficie disponible para realizar estas aplicaciones es suficiente para una adecuada disposición de ellos, entendiendo por tal, la que no induce lixiviación de nitratos ni una excesiva difusión de malos olores y/o proliferación de vectores.

Por estos motivos, se requiere tener un conocimiento detallado de las estrategias de gestión de residuos porcinos, que estén siendo llevadas a cabo en los países desarrollados, principalmente, como una forma de contar con información de base para planificar la gestión en el país.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Generar un documento, conteniendo información sobre estrategias de aplicación a los suelos de los efluentes provenientes de los planteles porcinos, que se llevan a cabo en países desarrollados, y otros antecedentes básicos para el diseño de sistemas de riego con purines.

2.2. Objetivos específicos

- buscar información publicada, proveniente de países desarrollados, con relación a la disposición de purines de cerdo y normativa asociada,
- generar un informe en la forma de revisión bibliográfica, conteniendo la información obtenida, y
- efectuar un análisis agregado del muestreo de residuos líquidos (purines y efluentes).

CAPITULO II

REVISION BIBLIOGRAFICA

1. Antecedentes generales

El sector industrial pecuario y, en especial, el porcino, cumple con un propósito que es fundamental para la población, como es el abastecimiento de carne, dejando como resultado utilidades a los productores. La tecnología ha tenido, en los últimos años, un rápido desarrollo, que ha sido fundamental para conseguir los niveles productivos que es posible alcanzar hoy en día. Gracias a los conocimientos adquiridos, también ha sido posible llevar a cabo una mejor gestión productiva, lo que se ha traducido finalmente en una actividad que, a la vez de ser rentable, es ambientalmente viable.

La explotación porcina presenta numerosas ventajas, entre éstas:

- a) el cerdo es un eficiente convertidor de alimentos, lo que significa una alta relación entre kilogramo peso vivo producido y kilogramo alimento consumido,
- b) es muy precoz y prolífico, lo que hace que la cantidad de cerdos se incremente en poco tiempo,
- c) su lactancia y gestación es breve (115 días, que corresponde al tiempo de gestación de las hembras), consiguiendo un mínimo de dos partos por hembra al año, lo cual podría significar la venta de más de 2 toneladas de carne por cerda por año,
- d) es un animal relativamente rústico y resistente a cambios en el ambiente (humedad, temperatura, etc.),
- e) la industria porcina sirve para complementar otras actividades, como la piscicultura, la ganadería bovina y la agricultura, que aprovechan los subproductos de origen porcino como suplemento alimenticio (en el caso de los peces y bovinos) y como enmienda (en el caso de la agricultura); también, sirve para utilizar subproductos de otras industrias como, por ejemplo, la melaza, y
- f) por ser una crianza estabulada, requiere poco espacio lo que es muy conveniente.

2. Situación porcina

2.1. Situación en Chile

Según el último Censo Nacional Agropecuario (años 1996/97), en Chile existen 10.883.593 cabezas de animales domésticos, entre ganado bovino, equino, ovinos, caprinos, porcino y camélidos. El mayor número corresponde al ganado bovino con 4.141.545 cabezas, seguido por el ganado ovino con 3.710.459 cabezas y, en tercer lugar, **el ganado porcino, con 1.722.403 cabezas**. El ganado caprino ocupa el cuarto lugar en existencia de cabezas, con un número de 738.183 unidades y, finalmente, el ganado equino y los camélidos tienen una baja presencia en el país (**Figura 1**).

Se omite las aves de corral, que cuentan con un número de cabezas substancialmente mayor pero que, por su talla corporal, no pueden compararse directamente con el ganado mayor.

El país presenta una cierta singularidad en la explotación pecuaria, pues existe una especialización en las regiones, aprovechando sus condiciones climáticas, para el desarrollo de determinados tipos de ganadería. Por ejemplo, en el norte grande, se desarrolla sobretodo la ganadería de camélidos, especialmente con llamas y alpacas; en el norte chico, especialmente en la IV Región, se desarrolla la ganadería caprina; en la región central, se desarrolla la ganadería de vacunos, especialmente para la producción de leche, y, a partir de la VIII Región al sur, se desarrolla la ganadería bovina, especialmente para la engorda y producción de leche. Finalmente, en la XII Región, se desarrolla la ganadería ovina, como una de las principales actividades económicas de la región.

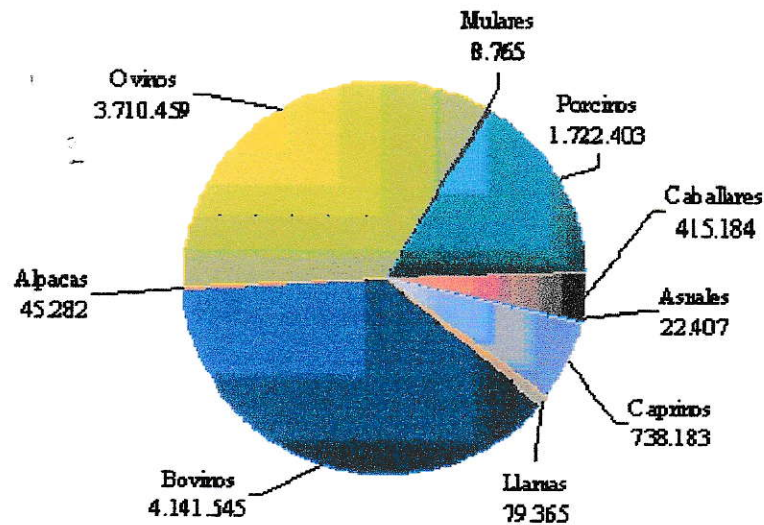


Figura 1 Existencia de Ganado Porcino en relación a la demás ganadería existente en el País (VI Censo Agropecuario, 1997).

En el país, existen 1.722.403 cabezas de ganado porcino, la mayoría de los planteles de cría y engorda de ganado porcino se concentra en las regiones Metropolitana y VI, que en conjunto concentran el 54,7 % de la existencia de ganado porcino en el país; ésto ocurre como una consecuencia de cercanía a los grandes centros de consumo, como lo son Santiago y Valparaíso (**Figura 2**).

El beneficio de ganado porcino, hasta octubre de 1998, llegó a un 9,5% más que en iguales meses del año anterior. Esto significó una producción de 194.500 toneladas de carne en vara, con un aumento de 12,2%, lo que está señalando el faenamiento de animales más pesados. Aunque la diferencia no es más de 2 Kg. en promedio, podría ser el reflejo de la liquidación de algunos planteles pequeños. Se debe consignar que el faenamiento se realizó sobre todo en las regiones metropolitana y sexta región, donde se encuentran la mayor cantidad de animales, así como también se encuentran las industrias productoras de cecinas (**Figura 3**).

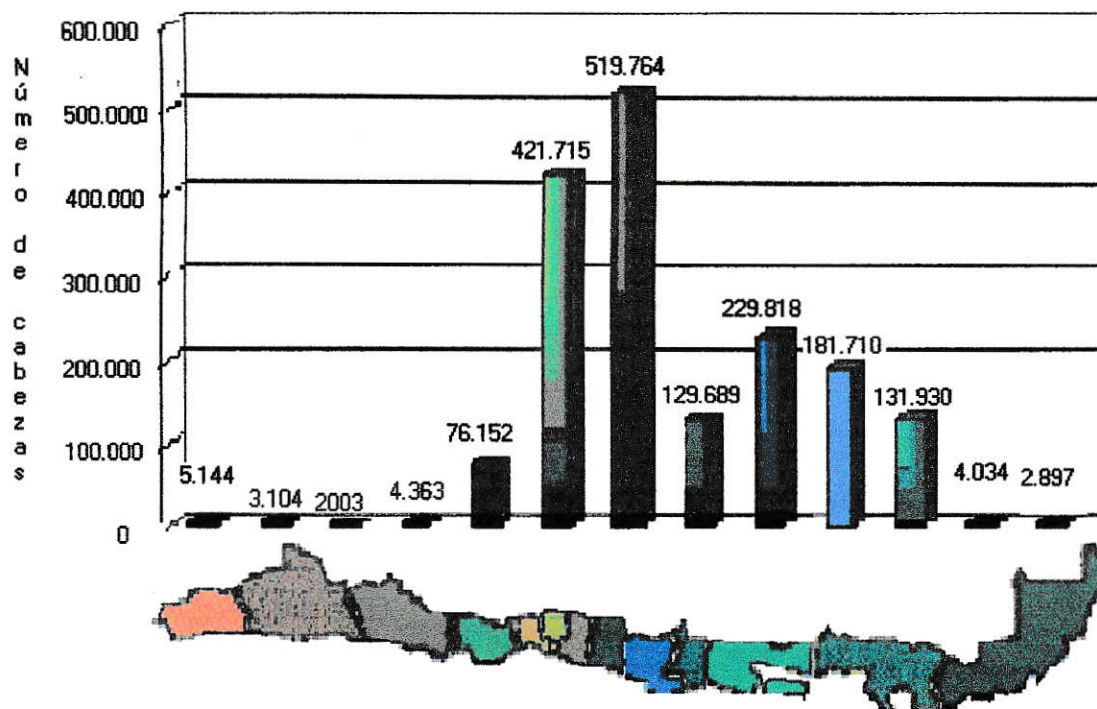


Figura 2. Existencia de ganado porcino por Regiones (VI Censo Agropecuario, 1997)

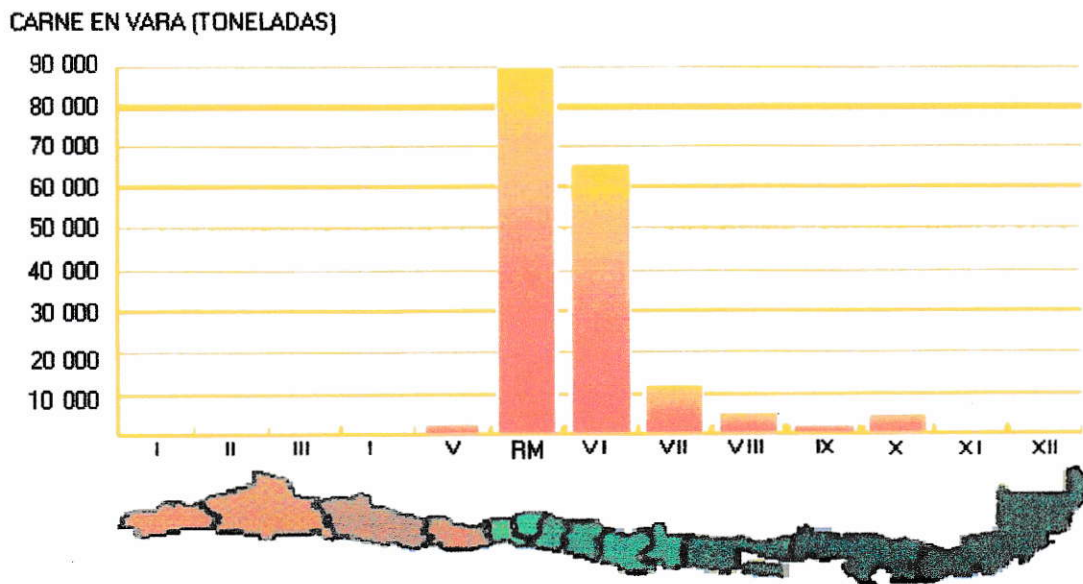


Figura 3 Faenamiento de Carne de Cerdo por Regiones (ODEPA)

Es posible notar que no hay una relación entre las existencias y la producción de carnes por regiones y ésto se debe, principalmente, a que en el censo se considera todos los animales, incluidos los de granjas individuales que, en algunos casos, no son consumidos o no aportan a la producción de carne por ser faenados, en casa para consumo personal.

2.2. Situación en otros países

El número total de cerdos, entre 1994-1998, fue de aproximadamente 935,6 millones de cabezas. China es el país que presentó el mayor crecimiento de población de tipo porcina, en los últimos años, con un 17,8% dentro del período, mientras que, en Europa, se produjo un descenso aproximado de un 10%. Sudamérica, también, tuvo una leve caída del 3,4%.

Por otra parte la producción de carne de cerdo subió de 77,7 a 84,2 millones de toneladas, en ese mismo periodo, lo que representa un aumento del 8,3%. Esto se explica por la situación de sobreoferta que se ha establecido en los mercados internacionales, lo que hace cada vez más riesgosa la estrategia exportadora en la cual está inserto Chile y, que por lo mismo, requiere tomar medidas adicionales para mantenerse, como son las referidas al cuidado del medio ambiente. En la **Tabla 1**, se aprecia la producción mundial porcina entre los años 1994-1998.

Tabla 1. Producción mundial porcina entre los años 1994-1998.

Región	Población (millones)		Beneficio (millones)		Producción (mil ton)	
	1994	1998	1994	1998	1994	1998
Mundo	885	954	1.017	1.087	77.771	84.186
Asia	490	577	534	589	39.168	44.100
Europa	222	200	301	298	24.742	24916
América Norte-Central	91	95	128	136	10.392	11.155
América del Sur	56	55	30	38	2.274	2.731
África-Oceanía	26	28	24	25	1.195	1.285
Chile	1,5	1,72	1,99	2,84	161	236

Fuente: FAO

De acuerdo a estas cifras, la producción de Chile es marginal, con relación a la producción porcina mundial y, en consecuencia, la única alternativa de tomar y mantener posición en cierto estrato del mercado mundial, es mostrar elevados niveles de eficiencia, productividad y calidad, dentro de un sistema que no agrede al ambiente. Así, Chile significa sólo el 0,18% de las existencias mundiales, pero con el 0,26% del beneficio y el 0,28% de la producción mundial.

La **Tabla 2** muestra los 10 mayores productores de carne de cerdo en el ámbito mundial. Éstos concentran el 75,2% de la producción mundial, con 66,48 millones de toneladas de carne de cerdo (1999). Entre los países sudamericanos, Brasil es el único país entre los 10 mayores productores de carne de cerdo. Su posición es creciente, ganando posiciones año tras año y, hacia el fin de esta década, deberá convertirse en miembro del selecto grupo de los 5 mayores productores mundiales.

Tabla 2. Principales productores mundiales de carne de cerdo, 1999

País	Millones ton
China	39,85
EUA	8,78
Alemania	3,94
España	2,90
Francia	2,38
Polonia	2,02
Brasil	1,75
Holanda	1,70
Dinamarca	1,64
Canadá	1,52

(Fuente: L.Roppa, adaptado de FAOstat, 2000)

2.2.1. China

China es el mayor productor de carne de cerdo del mundo. Produce 39,85 millones de toneladas, que corresponden al 45% del total de la producción mundial. Es, también, el mayor consumidor individual con respecto a cantidad, porque su producción es consumida casi totalmente por la población de más de 1.250 millones de habitantes, que consumen, en promedio, 30 kilos de carne de cerdo por año. Posee hoy un plantel de 485 millones de cerdos que producen 39,85 millones de toneladas de carne. Exporta un bajo porcentaje y sólo para los países vecinos, porque consume toda su producción.

Sólo 20% de la producción porcina china es tecnificada, mientras que el restante 80% es de producción familiar. Es por eso que China tiene 477 mil criadores, siendo la gran mayoría pequeños, que crían sus cerdos para la propia subsistencia. Hay dos factores adicionales, que limitan sus posibilidades de exportar cerdos y abastecer el crecimiento del resto de la población mundial, a saber: la fiebre aftosa y la baja calidad de las canales. Por consiguiente, la tendencia es de incrementar su producción para atender

su mercado interno. Con el crecimiento de su economía, las perspectivas son que se vuelva un gran importador mundial en un futuro muy próximo.

2.2.2. Estados Unidos

Es el segundo mayor productor mundial. En 1999, con un plantel de aproximadamente 60 millones de cabezas, produjo 8,78 millones de toneladas de carne. El consumo per cápita fue, ese año, de 30,7 kilos por persona. Tiene excelentes condiciones para aumentar la producción, porque es el mayor productor mundial de maíz y soya, principales insumos de la producción porcina, además de poseer agua y áreas de siembra. Con estas condiciones, posee un costo de producción bajo (US\$ 0,77 por kilo vivo, en las grandes compañías) y posibilidades concretas para ser uno de los mayores exportadores mundiales.

Algunas de sus características son la concentración de la producción, dónde los pequeños productores han dejado la actividad, y los megaproyectos han aumentado su participación. Se considera que, en los próximos años, el 80% de la producción se concentrará en menos de 15 compañías (**Tabla 3**).

Uno de los problemas, debido a esta concentración, es que las megagránjas producen grandes cantidades de estiércol y, es por eso que, algunos estados de la unión americana ya prohíben la implantación de nuevos megaproyectos, con el propósito de conservar el medio ambiente y sus fuentes de agua. Otro problema se refiere a la manipulación del mercado, por pocas y poderosas compañías. Es un problema serio para el que todavía, se busca una solución.

El ejemplo de ese problema es que, en 1998-99, la porcicultura estadounidense sufrió una de las mayores crisis de su historia, debido al exceso de producción. Ese exceso no fue causado por los criadores independientes, sino que por las 7 mayores megacompañías que, de 1996 a 1999, aumentaron la producción nacional en 10%, con una producción irracional de 2,6 millones de cerdas.

Tabla 3. Crecimiento del número de reproductoras en los mayores productores de EEUU, de 1996 a 1999

Mayores productores	1996	1999	Porcentaje de diferencia
Smithfiels/Carroll'sFoods	223	350	56,7
Murphy Family Farms	260	337	29,4
Continental Grain Co	52	162	211,5
Seabord Corporation	90	126	39,4
Prestage Farms	102	125	22,3
Tyson Foods	110	125	13,6
Cargill	90	120	33,3

(Fuente: Pig International, 1999)

2.2.3. Unión Europea

Dentro de Europa, se encuentran la mayoría de los países que figuran entre los 10 máximos productores de carne de cerdo de todo el mundo, siendo éstos los que poseen la mejor tecnología de crianza y faenamiento de carne del sector porcícola. Próximamente, se unirán nuevos países del sector oriental de este continente a la Unión Europea y, de aquí, la necesidad de mirar hacia Europa, porque al crecer como bloque se harán más importantes dentro de la producción mundial.

En 1999, la Unión Europea produjo 17,9 millones de toneladas de carne de cerdo, con un plantel estimado de 118 millones de animales. Los tres países más productores son Alemania (3,9 millones de toneladas), España (2,9 millones de toneladas) y Francia (2,4 millones de toneladas); juntos poseen 51,5% de la producción de Unión Europea, que a la fecha cuenta con 15 Estados Miembros (EU-15). El consumo de carne de cerdo en esta área es uno de los más altos del mundo: 44,6 Kg./persona/año.

Debido a la alta densidad de cerdos por kilómetro cuadrado (36,8), posee serios problemas con el estiércol que ha llevado a grandes presiones "ecológicas" para el mantenimiento, o hasta la disminución del plantel en algunos países. La fuerte demanda de los consumidores ha contribuido para que se cambien los sistemas de

producción, a un modelo que atienda el bienestar de los animales y la preservación del medio ambiente. Sus costos de producción son altos (entre US \$ 1,0 a 1,3 por kilo de cerdo vivo), y el mercado es protegido a través de subsidios a los productores e impuestos a los productos del exterior.

En la actualidad, España ha alcanzado un nivel productivo tal que se ha situado como segundo país productor de porcino en el ámbito europeo, detrás de Alemania y el cuarto productor en el ámbito mundial, detrás de China y USA, aunque China hasta el momento no cuenta como país potencialmente exportador (Jiménez, 2001).

Dentro de la ganadería, el subsector porcino en España es el más importante, con una participación del 30% de la producción final ganadera y del 15% de la producción final agropecuaria. Existen cerca de 4.000 explotaciones atribuidas por todo el territorio español con un total de 40.000 activos agrarios dedicados exclusivamente al mismo.

El subsector porcino español en los últimos 30 años ha tenido un notable crecimiento, pasando desde los 7,6 millones de animales en 1970 a los 21 millones en 1996 y a los 35,7 millones que se espera alcance en el año 2000. Todo esto supone un incremento de la producción de un 470%.

Dentro de España, la producción se condensa principalmente en Cataluña, Aragón (por la cercanía, muchas empresas se han trasladado a esta comunidad, con mucha menos densidad poblacional y, por tanto, menos problemas de patologías y eliminación de purines principalmente), Andalucía y Castilla-León, con mas del 60% de la producción total del país.

2.2.4. Sudamérica

Sudamérica posee una masa ganadera porcina equivalente a 59,1 millones de cabezas. Esta cantidad representa el 6,2% del stock mundial de cerdos. En cuanto a producción de carne de cerdo, en 1999, Sudamérica representó el 3,2 % del total producido en el mundo, con 2,8 millones de toneladas.

En la **Tabla 4** muestra el plantel y la producción de carne de cerdo de los países de Sudamérica. Brasil, que es la séptima potencia mundial del sector, posee 60% del plantel y 62% de la carne producida. En segundo lugar esta Chile, con una porcicultura eficaz y tecnificada, que produce 8,8% del total regional de carne, con sólo 3,7% del plantel regional. En tercer lugar en la producción, entra Argentina, con 5,4% del total regional y que se destaca por el futuro prometedor, debido a la gran producción de granos (maíz y soya).

