



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INIA - SAG

Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina



EDITOR
JOSÉ MARÍA PERALTA ALBA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
MINISTERIO DE AGRICULTURA

COLECCIÓN LIBROS INIA N° 18



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INIA - SAG

Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina

EDITOR
JOSÉ MARÍA PERALTA ALBA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
MINISTERIO DE AGRICULTURA

SANTIAGO - CHILE
2005

I.S.B.N.: 956-7016-25-9

I.S.S.N.: 0717-4713

Registro de Propiedad Intelectual

Inscripción Nº 151.322

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA)

Centros Regionales de Investigación Carillanca y La Platina

La presente publicación reúne y sistematiza información técnica disponible y generada localmente sobre manejo y tratamiento de purines de cerdo, en el marco del proyecto FONDO SAG “Generación de información local en aplicación de purines de cerdo al suelo como apoyo a la implementación de los Acuerdos de Producción Limpia”, ejecutado por INIA y con financiamiento del Servicio Agrícola y Ganadero. El proyecto contó con la valiosa participación de los productores de cerdo de Chile, a través de la Asociación de productores de cerdos, ASPROCER A.G.

Editor general: José María Peralta Alba, Ing. Agrónomo MS, Ph.D

Comité Editor: Zandra Monreal A, Médico Veterinario, SAG
Yorka Retamal M. Ing. Civil Químico, SEREMI SALUD RM
Francisco Salazar, Ing. Agrónomo Ph.D, INIA Remehue
Fernando Ortega K., Ing. Agrónomo Ph.D, INIA Carillanca
Fernando Baeriswyl. Ing. Agrónomo, ASPROCER
Lilian Avendaño Fuentes, Periodista INIA Carillanca.

Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida, siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.

Corrección de Prueba: Lilian Avendaño F., Periodista INIA Carillanca

Fotos portada: José M^a Peralta y Francisco Tapia Flores

Diagramación e Impresión: Editora e Imprenta Maval Ltda.

Cantidad de Ejemplares: 500

Agradecimientos especiales del editor a la Srta. Zandra Monreal y a don Felipe de la Carrera, del Servicio Agrícola y Ganadero y ASPROCER A.G., respectivamente, por el apoyo brindado y hacer de esta publicación una realidad.

SANTIAGO, CHILE

Diciembre de 2005

PRÓLOGO

Para el Editor, como para el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), es gratificante presentar al sector porcino nacional, el libro “Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina”. Esta obra es fruto de un exitoso proyecto de Investigación y Desarrollo, ejecutado por INIA en conjunto con la Asociación de Productores de Cerdos (ASPROCER) y financiada por el SAG.

La producción de cerdos en Chile, ha tenido un rápido desarrollo en los últimos años, que se comprueba al observar que desde 1993 al 2003, la producción de carne porcina ha tenido un crecimiento superior al 148%, mostrando un promedio anual de 9,6%¹. Incremento que ha significado inversiones por sobre los 250 millones de dólares en el último quinquenio por parte del sector productor. La razón de este crecimiento se debe fundamentalmente al consumo interno y últimamente, al aumento de la exportación. En este último aspecto, la exportación de carne de cerdo ha fluctuado, entre 2002 y 2004, desde 45.000 ton a 79.000 ton, con un valor de 105 a 235 millones de dólares². Se estima que para el 2010, el sector podría exportar alrededor de 500 millones de dólares, constituyéndose en el principal actor en materia de exportación del sector cárnico.

Geográficamente, la producción industrial de cerdo tiene una amplia distribución, es así como se distribuyen de sur a norte entre la Región de La Araucanía, hasta en un futuro cercano, la Región de Atacama. Sin embargo, en la actualidad, sólo dos regiones concentran alrededor del 97% de la producción nacional, la Región Metropolitana con un 29,4% y la Región del Libertador Bernardo O’Higgins, el 68%³.

Esta actividad, al igual que otras, genera impactos ambientales en su proceso productivo, los que han sido internalizados por la industria que entiende que el crecimiento debe estar basado en el desarrollo sustentable del sector. Es así como en 1999 los productores asociados firman con las autoridades pertinentes, un acuerdo voluntario de Producción Limpia y en septiembre de 2005 firman un 2° acuerdo.

El término del primer acuerdo de producción limpia, permitió la caracterización y ordenamiento del sector, a través del conocimiento del tipo de residuos generados, sistemas de tratamiento y disposición utilizados. Asimismo, se acuñó el concepto de “buen manejo” de los planteles, logrando que más del 75% del sector haya presentado planes de manejo agronómicos, lo que ha significado un mejor desempeño ambiental, reduciendo los olores y vectores que genera la crianza porcina.

En una nueva etapa el segundo acuerdo de Producción Limpia del sector, aborda más temas y presenta mayores exigencias, y de esta manera lograr un mayor avance hacia la

1 http://www.asprocer.cl/index.php?mod=sector_descripcion

2 <http://www.odepa.cl/>

3 <http://www.odepa.cl/>

sustentabilidad sanitaria, agronómica y ambiental de los planteles y sus áreas de influencia. Desde el punto de vista de la gestión de calidad, el segundo acuerdo cubre dos grandes aspectos: el primero relacionado con la protección de la salud de los trabajadores y el segundo con disminuir y controlar los impactos ambientales producidos por la actividad, tales como los producidos por los residuos sólidos y líquidos, y el control de los malos olores y de los vectores de interés sanitario.

Este texto, que nació de la necesidad impuesta por el primer acuerdo de producción limpia, será usado como documento de referencia para el sector. No intenta ser una revisión exhaustiva, pero aborda, en lenguaje directo y claro, temáticas de manejo de purines de cerdo y tecnologías aplicables; valorización de las excretas porcinas; olores y vectores en la explotación porcina, un listado de buenas prácticas ambientales y un glosario de términos. Estoy seguro que el esfuerzo materializado en este libro será de gran utilidad para el sector porcino nacional, como así también para el sector fiscalizador.

El Editor

1. MANEJO DE PURINES PORCINOS Y TECNOLOGÍAS APLICABLES

**José María Peralta A.
Alexis Araya C.
Christian Herrera C.**

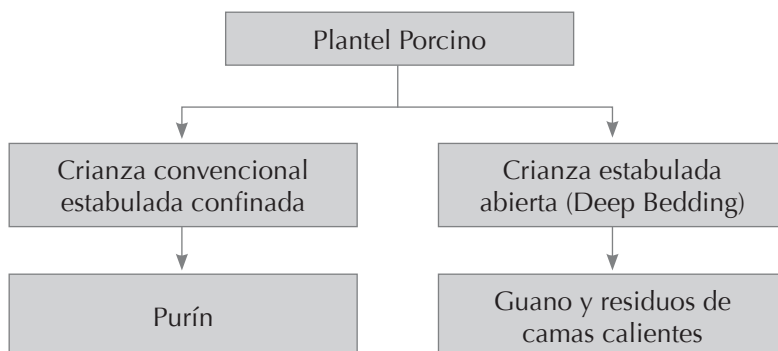
1.1 Aspectos generales

El manejo de purines porcinos ha tomado importancia por dos razones: por una parte, la tendencia a aumentar el tamaño de los criaderos de cerdo en sistemas de producción intensiva confinada en donde se genera una cantidad considerable de desechos, y por otra, una mayor conciencia frente a la protección del medio ambiente por parte de la sociedad.

La generación de purines por unidad de cerdo, depende del sistema de manejo y del estado fisiológico del animal (Ver 1.3 Caracterización de purines) y está compuesto por un 95% de agua. Si se pudiera cuantificar la cantidad diaria de excretas producida por el número total de cabezas de cerdo que existen en Chile (4.078.854 animales, según el Instituto Nacional de Estadísticas, INE, 2001), se obtendría una cantidad cercana a los 23.000 m³ diarios en promedio, generando un problema real en lo que respecta a manejo de residuos.