Tabla 4. Cerdos en América del Sur: Planteles y Producción, 1999

País	N° de cerdos (mill/cabeza)	Producción (mil/Ton)
Brasil	35,5	1.751,6
Chile	2,2	249,0
Argentina	3,2	155,6
Colombia	2,7	135,0
Paraguay	2,5	120,0
Ecuador	2,7	113,8
Venezuela	4,5	109,4
Perú	2,8	93,0
Bolivia	2,7	73,5
Uruguay	0,3	27,0
TOTAL	59,1	2.828

(Fuente: L.Roppa, con base en datos Faostat, 2000)

3. Ganadería intensiva y medio ambiente

Existen distintos métodos de crianza para la producción ganadera, siendo algunos de ellos más adecuados para la producción en masa como es el caso de la industria porcícola. Aquí, se detallan los tipos de crianza existentes y se pone énfasis en la explotación intensiva, que es la más utilizada para la producción de cerdos.

3.1. Sistemas de producción

En general, en la industria porcícola se reconocen tres sistemas de crianza, que difieren entre sí según el grado de confinamiento al cual están sometidos los cerdos, a saber: extensivo, intensivo y mixto (Pinheiro, 1982).

El Sistema Extensivo, llamado comúnmente a campo abierto, se caracteriza por la cría de cerdos en grandes extensiones de terreno. Se trata del sistema que demanda, también, una inversión mínima en infraestructura. Generalmente, el manejo es poco eficiente y no tiene prácticas de manejo establecidas. Es por ello que, su productividad es generalmente baja.

El Sistema Intensivo es aquel que se lleva a cabo en instalaciones cerradas, donde los rendimientos son mayores y la superficie a ocupar es menor. Se trata de una superficie mucho más costosa, tanto por las instalaciones por construir como por la necesidad de controlar la temperatura, humedad y horas luz de ese ambiente.

El Sistema Mixto combina las características de los dos sistemas ya mencionados (intensivo y extensivo), es decir, se confinan algunas etapas y se dejan otras en distintos grados de libertad, de acuerdo a las necesidades del predio y para aprovechar la superficie disponible.

3.2. Manejo de residuos porcinos

Los residuos que se generan en los pabellones dependen del tipo de instalaciones que existan dentro de un plantel y esto, a su vez, depende del sistema de crianza, que es de dos tipos, a saber: crianza estabulada confinada y crianza estabulada abierta o cama profunda.

3.2.1. Crianza estabulada confinada

En la crianza convencional, los animales son mantenidos en corrales sobre piso falso, los cuales son lavados diariamente. Los residuos generados corresponden a una suspensión acuosa, que contiene ambas excretas animales (líquidas y sólidas), el agua de lavado de pisos, conteniendo residuos de detergentes y de alimentos, y la cama animal propiamente tal (paja, viruta, otros), compuesta mayoritariamente por residuos vegetales fibrosos.

Los residuos generados por el sistema de explotación porcina convencional, pueden ser de dos tipos, según el procedimiento de tratamiento:

- sólidos, mas conocidos como guanos por los productores, que está compuesto por el material sólido, extraído de la suspensión acuosa que emerge de los pabellones o purín y que contiene las excretas sólidas de los animales y una parte del material de cama de los cerdos (alimento y aserrín entre otros), y
- líquidos, conocidos como purines, que constituyen una suspensión acuosa, con una alta carga de sólidos suspendidos (alrededor de un 15%), cuyo tamaño es inferior al capturado por las rejillas. Este puede ser transportado vía tuberías hasta una prensa separadora y/o dirigidos a lagunas, donde se les mantiene por algún tiempo; también pueden ser aplicados a los suelos de manera inmediata, sin necesidad de pasar por lagunas.

3.2.2. Camas profundas

El sistema de producción en cama profunda o "deep bedding", es una alternativa bastante más accesible para los pequeños y medianos productores porcinos, ya que no necesita de instalaciones que son de alto costo.

La producción de cerdos en galpones de cama profunda, es el proceso de crianza en el cual se utilizan infraestructuras de segunda mano que hallan sido utilizados con anterioridad por aves, bodegas, establos o pabellones nuevos pero de un bajo costo,

debido a que no utiliza piso de concreto. Para material de cama, se puede utilizar productos tales como la paja de trigo, el aserrín, la viruta, arena o cualquier material orgánico seco picado sobre el piso de tierra (L. Roppa, 2000).

Para estructurar un sistema cama profunda, es necesario considerar el conjunto de diferentes factores, que se deben manejar como un todo:

- la ventilación es crítica en galpones de cama profunda y debe ser uno de los primeros problemas a resolver,
- los galpones angostos funcionan mejor. Los más adecuados son galpones entre 12 y 14m de ancho, especialmente trabajando solamente con ventilación natural. En cuanto al largo, se utiliza desde 25m hasta 256m, satisfactoriamente sin considerar esta dimensión un problema crítico,
- los aspectos importantes a enfatizar en el manejo de la cama incluyen: tipo de cama, cantidad, calidad, profundidad y mantenimiento. La meta es obtener tres turnos (grupos de cerdos) en la cama antes de limpiar el galpón. Si se agrega cama limpia y seca regularmente, esto ayudará a que el galpón permanezca seco, con menos olor y así poder alcanzar la meta de los tres turnos,
- a través, de la experiencia aparentemente la paja de trigo y la cáscara de arroz son los mejores subproductos para cama. El uso de la viruta u otras partes de madera ha resultado en cerdos rechazados en el matadero, debido a lesiones en los pulmones y en los intestinos por su consumo por el cerdo. Por lo tanto, estos productos de madera no son recomendables,
- todos los materiales de cama dan mejores resultados a mayor profundidad. Para obtener buenos resultados, es recomendable que la cama en el corral se mantenga lo más seca posible. Los mejores resultados se obtienen si se añade cama fresca y seca semanalmente, o al menos si esta se agrega en las partes mojadas y sucias que pueden aparecer en ciertas áreas de los corrales (áreas de defecación),

- el uso de estas fuentes de agua externa agrega el problema de acumulación de agua en ciertos lugares,
- otro aspecto muy importante es el número de centros de alimentación en cada galpón o corral, es crítico. La existencia de pocos centros de alimentación causa demasiada actividad alrededor de cada comedero, resultando en el deterioro de la cama, y
- los cerdos enfermos se separan del resto y de esta forma se distingue de los que no lo están. Esto facilita el poder tratarlos en forma oportuna. En todo caso, en los criaderos se trabaja con cerdos de calidad genética y sanitaria, este aspecto es fundamental en todo sistema de explotación.

Entre los beneficios del concepto de cama profunda, deben mencionarse los siguientes:

- proporciona mayor bienestar a los animales por la mayor superficie de que dispone para moverse,
- provee de un tipo de producto diferenciado (con valor agregado) lo que atiende a las exigencias del consumidor moderno,
- es posible renovar la mayoría de los galpones desocupados o subutilizados de forma de hacerlos productivos para la producción porcina, lo que repercute en costos de producción mas bajos,
- los productores pueden así, descubrir lugares “nuevos” para la cría de cerdos cuando no existe la opción de una construcción nueva,
- el olor es generalmente muy escaso, habiendo menos moscas alrededor del galpón y, en algunos casos, se nota ausencia total de moscas, y

- el material de la cama forma estiércol seco, en vez de líquido, siendo más fácil su manejo y menos costosa su aplicación a los suelos, como abono, cada vez que se limpia el pabellón (Roppa, 2000).

3.3. Tipos de estructuras usadas para la recolección y tratamiento del estiércol

De acuerdo a un estudio de la Universidad de Oklahoma (2001), existen diversas metodologías para llevar a cabo la recolección y el tratamiento de los desechos porcinos.

3.3.1. Fosas de recolección

Las fosas de recepción, con profundidad de 0,6 a 2,5 m, están situadas bajo el piso y almacenan los excrementos, la orina, el agua vertida y el alimento desperdiciado, hasta por periodos de 12 meses. Los nutrientes se conservan, durante el almacenamiento, para su máximo uso con una pérdida mínima. Dada la relativa dificultad de planificar el almacenaje adecuado en instalaciones de tratamiento al aire libre y al riesgo de transformarse en foco de malos olores y fuente de vectores, este sistema se usa frecuentemente en zonas frías.

3.3.2. Drenaje por gravedad

El drenaje por gravedad de los residuos, hasta una instalación exterior de almacenaje, es un método que resuelve algunas de las desventajas del sistema del almacenamiento prolongado en las fosas de recolección. El drenaje por gravedad puede tomar la forma de amplios estanques, poco profundos, que son drenados cada 1 ó 3 meses, o canales con desagüe inferior, de sección en Y, U o V, que son drenados cada vez que se llenan, esto es cada 3 días o una vez por semana.

3.3.3. Sistemas a chorro de agua

En climas cálidos, frecuentemente, se usan sistemas de barrido con chorro de agua, para barrer el estiércol y otros materiales depositados en fosas de 60 a 90 cm de profundidad; estos residuos son descargados en un estanque o laguna, de donde se retira el estiércol, cuando hace falta hacerlo. Si se retiran todos los sólidos diariamente, disminuye la acumulación de gas dentro del ambiente de producción y mejora el rendimiento de los animales. Estos sistemas de fosa recargable tienen la ventaja adicional de que diluyen los orines y los excrementos entre cada descarga semanal.

3.3.4. Equipos para raspado mecánico

Es frecuente el uso de raspadores mecánicos, que se usan para eliminar estiércol de las fosas situadas bajo los pisos. Tienen la desventaja de que necesitan mantenimiento especial, lo que encarece su uso.

3.4. Almacenaje y tratamiento del estiércol porcino

La mayoría de los principales nutrientes, como nitrógeno y fósforo, se conservan durante el almacenamiento del estiércol. Al aire libre, el estiércol líquido es contenido, bien en estanques situados por debajo del nivel del suelo, o bien, sobre la superficie del suelo, en tanques prefabricados, diseñados para almacenar provisionalmente el producto de 3 a 12 meses de operación.

El primer sistema permite períodos más largos pero ocupa una mayor superficie y por lo tanto acumula más agua de lluvia. El estanque se sitúa, de manera tal que no contamine el agua subterránea. El estiércol se carga por arriba o por tuberías que trabajan por gravedad y entran en el estanque cerca del fondo. Los tanques prefabricados generalmente cuestan más por unidad de volumen.

A continuación, se reseñan las principales características de los sistemas de almacenamiento de los residuos porcinos.

3.4.1. Estanques de decantación

Estos estanques permiten que los productos sólidos se asiente y los líquidos drenen. Así, se agregan pocos sólidos a las lagunas de contención y se disminuye la tasa de carga, el potencial de malos olores y la tasa de formación de lodos.

3.4.2. Lagunas de tratamiento anaeróbico

Este tipo de lagunas es útil para el almacenamiento y la biodegradación del estiércol, mediante procesos predominantemente anaeróbicos, lo que conduce a la producción de grandes cantidades de metano. Se trata de una estructura profunda, en tierra, donde se colecta el estiércol y se deja descomponer bajo la acción de bacterias anaeróbicas. En este proceso, la mayor parte de los sólidos contenidos en el estiércol se convierte en líquidos y gases reducidos, disminuyendo su contenido orgánico y el valor nutritivo del estiércol. Las lagunas debieran estar selladas, para impedir filtraciones hacia las aguas subterráneas.

En algunos suelos, especialmente en aquellos muy permeables, puede ser necesario interponer una película impermeabilizante, que puede ser de arcilla compactada o de algún material sintético. En los terrenos arcillosos, cuando el nivel de agua está muy por debajo del fondo de la laguna, se puede dejar que la estructura de retención se selle naturalmente con la materia orgánica del estiércol. Esta estrategia no debiera ser usada en zonas sísmicas, por el riesgo de fracturas y consecuente contaminación de los acuíferos.

Es muy importante proteger las aguas superficiales y subterráneas cuando se diseña y se mantiene un sistema de lagunas anaeróbicas. El tamaño de estas lagunas se calcula según la cantidad de estiércol que se vaya a tratar. Generalmente, la carga se disminuye por bombeo, una o dos veces al año, pero nunca se vacía completamente. El efluente de la laguna se usa para fertilizar la tierra y/o para el reciclado, o sea, para recargar los sistemas de fosas.

3.4.3. Lagunas de etapas múltiples

Existen lagunas de, a lo menos, dos etapas, las que tienen ventajas sobre las de una sola etapa. Es raro que sea beneficioso conectar en serie más de dos lagunas por la biomasa acuática, como las algas, que comienza a formarse en la tercera etapa y que interfiere con los procesos de degradación microbiológica de la carga orgánica. Las lagunas secundarias proporcionan almacenamiento provisional, antes de la aplicación como fertilizante.

Los sistemas aeróbicos necesitan la segunda laguna como depósito y para permitir que la primera etapa funcione solamente para el tratamiento biológico. La segunda etapa también permite mantener un volumen máximo en las lagunas anaeróbicas primarias para estabilizar el estiércol que ingresa.

3.4.4. Lagunas de tratamiento aeróbico

La principal ventaja de las lagunas aireadas es que la digestión aeróbica tiende a ser más completa que la anaeróbica y su producto más libre de malos olores, debido a la emisión de gases oxidados y no reducidos. En las lagunas aeróbicas naturales, o lagunas de oxidación, se extiende oxígeno sobre la superficie aire/agua. La cantidad de oxígeno consumido puede acelerarse agitando el agua. Una gran desventaja de las lagunas oxigenadas mecánicamente es el costo de la operación continua de los aireadores movidos eléctricamente (Roppa, 2000).

4. Características de las excretas porcinas

4.1. Generalidades

Un cerdo produce aproximadamente 6-10 litros de purín al día, con un 95% por agua. Si se pudiera cuantificar la cantidad diaria de residuos producida por el número total de cabezas de cerdo que existen en Chile (1,7 millones, Censo 1997), se obtendría una cantidad levemente superior a los 10 millones de litros diarios de purines porcinos, en

promedio, lo que representa un problema ambiental importante que la industria porcina debe necesariamente encarar.

Las excretas porcinas están formadas por heces fecales y orina, mezcladas con material de cama, restos de alimento y con el agua utilizada para la bebida de los cerdos y para las labores de lavado de los bebederos.

La tasa de producción de excretas se puede ver afectada por varios factores, entre los que se encuentran el estado de desarrollo de los animales, el volumen de agua consumido, el contenido de sales presentes en la ingesta de los animales y factores ambientales, como temperatura y humedad.

La orina representa aproximadamente el 45% de las excretas, y las heces, el restante 55%. El contenido de humedad de la excreta es alrededor del 88%-95%, con un contenido de materia seca entre 12 y 5%. Cerca del 90% de los sólidos se excretan en las heces, ya que la orina contiene solo un 10% de sólidos. La densidad de la excreta fresca es ligeramente menor 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.

Por lo general, la DBO es un tercio de la DQO de los cerdos y cerca de un tercio de los sólidos totales (STT) en las excretas frescas. El pH, por lo general, fluctúa entre 6 y 8 y, mientras más reciente sean las excretas, el pH se acerca más al valor neutro (ACP, 1997).

4.2. Principales usos de las excretas

Es definitivamente muy difícil pensar en una disposición de los residuos porcinos puedan ser considerados como otros residuos que puedan disponerse directamente en monorrellenos (land fills) o rellenos sanitarios. Por ello, se ha tenido que buscar otros usos, los que pueden resumirse en su uso fertilizante orgánico, como alimento para otros animales (rumiantes) y/o como materia prima para generar energía.

4.2.1. Estiércol de cerdo usado como fertilizante

Según Cadavid (1983) el estiércol de cerdo constituye una excelente fuente de nutrientes para el desarrollo de las plantas, por lo que puede ser aprovechado aplicado a los suelos en forma de abono orgánico. Así, las excretas porcinas son un recurso valioso que puede ser reciclado en las explotaciones. En la **Tabla 5**, se presentan los aportes, en la excreta porcina, de los principales elementos necesarios para la fertilización de cultivos agrícolas.

Tabla 5. Producción diaria de nutrientes para fertilización según el estado fisiológico (Cerde, 1990)

Estado	Peso promedio Kg.	Nitrógeno		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		g/animal	g/100 kg ⁽¹⁾	g/animal	g/100 kg	g/animal	g/100 g
Hembra lactante ⁽²⁾		133		69		79	
Crías no lactantes		52		31		34	
Pre-engorda	16		54,3		36,8		36,7
Engorda	35		45,1		31,1		34,4
Finalización	80		44,5		34,9		34,9

(1) gramos por cada kilo de peso vivo

(2) incluye la camada

El nitrógeno de las excretas es el elemento de fertilización más importante, debido a que el alimento suministrado a los cerdos tiene contenidos altos de proteína siendo, por tanto, su contenido en las excretas de un nivel alto. En las excretas, el nitrógeno total Kjeldahl (TKN) se compone, principalmente, de nitrógeno orgánico (40%) y de nitrógeno amoniacal (60%). La gran mayoría del nitrógeno de las heces es orgánica, mientras que la totalidad del de la orina es amoniacal.

Por acción de las bacterias aeróbicas de los suelos, el nitrógeno orgánico es transformado en nitrógeno amoniacal; asimismo, el nitrógeno amoniacal es llevado a nitrito (NO₂⁻) y nitrato (NO₃⁻), por la acción bacteriana en el suelo. El excedente de nitrato no aprovechado por las plantas queda disponible para ser lixiviado a través del perfil

del suelo, ya que es altamente soluble en el agua, si las condiciones del entorno así lo condicionan (permeabilidad del sitio, lluvias o riegos intensos).

Por ende, los excesos de nitrógeno por encima de las necesidades de los cultivos se convierten en un factor de alto riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

Para poder calcular la fertilización del suelo con la fracción sólida del estiércol de cerdo, se debe conocer la concentración de N, P, K que tiene el estiércol, además de otros factores como son la demanda de nutrientes del cultivo y los rendimientos esperados, y las características propias del suelo.

A partir del inventario de la población porcina predial y de la caracterización de sus excretas, se puede obtener la cantidad diaria y anual de nitrógeno producido en el predio. Ya se mencionó que el 40% del nitrógeno presente en las excretas es orgánico, con una disponibilidad de un 40%, y que el 60% restante es nitrógeno amoniacal, con una disponibilidad del 100%. El nitrógeno orgánico no inmediatamente disponible se hace disponible, en el transcurso de un año desde el momento de su aplicación.

Conociendo este valor, y los requerimientos de nitrógeno de los cultivos, se puede diseñar un programa de fertilización controlada, cuya finalidad es aplicar sólo lo que se necesita (Mojica, 2000).

4.2.2. Compostaje del estiércol de cerdo

Existe otra alternativa, en lo que respecta a la fertilización con excretas de cerdo. Anteriormente, se mencionó la posibilidad de fertilizar directamente con la fracción sólida del estiércol, debido a su contenido de nutrientes. Sin embargo, existe una forma de estabilizar los desechos orgánicos, para su posterior utilización como fertilizante. Este proceso, que consiste en la descomposición de la materia orgánica lábil hasta alcanzar una forma más estable, se conoce como compostaje y es ampliamente conocido entre quienes cultivan la agricultura orgánica.

En el compostaje, la materia orgánica es descompuesta, con la ayuda del aire y los microorganismos, llegando a la liberación de dióxido de carbono y agua, en paralelo a

la liberación de energía, que asume la forma de calor. La materia orgánica se degrada de forma incompleta, quedando un residuo sólido mas estable a las condiciones ambientales, llamado cómpost.

El compostaje, tanto abierto como cerrado, es un tratamiento apropiado para residuos biológicos fácilmente degradables, tales como residuos alimenticios, de áreas verdes, vegetales, de mataderos, agrícolas, incluyendo los de las granjas y lodos biológicos, entre otros.

Una comprensión básica del proceso de compostaje puede ayudar a producir una mayor calidad de producto, a la vez que evita muchos problemas comunes. Los microorganismos que hacen el trabajo, tienen unos requerimientos básicos que deben ser atendidos. El aire, agua, la temperatura y la correcta relación de nutrientes se combinan para crear un buen ambiente de compostaje. El compostaje es un proceso aeróbico, que significa que ocurre en presencia de oxígeno, que se provee de diversas formas:

- por volteos de la pila, ya sea manual o mecánicamente,
- por una correcta construcción de la pila, que permita al aire difundirse hasta el centro, y
- mediante un sistema que aspira o insufla aire a través de la pila.

Cuando una pila no tiene suficiente oxígeno, el proceso se transforma en anaeróbico y se producen olores desagradables, correspondientes a substancias putrecibles. La muerte por asfixia de los microorganismos detiene el proceso e inicia la putrefacción de los residuos.

Las bacterias, hongos y otros microorganismos, que llevan a cabo el proceso, consiguen su energía de fuentes de carbón, tales como hojas secas, pajas, papeles, serrín, astillas de madera. El nitrógeno lo utilizan para el crecimiento de la población, pero el exceso de nitrógeno genera amoníaco y otros gases odoríficos, y puede contaminar el agua de escurrimiento. Los materiales con contenidos altos de nitrógeno deben mezclarse completamente con una fuente de carbón. El grado de trituración es

también importante en esta relación: el carbón en hojas es mucho más disponible que el carbón en una astilla grande de madera.

Al descomponerse los residuos, se genera calor. Cuando las temperaturas suben más de 70 °C, los organismos empiezan a morir. Ventilar la pila cuando la temperatura alcance este punto impedirá el recalentamiento, que podría provocar una drástica reducción de la población y olores.

Los microorganismos agotarán la mayoría del residuo fácilmente descomponible, y el proceso de compostaje se ralentizará. Las temperaturas bajan y el compost toma textura granulosa y oscura. Llegados a este punto, el compost debe ponerse en acumulaciones grandes para madurar.

A) Métodos de compostaje

Existen tres métodos básicos de compostaje: pilas simples; pilas estáticas ventiladas; y sistemas cerrados:

a) Pilas simples: La tecnología para el compostaje en pilas es relativamente simple, y es el sistema más económico y el más utilizado. Los materiales se amontonan sobre el suelo o pavimento, sin comprimirlos en exceso, siendo muy importante la forma y medida de la pila.