Los residuos que se generan en los pabellones dependen del tipo de explotación, ya sea por crianza convencional estabulada confinada, o por crianza estabulada abierta (llamada Deep Bedding o cama caliente). En la crianza convencional, los animales son mantenidos en corrales sobre piso falso, los cuales son lavados diariamente, y los residuos generados corresponden a una suspensión acuosa denominada purín, que contiene las excretas animales líquidas y sólidas, el agua de lavado de pisos y la cama animal propiamente tal (paja, viruta, u otro material) compuesta mayoritariamente por residuos vegetales fibrosos. En cuanto a la crianza estabulada abierta, todas las excretas son contenidas por una cama vegetal, la que es retirada como residuo sólido una vez que el grupo pasa a otra fase de crianza, o llega a su peso final de sacrificio. A continuación se presenta en Figura 1. los tipos de explotación porcina con sus respectivas formas de residuos.

Figura 1. Tipos de explotación porcina.



Fuente: Elaboración propia

Dentro de la crianza convencional estabulada confinada, el lavado del piso de pabellones puede realizarse de dos formas: por evacuación diaria mediante el uso de estanques de volteo automático o manual (sistema flush), o también se utiliza el sistema PIT, que consiste en la acumulación temporal de los purines de forma aislada del plantel, para posteriormente ser enviados al sistema de tratamiento.

Los purines generados en los pabellones porcinos, pueden tener varias vías. Aquellos planteles que cuentan con vastas superficies de terreno, pueden aplicarlos directamente al suelo usando tecnologías y diseños que toman en cuenta criterios ambientales en cuanto a la altura máxima de la napa subterránea, tasas agronómicas e hidráulicas de aplicación, homogenización y control de escurrimiento superficial, entre otros.

Los planteles que no posean mucha superficie, deberán estudiar la posibilidad de aplicar sistemas de tratamiento más sofisticados, para estabilizar estos residuos.

El tratamiento primario de los purines consiste en la preparación del residuo, a través de procesos físicos, para su posterior degradación biológica. Esta preparación radica en la equalización del flujo y en la separación de un porcentaje de sólidos inconvenientes para la posterior biodegradación del líquido o su aplicación directa al suelo usando tecnologías de aplicación. La(s) etapa(s) en que se produce la degradación biológica del líquido, o del sólido separado, es denominada tratamiento secundario y se realiza mediante procesos físicos, químicos y biológicos.

El sólido separado, denominado guano, se puede utilizar directamente como abono usando criterios ambientales tales como pendiente del terreno, exposición al viento y control de escurrimiento superficial, entre otros. No obstante, la estabilización del guano optimiza su calidad como nutriente, permite su uso en agricultura orgánica y como sustrato para el cultivo de hongos comestibles. La estabilización se consigue a través de la implementación de sistemas de compostaje, solarización y adición de cal.

El residuo líquido, usando metodologías y diseños tecnológicos apropiados, puede ser tratado mediante sistemas naturales, como lagunas y sistemas de aplicación al suelo.

Otra vía corresponde a los sistemas convencionales de tratamiento, definidos como técnicas controladas por medios artificiales contruidos para la biodigestión del residuo. Los sistemas de tratamientos convencionales propuestos para el purín abarcan plantas de tratamiento aerobias y anaerobias.

Los dos tipos de sistemas descritos anteriormente, producen mineralización por acción microbiana del material residual, concediéndole propiedades más estables e inertes a este flujo.

La selección del sistema de manejo, para el productor porcino, estará en función del:

- Tamaño de su producción (número de animales y distribución de edades).
- Tipo de suelo y sus características.
- Profundidad de la napa y determinación de la calidad de ésta
- Superficie, topografía y geomorfología del terreno destinado a la aplicación y/o tratamiento de purines.
- Clima local (temperaturas y precipitaciones medias mensuales).
- Costos de inversión y mantención destinados para el sistema previsto.
- Criterios legales del sistema proyectado.

1.2 Procedimiento para la implementación del manejo de purines a nivel predial

El manejo de purines a escala predial es un punto de gran importancia dentro del esquema productivo. Los sistemas de manejo de purines están referidos a aquellas técnicas empleadas para disponer de la mejor forma los residuos animales generados en la explotación porcina.

En el caso del sistema de producción a campo, el manejo de excretas se reduce a evitar saturar el suelo con estos desechos, ya que los animales eliminan sus heces directamente en el campo, con potencialidad de causar contaminación difusa. Este sistema de producción en pastoreo, no involucra un posterior proceso de las excretas, ya que cumpliendo los requisitos antes indicados, es ambientalmente viable y recomendable. Los riesgos que se deben evitar están asociados a problemas de erosión de suelos y contaminación de cuerpos de agua cuando se permite el acceso directo a ellas.

Sin embargo, en un sistema productivo intensivo, la descarga es puntual y como tal, demanda necesariamente de un manejo que involucra un posterior proceso para la estabilización de los purines generados.

1.2.1 Estrategia de Manejo

El manejo de purines es el conjunto de acciones y procedimientos que se encausan para otorgar un control ambiental en estos residuos o desechos. Forma parte de la gestión ambiental del plantel y para llevarse a cabo es necesario contar con un sistema de tratamiento y/o disposición.

El sistema de tratamiento es una combinación de procesos cuyo objetivo es la modificación de las características del residuo para garantizar una disposición final sin el riesgo de causar impactos al medio y a la salud humana.

Los objetivos particulares del tratamiento pueden ser:

- Cumplir con la normativa nacional aplicable.
- Adecuar la utilización de purines a las necesidades estacionales de los cultivos.
- Transportarlo fuera de la zona de aplicación del plan de gestión.
- Valorar agronómica y económicamente el residuo.
- Higienizar reduciendo o eliminando patógenos

La normativa nacional aplicable al manejo de purines se encuentra especificada en el anexo 1 de este documento. En el caso de transportarlo fuera del predio, también existe normativa aplicable detallada igualmente en el anexo 1.

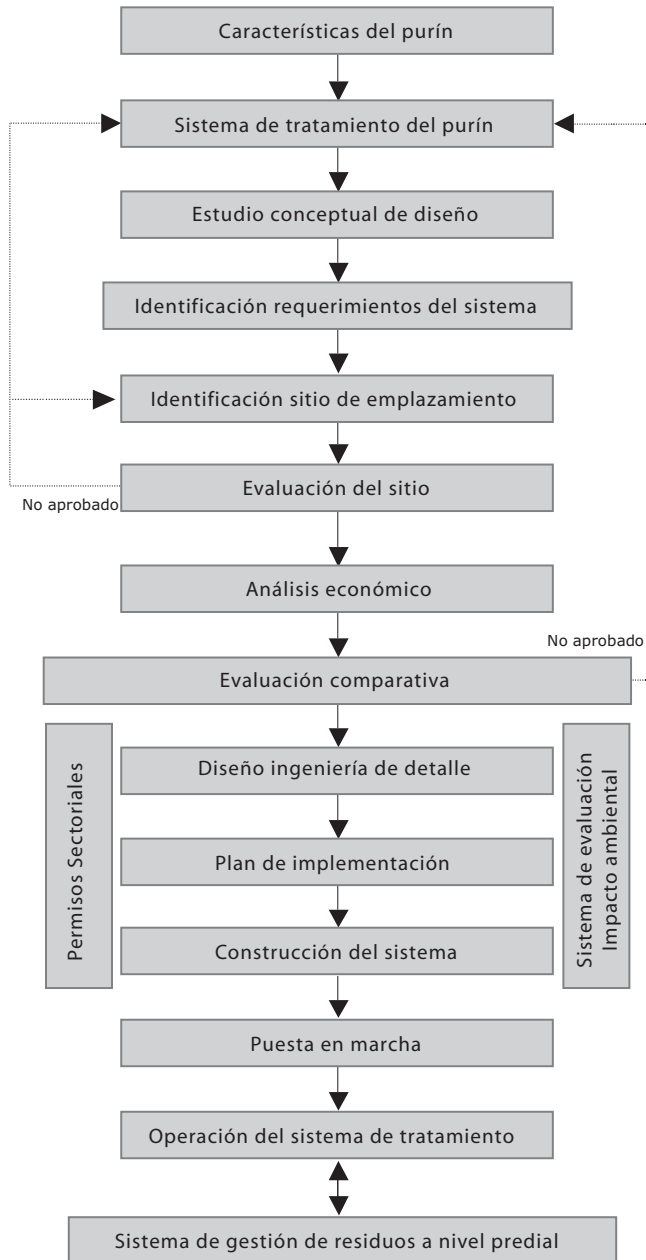
La selección e implementación de un sistema de tratamiento es un proceso en el cual se conjugan variables de sitio, económicas, técnicas y de legislación. Este proceso generalmente se realiza siguiendo una metodología como la que se muestra en la Figura 2.