Las medidas óptimas oscilan entre 1,2 -2 metros de altura, por 2-4 metros de anchura, siendo la longitud variable. La sección tiende a ser trapezoidal, aunque en zonas muy lluviosas es semicircular para favorecer el drenaje del agua.

Las pilas son ventiladas por convección natural. El aire caliente que sube desde el centro de la pila crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados. La forma y tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de partícula, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición, todo lo cual afecta el movimiento del aire hacia el centro de la pila.

El tamaño y la forma de las pilas se diseña para permitir la circulación del aire a lo largo de la pila, manteniendo las temperaturas en la gama apropiada. Si las pilas son demasiado grandes, el oxígeno no puede penetrar en el centro, mientras que si son demasiado pequeñas no calentarán adecuadamente. El tamaño óptimo varía con el tipo de material y la temperatura ambiente.

Una vez constituida la pila, la única gestión necesaria es el volteo o mezclado con una máquina adecuada. Su frecuencia depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que deseamos realizar el proceso, siendo habitual realizar un volteo cada 6 - 10 días. Los volteos sirven para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 o 10 °C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado.

El compostaje en pilas simples es un proceso muy versátil y con escasas complicaciones. Se ha usado con éxito para compostar estiércol, residuos de jardín, fangos y residuos sólidos urbanos (R.S.U.). El proceso logra buenos resultados de una amplia variedad de residuos orgánicos y funciona satisfactoriamente mientras se mantienen las condiciones aerobias y el contenido de humedad. Las operaciones de compostaje pueden continuar durante el invierno, pero se ralentizan como resultado del frío.

El proyecto debe hacerse evitando que las máquinas volteadoras pasen por encima de la pila y la compacten. Los lados de las pilas pueden ser tan verticales como lo permita el material acumulado, que normalmente conduce a pilas sobre dos veces más anchas que altas.

Actualmente se tiende a realizarlo en naves cubiertas, sin paredes, para reutilizar el agua de los lixiviados y de lluvia para controlar la humedad de la pila. La duración del proceso es de unos dos o tres meses, más el periodo de maduración.

Entre sus ventajas se encuentran: el secado rápido con temperaturas elevadas, se obtiene un producto más seco que favorece su manipulación, facilidad de manejar

volúmenes altos de material, el producto es muy estable y tiene un bajo capital de inversión.

Entre sus desventajas se encuentran: es ineficiente en cuanto al espacio requerido, los costos operacionales son altos, las hileras deben ser volteadas para mantener las condiciones aeróbicas, obligación de tener un equipo especial de volteo, es vulnerable a los cambios del clima y generación de olores a causa del volteo del material. En la **Figura 4**, se muestra un esquema con el método de secado en pilas simples.

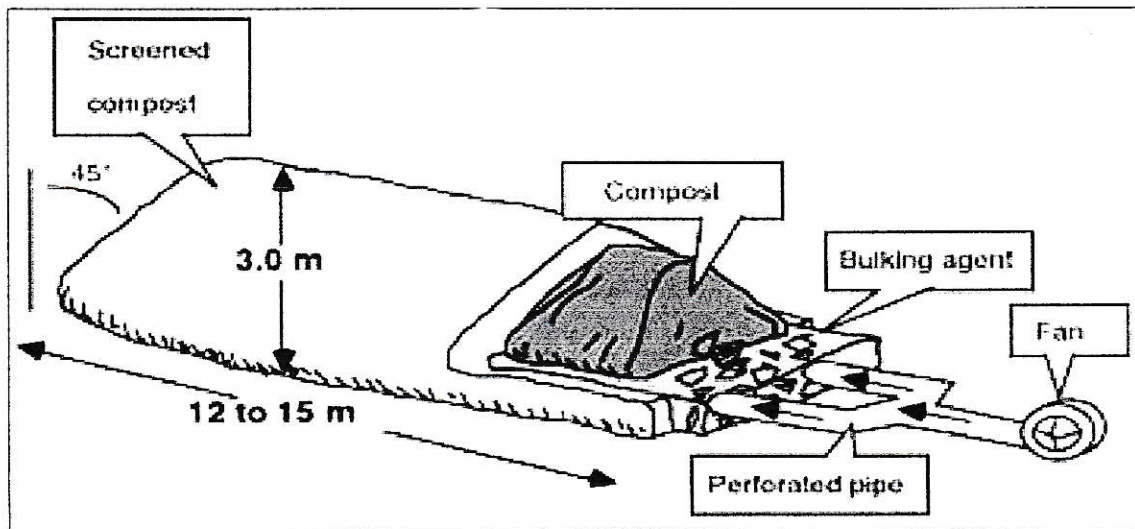


Figura 4. Método de compostaje por pilas simples (The Composting Process Bulletin 792, 2003)

b) Pilas estáticas ventiladas: En este sistema se colocan los materiales sobre un conjunto de tubos perforados o una solera porosa, conectados a un sistema que aspira o sopla aire a través de la pila. Una vez que se constituye la pila, no se toca hasta que la etapa activa de compostaje sea completa.

Cuando la temperatura en el material excede el óptimo, unos sensores que controlan el ventilador lo activan para que inyecte el aire necesario para enfriar la pila abasteciéndola de oxígeno.

Debido a que no hay mecanismos para mezclar el material durante el proceso de compostaje, las pilas estáticas ventiladas se suelen usar para materiales homogéneos

como los fangos, que se mezclan con un substrato seco y poroso como astillas de madera o serrín, forman una película líquida delgada en la que tiene lugar la descomposición. Los materiales heterogéneos, tal como los R. S. U., tienden a requerir más mezcla y removido.

Este sistema permite la rápida transformación de residuos orgánicos en fertilizantes. La ventilación controlada impulsa la actividad de los microorganismos artífices del proceso de compostaje. El sistema es también más económico por la poca intervención mecánica que se requiere. La capacidad del compostaje varía según el número de unidades de soplador y su tipo de modelo, así como también la naturaleza de los residuos orgánicos a tratar.

El proceso suele durar unas 4-8 semanas, y luego se apila el producto durante 1 - 2 meses para que acabe de madurar. Puede usarse en combinación con otras tecnologías de compostaje. Con un adecuado pre-tratamiento de los residuos orgánicos, el exceso de humedad y las condiciones anaerobias de fermentación pueden reducirse.

Entre sus ventajas se encuentran: el bajo costo de instalación, el alto grado de destrucción de patógenos, el buen control de malos olores y la estabilización del producto es buena.

Entre sus desventajas se encuentran: que es ineficiente en cuanto al espacio requerido, es vulnerable a cambios climáticos, tiene dificultad para trabajar, debido al sistemas de tuberías perforadas y el costo de operación y mantenimiento de sopladores es alto. En la **Figura 5**, se muestra un esquema con el método de pilas estáticas.

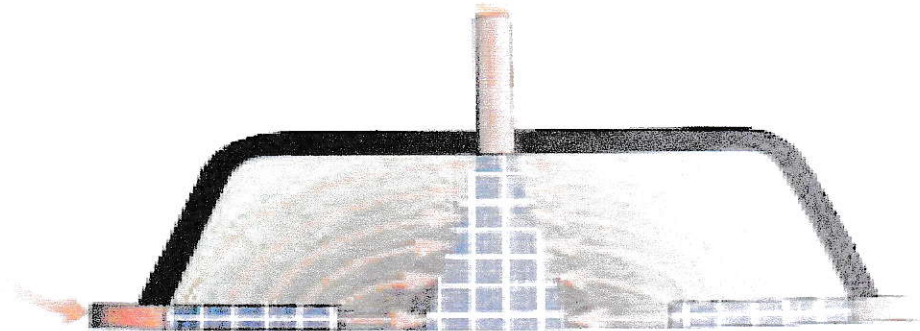


Figura 5. Método de compostaje con pilas estáticas ventiladas (Centre for landfill technology, 2003).

c) Sistemas cerrados: Los procesos en túneles, contenedores o en tambor son procesos modulares que permiten ampliar la capacidad de tratamiento, añadiendo las unidades de tratamiento necesarias. El recipiente puede ser cualquier cosa, desde un silo a un foso de hormigón. Como se trata de sistemas cerrados, es posible tratar los olores producidos por una eventual descomposición anaerobia.

Comúnmente se hace uso de la ventilación forzada, similar en la operación a una pila estática ventilada. Los sistemas de silos confían en la gravedad para mover el material a través del mismo, y la carencia interna de mezcla tiende a limitar los silos a materiales homogéneos. Otros sistemas de compostaje en contenedores pueden incluir sistemas de mezcla interna que físicamente mueve los materiales a través del contenedor, combinando las ventajas de los sistemas de pilas volteadas y pilas estáticas ventiladas.

Asimismo, se incorpora un sistema de ventilación para el aporte de oxígeno necesario a los microorganismos. De este concepto cabe resaltar el bajo consumo energético, sobre todo en el caso de procesos por cargas, y el poco personal necesario para la operación.

La evolución de los sistemas de compostaje a sistemas cerrados ha representado un avance muy importante en este tipo de tratamientos, tanto desde el punto de vista de proceso como por la calidad del producto final, favoreciendo el uso del compostaje como tecnología moderna de tratamiento de la materia orgánica de los R. S. U.

Las variables de proceso, tales como contenido de humedad, composición de nutrientes, temperatura, pH, cantidad de gas, tiempo de retención, etc., pueden ser controladas, dirigidas y optimizadas. Esto conlleva una degradación más rápida y completa con una mínima contaminación de los alrededores.

En los últimos 10 años, el desarrollo de las técnicas de tratamiento de estos tipos de materia orgánica ha sido extremadamente intenso, sobre todo, en el caso de los sistemas cerrados.

c.1) Compostaje en tambor: El proceso de compostaje tiene lugar en un tambor de rotación lenta. Estos tambores pueden trabajar en continuo o por cargas y son de diferentes tamaños y formas. Están contruidos en acero y la mayoría de ellos incorporan aislamiento térmico, principalmente en países centroeuropeos y nórdicos.

El residuo orgánico, una vez pesado y registrado, es descargado en la zona de recepción. Desde aquí se deposita mediante pala cargadora, sin más preparación, directamente al alimentador de los tambores de compostaje. La alimentación del residuo y su distribución dentro del tambor se realiza de forma totalmente automática.

El proceso de descomposición tiene lugar dentro del tambor de compostaje. Gracias a la rotación intermitente de la unidad de compostaje, el material es desembrollado, homogeneizado y desfibrilado de forma selectiva con un resultado óptimo.

Las emisiones de olor, las cuales alcanzan máximos al principio de la descomposición, son extraídas por el sistema de ventilación del tambor y dirigidas a un biofiltro para su eliminación. El líquido de los residuos, liberado durante la transformación de las sustancias orgánicas, es re-alimentado al residuo orgánico por la rotación intermitente del sistema, manteniéndose dentro del mismo.

Al final del ciclo, el material dispone de un óptimo grado de homogeneización, está desembrollado, no tiene ningún olor desagradable, es inocuo en lo que se refiere a la higiene humana, y tiene un contenido óptimo de humedad para la eliminación de contaminantes y para el compostaje secundario. Realmente es un proceso de precompostaje o un pretratamiento para facilitar la separación de los contaminantes de los R. S. U.

c.2) Compostaje en túnel: Aquí, el proceso tiene lugar en un túnel cerrado, generalmente fabricado en hormigón, con una vía de ventilación controlada por impulsión o aspiración, para el aporte de O₂, imprescindible para los microorganismos. La diferencia con el proceso anterior, reside en que aquí el residuo se encuentra estático y el proceso es completo.

c.3) Compostaje en contenedor: Es una técnica pareja a la anterior. La diferencia reside en que, en este sistema, el compostaje se realiza en contenedores de acero, generalmente de menor tamaño que los túneles de hormigón. A menudo es un proceso en continuo, con carga del material a compostar en la parte superior y descarga por la parte inferior.

c.4) Compostaje en nave: El proceso de compostaje tiene lugar en una nave cerrada. La ventilación se realiza mediante una placa en la base y/o con ayuda de diferentes tipos de unidades rotativas (volteadoras). Las plantas modernas están totalmente automatizadas y equipadas con volteadoras, las cuales se mueven por medio de grúas elevadoras y pueden alcanzar el compostaje total del área de la nave.

Los procesos descritos pueden definirse en estáticos o dinámicos; en los primeros el residuo es ventilado sin rotación (compostaje en túnel o en contenedor), mientras que, en los segundos, el residuo es ventilado y volteado como sucede en los otros dos.

B) Propiedades del compost

El compost posee muchas cualidades, que son ventajosas, y que son debidas a sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Wehrhahn, 2001)

.Entre las propiedades generales, puede mencionarse, que:

- mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua,
- mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos,
- mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.

Cabe señalar que la población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo y que existe una relación directa entre su abundancia y la fertilidad y calidad física de un suelo para sostener una cubierta vegetal.

Entre las propiedades químicas del compost, puede señalarse que:

- incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre,
- incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrógeno,
- estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder de tampón,
- inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción, e
- inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas (Wehrhahn, 2001).

Entre las principales propiedades físicas, puede argumentarse que:

- mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y ligando los sueltos y arenosos,
- mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación,
- reduce la erosión del suelo, por los puntos señalados arriba,
- incrementa la capacidad de retención de humedad de los suelos, y
- confiere un color oscuro en el suelo, ayudando a la retención de energía calorífica (Wehrhahn, 2001)

En lo que se refiere a los aspectos biológicos, se puede decir que:

- el compost es una fuente de energía la cual incentiva a la actividad microbiana, y que,
- al existir condiciones óptimas de aireación, permeabilidad, pH y otros, se incrementa y diversifica la flora microbiana (Wehrhahn, 2001).

4.2.3. Lombricompostaje o Vermicompostaje

Otra de las alternativas que se pueden llevar a cabo con los purines, es el lombricompostaje que, también, se denomina vermicompostaje o humus de lombriz. Es una técnica de compostaje que utiliza la capacidad de las lombrices para tratar los residuos orgánicos, generando un producto conocido como humus de lombriz, que es muy apreciado en algunos segmentos del mercado.

Resulta de la transformación de materiales orgánicos al pasar por el intestino de las lombrices, en donde se mezcla con elementos minerales, microorganismos y

fermentos, que provocan cambios en la bioquímica de la materia orgánica. Estas lombrices son la *Eisenia foetida* y la *Lombricus rubellus* o híbridos próximos, comercialmente denominada *lombriz roja de California* (Bellapart, 1988).

El método más difundido para la obtención de este humus de lombriz es la cría en el interior de granjas y naves abandonadas o al aire libre, utilizando camas o literas de una anchura entre uno y dos metros y de longitud variable, separadas por pequeños caminos. La sección de las camas será triangular o trapezoidal y con una altura en el vértice no superior a 50 - 70 cm. Las camas se cubrirán con una malla o paja que proteja del calor intenso y al mismo tiempo deje pasar el agua y el aire, manteniendo una humedad comprendida entre el 70 y 80 % y una temperatura no superior a los 20°C.

Con una población de 1 millón de individuos, se puede obtener alrededor de 12 millones en 12 meses y, con estos, 144 millones en 24 meses. En este tiempo, estas lombrices habrán transformado 240 toneladas de estiércol en 120 toneladas de humus biológicamente activo y muy rico en bacterias. Las cantidades de elementos minerales del producto resultante son variables, aunque hay que destacar su mayor velocidad de transformación en el suelo, en el que origina una rápida disponibilidad de elementos minerales y orgánicos para el cultivo, ejerciendo importantes efectos activadores sobre el metabolismo microbiano y vegetal (Lombricultura Moderna, 1984).

Hay investigaciones desarrolladas sobre el tema, llevadas a cabo por países como Estados Unidos, Japón e Israel. Ya en 1984, fueron introducidas en España y, concretamente, en Ibiza, unos ochocientos kilos de esta especie (Madrid, 1984).

4.2.4. Fuente de alimento para rumiantes

En los últimos años, la producción porcina se ha transformado en un sistema de producción de animales en confinamiento total, provocando una alta producción de excretas por unidad de superficie de suelo, lo que ocasiona una alta contaminación de las aguas y del ambiente. Sin embargo, el uso de esta excreta como ingrediente alimenticio en la alimentación de rumiantes, debido a la capacidad que tienen éstos

para sintetizar proteínas, a partir de nitrógeno no proteico (NNP), y de utilizar fracciones fibrosas de las excretas, ofrece un gran potencial para recuperar algunos de los nutrimentos presentes en ellas y reducir la utilización de materias primas importadas. Asimismo, su reincorporación, como un ingrediente alimenticio, representa una alternativa para disminuir la presión ambientalista que sufren estos sistemas altamente intensivos.

Las excretas de cerdo (llamadas cerdaza) han sido señalada por varios autores (Kornegay et al, 1977; Flachowsky et al, 1995), como una fuente valiosa de nitrógeno (principalmente nitrógeno no proteico), energía y minerales, como el calcio, fósforo y magnesio. Sin embargo, su composición química es variable, por lo que se debe evitar el uso de valores estándares para la formulación de raciones y calibrar específicamente el uso de cada material.

La variación en el contenido de nutrimentos de la cerdaza es atribuida a factores como la composición de la dieta y la etapa productiva de los cerdos, el método de procesamiento y almacenamiento de la cerdaza, el manejo de los cerdos y el ambiente (Camacho, 1998; Flachowsky y Henning, 1990).

A) Factores que afectan la producción de cerdaza

La cantidad de cerdaza producida está en función principalmente de la etapa productiva del cerdo y de la composición y digestibilidad de la dieta suministrada (Campabadal, 1994); no obstante, el volumen total de cerdaza está afectado por el agua utilizada en el lavado de las instalaciones y la cantidad de orina producida.

En la **Tabla 6**, se indican antecedentes sobre la producción de cerdaza según la etapa productiva del cerdo.

Tabla 6. Producción de cerdaza según la etapa productiva del cerdo (Base seca)

Etapa	Materia seca (%)	Excreta	Consumo de alimento
		Kg/ cerdo/día	
Inicio	19,5	0,15	1,9
Desarrollo	21,3	0,20	2,2
Engorde	21,4	0,25	2,2
Gestante	19,3	0,15	2,0
Lactante	27,5	0,41	8,0

Fuente: Camacho, 1998

B) Composición Nutricional de la Cerdaza

La composición nutricional de la cerdaza es afectada por: variaciones en la formulación de las dietas utilizadas, el método de procesamiento y manejo de la cerdaza, la etapa productiva, el ambiente y el manejo de los cerdos.

En las **Tablas 7 y 8** se presentan la composición química y el contenido de energía respectivamente, de la cerdaza según etapa productiva y tipo de cerdaza. Como se observa, existen diferencias en la composición de las excretas según la etapa productiva y el método de recolección y procesamiento.

Tabla 7. Composición química de cerdazas de diferentes etapas productivas, cerdaza compuesta y obtenida del separador (Base seca)*

Etapa Productiva	Nutriente									
	Humedad %	Proteína Cruda %	Extracto Etéreo %	Cenizas %	FND %	FAD %	CNE %	Calcio %	Fósforo %	Cobre mg/kg
Inicio	80,51	26,92	7,10	14,28	28,42	7,96	23,26	2,51	0,19	1160,5
Desarrollo	78,67	26,27	9,83	15,97	30,89	9,81	17,02	3,36	0,21	445,04
Engorde	78,55	23,38	6,47d	16,44	37,04	11,35	18,24	2,96	0,22	427,64
Gestante	80,73	16,49	3,85	20,34	40,20	15,54	19,11	3,93	0,29	725,30
Lactante	72,52	15,80	8,64	20,08	30,65	11,79	16,22	5,01	0,27	920,60
Tipo de cerdaza										
Compuesta	72,10	18,75	10,90	19,29	32,77	12,69	18,24	4,45	0,25	741,71
Separador	78,82	14,69	4,42	9,25	68,65	29,93	4,66	-	-	-

Fuente: Camacho, 1998

*Excretas provenientes de animales alimentados con una dieta a base de maíz y soya.

Tabla 8. Total de Nutrientes Digestibles y Contenido de energía de cerdazas de diferentes etapas productivas, cerdaza compuesta y obtenida del separador (Base seca)

Etapa Productiva	Energía (kcal / kg)				
	TND %	ED	EM	ENm	ENg
Inicio	72,7a	3267,6a	2679,5a	1762,0a	1140,2a
Desarrollo	72,4a	3253,0a	2667,7a	1751,7a	1131,1a
Engorde	66,0bc	2964,8bc	2431,2bc	1545,5bc	948,4bc
Gestante	54,7d	2458,1d	2015,7d	1165,7d	603,8d
Lactante	64,3c	2887,0c	2367,4c	1488,3c	897,1c
Tipo de cerdaza					
Compuesta	68,3b	3065,5b	2513,5b	1618,5b	1013,5b
Separador	44,4e	1957,7e	1605,2e	765,0e	262,6e

Fuente : Camacho,1998

a,b,c,d ,e. Medias en la misma columna con diferente letra difieren estadísticamente(P < 0,0001). TND Bovinos = Total de Nutrientos Digestibles; ED Bovinos = Energía Digestible; EM Bovinos = Energía Metabolizable; ENm Bovinos = Energía Neta de mantenimiento ENg Bovinos = Energía Neta de ganancia

Las cerdazas provenientes de animales de pesos inferiores (inicio, desarrollo y engorde) presentan un mayor contenido de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), carbohidratos no estructurales (CNE) y energía, y un menor contenido de cenizas, calcio, fósforo, FND y FAD que las excretas de los animales reproductores (gestantes y lactantes); como consecuencia de diferencias en la composición de la dietas y a una menor utilización de los nutrimentos de la dieta por parte de los cerdos jóvenes. Los mayores valores de FND y FAD observados en las excretas de gestación son debidas principalmente a un incremento en el nivel de fibra en la dieta de estos animales.