De esta forma, el primer paso será caracterizar el purín, como se describe en el subcapítulo 1.3. Luego se selecciona un sistema de tratamiento, que satisfaga los estándares de calidad requeridos y que se adapte a priori a la realidad local.

Posteriormente se realiza un diseño conceptual. En él se generarán las dimensiones y estructuras generales del sistema seleccionado, utilizando información como tipo de suelo, superficie, topografía y geomorfología del terreno y la incidencia de las condiciones climáticas locales en el tratamiento. Se identifica el eventual sitio de emplazamiento para luego evaluar comparativamente las características territoriales del sitio versus las requeridas por el sistema. De existir una incompatibilidad, será necesaria una reformulación del sitio de emplazamiento o bien del sistema de tratamiento. Los requerimientos del sistema dependerán exclusivamente del tipo de tratamiento predefinido, que se describen en el subcapítulo 1.4. Sistemas de tratamiento de purines.

Si el sitio predeterminado cumple con las especificaciones técnicas para el sistema seleccionado, se procede a realizar un análisis económico del proyecto, identificando y evaluando la inversión inicial total, los costos de mantención y costos de operación asociados al sistema que se analiza. De lo contrario, se deberá replantear la situación optando por un nuevo sistema de tratamiento.

Figura 2. Metodología estrategia de manejo.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente cuando se ha definido el sistema a implementar, se procede a elaborar el estudio de ingeniería de detalle.

La ingeniería de detalle especifica aspectos de la instalación de las unidades, su distribución espacial, la hidráulica del sistema, especificaciones de uso y puesta en marcha, entre otros. De esta forma la empresa se encontrará en condiciones de definir un plan de implementación fijando tiempos y metas para la construcción, puesta en marcha y para el comienzo de la etapa de operación.

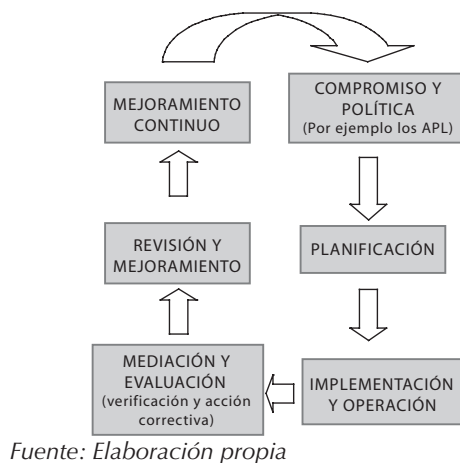
De forma paralela a lo anterior, el productor deberá comenzar a gestionar los permisos sectoriales involucrados en su proyecto de manejo de purines. A la vez iniciará tramitación en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para ver si su proyecto ingresa como estudio o declaración de impacto ambiental, si corresponde. La declaración o estudio, según cual sea el caso, lo deberá desarrollar un profesional o una consultora reconocida en el tema.

Los permisos ambientales sectoriales (PAS) relacionado con los proyectos de cerdos, dependiendo de cada caso y de competencia de la Autoridad Sanitaria Regional son:

No obstante, el manejo de purines no se basa sólo en la implementación y posterior operación de un sistema de tratamiento, sino que además requiere como un segundo pilar fundamental, de un sistema de gestión de purines a nivel predial, que gestione un seguimiento a través de procedimientos técnicos escritos de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, planes de emergencia, planes y registros de estado de operación, reparación y mantención de equipos o unidades, planes de control y acciones correctivas, informes de auto-evaluación y planes de capacitación, entre otros.

A continuación se ilustra en la Figura 3, el ciclo de mejoramiento continuo de un sistema de gestión ambiental.

Figura 3. Modelo del sistema de gestión ambiental



Una vez implementado el sistema de gestión de purines y el sistema de tratamiento de purines, se asegura un mejoramiento continuo en la minimización de los impactos ambientales. Esta estrategia de gestión empresarial preventiva, cuyo objetivo es minimizar emisiones y/o descargas hacia el ambiente, reduciendo riesgos para la salud humana y ambiental, y elevando simultáneamente la competitividad de la empresa, es denominada producción limpia (PL).

1.3 Caracterización de purines

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

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

Diariamente, se generan alrededor de 0,25 Kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 0,75 Kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kilos de peso vivo (Purdue Research Foundation, 2003).

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

La tasa de producción de excretas puede verse afectada por numerosos factores, entre los cuales se puede señalar:

- Número y madurez fisiológica del animal.
- Calidad y cantidad de alimento ingerido por el animal.
- Volumen de agua consumida por el animal.
- Clima local.

Para la planificación, se utiliza la mezcla de excreta con agua de lavado, la que se realiza en los galpones generando el denominado purín.

La relación excreta – agua de lavado varía dependiendo del tipo de lavado con que cuenta la empresa. Si bien esta relación varía aproximadamente de 1:6 a 1:18 (18 litros de agua de lavado por 1 litro de excreta), el productor puede obtener la relación en base al gasto promedio de agua mensual o bien preestablecer la relación de forma estimativa.

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

Se entiende por caracterización como los valores de concentraciones de compuestos químicos, valores de parámetros biológicos y físicos del purín, y el caudal de éste flujo.

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

- Flujo medio total diario ($\text{m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$).
- Demanda biológica de oxígeno DBO_5 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).
- Sólidos volátiles ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).
- Nitrógeno total ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).
- Fósforo ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$).

Parámetros adicionales se requieren para el diseño de sistemas particulares, por ejemplo, para lagunas aireadas:

- Caudal
- Eficiencia de eliminación
- tiempo de retención
- profundidad
- constante de velocidad
- factor de dispersión del estanque

Para diseñar la potencia del aireador de las lagunas aireadas:

- DBO_5
- DBO soluble
- Coeficiente cinético
- Tiempo de retención
- Cantidad de oxígeno transferido diariamente por día.

Para un sistema de tratamiento utilizando lodos activados:

- Caudal
- Eficiencia de eliminación
- Tiempo de retención
- Coeficiente cinético
- DBO_5
- DBO soluble
- Sólidos suspendidos volátiles

Existen básicamente dos metodologías para la caracterización de los purines, por un lado está la analítica de laboratorio, que entrega datos con la exactitud necesaria para el posterior diseño del tratamiento, y por otro lado las estimaciones matemáticas a través de balances de masa, que otorgan valores estimativos preliminares para la toma de decisiones.

1.3.1 Cuantificación analítica.

La cuantificación analítica es el método más exacto que se puede aplicar para la planificación del manejo de purines. Dentro de éste existen dos puntos para analizar, el primero es la caracterización y el segundo es la cuantificación del flujo total de purines. Para la caracterización, el productor debe tomar acciones sólo en la toma de muestras del purín, debido a que éstas deben ser analizadas en un laboratorio certificado para análisis de aguas residuales (Ver Anexo 2. Laboratorios acreditados en calidad de aguas por el INN).