Existen estudios que avalan el uso del estiércol de cerdo como alimento. En la siguiente experiencia, los rumiantes alimentados con estiércol de cerdo fresco (del 25 al 55 % en base seca), melaza y rastrojo, tuvieron incrementos de peso vivo de 0,8 a 1,2 Kg/día en toretes Holstein en crecimiento y finalización. La **Tabla 9** entrega algunos resultados.

Tabla 9. Ganancia de peso en toretes alimentados con estiércol de cerdo fresco (ECF), melaza y rastrojo de maíz

ECF (%base seca)	Ganancia (Kg/d)	Peso vivo (Kg.) Inicial Final	Período (d)
25	0,94 ± 0,22	272 ± 14,1	114
27	1,16 ± 0,15	273 ± 26,7	114
27	1,02 ± 0,14	222 ± 36,0	99
27	0,97 ± 0,11	224 ± 10,5	99
35	0,90 ± 0,07	295 ± 10,5	70
35	1,02	263	140
45	1,01	263	140
55	0,77	263	140

Fuente: Egaña (1989); Díaz y Egaña (1996).

El estiércol de cerdo fresco (ECF) conforma un alto porcentaje de la ración, hecho que repercute en la disminución de costos en la producción de carne de bovinos, debido al costo cero del estiércol (Gutiérrez-Vázquez, 1995).

Se han diseñado otros experimentos utilizando excremento de cerdo secado al sol (cerdaza) en la alimentación de ovinos, caprinos y bovinos, pues este desecho, por su elevado contenido de materia orgánica (alrededor de 78%) y niveles apreciables de proteína cruda (aproximadamente un 15%), lo convierten en un ingrediente utilizable en la alimentación de rumiantes (Obregón, J., 1999).

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, el estiércol 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 19% de proteína cruda.

El ensilaje del estiércol es un proceso que disminuye las pérdidas de nutrientes, elimina los patógenos, mejora la palatabilidad e incrementa el consumo voluntario. Es posible además incorporar otros subproductos agroindustriales como la paja de cereales y la melaza. Sin embargo, el ensilaje da origen a un producto voluminoso relativamente difícil de manipular y con un menor contenido de energía y de infraestructura para su almacenamiento. Aunque se ha incrementado el uso de ésta técnica, aún no es muy popular entre los productores tecnificados, sobre todo porque su práctica implica ciertos cuidados para obtener un ensilaje de calidad.

C) Peligros potenciales sobre la Salud Humana y Animal

Los trabajos realizados sobre el uso de la cerdaza en la alimentación animal no han reportado ningún problema de enfermedades transmitidas por este material, cuando se utiliza en la alimentación de rumiantes, sin embargo la cerdaza contiene varios tipos de microorganismos patógenos y parásitos y una serie de sustancias que podrían afectar la salud humana y animal. Mendoza et al. (1991) citados por Camacho, 1998, informaron que se encontraron contenidos bacteriales inferiores a los máximos permitidos, en la carne de novillos alimentados con un 27% de cerdaza. En lo que respecta a la calidad de la carne no se han observado diferencias en el sabor y olor de

la carne entre animales alimentados con cerdaza y aquellos alimentados con una dieta convencional (Camacho, 1998).

4.2.5. Material generador de energía

Los desechos de la producción porcina también pueden tener otro uso, como materia prima para producir energía. Esto se logra a través de un biodigestor, que es un recipiente hermético en cuyo interior se lleva a cabo la fermentación de materia orgánica para producir biogás.

El biogás es una mezcla gaseosa de metano (50% a 70%) y de dióxido de carbono (50% a 30%) con pequeñas proporciones de otros componentes (N_2 , O_2 , H_2 , SH_2). Este producto se obtiene como resultado de un proceso llamado digestión anaerobia o anaeróbica.

A) Digestión anaeróbica

A continuación, se describe el proceso químico de la digestión anaerobia, analizando las transformaciones que se producen en cada una de las fases del mismo. Igualmente, se pone de manifiesto qué parámetros son los que condicionan dichas transformaciones y cuáles son sus valores óptimos e inhibidores. No hay que perder nunca de vista el hecho de que si bien la digestión anaerobia se conoce desde hace tiempo, este conocimiento es más bien cualitativo.

Esto se debe a la variedad de bacterias que intervienen en la misma y a las complejas relaciones que se establecen entre ellas. Dichos microorganismos no están por el momento perfectamente caracterizados debido fundamentalmente a lo difícil que resulta mantener los cultivos. Como además la composición de los residuos puede ser muy variable, no es de extrañar la falta de consenso que se produce en ocasiones entre quienes estudian el fenómeno. Los principales progresos han de producirse, por lo tanto, en lo que a caracterización minuciosa de la bioquímica y microbiología del proceso se refiere.

Los productos obtenidos en la digestión anaerobia no son más que el resultado de la actividad de una serie de bacterias que para obtener la energía y las sustancias químicas que necesitan para vivir transforman unos productos en otros. Se pueden diferenciar cuatro grupos de bacterias asociados a las diferentes fases del proceso y sus poblaciones han de mantenerse en un delicado equilibrio.

a) Bacterias hidrolíticas

Estas bacterias son las responsables de la primera degradación de la materia orgánica. Lo que hacen es descomponer los polímeros orgánicos complejos dando lugar a moléculas más sencillas. Es importantísima la presencia de agua en esta fase, puesto que es imprescindible para que tenga lugar la hidrólisis. Tal es así que buena parte de los microorganismos sólo actúan sobre materia orgánica en disolución.

b) Bacterias acidogénicas

Estas bacterias degradan hidratos de carbono, lípidos y proteínas produciendo ácidos grasos volátiles (AGV), H_2 , NH_3 y CO_2 . Son anaerobias facultativas y se desarrollan fortuitamente o bien pertenecen a la flora específica del vertido.

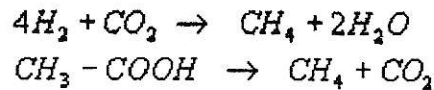
c) Bacterias acetogénicas

Estas bacterias aprovechan los AGV producidos por los microorganismos acidogénicos para formar ácido acético, además de dióxido de carbono e hidrógeno. La única exigencia que presentan estas bacterias para desarrollarse adecuadamente es que haya en el medio otros microorganismos que consuman el hidrógeno que se forma. Un exceso de hidrógeno actuará como inhibidor de su desarrollo.

d) Bacterias metanogénicas

Son las menos conocidas de todas. Son estrictamente anaerobias y para su desarrollo necesitan un potencial de oxidorreducción muy bajo, e incluso así su desarrollo es muy

lento. Las dos reacciones que realizan estas bacterias y que conducen a la formación de metano son:



En el medio también pueden existir otras bacterias anaerobias estrictas, como las sulfobacterias, que compitan con las bacterias metanogénicas en la utilización del hidrógeno y el ácido acético.

Así pues, se hace necesario un estricto control sobre estos microorganismos para que estén presentes en las cantidades que optimicen el proceso, tanto en lo que respecta al tiempo necesario para que tenga lugar, como la cantidad de metano producida. Dada la dificultad de crecimiento de las bacterias metanogénicas, cuando sea posible, además de introducir un inóculo inicial (fangos de digestores anaerobios,...) para aportar la flora bacteriana adecuada, se forzará que la digestión tenga lugar en las condiciones más favorables para el desarrollo de las mismas (Gingis, 1998).

B) Condiciones que se deben controlar para la producción de biogás

Cuando la actividad consiste en aprovechar el metano que se genera en un vertedero, es evidente que las condiciones en las que se produce la digestión anaerobia no se pueden controlar. Simplemente, en las capas inferiores de residuos, que se encuentran protegidas de la atmósfera, se dan unas condiciones más o menos favorables para que ésta tenga lugar y lo único que se puede hacer es captar, recoger el gas que se forma. Sin embargo, cuando se tratan residuos ganaderos, agroalimentarios o aguas residuales urbanas, sí que se puede establecer (con un cierto coste) en qué condiciones se quiere que tenga lugar la digestión. Por ello, se impondrán aquellas condiciones en las que la producción de metano sea mayor, puesto que esto supondrá un mayor beneficio energético y por lo tanto económico.

Las variables fundamentales a considerar son:

a) Acidez del medio

Es uno de los parámetros de control más habituales debido a que los microorganismos metanogénicos presentan una gran sensibilidad a las variaciones del mismo. Si el valor del pH se mantiene entre 6,8 y 7,4 se consigue un buen rendimiento de degradación y una elevada concentración de metano en el biogás. Pequeñas variaciones también implican eficacia en el proceso. Si el pH es inferior a 6,2 la actividad de las bacterias metanogénicas se ve inhibida y por debajo de 4,5 la inhibición también afecta a las acidogénicas. Para valores superiores a 8,5 los efectos son similares.

b) Temperatura

La digestión anaerobia puede tener lugar para un amplio rango de temperaturas, pero dentro de él se distinguen unas zonas claramente diferenciadas que corresponden a las temperaturas de funcionamiento óptimo de tres grupos diferentes de bacterias: las psicrófilas ($T < 20^{\circ}\text{C}$), las mesófilas ($20^{\circ} < T < 45^{\circ}$) y las termófilas ($50^{\circ} < T < 60^{\circ}$). La producción de gas es máxima en el rango termofílico, pero el mantenimiento del sistema a estas temperaturas consume más energía que la que puede proporcionar el gas producido.

Además las bacterias termófilas son mucho más sensibles a las variaciones térmicas que las mesófilas, lo que implica la necesidad de un mayor control del sistema, actividad muy costosa. Esto hace que como norma general se trabaje en el rango mesófilo. Alrededor de 35-36 °C se tienen las mejores condiciones de crecimiento de las bacterias y velocidad de producción de metano.

c) Contenido en sólidos

Es igualmente un factor determinante. Si la alimentación está muy diluida, las bacterias no tienen suficiente alimento para vivir; mientras que un exceso en sólidos disminuye la movilidad de los microorganismos y por consiguiente la efectividad del proceso, ya que les impide acceder al alimento. Como norma general el contenido en sólidos suele ser

inferior al 10% (ya comentamos al hablar de las materias primas que estas solían estar constituidas por biomasa con un elevado contenido en humedad).

d) Alcalinidad

La alcalinidad da una medida de la capacidad amortiguadora (tampón) que posee un digestor ante posibles cambios del pH del efluente a tratar, y ya se ha visto la importancia de que el pH se mantuviese más o menos constante dentro de un rango de valores. Esta alcalinidad va a determinar el que se puedan tratar o no residuos que no sean neutros. El principal tampón lo constituye el sistema dióxido de carbono/bicarbonato. El CO_2 que se forma en el propio proceso al descomponerse la materia orgánica reacciona con el amoníaco procedente de la desaminación de compuestos nitrogenados y con los cationes metálicos presentes en el medio, formando carbonatos y bicarbonatos.

Se consideran valores adecuados concentraciones de CO_3Ca comprendidas entre 2500 y 5000 mg/l. Por contra, concentraciones inferiores a 1000 mg/l resultan insuficientes y no garantizan la estabilidad del digestor ante una posible acumulación de ácidos.

e) Acidez volátil

La actividad de los microorganismos metanogénicos es óptima para bajas concentraciones de ácidos volátiles, por ello es necesario que la formación de metano tenga lugar a la misma velocidad que la formación de los AGV. Si no es así se producirá una acumulación de éstos que actuará como inhibidora del metabolismo anaerobio. El control se lleva a cabo principalmente sobre el ácido acético pues es el principal sustrato para la formación de metano. Los resultados científicos de carácter cuantitativo obtenidos en este sentido no son uniformes.

f) Nutrientes

Para que se produzca el crecimiento y la actividad microbiana, es necesario un aporte de nutrientes a las células. Éstas han de tener disponible en el sustrato carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales. Las pequeñas concentraciones de sodio, potasio, calcio, molibdeno o hierro favorecen la descomposición del sustrato y la formación de metano.

Una de las ventajas que presenta el proceso anaerobio frente a la degradación de la materia por mecanismos aerobios reside precisamente en los nutrientes, puesto que para un mismo nivel de degradación el proceso anaerobio requiere menos de la mitad de nutrientes.

g) Tóxicos o inhibidores

Además de los posibles efectos inhibidores debidos a una descompensación del equilibrio de fuerzas que debe establecerse ente las diferentes fases de la digestión anaerobia (p.ej. exceso de AGV), existen una serie de sustancias que bloquean igualmente el proceso y que se pueden considerar como tóxicos. En primer lugar cabe destacar el oxígeno debido a que algunas fases como la metanogénesis las llevan a cabo bacterias estrictamente anaerobias.

Sin embargo, el efecto inhibitor del oxígeno no es permanente, ya que en la flora bacteriana existen también microorganismos facultativos que irán consumiendo el oxígeno que pueda tener el medio. Si la biomasa a degradar es muy rica en nitrógeno se producirá un exceso de amoníaco que inhibirá el proceso.

Otro tóxico son los metales pesados que afectan en concreto a los microorganismos metanogénicos y que se pueden eliminar en forma de sulfuros metálicos insolubles si en el medio tenemos sulfuro de hidrógeno. Pero hay que tener en cuenta que los sulfuros resultan tóxicos igualmente.

Al hablar de los nutrientes se ha dicho que las sales minerales favorecían la digestión, e incluso se ha indicado qué metales resultaban especialmente beneficiosos. Sin embargo, estos propios metales en concentraciones elevadas pueden tener el efecto contrario y detener el proceso anaerobio, especialmente los alcalinos y alcalinotérreos.

Resumiendo, existe una gran cantidad de sustancias que pueden inhibir la digestión, siempre y cuando sus concentraciones superen ciertos valores límite. Tampoco existe unanimidad en cuanto a dichos valores puesto que puede haber poblaciones bacterianas aclimatadas a la presencia de determinados tóxicos y que por lo tanto pueden desarrollar su actividad para concentraciones de los mismos superiores a las teóricas.

h) Densidad de carga

La densidad de carga mide la cantidad de materia orgánica por unidad de volumen que se introduce diariamente en el digestor. Al introducir demasiada materia orgánica se puede ocasionar un exceso de AGV, que ya se ha visto que inhibía el proceso.

i) Tiempos de residencia

Este es el tiempo que permanece el agua residual en el digestor

j) Biogás producido

El propio producto obtenido en la digestión anaerobia es un parámetro que puede indicar si ésta se está desarrollando adecuadamente o no. Para ello habrá que analizar la cantidad de biogás producido y la composición del mismo y relacionar este dato con la DQO eliminada. Los valores comprendidos entre 0,4 y 0,7 metros cúbicos de metano por kilogramo de DQO eliminada indican una buena digestión.

5. Instrumentos regulatorios y recomendaciones aplicables a ámbitos no incluidos en la normativa actual en uso

Este punto comprende una revisión y análisis de la normativa ambiental vigente y de aquellas normas que pueden ser aplicadas a las actividades relacionadas con la crianza de cerdos. Estas situaciones son contrastadas con instrumentos regulatorios contemplados en la normativa extranjera o, simplemente con criterios que debieran ser considerados, para lograr un buen desarrollo del ámbito legislativo ambiental.

La normativa, que resulta aplicable a las actividades de crianza de cerdos, esta constituida especialmente, por la Ley 19.300 (Ley de Bases del Medio Ambiente), el decreto supremo 30/97, del Ministerio Secretaria General de la Presidencia, que aprobó el reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, y disposiciones sectoriales. En ausencia de disposiciones ambientales nacionales, el citado Reglamento faculta recurrir al cuerpo legal ambiental de la confederación Suiza.

5.1. Instrumentos legales de carácter general

En este punto, se ofrece una visión de los instrumentos legales y mecanismos existentes en Chile.

Ley 19.300/94 Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ministerio Secretaria General de la Presidencia, publicada en Diario Oficial el 09 de marzo de 1994).

D.S. 30/97. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. (Ministerio Secretaria General de la Presidencia, publicada en Diario Oficial el 03 de abril de 1997).

Ley N°19.300. Ley de Bases del generales del Medio Ambiente, su reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N° 30/97 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y modificado en virtud del decreto supremo N°95/01 de este mismo Ministerio, publicado en el Diario Oficial del 7 de diciembre de 2002.

5.2. Normativas aplicables a la localización de industrias

Corresponde a decretos supremos de Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Los cuerpos legales son los siguientes:

Decreto Supremo N° 47/92 (del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, publicado en el Diario Oficial el 13 de abril de 1976): Aprueba nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones (artículos 57, 58, 62 y 160).

Decreto Supremo N° 47/92 (del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, publicado en el Diario Oficial el 19 de Mayo de 1992): Establece la ordenanza general de urbanismo y construcciones.

5.3. Normativas aplicables a la protección de aguas

Se trata de cuerpos legales muy diversos, que se inician tan temprano como 1916, con la Ley 3.133, del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Los cuerpos involucran leyes, decretos supremos, decretos con fuerza de ley y resoluciones exentas. El detalle es el siguiente:

Ley N° 3.133/16 (del Ministerio de Obras Públicas, publicada en el Diario Oficial el 7 de Septiembre de 1916): determina la neutralización de residuos provenientes de de establecimientos industriales.

Decreto Supremo N° 351/93 (del Ministerio de Obras públicas, publicada en el Diario Oficial el 23 de Febrero de 1993): Establece el reglamento para la neutralización de residuos líquidos industriales a que se refiere la Ley N° 3.133.

Decreto con Fuerza de Ley N° 725/67 (del Ministerio de Salud, publicada en el Diario Oficial el 31 de Enero de 1968): El código sanitario, establece, en los artículos 69 a 76 disposiciones relativas a las aguas y sus usos sanitarios.

Decreto con Fuerza de Ley N° 1/90 (del Ministerio de Salud, publicada en el Diario Oficial el 21 de Febrero de 1990): Determina materias que requieren autorización sanitaria expresa (art. 1 N° 22 Y 23) para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación de basuras y desperdicios de cualquier clase.

Norma Técnica Provisoria/92 (de la súper intendencia de Servicios Sanitarios, no ha sido publicada): Norma técnica relativa a descargas de residuos industriales líquidos, directamente a cursos y masas de aguas superficiales y subterráneas.

Decreto Supremo N° 609/98 (del ministerio de obras públicas, Publicado en el Diario oficial del 20 de Julio de 1998): Establece normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.

Norma NCh 1.333/of.87 (del ministerio de obras publicas, publicado en el Diario Oficial del 18 de Abril de 1998): Modifica el Decreto supremo N° 351/92, principalmente en lo que respecta a la competencia de las empresas de servicios sanitarios, en la aprobación y fiscalización de los sistemas de tratamiento de Riles descargados a sus redes.

5.4. Normativas aplicables a los residuos sólidos

Incluye cuerpos legales muy diversos, que se inician en 1940, con el decreto supremo 4.740, del Ministerio del Interior. Los cuerpos involucran decretos supremos, decretos con fuerza de ley, decretos ley y resoluciones exentas. El detalle es el siguiente:

Decreto con Fuerza de Ley N° 725/67 (del ministerio de salud, publicado en el diario Oficial del 31 de Enero de 1968): El código sanitario establece, en los artículos 78 a 81 del Libro Tercero "De la higiene y seguridad del ambiente y de los lugares de trabajo", disposiciones relativas a los desperdicios y basuras.

Decreto con Fuerza de Ley N° 1.122/81 (del ministerio de Justicia, Publicado en el Diario oficial del 29 de Octubre de 1981): El código de agua establece, en el artículo 92, disposiciones aplicables a los residuos sólidos.

Resolución N° 7.539/76 (del Ministerio de Salud): Establece las normas mínimas para la operación de que ningún basural puede funcionar sin la autorización sanitaria respectiva del servicio nacional de salud.

Resolución N° 5.081/93 (del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente del Ministerio de Salud, publicada en el diario oficial del 18 de Marzo de 1983): Establece el sistema de declaración y seguimiento de desechos sólidos generados en la Región Metropolitana.

Decreto Supremo N° 745/92 (del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial del 8 de Junio de 1993): Reglamenta las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo (art. 17, 18, 179).

Resolución N° 3.276/77 (del Ministerio de Salud): Esta resolución norma el transporte de desechos orgánicos provenientes de lugares de fabricación y/o elaboración de alimentos, susceptibles de ser empleados en la crianza y engorda de animales.

Decreto Supremo N° 351/93 (Ministerio de Obras Publicas, publicado en el Diario Oficial del 23 de Febrero de 1923): Reglamento para la aplicación de la Ley n° 3.133/16.

Decreto Supremo N° 4.740/47 (del Ministerio del Interior, publicado en el Diario Oficial en 1947): Establece las normas sanitarias mínimas municipales respecto de la acumulación y transporte de residuos industriales insalubres o peligrosos.

Decreto Supremo N° 298/94 (del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, publicado en el Diario Oficial del 25 de Noviembre de 1994): Este reglamento establece las condiciones, normas y procedimientos aplicables al transporte de carga, por calles y caminos, de sustancias o productos que por sus características sean peligrosas o

presenten riesgos para la salud de las personas, para la seguridad pública o el medio ambiente.

Decreto Supremo N° 144/61 (del Ministerio de Salud): Prohíbe, dentro del radio urbano de las ciudades, la incineración libre, ya sea en la vía pública o en los recintos privados, de hojas secas, basuras u otros desperdicios (Artículo 6).

Decreto Ley N° 1.289/75 (del Ministerio de Interior): Ley orgánica de Municipalidades, se refiere a los residuos sólidos en los artículos 24 y 25.