Respecto a la toma de muestras de purines para el análisis en laboratorio, se deben considerar las siguientes recomendaciones:

- Tomar volúmenes de muestra y usar tipos de envase como lo señala la Norma Chilena 411 Calidad del agua – Muestreo.
- Tomar muestras previo a cualquier sistema de separación u otro que se encuentre operando, por ejemplo, en estanque de acumulación o pozo purinero.
- Asegurar el funcionamiento de agitadores en los estanques de acumulación en el momento de tomar las muestras.
- Tomar muestra del estanque a una profundidad de 20cm desde la superficie del purín y a 50cm del borde.

El protocolo para el monitoreo del impacto de la aplicación de purines en los cuerpos de aguas subterráneas y superficiales se presenta en Anexo 3.

La cuantificación del flujo se puede realizar a través del uso de instrumentos medidores de flujo llamados caudalímetros, o en su defecto, a través de la medición directa por el método del flotador. Ambas metodologías se describen a continuación.

1.3.1.1 Uso de Caudalímetros.

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

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

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

Otra forma menos exacta pero más económica es la medición de caudal de agua de lavado antes de su utilización, osea, inmediatamente después de su extracción subterránea o superficial mediante caudalímetros de tubería. Con esta medición se obtendrá el flujo de agua de lavado, el que sumado al flujo de excretas conforma el flujo de purín. El flujo de excretas se puede calcular a partir del número de animales por etapas fisiológicas del plantel y de tablas de composición, como se muestra en el subcapítulo 1.3.2 Estimaciones Matemáticas, bajo el título Cálculo del flujo total de excretas.

Los dos tipos más comunes de medidores de caudal sin interrupción en el suministro de agua, son los de inserción y ultrasónicos.

Los medidores de inserción son introducidos en la tubería a través de conexiones que pueden ser instaladas con la tubería cargada. Generalmente se recomienda como mejor opción el medidor de inserción de tipo turbina.

Los medidores ultrasónicos pueden instalarse en la superficie externa de los tubos, sin necesidad de perforación. Sin embargo, éstos se recomiendan para mediciones en canales abiertos.

Existen dos tipos básicos de medidores ultrasónicos, el de tiempo de trayectoria, para agua limpia, y el de efecto Doppler, para agua bruta o con sólidos. Los medidores de inserción y ultrasónicos pueden medir y almacenar velocidades y caudales a lo largo del tiempo.

A continuación se ilustran dos tipos de medidores ultrasónicos para flujos en canales abiertos.

Figura 4. Caudalímetros ultrasónicos.



Fuente: Medidores de Caudal. (www.lanasarrate.es)

1.3.1.2 Medición Directa en Canales Abiertos Mediante el Método del Flotador.

Corresponde al método más fácil, práctico y de bajo costo que se puede aplicar. Sin embargo, la calidad de los valores es baja si no se mide a intervalos de tiempo de al menos 30 minutos dentro de un día de mediciones.

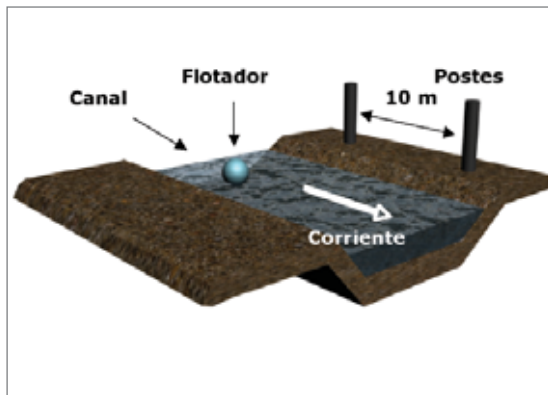
La Figura 5, esquematiza la medición de la velocidad a través del método del flotador para posteriormente calcular el caudal.

Esta medición se basa en que el flujo o caudal es el resultado de la multiplicación del área perpendicular al flujo por la velocidad de éste. Para utilizarlo se requieren los siguientes materiales.

Materiales:

- Flotador.
- Huincha para medir longitud.
- Reloj o cronómetro.
- Estaquillas y cuerda para demarcado.
- Bloc de apuntes y lápiz.

Figura 5. Medición de la velocidad del agua por el método del flotador.



*Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S.
Ingeniero Ambiental*

Método:

- Seleccionar un tramo recto y de sección uniforme, en lo posible desprovisto de cualquier elemento que interfiera con el paso del purín de una longitud mínima de 30 metros.
- Demarcar al centro del tramo un sector de 10 metros de largo, como lo ilustra la Figura 5.
- Calcular el área del canal.
- Lanzar el flotador 3 metros antes de la primera marca.
- Cronometrar el tiempo que tarda el flotador en recorrer la distancia demarcada entre el punto 1 y 2, como lo ilustra la Figura 5.
- Calcular el caudal de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$Fp = A \cdot V$$

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

Donde:

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

A : Área del canal (m^2)

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

L : Longitud de recorrido del flotador (m)

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

1.3.2 Estimaciones matemáticas

Una aproximación preliminar aceptable para la caracterización, surge utilizando tablas de composición. Estas tablas entregan los valores principales que genera una unidad animal en un determinado estado fisiológico.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo para la estimación preliminar.

EjemPlo 1. Cálculo del flujo total de purines y concentración de nitrógeno.

Se necesita calcular el flujo total de purines (Fp) y la concentración de nitrógeno (Cn) en g/l de un plantel de 11.100 animales.

Datos requeridos:

a) Tabla 1: Composición de excretas según el estado del animal.

b) Número de Animales (NA) por estado fisiológico:

- Recría (r), 1.000 animales.
- Engorda (g), 10.000 animales.
- Maternidad con crías (m), 100 animales.

Cálculo del flujo total de excretas.

En la tercera columna de la Tabla 1, se señala la cantidad de excretas (Fe) generada por un animal en cada etapa fisiológica. De esta forma el flujo total de excretas (F_{Te}) quedará definido como:

$$F_{Te} = FE_r \cdot NA_r + FE_g \cdot NA_g + FEm \cdot NAM$$

Donde:

F_{Te}: Flujo total de excretas en lt·día⁻¹

FE_r: Flujo de excretas de recría en lt·día⁻¹

FE_g: Flujo de excretas de engorda en lt·día⁻¹

FEm: Flujo de excretas de maternidad con crías en lt·día⁻¹

NA_r: Número de animales de recría

NA_g: Número de animales de engorda

NAm: Número de animales maternidad con crías

Reemplazando valores en la ecuación 1.

$$F_{Te} = 1,8 \cdot 1.000 + 4,3 \cdot 10.000 + 15,1 \cdot 100.$$

$$F_{Te} = 46.310 \text{ lt} \cdot \text{d}^{-1}$$

Cálculo de la concentración de nitrógeno en excretas.

En la sexta columna de la Tabla 1, se señala la concentración de nitrógeno (Cn) en g/l generado por animal en cada etapa fisiológica. De esta forma la concentración de nitrógeno total en excretas quedará definido como:

$$C_{ne} = \frac{Cn_r \cdot FE_r \cdot NA_r + Cn_g \cdot FE_g \cdot NA_g + Cn_m \cdot FEm \cdot NAM}{F_{Te}}$$

Donde:

Cne: Concentración total de nitrógeno en excretas

Cnr: Concentración de nitrógeno en excretas de crías

Cng: Concentración de nitrógeno en excretas de engorda

Cnm: Concentración de nitrógeno en excretas de madres con crías.

Reemplazando valores:

$$Cne = \frac{7222 \cdot 1,8 \cdot 1000 + 7209 \cdot 4,3 \cdot 10000 + 6887 \cdot 15,1 \cdot 100}{46410}$$

$$Cne = 7.184 \text{ mg/l}^{-1}$$

No obstante, los valores obtenidos corresponderán al flujo y concentración en la excreta. Para obtener los valores de flujo y concentración del purín, se deben aplicar ecuaciones de dilución (balance de masa), dependiendo en cada caso de la relación de dilución excretas:agua de lavado.