Decreto Ley N° 3557/80 (del Ministerio de Agricultura, publicado en el Diario Oficial del 9 de Enero 1981): Establece disposiciones sobre protección de aguas, aire y suelos, a favor de la agricultura y la salud.

Decreto con Fuerza de Ley N° 725/67 (del Ministerio de Salud, publicado en el Diario oficial del 31 de Enero de 1968): El código Sanitario establece, en el artículo 89 letra B, del libro tercero "de la Higiene y Seguridad del Ambiente y de los Lugares de Trabajo", disposiciones relativas a la contaminación producto de ruidos.

5.5. Normas que regulan las emisiones atmosféricas

Los cuerpos involucran decretos supremos, decretos con fuerza de ley y resoluciones exentas. El detalle es el siguiente:

Decreto con fuerza de Ley N° 725/67 (del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial del 31 de Enero de 1968): El código sanitario establece, en el artículo 89 letra A, del libro Tercero "De la Higiene y la Seguridad del Ambiente y de los Lugares de Trabajo", disposiciones relativas a las emisiones atmosféricas.

Decreto Supremo N° 144/61 (del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial del 18 de Mayo de 1961): Establece normas para evitar emanaciones de contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza.

Decreto Supremo N° 32/90 (del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial del 24 de Mayo de 1990): Reglamenta el funcionamiento de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos, en situaciones de emergencia de contaminación atmosféricas, en base a los estimadores de aire de calidad atmosférica.

Decreto Supremo N° 185/91 (del Ministerio de Minería, publicado en el Diario Oficial del 16 de Enero de 1992): Reglamenta el funcionamiento de establecimientos emisores de anhídrido sulfuroso, material particulado y arsénico en todo el territorio nacional.

Decreto Supremo N° 2.467/93 (del Ministerio de Salud, publicado en el Diario Oficial del 18 de Febrero de 1994): Aprueba el reglamento de laboratorios de medición y análisis de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes estacionarias.

Resolución N° 1,215/78: Artículos 3, 4 y 5 (del Ministerio de Salud, no ha sido publicada): Establece normas sanitarias mínimas destinadas a prevenir y controlar la contaminación atmosférica de manera de proteger la salud humana.

5.6. Normas que regulan olores

En Chile, no existen normas de calidad ambiental, para olores molestos, como los que se generan desde un plantel pecuario u otros. Tampoco, existen en alguna norma de la Confederación Suiza¹, que pudiera ser utilizada como referencia; sin embargo, existen valores umbrales que pueden ser empleados como parámetro para algunos gases orgánicos causantes de los olores.

Debido a que los olores molestos de los planteles son producto de la mezcla de varios gases, algunos de los cuales son tóxicos a altas concentraciones, se señala que estudios internacionales han propuesto una lista de "valores umbrales de olores aceptables" de ocho compuestos odoríferos comunes, que pueden variar enormemente

¹ El Reglamento del SEIA define a la Confederación Suiza, como alternativa obligatoria en el evento de no existir normativa nacional

de magnitud, lo cual explicaría la gran dificultad de tratar de establecer estándares para olores ambientales proveniente de químicos específicos (INIA-La Platina; 2001).

Esta lista de valores umbrales es asumida por la American Conference of Guvernamental Industrial Hygienists, ACGIH. Para la definición de valores limites de exposición laboral, no pudiéndose superar el valor indicado para 15 minutos de exposición (ver **Tabla 10**).

Tabla 10. Valores umbrales para la detección de olores y valores ACGIH para diferentes sustancias

Compuesto	Rango de valores umbral aceptable para olores (ppm)	ACGIH (para valor máximo de exposición de 15 minutos) (ppm)
Sulfuro de hidrógeno	$1,0 \times 10^{-3}$ - 0.13	10,0
Metilmercaptano	$2,0 \times 10^{-7}$ - $4,1 \times 10^{-2}$	0,5
Etilmercaptano	$9,8 \times 10^{-5}$ - $3,0 \times 10^{-3}$	0,5
Amoniaco	17	2,5
Metilamina	4,7	5,0
Etilamina	0,27	5,0
Dietilamina	$2,0 \times 10^{-2}$ - 14	5,0
n-butilacetato	$6,3 \times 10^{-2}$ - 7.4	150,0

Fuente: INIA - CRI La Platina; 2001

Existen algunos instrumentos legales que intentan normar en el ámbito de los olores, pero no se señala los niveles máximos exigidos, ni tampoco un detalle exhaustivo de las fuentes bibliográficas utilizadas como referencia. Tal es el caso de países como Australia, Bélgica, Canadá, Alemania, Japón, Suiza, Estados Unidos y algunos otros países de la Unión Europea.

Aun cuando estos países cuentan con instrumentos de regulación para la calidad atmosférica, no señalan los niveles máximos exigibles para los olores molestos y/o desagradables. Solo entregan algunas directrices para evitar la generación de los mismos, a través de ordenanzas estatales y estatutos públicos.

Algunos autores han señalado valores umbrales para los gases más frecuentes asociados a planteles pecuarios; estos se indican en la **Tabla 11**. Adicionalmente, la **Tabla 12** se entrega una visión comparativa de los valores normados para algunos contaminantes atmosféricos que pueden ser asociados a gases generadores de olores desagradables en planteles pecuarios. En la **Tabla 13**, se muestra el tema regulado por cada país e instrumento legal.

Tabla 11. Gases y olores en sitios de crianza de porcino (MWPS et al., 1985)

GAS	OLOR	OLOR ppm	Valor limite tolerable				Concentración con efectos
			Exposición (8-10 hr)	Exposición (15 min)	Nivel Ppm	Periodo de Exposición (min)	Efectos fisiológicos
			(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
CO ₂	Ninguno	-	5.000	30.000	20.000	-	Asfixiante Seguro Acelera la respiración Somnolencia, dolor de cabeza Asfixia respiratoria fuerte puede ser letal
					30.000	-	
					40.000	-	
					60.000	30	
					300.000	30	
NH ₃	Pungente agudo	5	25	35	400	-	Irritante Irritación de garganta Irritación de ojos Tos y carraspera Asfixia Puede ser letal
					700	-	
					1.700	-	
					3.000	30	
					5.000	40	
H ₂ S	Huevo podrido nauseabundo	0,7	10	15	100	Severo	Venoso Irritante de ojos y nariz Mareo y dolor de cabeza Nauseas, excitación e insomnio Incontinencia
					200	60	
					500	30	
					1.000	-	
CH ₄	Ninguno	-	-	30000	500.000	-	Asfixiante Dolor de cabeza, no es tóxico
CO	Ninguno	-	50	200	500	60	Venoso Sin efectos Desagradable pero no peligroso Peligroso Fatal
					1.000	60	
					2.000	60	
					4.000	>60	

(a) rango en el que la mezcla del gas con el aire puede estallar con una chispa

(b) concentración mínima a la cual se detecta el olor

(c) máxima concentración en el tiempo de exposición de 8 a 10 horas

(d) parte del gas puro por partes por millón de aire atmosférico: alrededor del 2% del volumen

(e) tiempo que tarda el gas en generar efectos fisiológicos

Tabla 12. Normas primarias para calidad de aire en distintos países (INIA - CRI La Platina; 2001)

Contaminante	Chile	Alemania	Japón ppm	Suecia	Suiza	Australia	Nueva Zelanda	USA	España	Canadá
CO										
Promedio 1 h (mg/m ³)	40.000						300.000	4.000		30 ppm
Promedio 8 h (mg/m ³)	10.000		20	600		10000	10.000	10.000		13 ppm
Diario (mg/m ³)			10		8.000					
Anual (mg/m ³)		10.000								
SO2										
Día (mg/m ³)	365		0,04	100	100		125	365		110 ppb
Año (mg/m ³)	80	140			30	60	50	80		20 ppb
NO2										
Día (mg/m ³)			0,04- 0,06	75	80		1.000		200	110 ppb
Año (mg/m ³)	100	80			30			100	100	50 ppb
H2S										
Promedio 0.5 h							7 (mg/m ³)			

Tabla 13. Materia regulada por cada país e instrumento legal (INIA - CRI La Platina; 2001)

MATERIA REGULADA	PAIS	INSTRUMENTO LEGAL
OLORES	<p>Estados Unidos de América</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arizona • Arizona • California • California, San Francisco • Minnessota • Florida • Nevada • Oregon • Rhode Island • Texas <p>Canadá</p> <p>Japón</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Statute 27-30. Oil and Gas Operation • Statute 49-421. General Air Contaminant • Section 41705, Health and Safety Code. Operations other than agricultural, compost • BAAQMD Regulation 7, odorous substances. Operations agricultural operations • Statute 1160713, livestock odor, measurement (H₂S monitoring, ambient air quality standards) • Rule 62-296320 objectionable odor prohibited • Regulation 445B.393, odors. Offensive odor, complaint. • Administrative rule 340-030-0610, Odors (odorous matter, public nuisance, scentometer) • Departament of enviromental management divisoin of air resources, air pollution control regulation N° 17, odors. • Title 30, enviromental quality, part I. Resource Conservation Commission, chapter 112. (cites EPA regs.) • Enviroment Protection Act. Odorant. • Farm Practices Protection (Right to farm) Act RSBC, 1996 (Canada, Brithis Columbia)
OLORES	<p>Corea</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Production and use of compost regulation, waste management Act, BC Reg. 334/93. • The basic enviroment law of 1993. General offensive odors • Atmospheric enviroment preservation Act of 1990. Incineration of odorants. Nuisance, authorized officer, control, abatement

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL

1. Introducción

El proyecto FONSAG, que ha sido identificado internamente por INIA La Platina con el Código 500095-23, considera una duración de tres años, período en el cuál debe ejecutar una serie de actividades de campo, todas las cuales han sido diseñadas con la finalidad común de generar información sobre parámetros de diseño de la aplicación de purines a los suelos (carga, frecuencia), por unidad de superficie, que alimenten a un modelo predictivo de las aplicaciones a los suelos, de forma de que los criterios de sustentabilidad ambiental se cumplan en cada sitio.

Los criterios con los que se está trabajando son la posible lixiviación de nitratos hacia las capas inferiores de la litosfera y la probable acumulación progresiva de residuos orgánicos sobre la superficie de los suelos, favoreciendo así la proliferación de larvas de moscas y difusión de malos olores. Alcanzar una aplicación ambientalmente sustentable representa una gran disyuntiva, que los productores tendrán que enfrentar, ya que, si bien estos residuos aportan nutrientes a las plantas y materia orgánica a los suelos, generan también compuestos como los nitratos que podrían lixiviar hacia capas inferiores, pudiendo contaminar las napas subterráneas y generar condiciones favorables a la proliferación de vectores de patógenos, principalmente las moscas, y malos olores.

A continuación, se presenta una reseña de las actividades del proyecto, dentro del período de tiempo en el cuál se desarrolló este seminario de título.

2. Metodología y plan de trabajo

Globalmente, el proyecto FONSAG ha sido dividido en seis 6 fases, a saber:

- revisión bibliográfica sobre gestión de residuos de planteles porcinos, sólidos y líquidos,
- caracterización de residuos líquidos provenientes de planteles porcinos,
- ensayos de campo, para la determinación del balance de nitrógeno aplicado por los purines,
- implementación y validación del modelo predictivo para la aplicación de purines a los suelos,
- elaboración de código de buenas prácticas, y
- programa de monitoreo.

El seminario de título se encuentra inserto en la fase señalada en segundo lugar.

2.1. Caracterización de residuos provenientes de planteles porcinos

La caracterización de los residuos producidos por planteles porcinos fue necesaria, para contar con información para alimentar el modelo predictivo, complementaria a las características del sitio de aplicación de los purines o efluentes porcinos, referidas a características físicas de los suelos y a información climática.

Esta caracterización fue realizada, mediante la colecta directa de muestras de residuos, en tres épocas dentro de un año calendario y su análisis posterior en laboratorio.

2.1.1. Toma de muestras y análisis practicados

Se seleccionó un conjunto representativo de planteles porcinos, aplicando los siguientes criterios de selección:

- representación geográfica, de forma de contar con información de residuos entre las regiones Metropolitana y Octava,
- nivel tecnológico, de forma de contar con información de residuos producidos por planteles con diferente nivel tecnológico, y
- gestión de residuos, de forma de contar con información de residuos que son:
 - aplicados directamente al suelo, sin ningún tratamiento previo (purines),
 - aplicados al suelo, sin tratamiento previo pero con una fase final de lagunaje (purines),
 - aplicados al suelo, previa separación de fases (efluentes), o
 - aplicados al suelo, previa separación de fases y lagunaje (efluentes).

Las muestras líquidas colectadas, que incluyeron purines y/o efluentes, fueron tomadas en un punto lo más cercano posible al sitio de aplicación; ello significó la colecta de muestras tanto a la salida de las prensas como a la salida de las lagunas de estabilización o a la entrada de los residuos líquidos al sitio de aplicación. Todas las muestras colectadas fueron llevadas, lo más rápidamente posible, al Laboratorio de Análisis Ambientales, del Centro Regional La Platina, dependiente del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

En el laboratorio, las muestras fueron almacenadas en refrigerador y procesadas lo antes posible, para reducir lo más posible los problemas de malos olores y proliferación de moscas.

En el laboratorio, las muestras líquidas de purines o efluentes, fueron sometidas al siguiente conjunto analítico:

- salinidad, incluyendo pH; CE; aniones solubles (sulfato, cloruro, carbonato, bicarbonato); cationes solubles (calcio, magnesio, potasio, sodio); y cálculo de la relación de adsorción de sodio² y sodio porcentual³,
- sólidos sedimentables, totales, suspendidos y disueltos,

² RAS= Raíz cuadrada de la división de la concentración iónica de Na dividida por la suma de la mitad de las concentraciones iónicas de Ca y Mg, todo expresado en meq/litro

³ Sodio porcentual: $Na/(Ca+Mg+K+Na)$, expresados en meq/litro y multiplicado por 100

- contenido de materia orgánica,
- nitrógeno, tanto total como nítrico y amoniacal,
- fósforo, potasio y sodio, en sus contenidos totales, y
- coliformes, fecales y totales, y salmonellas⁴.

Los métodos utilizados en el laboratorio para este tipo de análisis, fundamentalmente corresponden a los métodos de análisis recomendados por Sadzawka et al. (2000). Este conjunto de parámetros analíticos fue determinado, en base a la aplicación de los siguientes criterios:

- parámetros reconocidos por la Norma Oficial Chilena N° 1.333 (INN, 1978), en su capítulo sobre calidad de aguas para riego,
- parámetros asociados al aporte de nutrientes para las plantas,
- parámetros asociados al riesgo de lixiviación de formas solubles de nitrógeno, y
- parámetros asociados al riesgo de dispersión de microorganismos patógenos.

2.1.2. Muestreo de purines y efluentes

Antes de iniciar el proceso de muestreo de residuos líquidos, se decidió estandarizar el muestreo de forma tal que las muestras fuesen comparables entre sí. Partiendo de la base que los planteles podrían contar con sistemas de manejo y aplicación a los suelos, diferentes, se decidió que las muestras debían ser colectadas en un punto donde los líquidos son llevados a riego. De acuerdo a las condiciones de cada plantel, este punto de muestreo correspondió a la salida de la prensa separadora o a la salida de la laguna de tratamiento.

Antes de proceder a coleccionar la muestra, en el caso de planteles que contaban con estanques de resuspensión de sólidos, se pidió a los encargados hacerlos funcionar por un lapso de 10 minutos, a lo menos, de manera de hacer más homogénea la muestra; este lapso de tiempo es siempre necesario para garantizar una mejor representatividad de la muestra colectada. Por cada punto, se tomaron dos o tres

⁴ *Análisis efectuados en el Laboratorio de SGS-Ecocare Ltda.*

muestras (en envases de 1 litro, de material plástico, boca ancha, tapa rosca), debido a la necesidad de derivar algunas muestras a laboratorios externos a INIA-La Platina, para análisis microbiológicos.

En forma paralela, se recogió información de cada plantel, sobre el tipo de manejo y tratamiento de residuos, además de otros antecedentes que fuesen de interés para el proyecto, que permitieron mantener la vinculación tecnología-tipo de residuo producido-tipo de residuo aplicado al suelo.

Una vez colectadas, las muestras se transportaron al laboratorio, de forma tal de evitar una alteración significativa de éstas, en el período de tiempo que corre entre colecta e inicio del proceso analítico. Para ello, las muestras fueron llevadas lo más rápido posible a la unidad analítica, siempre mantenidas en frío (generalmente, para condiciones de campo, es suficiente con una hielera de plumavit con riñones de congelamiento o hielo).

2.1.3. Manejo de residuos en planteles visitados

En una gran mayoría de los planteles muestreados, se cuenta con un sistema de tratamiento similar de los residuos líquidos, donde los purines son colectados en estanques que, aparte de acumular los purines, los agita mecánicamente y resuspende los sólidos. Luego, se procede a la separación física de las fracciones líquida y sólida, usando una bomba succionadora y un separador gravitacional. La fracción líquida, que deja de llamarse purín para pasar a denominarse efluente, es dispuesta a través del riego de distintas especies, entre las que se cuentan árboles forestales y frutales. Cabe señalar que el efluente es aplicado al suelo, diluido con agua de canal, en una relación aproximada de volumen 1:1, lo que es necesario para diluir los altos contenidos de sales solubles.

La fracción sólida, generada por la prensa, es llamada guano y es cargada en colosos, para ser aplicada a los suelos de los predios. En algunos casos, se está utilizando como parte de la dieta de vacunos; en este caso, puede ser mezclado con melaza, silo o maíz.

Las diferencias mayores entre los planteles radican en el modo en que estos efluentes son conducidos a los sitios de aplicación: algunos planteles cuentan con sistemas de conducción de efluentes con tuberías de PVC, en tanto que, en otros casos, los efluentes son conducidos por acequias de regadío. En otros casos, los efluentes son depositados en lagunas de almacenamiento, donde son acumulados hasta que puedan ser dispuestos en los suelos; generalmente, se espera la temporada de siembra, donde las demandas de nutrientes son mayores y, por ende, los grandes volúmenes acumulados puedan ser completamente aplicados a los suelos. Las lagunas cuentan con sistemas de inyección de aire, para minimizar la formación de compuestos reducidos como los sulfuros, que son de mal olor.

IV. RESULTADOS

1. Análisis de purines

Como primera información requerida para abordar el problema de la búsqueda de aplicaciones sustentables de purines o efluentes a los suelos, se debe contar con una caracterización de las variables físicas, químicas y biológicas de los residuos líquidos que los planteles porcinos nacionales están generando.

Los resultados de las muestras colectadas se pueden analizar bajo distintos criterios. En este punto, se hizo un análisis desde el punto de vista de la norma chilena de aguas para riego (NCh-1333, Of. 78), ya que estos líquidos son aplicados a los suelos tanto como mejoradores de suelos, dado su alto contenido de materia orgánica, y como fertilizantes, por su alta carga de nutrientes, especialmente nitrógeno.

La información analítica emergente del muestreo de purines se analiza en forma agregada para muestras de purines, esto es, colectadas antes de cualquier proceso de separación de fases, y efluentes, esto es, colectadas luego de la separación de fases, para cada una de las campañas de muestreo.

1.1. Variación del pH en purines y efluentes proveniente de los planteles porcinos

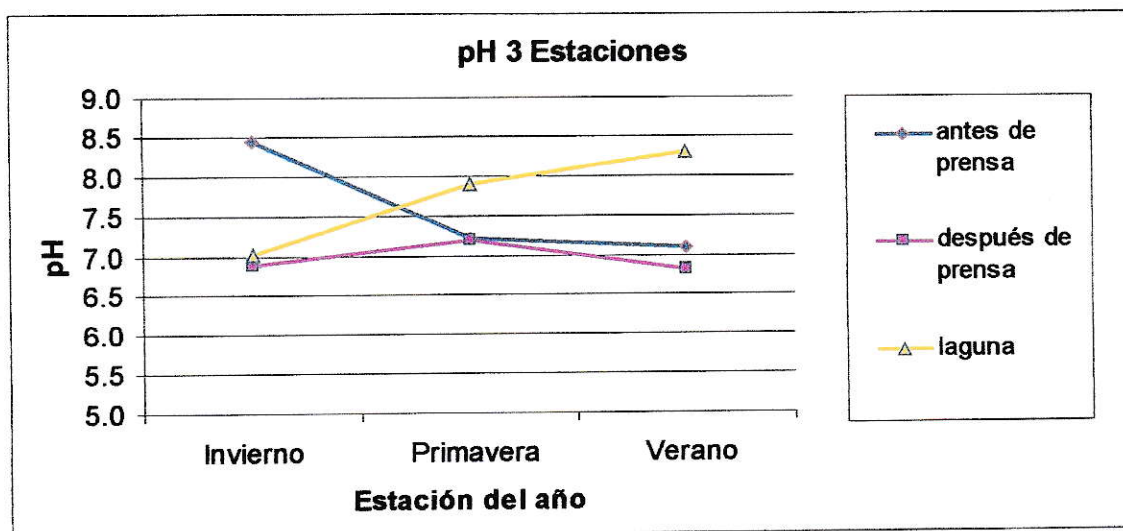
Según la Asociación Colombiana de Porcicultores (ACP, 1997), el pH de los purines o efluentes porcinos varía entre 6 y 8 y mientras más frescos son estos, más neutro será su valor. Además, dice que la alcalinidad y conductividad son propiedades más del agua de lavado y de bebida, que de la excreta propiamente tal.

La **Tabla 14** muestra la variación encontrada para el pH, en tres temporadas de muestreo. Esta información ha sido graficada (**Figura 6**), para una más rápida comprensión.

Tabla 14. Variación del pH en purines y efluentes de planteles porcinos

TIPO DE MUESTRA		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio ponderado
Purines	Antes de prensa	8,5	7,2	7,1	7,4
	Número muestras	2	9	1	
Efluentes	Después de prensa	6,9	7,2	6,8	7,0
	Número muestras	8	10	8	
Efluentes	Laguna	7,0	7,9	8,3	7,4
	Número muestras	7	3	1	

Figura 6. Variación del pH en purines y efluentes proveniente de los planteles porcinos muestreados



De acuerdo a la **Tabla 14**, se puede ver que los valores de pH en los residuos líquidos presentaron en promedio, algunas diferencias en función de la carga de residuos sólidos remanentes, aunque no es posible asignar a estas variaciones alguna

tendencia o causal específica. Así, si bien el valor promedio de pH en los efluentes fue 0,1 a 0,3 unidades de pH menor que en las muestras de purines, con toda la carga de sólidos suspendidos y sedimentables, no es posible asignar esta variación a la remoción de los sólidos, ya que puede explicarse por oscilaciones analíticas normales. En la **figura 6**, se observa que el pH se mantuvo relativamente constante a lo largo de las distintas estaciones del año.

De hecho, al efectuar el análisis por período de muestreo, se puede ver que sólo en el primer muestreo, el pH de las muestras de purines fue mayor que el de los efluentes; en los restantes muestreos, ello no ocurrió.

Debe tenerse presente que el número de muestras analizadas, por tipo y por muestreo, no fue el mismo, además que no se trata de muestras provenientes de un mismo plantel, necesariamente, lo que dificulta la obtención de conclusiones definitivas, más aún si se debe considerar que los procesos de manejo de animales pudieran estar en fases diferentes.

En general, se puede concluir que el pH se mantuvo, en todo momento, dentro del umbral establecido por la NCh-1333 Of. 78, en su capítulo "Aguas para riego", que va desde 5,5 a 9,0. Por tanto, desde esta perspectiva, tanto los purines como los efluentes no tendrían restricciones para ser usados como fuente de riego.

1.2. Variación de la Conductividad Eléctrica en purines y efluentes de planteles porcinos

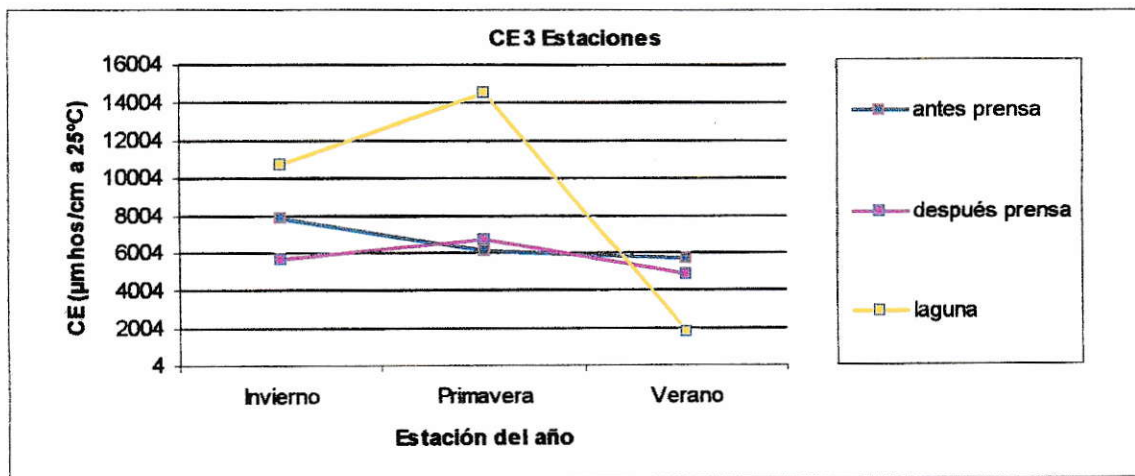
La conductividad eléctrica es uno de los parámetros de mayor importancia, para definir tanto la aptitud para riego de un cuerpo de agua como para estimar los riesgos ambientales de su uso. Específicamente, en los residuos líquidos de cualquier plantel ganadero, la conductividad eléctrica estará fuertemente influida por la presencia de excretas, líquidas y sólidas, residuos de detergentes y de concentrados alimenticios, además de los volúmenes de agua aplicados para el lavado de los corrales; en este último caso, se debe plantear que, mientras mas agua se utilice, mayor será la dilución

que ocurra en los purines y efluentes y, consecuentemente, menor será la conductividad eléctrica. La **Tabla 15** muestra la variación de la conductividad eléctrica, en purines y efluentes, en tres temporadas de muestreo.

Tabla 15. Variación de la Conductividad Eléctrica ($\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C) en purines y efluentes provenientes de planteles porcinos

TIPO DE MUESTRA		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	antes de prensa	7900	6069	5660	6340
	número muestras	2	9	1	
Efluentes	después de prensa	5673	6773	4815	5832
	número muestras	8	10	8	
Efluentes	laguna	10699	14570	1810	10926
	número muestras	8	3	1	

Figura 7. Variación de la Conductividad Eléctrica de purines y efluentes proveniente de los planteles porcinos muestreados



Como muestra la **Tabla 15**, el valor promedio de la Conductividad Eléctrica fue sensiblemente mayor en las muestras tomadas como efluentes de lagunas de estabilización, no habiendo una gran diferencia entre las muestras de efluentes tomadas después de las prensas y las de purines tomadas antes de ellas. Se trata de

valores frecuentes, para este tipo de muestras, si se les compara con valores encontrados en la literatura (Orozco, 1984).

Estacionalmente se encontró una gran variación en los valores de CE para los efluentes de lagunas (**figura 7**), lo que necesariamente debe estar asociado a la alimentación de los animales, en función de las fases fisiológicas de crecimiento. En todo caso, esta hipótesis se debe tomar con precaución ya que el valor mínimo (tercer muestreo) proviene de una sola muestra, lo que no ocurrió con los otros muestreos (8 y 3 muestras, respectivamente).

No se encontró grandes diferencias entre la CE de los purines y de los efluentes de prensa, aunque hubo una ligera tendencia a que el valor promedio fuera mayor en los purines. Si se analiza la estacionalidad, puede verse que el valor de la CE no necesariamente fue mayor en las muestras de purines, comparadas con los efluentes después de prensa.

La CE mide, en forma indirecta, la carga de sustancias salinas hidrosolubles y, por tanto, es un parámetro de gran importancia para estimar el riesgo de efectos fitotóxicos por sales en cultivos, y de salinización de suelos. Por ello, la NCh-1333 Of. 78, capítulo "Aguas para riego", clasifica las aguas para riego en las siguientes categorías, según su valor CE y carga de sólidos disueltos:

CE < 750	SD ¹ < 500	Clase 1	Agua con la cual, generalmente, no se observarán efectos perjudiciales en plantas
CE 750-1500	SD 500-1000	Clase 2	Agua que puede inducir efectos perjudiciales en cultivos sensibles
CE 1500-3000	SD 1000-2000	Clase 3	Agua con la cual, generalmente, se observarán efectos perjudiciales y requieren de métodos de manejo cuidadosos
CE 3000-7500	SD 2000-5000	Clase 4	Agua que sólo puede ser usada en suelos permeables y con métodos cuidadosos de manejo
CE > 7500	SD > 5000		Agua no apta para riego

SD¹: sólidos disueltos

De acuerdo a estos criterios cuantitativos, prácticamente la totalidad de las muestras analizadas cae en la clase de "Aguas no aptas para riego"; sólo, unas pocas muestras

caen en la Clase 4 y una muestra, lo hizo en la Clase 3. En general, se trata de muestras de agua con una alta carga de electrolitos solubles, lo que hace que su aplicación en forma riego pueda ocurrir, siempre que se consideren criterios de dilución, a objeto de minimizar o eliminar sus potenciales riesgo fitotóxicos y/o de salinización de suelos.

Se debe enfatizar, en todo caso, que la práctica habitual para aplicar los purines o efluentes a los suelos es diluirlos con una fuente de agua de riego normal, que puede ser agua de canal o de pozo, además se evita aplicarlos en momentos en que las plantas están en estados juveniles de crecimiento. Ello refleja la preocupación de los productores porcinos, ya que están conscientes del riesgo involucrado por los residuos líquidos porcinos y tienden a hacer un uso responsable de ellos.

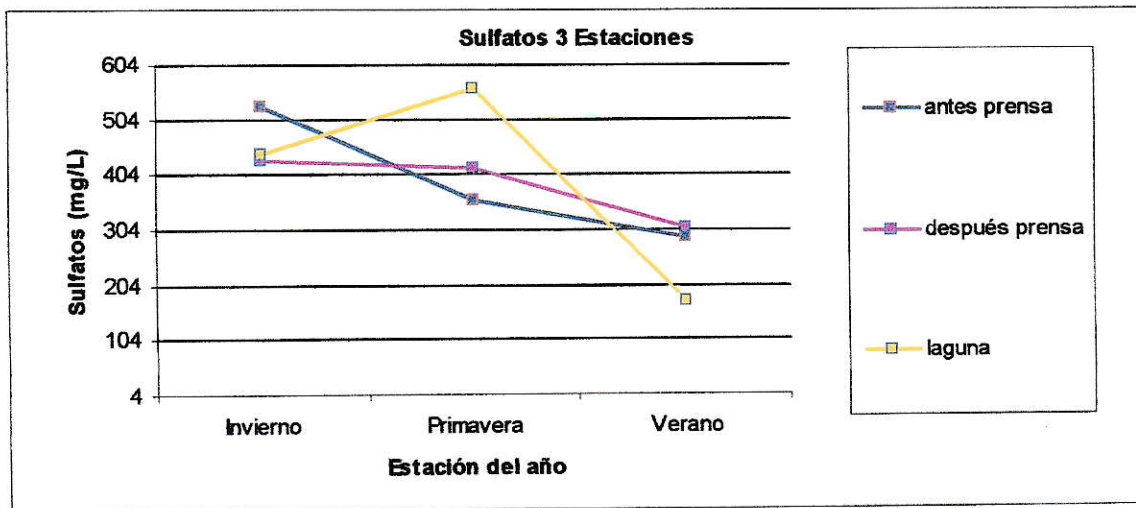
1.3. Variación del contenido Sulfatos en purines y efluentes provenientes de planteles porcinos

Los contenidos de sulfatos son, ciertamente, un parámetro analítico de gran importancia por cuanto corresponde al anión de mayor concentración en aguas naturales y que, por tanto, explica en mayor porcentaje el valor de la CE. Se trata de un anión no fitotóxico específico, esto es, que no induce efectos fitotóxicos y su impacto sobre las plantas hay que verla en función de su influencia en la CE. La **Tabla 16** muestra la variación promedio en el contenido de sulfatos, en tres temporadas de muestreo.

Tabla 16. Variación del contenido de Sulfatos (mg/L) en purines y efluentes provenientes de planteles porcinos

TIPO DE MUESTRA		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	Antes de prensa	528	358	288	368
	Número muestras	1	8	1	
Efluentes	Después de prensa	431	415	308	390
	Número muestras	9	11	8	
Efluentes	Laguna	443	560	173	450
	Número muestras	8	3	1	

Figura 8. Variación del contenido de Sulfatos en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados



Como se puede ver en la **Tabla 16**, los contenidos promedios de sulfato fluctúan entre 173 mg/L (contenido de una muestra de efluente de laguna) y 560 mg/L (contenido promedio de tres muestras de efluentes de laguna). La gran mayoría de los contenidos supera el umbral de contenido máximo, reconocido por la Norma Chilena 1333, para aguas de riego, que es de 250 mg/L. Esta es otra razón por la cual los purines o efluentes no pueden ser aplicados en riego, en forma directa sin dilución previa.

En general, los valores de contenido de sulfato tendieron a disminuir con las temporadas de muestreo (**figura 8**), lo que podría ser lógico considerando que el muestreo 1 se hizo en invierno, pero antes de la temporada de lluvias, y el último se hizo en primavera, luego de un invierno relativamente lluvioso.

También, fue posible apreciar una mayor concentración de sulfato en las muestras de efluentes de lagunas, lo que podría explicarse por el hecho de tratarse de volúmenes de líquidos que se mantienen en las lagunas por períodos relativamente prolongados y expuestos a la evaporación atmosférica.

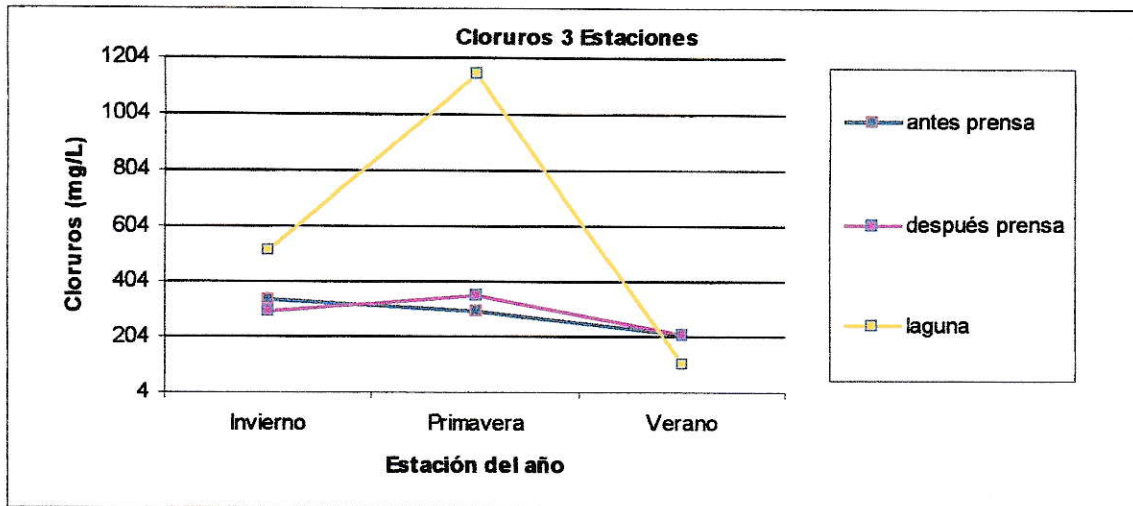
1.4. Variación del contenido Cloruros (mg/L) en purines y efluentes proveniente de planteles porcinos

En general, los contenidos de sales en los alimentos son elevados, lo que se ve reflejado en las cantidades de cloruros –y otras sales- encontrados en los purines o efluentes analizados. En la **Tabla 17** se muestra la variación en el contenido de cloruros, para cuatro planteles muestreados y analizados. Además, se han resumido estos datos en la **Figura 9**, para las tres temporadas de muestreo.

Tabla 17. Variación del contenido Cloruros (mg/L) en purines y efluentes provenientes de planteles porcinos

TIPO DE MUESTRA		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	antes de prensa	343	294	213	291
	número muestras	1	8	1	
Efluentes	después de prensa	299	357	209	296
	número muestras	9	11	8	
Efluentes	laguna	520	1145	102	641
	número muestras	8	3	1	

Figura 9. Variación del contenido Cloruros en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados



Como se muestran en la **Tabla 17**, los valores promedios de cloruros fluctúan entre 102 mg/L y 1.145 mg/L, ambos en efluentes de lagunas, aunque en el primer caso, se trata de una sola muestra y en el segundo, promedio de tres muestras. Al igual que para los sulfatos, el contenido de cloruro se presentó, en casi todos los casos, por encima del umbral de tolerancia definido por la Norma Oficial 1333, para aguas de riego, que es de 200 mg/L.

Al igual que el sulfato, el cloruro participa en condicionar la CE pero, a diferencia de éste, se trata de un anión tóxico específico para las plantas. Por lo tanto, es de mucha importancia regular sus contenidos, cuando los efluentes y purines son utilizados para riego, y así controlar que el umbral de tolerancia no sea excedido.

En general, se puede observar que los contenidos mayores están asociados a los efluentes de las lagunas de estabilización, lo que se puede explicar por el hecho de ser agua estacionada por períodos de varios meses y expuesta a la evaporación atmosférica, lo que genera un proceso de pérdida de dilución.

En la **figura 9**, se puede ver que no hubo variación estacional para las muestras analizadas exceptuando el muestreo de primavera para los efluentes de laguna, lo que se debe seguramente a aplicaciones de sal a la dieta de los animales.

1.5. Variación del contenido de nitrógeno en purines y efluentes proveniente de planteles porcinos

El nitrógeno es el elemento de mayor importancia de ser determinado en los residuos líquidos de todo plantel de crianza intensiva de animales, debido principalmente a las siguientes razones:

- Es el elemento que las plantas requieren en mayor cantidad, por lo que su contenido en los residuos condiciona su valor como fertilizante, y
- Es un elemento que, en forma mineral, tiende a mantenerse móvil en la solución suelo y, por tanto, abierto a ser lavado del perfil de suelo por el agua de drenaje.

Debido a esta segunda característica, el nitrógeno es un factor de alto riesgo ambiental, por la facilidad con que puede ser removido de los suelos y ser transportado hasta las aguas subterráneas, induciendo un proceso de pérdida de opciones de uso de estos cuerpos acuáticos subterráneos, como la potabilización.

1.5.1. Nitrógeno nítrico

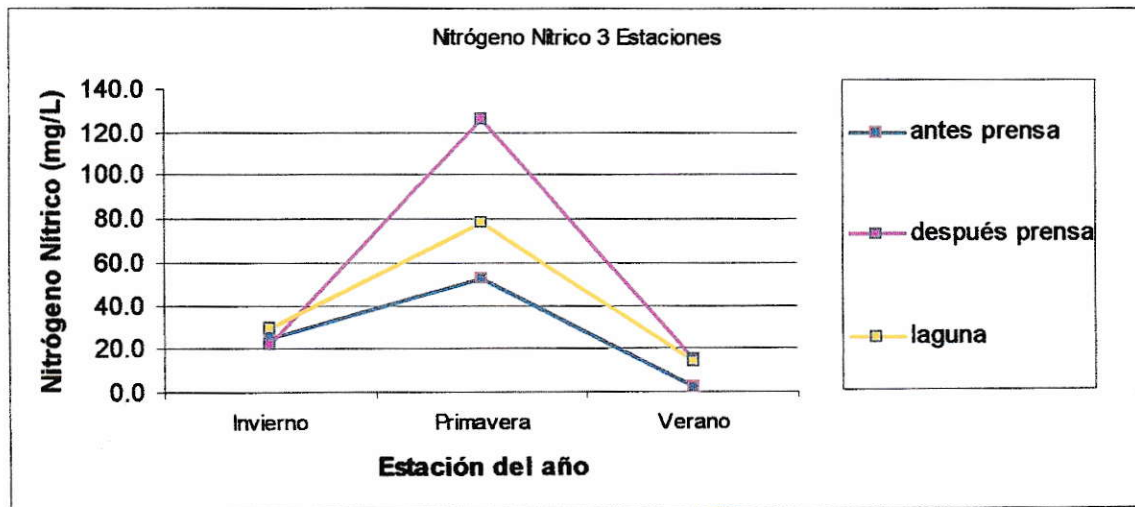
Los contenidos de nitrógeno nítrico se pueden ver incrementados cuando hay una gran cantidad de nitrógeno amoniacal residual bajo condiciones de aerobiosis. Esto trae como consecuencia un exceso de nitrógeno disponible para los cultivos, que en presencia de elevadas precipitaciones y suelos permeables hace que este lixivie contaminando las napas subterráneas.

La **Tabla 18** muestra la variación en el contenido de nitrógeno nítrico, para tres temporadas de muestreo.

Tabla 18. Variación del contenido Nitrógeno Nitrico (mg/L) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	antes de prensa	25,2	52,7	1,9	44,0
	número muestras	1	7	1	
Efluente	después de prensa	22,0	126,2	14,7	60,9
	número muestras	9	11	8	
Efluente	laguna	29,5	78,0	13,7	40,3
	número muestras	8	3	1	

Figura 10. Variación del contenido Nitrógeno Nitrico en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados



Antes que todo, se debe enfatizar que el contenido de nitratos no se encuentra regulado por la Norma Oficial 1333, por tanto es un anión para el cuál no existe un contenido máximo permitido para aguas de riego.

Como muestra la **Tabla 18**, lo primero que llama la atención es la alta variabilidad en los contenidos de nitrógeno en forma de nitrato, lo cuál no puede sorprender dada la alta sensibilidad de éste a las condiciones de su entorno, como por ejemplo,

condiciones de oxido-reducción y presencia bacteriana. El rango determinado de valores promedios de nitrógeno nítrico fue entre 1,9 y 126,2 mg N-nitrato/L.

En la **figura 10**, se puede ver que estacionalmente, las muestras pertenecientes al segundo muestreo (de primavera) presentaron los mayores contenidos de nitrógeno nítrico, lo que tendría que estar vinculado a condiciones de alimentación de los cerdos, por una parte, y de aerobiosis del residuo líquido, por la otra.