Cálculo del flujo total y de la concentración de nitrógeno de purines.

Para calcular el flujo de purines (*Fp*) y la concentración de nitrógeno en el purín (*Cnp*), se debe conocer o estimar la relación de dilución de las excretas con el flujo de agua de lavado (*Fal*). Para el presente ejemplo se considerará una relación 1:12, lo que implica 12 litros de agua de lavado por un litro de excretas. Lo anterior se aplica por medio de las siguientes ecuaciones.

$$Fp = FTe + Fal$$

Donde:

Fp: Flujo de purines en (lt·d⁻¹)

FTe: Flujo total de excretas en (lt·d⁻¹)

Fal: Flujo del agua de lavado en (lt·d⁻¹)

Y a la vez;

$$Fal = Rd \cdot FTe$$

Donde:

Rd: Relación de dilución excretas: agua de lavado.

Por ende:

$$Fal = 12 \cdot 46.310$$

$$Fal = 555.720 \text{ (lt}\cdot\text{d}^{-1}\text{)}$$

Aplicando la ecuación anterior ($Fp = FTe + Fal$), el flujo total de purines es:

$$Fp = 602.030 \text{ (lt}\cdot\text{d}^{-1}\text{)}$$

Para obtener la concentración de nitrógeno del purín, se utiliza la siguiente ecuación, la cual se fundamenta teóricamente en Anexo 4:

$$Cnp = \frac{Cne}{Rd + 1}$$

Donde:

Cnp: Concentración total de nitrógeno en purines

Reemplazando valores:

$$Cnp = \frac{7.184}{12 + 1}$$

$$Cnp = 552,62 \text{ mg/l}^{-1}$$

1. MANEJO DE PURINES PORCINOS Y TECNOLOGÍAS APLICABLES

A continuación, en la Tabla 1, se muestra la composición promedio de las excretas según sea el estado fisiológico del animal, con la producción diaria estimada para cada animal.

Tabla 1. Producción de excretas según el estado del animal.

Etapa animal	Peso (Kg)	Producción Excretas (Lt/día)	Sólidos totales (kg/día)	DBO ₅ (kg/día)	Sólidos volátiles (kg/día)	Nitrógeno (kg/día)	Fósforo (kg/día)	Potasio (kg/día)
Cria	16	1	0,09	0,08	0,08	0,01	0,01	0,01
Recría	29	1,8	0,18	0,14	0,14	0,01	0,01	0,01
Engorda	68	4,3	0,41	0,33	0,33	0,03	0,02	0,02
Gestación	125	4,2	0,37	0,30	0,30	0,03	0,02	0,02
Maternidad con cría	170	15,1	1,36	1,09	1,09	0,10	0,08	0,08
Verraco	159	5,3	0,45	0,38	0,38	0,04	0,03	0,03

Fuente: <http://www.purdue.edu/dp/envirosoft/manure/src/main.htm>

En la Tabla 2, se presentan valores de caracterización de purines totales sin separación previa.

Tabla 2. Composición de purines totales.

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

Fuente: *Generación de Información Local en Aplicación de Purines de Cerdos al Suelo como Apoyo a la Implementación de los Acuerdos de Producción Limpia, 2003.*

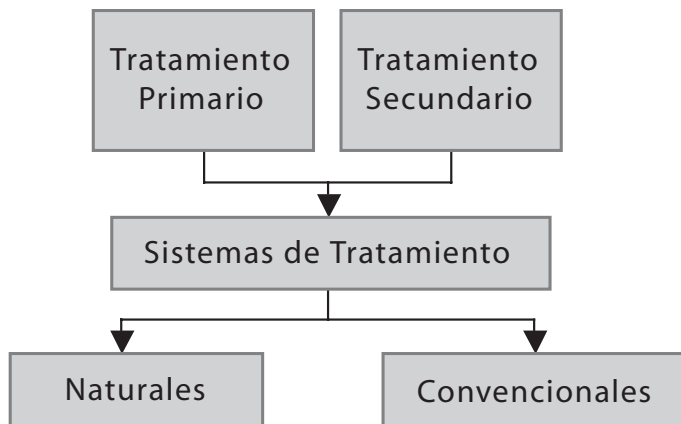
1.4 Sistemas de tratamiento de purines

Las tecnologías de tratamiento de residuos tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental producido por descargas y, generar residuos finales que cumplan con los flujos y concentraciones de contaminantes estipulados en la legislación vigente, o en las políticas de la empresa. (Zaror, 1998).

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

No obstante existe otra clasificación que discrimina según el principio físico, químico o biológico que impera en la unidad (Ver Anexo 5. Fundamentos de los procesos que conllevan el tratamiento). Éste se conoce como los tratamientos primarios y secundarios. A continuación se ilustra en Figura 6, las dos clasificaciones utilizadas en este manual.

Figura 6. Clasificación sistemas de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia

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

De esta forma, en los subcapítulos 1.4.1 y 1.4.2, se describirán los sistemas de tratamiento de purines en base a sistemas convencionales y naturales, respectivamente.

1.4.1 Sistemas Convencionales de Tratamiento

Los tratamientos convencionales utilizan una combinación de operaciones mecánicas para alcanzar el objetivo de calidad deseado. En términos generales, la energía necesaria para alcanzar esos niveles de calidad, sumado a los elevados costos de inversión, pueden convertir estos sistemas en soluciones inaplicables para el sector agropecuario.

Sin embargo, los sistemas de tratamiento convencionales pueden ser una alternativa viable generalmente para productores que generan altos flujos de purines, que tienen limitadas superficies de terreno, una topografía y geomorfología compleja y/o presencia de climas locales demasiado fríos o lluviosos.

La mayoría de los sistemas de tratamiento indicados en el presente capítulo, se encuentran ampliamente documentados en la literatura técnica especializada, y se sugiere consultar los textos Metcalf & Eddy (1998), Ramalho (1983) y Perry (1984), citados en lista de referencias recomendadas.

1.4.1.1 Tratamiento Primario

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

1.4.1.1.1 Ecualización y Homogenización

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

Para garantizar un flujo y una composición lo más constante posible, se utilizan ecualizadores homogenizadores que absorben parte de las diferencias de flujo y otorgan homogeneidad en la composición del purín. Estas unidades se componen de un tanque de almacenamiento y un agitador. Su objetivo es conceder al fluido un tiempo de residencia, entre 2 y 24 horas, determinado por las características de operación del plantel,

la biodegradabilidad del material orgánico y el tipo de tratamiento secundario o aplicación directa.

Tiempo de residencia se refiere al tiempo que demora una gota de líquido desde el ingreso a la unidad de tratamiento, hasta la salida de ésta. Dicho parámetro de diseño es equivalente al volumen de almacenamiento de una unidad de tratamiento para un flujo dado, y se relaciona matemáticamente de la siguiente forma.

$$Tr = \frac{Vb}{Fp}$$

Donde:

Tr: Tiempo de retención en horas.

Vb: Volumen del ecualizador-homogenizador, en m³

Fp: Flujo de purines en m³·hora⁻¹

Un tiempo de residencia muy largo, significará un tanque de mayor volumen, además puede dar lugar a crecimiento microbiano, malos olores, generación de vectores y procesos de sedimentación. Al contrario, un tiempo de residencia reducido influirá en la eficiencia de la homogenización y ecualización.

A continuación se ilustra en Figura 7, una fotografía de un ecualizador con agitación mecánica para la homogenización del purín.

Figura 7. Ecualizador con mecanismo de agitación.



Fuente: elaboración propia

En el caso de planteles que generen altos flujos de purines, se debe evaluar la conveniencia de utilizar sistemas con lagunas para la estabilización y la ecualización, tratamiento descrito en el subcapítulo siguiente (1.4.2. Sistemas Naturales de Tratamiento).

1.4.1.1.2 Separación Sólido – Líquido

La separación de purines corresponde a un proceso que permite separar la fracción sólida (llamada guano) y líquida (denominada efluente).

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

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

La separación permite realizar de mejor forma el almacenamiento de los desechos, reduciendo la generación de olores, manteniendo el contenido nutritivo del desecho y abriendo nuevas alternativas a los purines porcinos, como es la producción de biogas o el procesamiento de la fracción sólida (elaboración de sustratos, alimentación animal, abono o enmienda en suelos), entre muchos otros beneficios.

Dentro de los sistemas de separación se encuentran principalmente dos procesos, filtración y sedimentación. Este último presenta limitaciones en su aplicación debido a la estrecha diferencia de densidades entre la fracción sólida y líquida del purín.

El parámetro de eficiencia de un sistema de separación es el porcentaje de remoción de sólidos remanentes del purín.

A continuación se describen los tipos de separación más usados.

Separadores de harnero inclinado estacionario.

En estos separadores, el purín entra por la parte superior del harnero, la fracción líquida pasa a través de una malla, y el sólido rueda por la superficie de ésta, obteniéndose la separación (Figura 8). A estos separadores se les adiciona un tornillo o transportador sinfín en el extremo inferior donde cae por filtración la fracción sólida, para hacerla pasar por una apertura de sección restringida, logrando un exprimido adicional que favorece el sólido en cuanto a disminuir su humedad. La eficiencia alcanzada por esta unidad es de 70% en separación de humedad.

Separadores con filtro prensa de tornillo.

En este tipo de separadores, una malla cilíndrica contiene en su interior un filtro prensa tornillo sinfín. La malla puede estar formada por varillas. En el extremo final se encuentra una salida restringida por un mecanismo que permite variar la presión ejercida sobre el material que pasa a través de él. Cuando los purines entran a esta malla, la fracción líquida sale a través de los espacios alrededor de la malla y la fracción sólida es empujada por el tornillo sinfín hasta el otro extremo, y por la restricción que existe en la salida, se le da un exprimido que permite que la fracción sólida salga con un bajo contenido de humedad (Figura 9). La eficiencia alcanzada por esta unidad es de 80% en separación de humedad, 20% en DBO_5 y 30%, del nitrógeno. Además, a este sistema se le puede adicionar un sistema de vibración para mejorar la eficiencia en la separación.

Figura 8. Separador de harnero inclinado estacionario con filtro prensa tornillo en el extremo.



Fuente: elaboración propia

Figura 9. Separador con filtro prensa tornillo.



Fuente: elaboración propia

Separadores basados en la fuerza centrífuga.

Son dispositivos que giran rápidamente y gracias a la sedimentación forzada por fuerza centrífuga, el purín es separado en sus fases debido a sus diferencias de peso. Aparentemente se lograría una menor eficiencia de separación de sólidos en comparación con otros sistemas, debido a que existe poca diferencia entre el peso de la parte líquida y la sólida de los purines porcinos.

Filtro rotatorio.

En una malla cilíndrica o un tambor perforado, se deja fluir el purín. A medida que gira el cilindro sobre su eje, el líquido pasa a través de él, y el material sólido se queda en la superficie del tambor para ser descargado a otro lugar.

Para mejorar la eficiencia en remoción de humedad de la fracción sólida, se instala un rodillo de presión que efectúa la labor de exprimido del material separado.

De esta forma, los residuos generados por los sistemas de separación sólido – líquido son:

- Líquido, llamados también efluente, constituye una suspensión acuosa, con una carga de sólidos suspendidos compuesta por el producto de la mezcla de orina con agua de lavado y en menor grado de fecas, generando un residuo líquido homogéneo no estabilizado que presenta aún un alto contenido de sólidos, nutrientes y patógenos.
- Sólidos, llamados también guanos, corresponden a parte de la fracción sólida extraída del purín, que alcanza bajos porcentajes de humedad.

1.4.1.2 Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario consiste en la transformación biológica de materia orgánica compleja a material estable (orgánica simple o bien, inorgánica).

El material orgánico que se encuentra en el purín es rico en carbono y nitrógeno, elementos que sirven como alimento para microorganismos (M.O.) presentes en el mismo. El material orgánico es degradado entonces por microorganismos que los transforman en compuestos más sencillos y de fácil eliminación, por ejemplo en CO_2 y H_2O (Zaror 1998).

Las diferencias entre los diversos procesos que se presentan a continuación, se manifiesta en el tipo de microorganismos utilizados, en el tipo de biodigestor y su modo de operación.

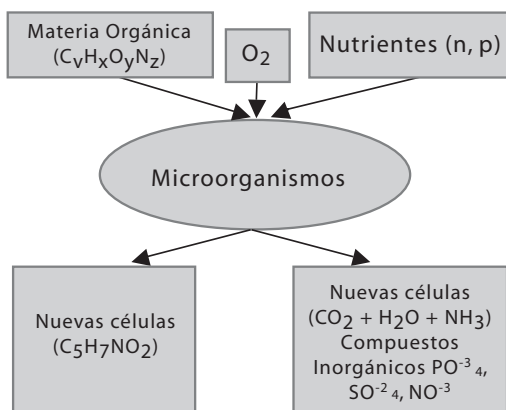
1.4.1.2.1. Sistemas de Tratamiento Aeróbicos

La degradación aerobia, es un proceso que necesita oxígeno y que se basa en la transformación, a través de una serie de reacciones bioquímicas, de la materia orgánica en CO_2 , agua y un lodo compuesto por células nuevas y estables.

Estos sistemas consisten básicamente en otorgar, dentro de un reactor, el tiempo y el medio apropiado para la degradación aeróbica a través de microorganismos. Para ello se utilizan agitadores, con el fin de mantener un líquido homogéneo y aireadores mecánicos que aceleran la oxigenación para otorgar mayor eficiencia.

Reactor es un estanque de almacenamiento, en el que ocurren reacciones químicas. Se esquematiza en Figura 10, las reacciones bioquímicas de los procesos aerobios.

Figura 10. Reacciones bioquímicas de los procesos aerobios.



Fuente: Elaboración Propia

No obstante, si bien los sistemas aeróbicos presentan eficiencias óptimas en remoción de DBO, la implementación de éstos no se ha utilizado en la industria porcina por el hecho de que el sistema no es apto para degradar altas cargas orgánicas y de nutrientes, como es el caso de los purines.

Lo anterior se debe a que, a mayor carga orgánica del efluente, mayor flujo de oxígeno se requiere para degradarlos (oxidar) y es la aireación mecánica la que a gran escala es inaplicable técnica y económicamente.

Es por ello que la degradación biológica aeróbica se recomienda solo para el tratamiento de sólidos separados del flujo de purín (guano) o eventualmente para cualquier residuo sólido orgánico generado en el rubro como por ejemplo residuos de camas caliente en planteles que utilizan crianza estabulada abierta o Deep Bedding.

1.4.1.2.2 Sistemas de Tratamiento Anaeróbico

La degradación anaeróbica, conocida como fermentación, es un proceso que no necesita oxígeno y que se basa en la transformación de la materia orgánica, a través de una serie de reacciones bioquímicas, en un gas cuyos componentes principales son el CH₄ y el CO₂ (ambos conforman el llamado biogas).