Independientemente de las consideraciones planteadas, queda en evidencia que los residuos líquidos de planteles porcinos son pobres en este anión, lo que les confiere un bajo valor como fertilizante, al mismo tiempo que un bajo riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

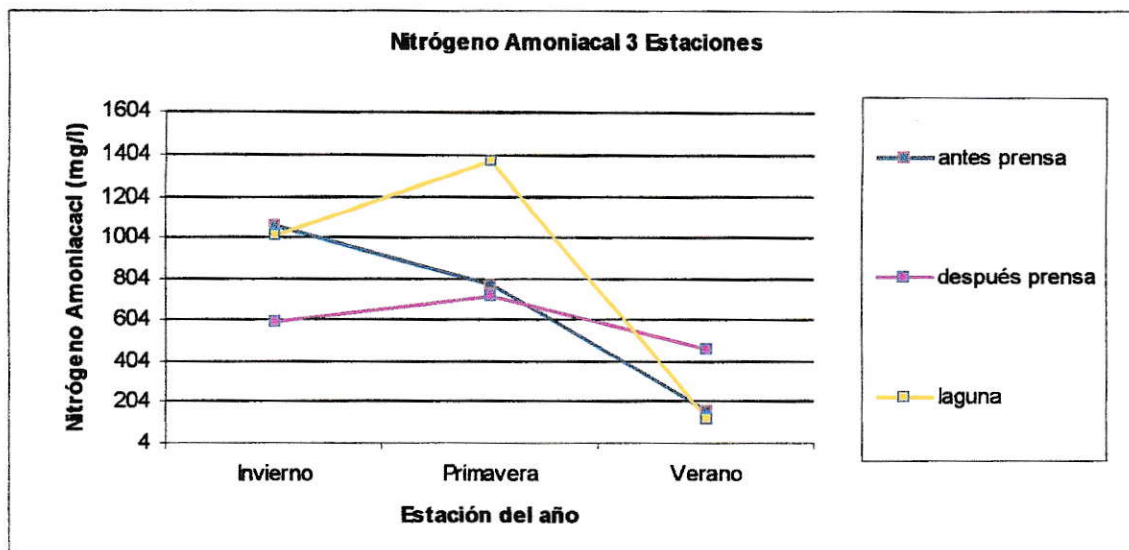
1.5.2. Nitrógeno amoniacal

Otro de los problemas de los purines o efluentes debido a su alto contenido de nitrógeno amoniacal, es que, al ser aplicado crudo, presenta problemas de fitotoxicidad, lo que obliga a que este deba ser diluido. La **Tabla 19** muestra la variación en el contenido de nitrógeno amoniacal, para tres temporadas de muestreo.

Tabla 19. Variación del contenido Nitrógeno Amoniacal (mg/L) en purines y efluentes provenientes de planteles porcinos

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	antes de prensa	1065	778	155	740
	número muestras	1	7	1	
Efluentes	después de prensa	592	720	454	603
	número muestras	9	11	8	
Efluentes	Laguna	1012	1373	116	1028
	número muestras	8	3	1	

Figura 11. Variación del contenido Nitrógeno Amoniaca en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados



Los resultados del análisis (Tabla 19) indican que la concentración de nitrógeno, en forma amoniaca, es abundante, con valores que normalmente exceden los 1.000 mg/L, esto es, un 0,1% en concentración p/v. Los resultados, también, indican que los efluentes después de prensa presentaron concentraciones menores de este catión, debido posiblemente a la aireación inducida por el uso de la prensa. Los mayores contenidos en los purines y efluentes de lagunas se puede explicar, por una mayor condición de reducción en ambos casos; en el caso de las lagunas, no existen procesos de aireación, por lo que el estancamiento de las aguas favorece la anaerobiosis del sistema.

Los valores para nitrógeno amoniaca fluctúan entre 116 y 1373 mg/L. Lo mismo que el nitrógeno nítrico, el amoniaca no se encuentra regulado por la Norma Oficial 1333, en su capítulo de aguas para riego.

En la figura 11, las muestras pertenecientes al segundo muestreo (primavera) presentaron los mayores contenidos de nitrógeno amoniaca, excepto para los purines (antes de prensa), lo que coincide con los contenidos de nitrógeno nítrico.

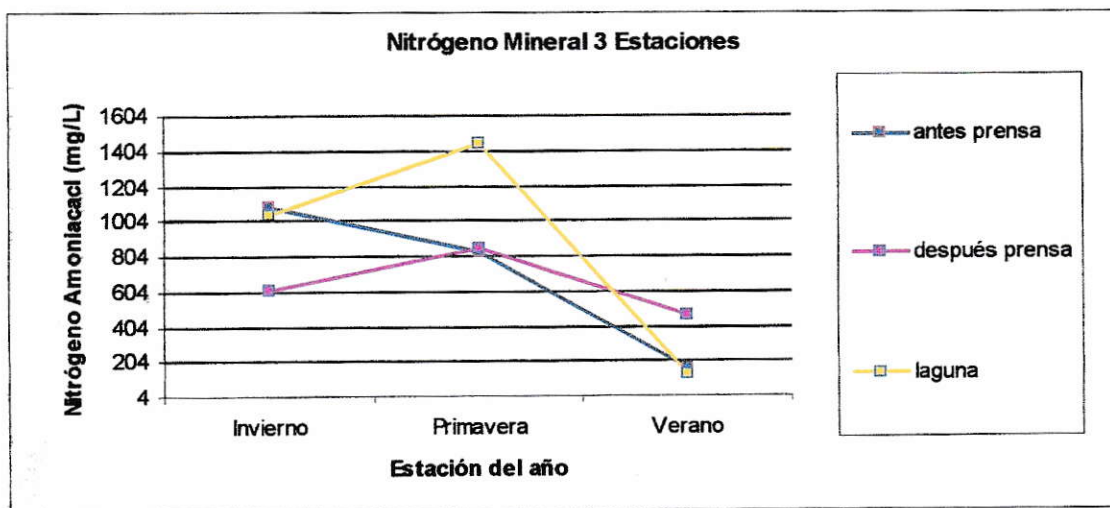
1.5.3. Nitrógeno mineral

El nitrógeno mineral corresponde a la suma de nitrógeno amoniacal y nítrico, que es la forma en que los cultivos lo incorporan para su crecimiento. Estas formas de nitrógeno son aportados al suelo por la mineralización del nitrógeno orgánico presente en el suelo y por las aplicaciones de fertilizantes. La **Tabla 20** muestra la variación en el contenido de nitrógeno mineral.

Tabla 20. Variación del contenido Nitrógeno mineral (mg/L) en purines y efluentes provenientes de plantales porcinos

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	antes de prensa	1090	830	157	784
	número muestras	1	7	1	
Efluentes	después de prensa	614	846	469	664
	número muestras	9	11	8	
Efluentes	laguna	1042	1451	130	1068
	número muestras	8	3	1	

Figura 12. Variación del contenido Nitrógeno Mineral en purines y efluentes provenientes de los plantales porcinos muestreados



La **Tabla 20**, muestra que el contenido de nitrógeno mineral, no presenta una tendencia clara, debido seguramente a la alta sensibilidad de éste a las condiciones que lo rodean, como por ejemplo, el ambiente oxidante o reductor y la presencia de bacterias encargadas de transformar estas formas de nitrógeno en otras inmóviles o volátiles. Aún así los mayores contenidos de nitrógeno mineral fueron encontrados en los efluentes de laguna, seguido por los purines.

Se cumple para los tres tipos de residuos líquidos, que el menor contenido de nitrógeno mineral se presenta en la estación veraniega (**figura 11**), lo que se debe muy posiblemente a la pérdida de algunas formas volátiles de nitrógeno (NH_3 , N_2). Sin embargo, el mínimo número de muestras analizado, en algunos casos, dificulta la obtención de tendencias claras y definitivas.

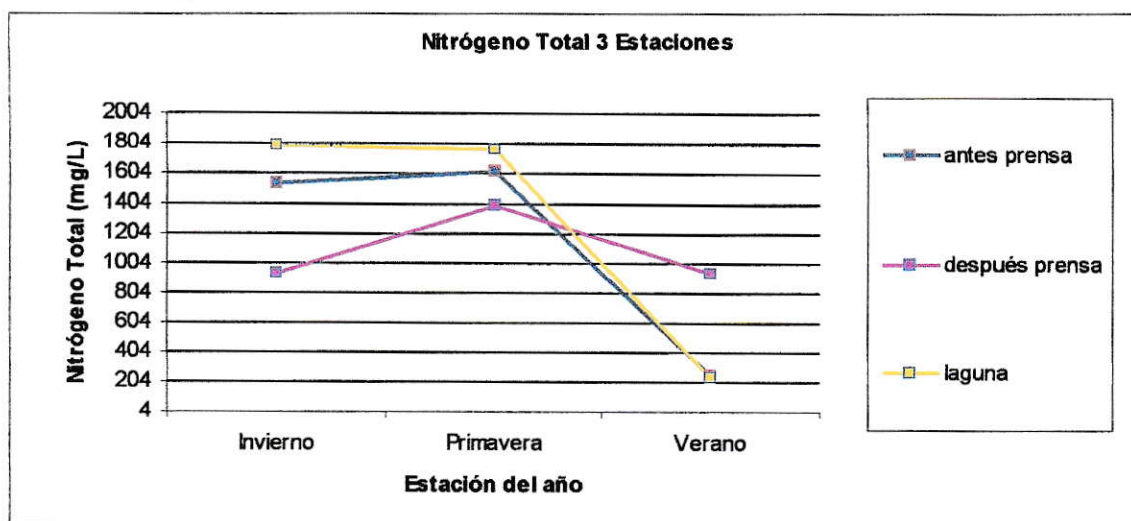
1.5.4. Nitrógeno total

La **Tabla 21** muestra la variación en el contenido de nitrógeno total, para los planteles muestreados y analizados. Además, se han resumido estos datos en la **Figura 14** que ayuda a ver en forma mas clara la variación de este parámetro a lo largo del año.

Tabla 21. Variación del contenido Nitrógeno Total (mg/L) en purines y efluentes provenientes de planteles porcinos

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	Antes de prensa	1538	1619	240	1456
	Número muestras	1	7	1	
Efluentes	Después de prensa	942	1387	943	1117
	Número muestras	9	11	8	
Efluentes	Laguna	1787	1765	224	1652
	Número muestras	8	3	1	

Figura 13. Variación del contenido Nitrógeno Total en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados



Como se puede observar en la **Tabla 21**, la fracción amoniacal es la más importante de todas las fracciones nitrogenadas, ya que equivale prácticamente a las 2/3 del nitrógeno total. Los valores para nitrógeno total fluctúan entre 224 y 1787 mg/L.

En general, se aprecia que los mayores contenidos de nitrógeno total se encuentran en los efluentes de lagunas y en los purines en la estación primaveral (**figura 13**), lo que es coincidente con las mayores concentraciones de nitrógeno amoniacal y condiciones de anaerobiosis. Sin embargo, el mínimo número de muestras analizado, en algunos casos, dificulta la obtención de tendencias claras y definitivas.

1.6. Variación del contenido de Fósforo Total en purines y efluentes de planteles porcinos

El fósforo es un elemento muy importante, tanto desde el punto de vista de nutrición vegetal (es el segundo elemento más abundante en los tejidos vegetales, después del nitrógeno) como del ambiental, ya que, en su forma de fosfato, puede inducir

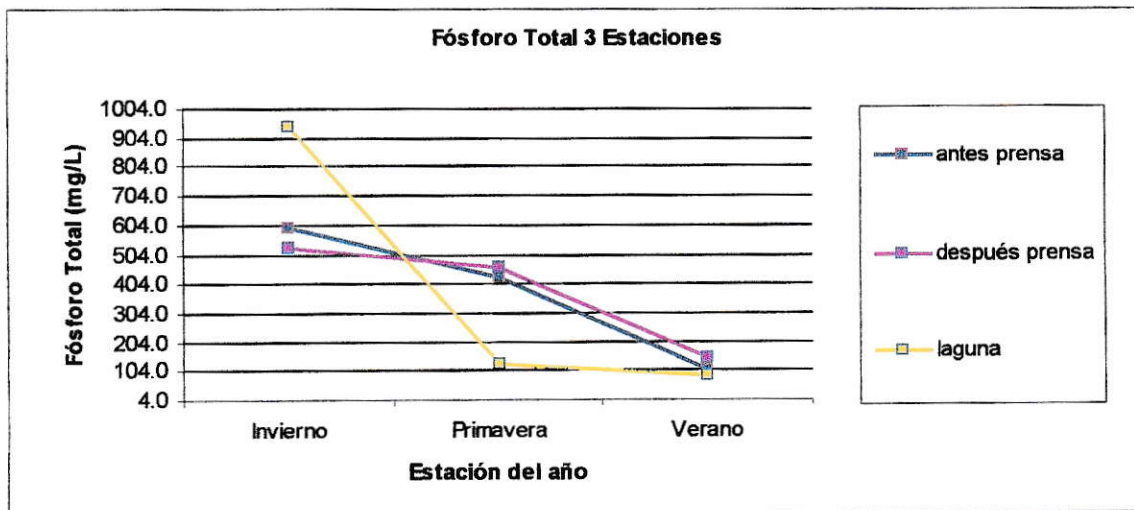
problemas de eutrofización de aguas superficiales, cuando se encuentra en elevadas concentraciones.

La **Tabla 22** muestra la variación en el contenido de fósforo total, para tres temporadas de muestreo. Estos datos están graficados en la **Figura 14**.

Tabla 22. Variación del contenido de Fósforo Total (mg/L) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	Antes de prensa	595	425	104	408,4
	Número muestras	1	7	1	
Efluentes	Después de prensa	527	457	148	368,5
	Número muestras	5	11	8	
Efluentes	Laguna	944	123	84	667,2
	Número muestras	8	3	1	

Figura 14. Variación del contenido de Fósforo Total en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos



Los datos de la **Tabla 22**, muestra que, en general, los niveles de fósforo tuvieron una tendencia a la disminución desde la estación invernal hasta la estación veraniega (**figura 14**). Esta tendencia pareciera darse en todos los tipos de residuos: purines y efluentes.

Si bien es cierto que, los efluentes de laguna también presentaron este comportamiento, la caída fue mucho más abrupta desde la estación de invierno hasta la estación de verano, para luego mantenerse relativamente constante al llegar el verano, lo que se debe seguramente a un cambio en el régimen de alimentación de los animales.

Los valores menores se presentan en verano, para todos los planteles, debido al uso de un mayor volumen de agua de lavado en los corrales, lo que causa una mayor dilución de los residuos líquidos, esto es de las muestras de trabajo.

Es preciso señalar que, si fueran vertidos directamente a cauces naturales o cuerpos represados de aguas, sin ser diluidos, se podría desencadenar un problema de eutrofización que es, generalmente, de un alto costo ambiental e irreversible. Por ello, se enfatiza en lo fundamental de la responsabilidad de los productores, al disponer de estos residuos líquidos.

No obstante el impacto ambiental potencial negativo de la presencia de fosfatos en las aguas ambientales, este anión no se encuentra regulado por la Norma Oficial 1333, para aguas de riego. Este anión, a diferencia del nitrógeno mineral, no representa riesgo de contaminación por lixiviación, debido a su baja a nula movilidad en el perfil de suelo.

1.7. Variación de la DQO en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos

La DQO corresponde a la demanda química de oxígeno y mide la cantidad de oxígeno que un procedimiento químico requiere para oxidar la materia sólida presente en una

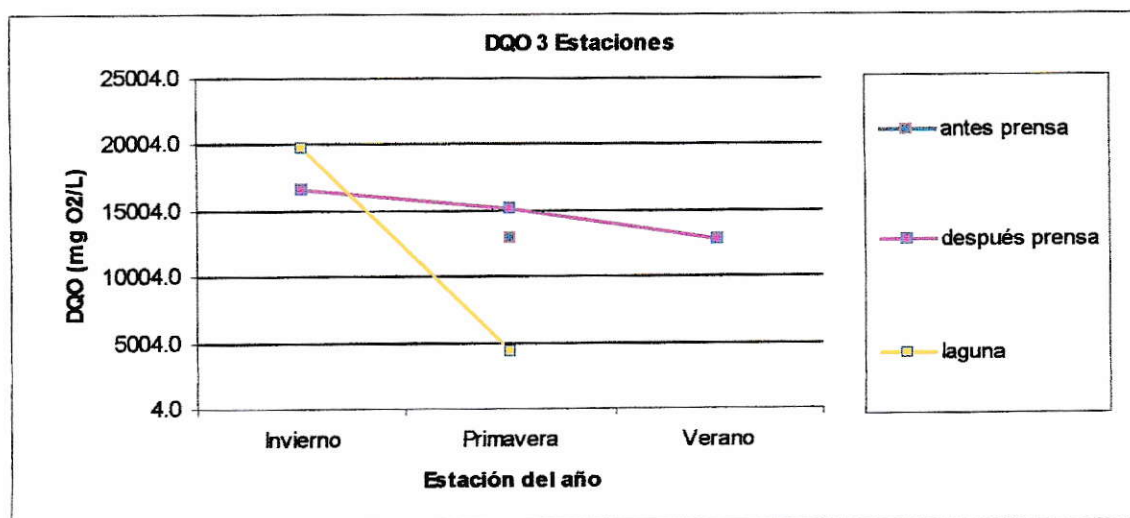
muestra cualquiera. Este término, como cantidad, incluye el dato de DBO₅ (oxígeno para oxidar la materia orgánica) más otra cantidad de oxígeno, correspondiente al requerido para oxidar la fracción no orgánica; ambas son requeridas en el tratamiento a aplicar, para procesar los purines o efluentes, según sea el caso.

La **Tabla 23** muestra la variación de la DQO, para tres temporadas de muestreo. La **Figura 15** grafica las tendencias estacionales.

Tabla 23. Variación de la DQO (mg O₂/L) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	Antes de prensa	-	12900	-	12900
	Número muestras	0	4	0	
Efluentes	Después de prensa	16585	15190	12777	15195
	Número muestras	7	10	4	
Efluentes	Laguna	19753	4363	-	17554
	Número muestras	6	1	0	

Figura 15. Variación de la DQO en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados



Básicamente, la DQO fue determinada para los efluentes después de prensa, por lo que la información para los otros residuos es claramente insuficiente. En el caso de los efluentes después de prensa, la DQO oscila, en valores promedios por muestreo, entre 16.585 y 12.777 mg O₂/L, con una tendencia decreciente del invierno al verano (**figura 15**), posiblemente por el uso de mayores volúmenes de agua para lavado de pisos en la temporada más cálida.

Se trata de valores altos, lo que refleja la existencia de contenidos orgánicos e inorgánicos. Para comparación, los valores de DBO₅ fluctúan entre 8.157 y 9.144 mg O₂/L, lo que significa que la diferencia representa la carga de oxígeno requerida para degradar las materias no orgánicas (entre 3.000 y 7.000 mg O₂/L, aproximadamente). La DQO no está normada por la Norma Oficial para aguas de riego.

1.8. Variación de la DBO₅ en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos

El diseño de sistemas de tratamiento de aguas considera este parámetro para establecer las tasas de aplicación de efluentes o purines a los suelos, para ello se calcula un índice del contenido de sólidos orgánicos presentes en los efluentes y purines ya que la DBO₅ está relacionada con el contenido de sólidos totales disueltos (TDS). La **Tabla 24** muestra la variación en la DBO₅, para las tres temporadas.

Tabla 24. Variación de la DBO₅ (mg O₂/L) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	Antes de prensa	-	8157	-	8157
	Número muestras	0	4	0	
Efluentes	Después de prensa	9644	9690	7568	9144
	Número muestras	8	10	6	
Efluentes	Laguna	10212	1216	-	8926
	Número muestras	6	1	0	

Antes que todo, debe enfatizarse que la DBO_5 no se encuentra regulada por la Norma Oficial 1333, en su capítulo para aguas de riego. Sin embargo, es un parámetro de importancia ambiental, ya que un exceso de sólidos, generalmente, conduce a la emisión de malos olores y a la presencia numerosa de vectores de enfermedades (moscas y ratones, principalmente).

1.9. Variación del contenido de Sólidos Totales en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos

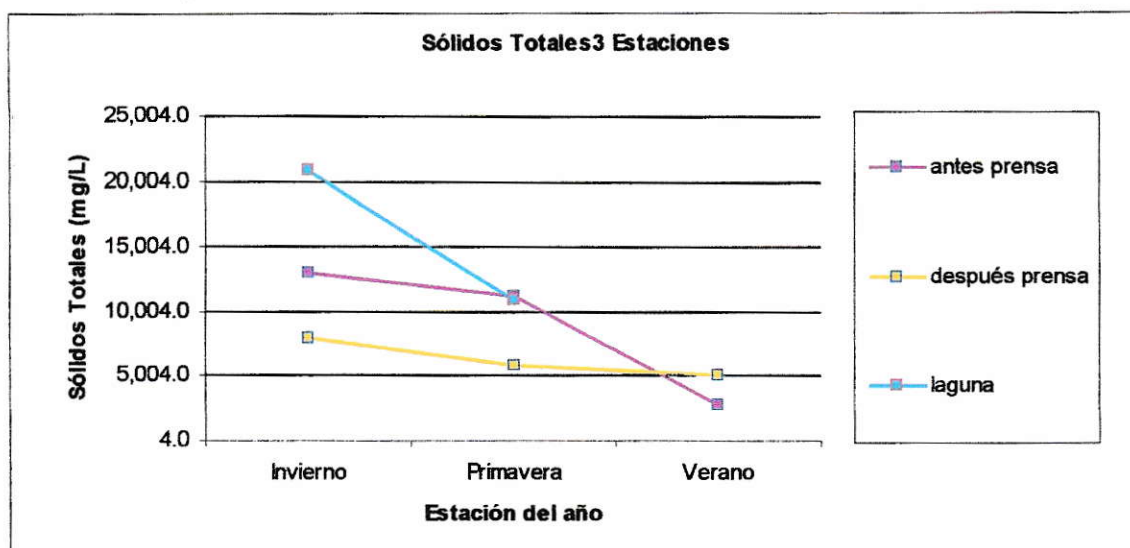
Los sólidos totales corresponden a la suma de los sólidos que se encuentran en suspensión y los que se encuentran disueltos, esta variable está en directa relación con la DBO_5 y con la DQO.

La **Tabla 25** muestra la variación en el contenido de sólidos totales, para las tres temporadas de muestreo.