Los beneficios de tecnologías de tratamiento anaeróbico con recuperación de biogas son los siguientes:

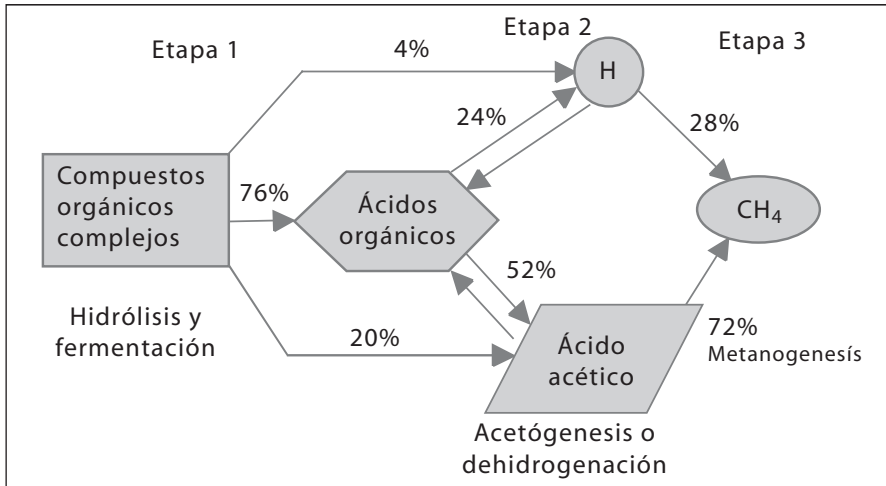
- El líquido obtenido del tratamiento es menos oloroso que el purín.
- Transformación de desechos orgánicos (purines) en fertilizante de alta calidad y biogas. Esto puede implicar beneficios económicos a través de la sustitución de fertilizantes y energía (calor, luz, electricidad).
- Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas. Aunque el nivel de destrucción de patógeno variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobreviven el proceso de biodigestión.
- Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, y del aire por la no contaminación por purines y por la sustitución de energías convencionales por energías renovables.
- Menor producción de lodos que degradación aerobia.
- No se requiere aeración; menores costos energéticos.
- Menor sensibilidad a cambios de concentraciones del purín que en degradación aerobia.
- Óptimo funcionamiento con altas cargas orgánicas.

Entre sus principales limitaciones, se puede mencionar:

- Menor eficiencia en relación a la eliminación de la DBO.
- La puesta en marcha puede demorar algunos meses (1-6 meses).
- Sensible a ciertos inhibidores y compuestos tóxicos (ej.: O_2 , H_2O_2 , Cl_2 , H_2S , HCN , SO^{3-}).
- A menor temperatura ambiental el proceso resulta más lento.
- Debido a las condiciones reductoras del sistema, por acción de reacciones bioquímicas en ausencia de oxígeno, se producen otros compuestos (H_2S , mercaptanos, ácidos orgánicos y aldehídos) produciendo corrosión y malos olores si no existe un eficiente manejo.

La degradación anaeróbica es un proceso de biodegradación en múltiples etapas, que incluye un amplio rango de bacterias, agrupadas en 3 etapas.

A continuación se esquematiza en Figura 11, las etapas bioquímicas de cualquier sistema de tratamiento anaeróbico.

Figura 11: Etapas bioquímicas del proceso

Fuente: Elaboración Propia

Los reactores anaeróbicos, más conocidos como biodigestores, son utilizados generalmente para tratar sustratos concentrados con alto contenido de sólidos como las excretas de bovinos, porcinos y otros materiales orgánicos, que se degradan con tiempos de retención mayores de 21 días.

Las excretas porcinas, por las características omnívoras del cerdo, produce una mayor cantidad de biogas que otros ganados.

De esta forma, a este tipo de tecnologías se le puede incorporar una fase de aprovechamiento de energía. La idea es llevar el flujo de gas a una turbina de electricidad que al funcionar genere, además de la energía eléctrica, el calor necesario para mantener el sistema en funcionamiento. De otra forma el biogas puede utilizarse como calefacción de pabellones, oficinas u otros.

Los tipos de tratamientos anaeróbicos se clasifican en sistemas con película fija y en sistemas con biomasa suspendida. A la vez, los sistemas con biomasa suspendida pueden clasificarse en biodigestores a mezcla completa y flujo pistón.

Se entiende como biomasa a la masa biológica o fracción orgánica de un flujo dado.

Sistemas de Película Fija.

Los sistemas de película fija o filtros anaeróbicos, se caracterizan por presentar los microorganismos adheridos a un medio sólido dentro de un depósito inundado de efluente para evitar presencia de oxígeno. El efluente es alimentado generalmente en

forma vertical en sentido ascendente o descendente, a través de un soporte sobre el cual la biopelícula o capa activa de materia orgánica de aproximadamente 1 mm de espesor, se desarrolla.

El nitrógeno contenido en el efluente, compuesto por ion amonio y nitrógeno orgánico, es transformado a nitrógeno gas con una eficiencia del orden del 30%. La eficiencia en eliminación de la demanda biológica de oxígeno (DBO_5) se encuentra aproximadamente entre un 55% y 65%

A continuación se presenta en Figura 12, la fotografía de un sistema de película fija.

Figura 12. Fotografía instalaciones de tratamiento anaeróbico de película fija.



Fuente: Universidad Federal de Vicosa

Sistemas de Biomasa Suspendida a Mezcla Completa.

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

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

La eficiencia de eliminación de la demanda biológica de oxígeno (DBO_5) es entre un 50% y 60%. El nitrógeno contenido en el purín, compuesto por ion amonio y nitrógeno orgánico, es transformado biológicamente a nitrógeno gas con una eficiencia del orden del 30%.

A continuación se presenta en Figura 13, la fotografía de un sistema de biomasa suspendida a mezcla completa de una pequeña finca en Costa Rica.

Figura 13. Fotografía de instalaciones de un tratamiento anaeróbico con biomasa suspendida a mezcla completa.



Fuente: J. Mora, 2001. Finca Integral Conservacionista en Costa Rica.

Una desventaja que poseen es el consumo energético, ya que para alcanzar un líquido homogéneo en el sistema, debe existir la recirculación anteriormente descrita o bien la agitación mecánica dentro del biodigestor. El objetivo de mantener homogéneo es que los M.O. se encuentran suspendidos como mezcla completa con el efluente dentro del biodigestor.

Sistemas de Biomasa Suspendida en Flujo Pistón.

En estos sistemas el purín no se encuentra homogéneo o mezclado totalmente, sino que entra al biodigestor por un extremo y se va degradando a medida que avanza dentro de éste, hasta llegar al otro extremo que es la salida, de ahí el nombre flujo pistón.

Un biodigestor de tecnología de bajo costo es el de flujo pistón para bajos caudales. Aunque su utilización sea factible para pequeños productores, significa una solución económicamente accesible, que además otorga beneficios a quien lo implemente. Este equipo se compone de lo siguiente:

Cámara de entrada: Contiene el volumen necesario para obtener una mezcla homogénea para luego enviarla al biodigestor encargado de la fermentación.

Reactor: Estanque hermético y térmicamente aislado, construido de concreto, fibra de vidrio, plástico o polietileno, con un volumen necesario para otorgar un tiempo de residencia adecuado para la biodegradación anaerobia de la materia orgánica y posterior transformación en biogas, entre otros productos.

Campana: Aparato utilizado para captar y almacenar el gas producido por el biodigestor.

Para las conexiones de estos tres componentes del biodigestor se utilizan válvulas de seguridad y tubos conductores del gas.

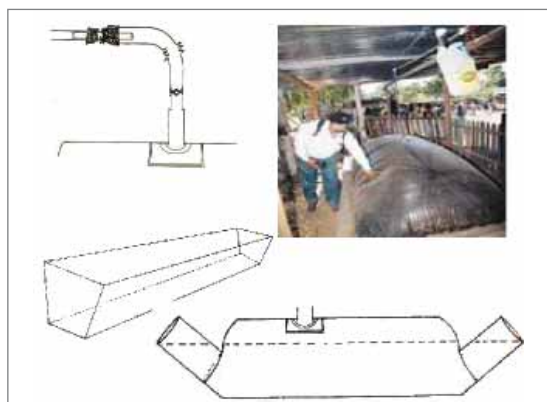
Las eficiencias promedio de estas tecnologías de bajo costo son altas por tratarse de sistemas para bajos caudales y tiempos de retención sobre los 25 días. La remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) es de un 65% y del nitrógeno es de un 45%. Los coliformes se eliminan en un 90%.