Tabla 25. Variación del contenido de Sólidos Totales (mg/L) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	Antes de prensa	13097	11216	2698	10682
	Número muestras	1	6	1	
Efluentes	Después de prensa	7919	5885	5060	6072
	Número muestras	8	10	7	
Efluentes	Laguna	20837	10862	-	18843
	Número muestras	7	3	0	

Figura 16. Variación del contenido de Sólidos Totales en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados



En la **tabla 25**, se puede apreciar que los mayores contenidos de sólidos totales se encuentran en los efluentes de laguna y en los purines, lo que es bastante lógico por el hecho de que estas muestras aun no han sido pasadas por la prensa gravitacional y por ende trae una gran cantidad de sólidos disueltos y en suspensión. Por el contrario los efluentes después de prensa han sufrido una remoción de sólidos orgánicos de gran tamaño por parte de una rejilla lo que explica su menor contenido de sólidos totales.

En la **figura 17**, se puede ver que el comportamiento fue similar para los tres tipos de residuos líquidos con un valor máximo encontrado en invierno y un mínimo en el verano, lo que se debe seguramente a un cambio en el régimen de alimentación de los animales y al estado fisiológico de estos.

Otro de los problemas, que pueden causar los efluentes y purines, como consecuencia del alto contenido de sólidos, es el sellado de la superficie de los suelos, lo que impedirá la infiltración del agua hacia el interior del perfil y un adecuado intercambio gaseoso con la atmósfera circundante.

Debido a los altos contenidos de sólidos, podría hacerse necesario, además de la dilución de los purines y efluentes, el volteo mecánico de los suelos, en su capa arable, para permitir la ventilación u oxigenación del suelo, a objeto de permitir degradar más rápidamente la materia orgánica.

1.10. Variación de la RAS (Relación de Adsorción de Sodio) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos

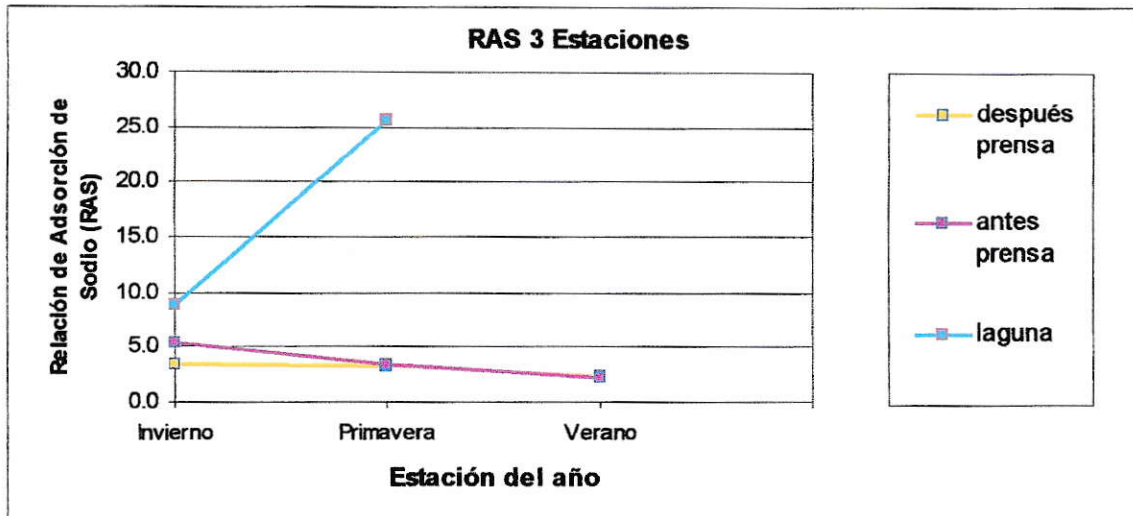
La relación de adsorción de sodio puede usarse como "índice de sodio" o "peligro de sodificación" que presenta el agua. Cuanto más alto sea este valor en un agua de riego, mayor es el riesgo de afectar negativamente las propiedades físicas del suelo. No se debe olvidar que el sodio es un eficiente dispersante de las arcillas y la materia orgánica, por lo que el riesgo de sodificación está asociado a una pérdida de estructura y espacio poroso de los suelos.

El **Tabla 26** muestra la variación de la RAS (Raíz cuadrada de la división de la concentración iónica de Na dividida por la suma de la mitad de las concentraciones iónicas de Ca y Mg), para las tres temporadas de muestreo.

Tabla 26. Variación de la RAS en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	Antes de prensa	5,4	3,4	2,1	3,3
	Número muestras	1	6	1	
Efluentes	Después de prensa	3,5	3,2	2,4	3,1
	Número muestras	8	10	7	
Efluentes	Laguna	8,8	25,6	-	8,9
	Número muestras	7	2	0	

Figura 17. Variación de la RAS en purines y efluentes provenientes de planteles porcinos



El cálculo de RAS se pudo hacer en un bajo número muestras, por lo que los resultados podrían no ser representativos de la situación real. Los valores de RAS obtenidos estuvieron mayoritariamente bajo 10, siendo relativamente constantes a lo largo del año (figura 17). Sólo, los efluentes de lagunas dieron, en un muestreo, un valor de 25,6, lo que indicaría un mayor riesgo de sodificación de los suelos. Según valores de referencia, tomados de la Agenda del Salitre (2001), se tratan mayormente de valores con bajo riesgo de sodificación, con excepción del valor de 25,6, que es alto (tabla 26).

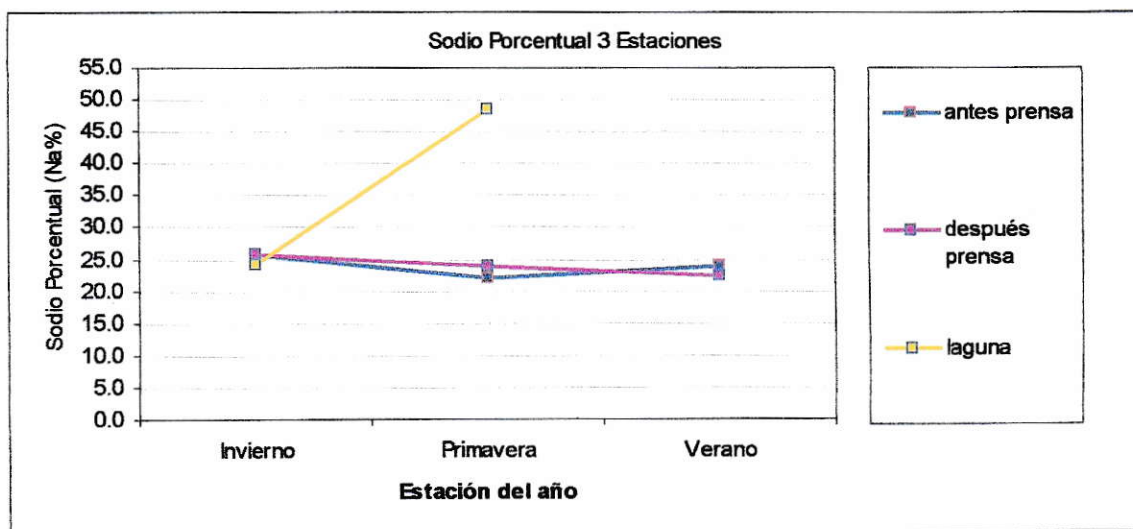
1.11. Variación del Na% en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos

La Tabla 27 muestra la variación del sodio porcentual $[(Na^+)/ (Na^+ + K^+ + Ca^+ + Mg^+)]$, para cuatro planteles muestreados y analizados. Además, se han resumido estos datos en una figura 18, que ayuda a ver en forma mas clara la variación de este parámetro a lo largo del año.

Tabla 27. Variación del Na% (Sodio Porcentual) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados

Tipo de muestra		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Promedio
Purines	Antes de prensa	25,8	21,9	24	22,7
	Número muestras	1	6	1	
Efluentes	Después de prensa	25,8	24,1	22,2	24,1
	Número muestras	8	10	7	
Efluentes	Laguna	24,1	48.6	-	29,5
	Número muestras	7	2	0	

Figura 18. Variación del Na% (Sodio Porcentual) en purines y efluentes provenientes de los planteles porcinos muestreados



El sodio porcentual es un parámetro reconocido por la Norma Oficial 1333, para aguas de riego, con un valor umbral de 35%. En general, los valores medidos fueron inferiores a ese umbral, con la excepción de las lagunas, lo que es coincidente con el alto valor de RAS, ya discutido anteriormente.

Por otra parte, en la **figura 18** se muestra que el Na% no tuvo variación estacional, exceptuando el muestreo de primavera para los efluentes de laguna, lo que se debe

seguramente a la adición de sal a la dieta de los cerdos y que coincide con el mayor contenido de cloruros para el mismo muestreo.

V. CONCLUSIONES

1. Revisión Bibliográfica

- La información recopilada en la revisión bibliográfica deja de manifiesto que, el uso de los desechos de la industria porcina (purines, efluentes y guanos) que se hace en Chile, es similar al que se utiliza en el resto del mundo.
- La diferencia fundamental, entre el tratamiento nacional y en el extranjero, radica en que en los países desarrollados, hay un seguimiento analítico posterior a la aplicación de estos residuos a los suelos, lo que en Chile recién comienza a realizarse gracias a proyectos de investigación como el FONSAG.
- La experiencia mundial indica que el uso de los purines y efluentes puede llegar a hacerse sustentable en el tiempo (mediano y largo plazo), siempre que se apliquen de acuerdo a tasas diferentes, según la especie a la que sean aplicados, a la composición del residuo y a las condiciones edafoclimáticas del lugar.
- De acuerdo con lo informado en la literatura, los principales efectos positivos de la aplicación de estos residuos a los suelos son el aporte de materia orgánica, lo que mejora sus propiedades físicas, y el aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo, principalmente) necesarios para el crecimiento de las plantas.
- La normativa chilena parece ser insuficiente, en lo que respecta a la regulación de la disposición de residuos líquidos de los planteles porcinos. Ello contrasta con países desarrollados, como España y Estados Unidos de América, donde existe una gran preocupación por el tema, lo que ha llevado a regularlos intentando prevenir los posibles efectos ambientales adversos.

- Chile se encuentra, en segundo lugar, en lo que respecta a la producción porcina, entre los países del MERCOSUR, con una porcicultura eficaz y tecnificada, lo que augura para este rubro, un importante foco de desarrollo futuro, apoyado por su realidad y la realidad internacional.
- La experiencia mundial deja en claro que la mejor opción para disponer de los desechos generados por los cerdos (purines, guanos y efluentes), es la aplicación de estos al suelo, como riego controlado, con el fin de evitar los posibles riesgos ambientales detonados por esta práctica.
- Una buena medida para la correcta aplicación de los purines y efluentes (dosis) sería la implementación de cursos o instructivos para los agricultores que hacen uso de estos residuos, como fertilizante o como suplemento alimenticio (junto con melaza y maíz) para los animales en el caso del guano.
- También, es posible señalar que existen manuales de buenas prácticas agrícolas, donde es posible acceder a soluciones para la gestión y el manejo de los desechos generados por la industria agropecuaria en general y la industria porcina en particular. Estos manuales fueron generados con datos obtenidos de extensos estudios y ya han sido implementados y probados por un largo período de tiempo con excelentes resultados en España principalmente, por lo que resulta una muy buena medida aplicar estas metodologías de estudio a la realidad nacional.

2. Análisis Purines y Efluentes

- Respecto a los análisis de los residuos líquidos, no se puede hablar de residuos "tipo", en forma general, debido a que éstos presentan grandes variaciones, tanto estacionales como espaciales. Estas variaciones son función de muchos factores tales como el estado de desarrollo de los cerdos, el tipo de manejo realizado en

cada plantel, la alimentación aportada a los cerdos, la cantidad de agua utilizada para el lavado de corrales y el clima entre muchos otros.

- En general, no fue posible apreciar tendencias claras para los parámetros analizados, lo que debe estar influenciado, muy probablemente, por el hecho de contar con un desigual número de muestras por estación, lo que hace poco reproducible estos datos.
- Conociendo las características fisicoquímicas de los purines y efluentes, es posible pensar en diseñar sistemas sustentables de aplicación de estos "subproductos ganaderos" a los suelos, como una alternativa de reciclaje de sus constituyentes (materia orgánica, nitrógeno y fósforo principalmente) de una manera económica para los productores.
- Una condición a la aplicación de purines y/o efluentes a los suelos, es su dilución en aguas de riego normales, a objeto de llevar los contenidos salinos a valores compatibles con la normativa chilena vigente. Así también con lo referente al aporte de N Y P.
- En estas conclusiones, se excluye lo referente a cargas microbiológicas patógenas, que debe recibir otro tratamiento y que no fue cubierta en este trabajo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

ACP, CORNARE Y CORANTIOQUIA. 1997. Manejo de elementos de la producción porcina que pueden causar efectos ambientales. Convenio de concertación para una producción más limpia en el sector porcícola y ambiental del Departamento de Antioquia. Medellín, Colombia.

BARAJAS, P. Y FLORES, S. 1995. Digestibilidad de cerdaza secada al sol, como sustituto de forraje en dietas practicas para rumiantes. Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa (tomado de <http://www.fao.org>).

CADAVID, L. J. 1983. Mejoramiento de la fertilidad del suelo en base a residuos de porquerizas. Suelos Ecuatoriales 13(1):82-93.

CAMACHO, M.I. 1998. Utilización de la cerdaza en la alimentación de novillos. Tesis, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Costa Rica (tomado de <http://www.infoagro.go.cr/tecnologia/CERDO/memoriacerd.html>).

CENSO NACIONAL AGROPECUARIO. 1997. Instituto Nacional de Estadísticas, INE.

CERDA, P. 1990. Caracterización química y nutricional de los desechos fecales porcinos. Tesis Medicina Veterinaria. Universidad de Chile.

CUEVAS, I. 2001. Producción Porcina. Agenda del Salitre. Sociedad Química y Minera de Chile S.A. Undécima edición.

DÍAZ, I. Y EGAÑA, J. 1996. Caracterización y utilización de residuos frescos porcinos como recurso alimenticio para rumiantes. Monografía Med. Veterinaria. Universidad de Chile.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, D.G.A. (GOBIERNO AUTÓNOMO DE ARAGON), 2000. Producción y gestión del Cómpost. Boletín Técnico n°88.

INIA-CRI CARILLANCA. 1992. Curso de Porcinos para extensionistas. Carillanca, Temuco. Documento interno.

EGAÑA, J.I. 1988. Uso de las fecas de cerdo como recurso alimenticio para rumiantes. Revista El Tattersal n°35.

GARCÍA, A. 1997. Tratamiento de Purines. Fundación Ecología y Desarrollo, España (tomado de <http://www.ecodes.org>).

GINGIS, M. 1998. Concepto sobre energías Geotérmica, eólica, solar y de Biomasa. (tomado de <http://www.mflor.mx>)

GUTIÉRREZ-VÁZQUEZ, E. 1995. El reciclaje del estiércol fresco de cerdo en la alimentación de rumiantes conduce a la producción sostenible. Facultad de ciencias Biológicas agropecuarias, Universidad de Colima, México (tomado de <http://www.ucol.mx>).

HILLARD, E. 1977. Feed from animal waste. Roma, FAO.

HENNING, A. Y G. FLACHOWSKY. 1982. Pig excrement as a new feedstuff for nutriant. Pig News and Information 3 (3): 269-274.

JARAMILLO, E. 1999. Viabilidad económica de una planta de biogás en una comunidad rural de México (tomado de http://www.umwelt.imedia.de/biogas/BG_ameri1-es.htm).

KORNEGAY ET AL. 1977. Nutrient characterization of swine fecal waste and utilization of these nutrient by swine. Journal of Animal Science 44:608-619.

OBREGÓN, J. y DOMÍNGUEZ, J. 1995. Utilización de excremento porcino secado al sol en alimentación de rumiantes domésticos en Sinaloa. Escuela de Medicina

Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Méjico (tomado de <http://www.porcicultura.com>)

OBREGÓN, J. y DOMÍNGUEZ, J. 1996. Use of mure of pig and ruminal contents in integral feed rations for fattening sheeps. Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, 1996 (tomado de <http://www.3tres3.com>).

OROZCO, H. 1983. Uso de la "porquinaza" como materia orgánica para los suelos. Bondades y Riesgos. Curso Internacional de Porcicultura. pp 1-34.

PINHEIRO MACHADO, L. C. 1982. Los Cerdos. Editorial Hemisferio Sur, Primera Edición.

PORTE E., MANTEROLA H., CERDA D., MIRA J. 1997. Comportamiento productivo y estudio de parámetros ruminales, de novillos alimentados con niveles crecientes de inclusión de fecas de cerdo en su ración. Universidad de Chile. Avances en Producción Animal, Volumen 22, Enero-Diciembre.

ROCHA, GARCÍA Y BLANCO. 1999. Utilización de excretas de cerdo procesadas con rastrojo en la alimentación ovina: una alternativa para la reducción de la contaminación y la producción pecuaria sustentable. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Sur y Universidad de Colima, Departamento de Producción Animal (tomado de <http://www.3tres3.com>)

USA-IOWA STATE UNIVERSITY. 1996. Agricultural Waste Management Field Handbook. Chapter 10b. Component design. National Engineering Handbook (NEH). Iowa State University. (<http://www.nrcs.usda.gov/pub/awmfh/chap10b.pdf>)

ANEXO A

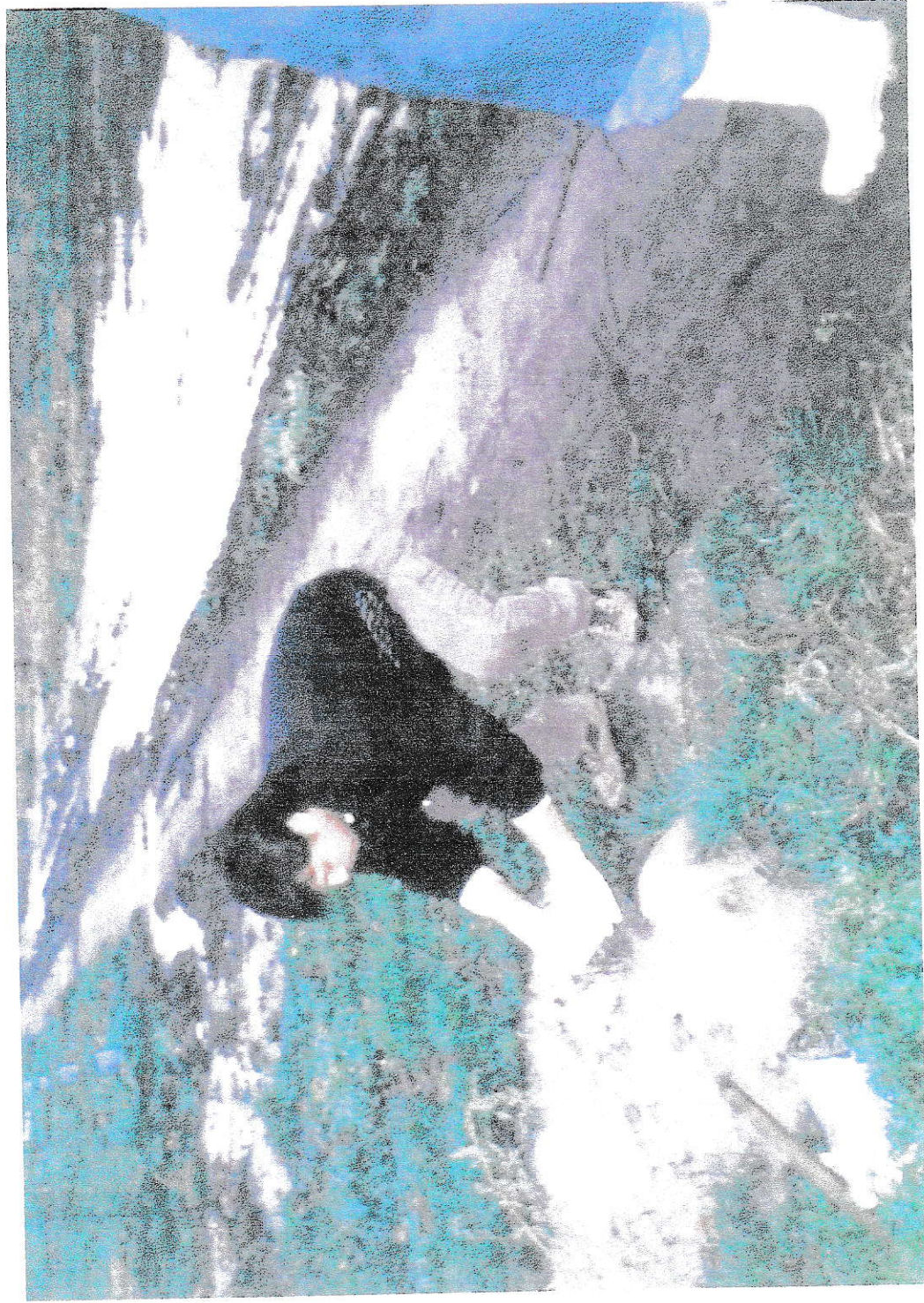
Cuadros correspondientes a la toma de muestras de purines, efluentes y efluentes de laguna tomadas durante las tres campañas de muestreo en las estaciones de invierno, primavera y verano del año 2001.



Prensa separadora de sólidos (guanos)



Pozo de resuspensión de sólidos



Toma de muestras desde salida de ductos



Toma de muestras desde salida de ductos



Toma de muestras desde salida de ductos



Toma de muestras desde salida de ductos



Georreferenciación de sitios muestrales