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

Un ejemplo, es el biodigestor construido con un plástico especial (polietileno de alta densidad), el que tiene una vida útil de siete años. La acumulación del biogas en este reactor de polietileno se realiza en la parte superior, osea, sobre la superficie del suelo. Bajo el nivel del suelo se encuentra el purín el que tiene la entrada y salida en los extremos longitudinales. El nivel del efluente dentro del biodigestor se mantiene al mismo nivel del suelo para evitar el escape del biogas por la salida del líquido estabilizado o por la entrada del efluente.

A continuación se ilustra en Figura 14 la fotografía de un biodigestor de polietileno con las figuras de planta, elevación y salida del biogas.

Figura 14. Fotografía instalaciones de tratamiento anaeróbico de flujo pistón.



Fuente: Investigación y Desarrollo Rural y Social (Cipres),

Para calcular el volumen del biodigestor se utiliza un tiempo de residencia típico de 25 días, este tiempo será menor si el sistema se desarrolla a mayores temperaturas, por lo que dependerá directamente de la temperatura ambiente del sector y del aislamiento considerado para el biodigestor. De esta forma se ilustra en la Tabla 3 un ejemplo para un pequeño plantel de 160 cerdos suponiendo un biodigestor cúbico.

Tabla 3. Características para el diseño de biodigestores de flujo pistón.

Cerdos en número	Flujo de Purines* (L·día ⁻¹)	Temperatura de Fermentación (°C)	Vol. Total de Fermentación** (m ³)	Superficie de Fermentación (m ²)	Alto del Contenedor (m)	Producción de Biogás (m ³ ·mes ⁻¹)	Energía Obtenida (Kwh· mes ⁻¹)
160	1600	30	40.0	20.0	2.0	840	5037

Fuente: *Elaboración Propia*

*Considerando una relación de dilución (excretas:agua de lavado) 1:5.

**Considerando un tiempo de retención de 25 días.

Para estimar el volumen necesario de un biodigestor de biomasa suspendida aplicable a un determinado plantel, se emplea la siguiente ecuación:

$$V_b = Fp \cdot Tr$$

Donde:

V_b : Volumen del biodigestor en m³

Fp : Flujo de purines en m³·día⁻¹

Tr : Tiempo de retención en días.

El flujo de purines se puede obtener a partir de los métodos especificados en el subcapítulo 1.3 Caracterización de Purines.

El tiempo de retención en rigor se calcula a través de balances de masa cuyos parámetros son, entre otros, el flujo de entrada y su densidad, el sustrato de los microorganismos que viene dado por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la concentración de sólidos volátiles totales (SV_T), constantes de hidrólisis y cinéticas de reacción.

No obstante, con el fin de obtener datos estimativos, se pueden emplear valores medios, en un rango de 0,4 y 6 días para biodigestor de mezcla completa y entre 4 y 28 días para biodigestores de flujo pistón.

Una vez obtenido el volumen del biodigestor, se debe proceder a calcular sus dimensiones y de ésta forma proyectar el espacio que ocuparía la instalación.

Para calcular las dimensiones del biodigestor, se debe definir la geometría que tendrá (cilíndrico vertical, cilíndrico horizontal, rectangular, cónico, etc.). Lo que existe en común entre las diferentes geometrías de biodigestores, es que presentan una entrada de líquidos no estabilizados (purín bruto o con tratamiento primario), una salida para los líquidos tratados y una salida para el biogas generado. A continuación se presenta un ejemplo de cálculo para estas tecnologías.

Ejemplo preliminar de cálculo para biodigestor de mezcla completa.

Para analizar la factibilidad de implementar este método de tratamiento, se necesita calcular de forma aproximada las dimensiones del biodigestor. Se diseñará con geometría cilíndrica vertical, para un plantel de 11.100 animales que genera un flujo diario de 602m³, valor calculado en el ejemplo de estimaciones matemáticas para el cálculo de flujos de purines en el subcapítulo 1.3 Caracterización de Purines.

Para obtener el volumen necesario del biodigestor anaeróbico a mezcla completa emplearemos un tiempo de retención de 1 día como se presenta a continuación:

Si;

$$V_b = Fp \cdot Tr$$

Donde:

V_b : Volumen del biodigestor en m³

Fp : Flujo de purines en m³·día⁻¹

Tr : Tiempo de retención en días.

$$V_b = 1\text{ día} \cdot 602\text{m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$$

$$V_b = 602\text{m}^3$$

En general, la forma adoptada por estos biodigestores puede ser tanto cilíndrica como rectangular. Se aplica una relación altura: diámetro de 1:2 para la dimensión espacial de este tipo de geometrías, considerando además un rango de diámetro (o ancho) entre 6 y 26 m y de altura entre 3 y 13 m.

Se utiliza para el ejemplo una geometría cilíndrica vertical como se observa en la Figura 15.

Se considera una altura de 8m y el diámetro se obtiene de la siguiente forma:

$$V_b = 3,14 \cdot H \cdot \frac{D^2}{4}$$

Donde:

V_b : Volumen del biodigestor en m^3

H : Altura del biodigestor en m.

D : Diámetro del biodigestor en m.

Reemplazando:

$$602m^3 = 8m \cdot \frac{D^2 \cdot 314}{4}$$

Despejando D^2 ;

$$D^2 = \frac{4 \cdot 602m^3}{8m \cdot 3,14} = 96m^2;$$

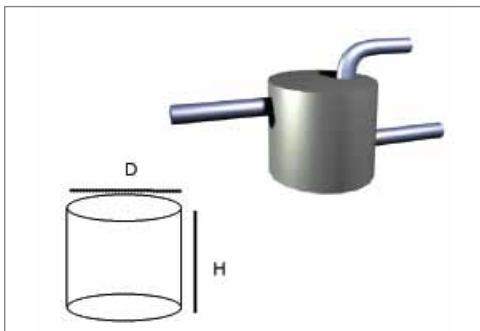
$$D = 9,8m$$

Por lo tanto, el diámetro D resulta de 9,8 metros para una altura de 8m.

Ejemplo preliminar de cálculo para biodigestor de flujo tipo pistón.

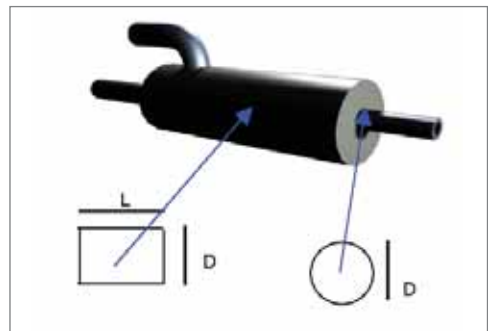
Utilizando los mismos valores de flujo del ejemplo anterior, diseñaremos, a nivel preliminar, un biodigestor del tipo cilíndrico horizontal como se observa en la Figura 16. Se empleará un tiempo de retención de 4 días.

Figura 15. Biodigestor de geometría cilíndrica vertical.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 16. Biodigestor de geometría cilíndrica horizontal.



Fuente: Elaboración Propia

Si;

$$V_b = Fp \cdot Tr$$

Donde:

Vb: Volumen del biodigestor en m³

Fp: Flujo de purines en m³·día⁻¹

Tr: Tiempo de retención en días.

$$V_b = 4 \text{ días} \cdot 602 \text{ m}^3$$

$$V_b = 2.408 \text{ m}^3$$

Para este tipo de biodigestores se aplica una relación largo:diámetro de 6:1, considerando además que el largo del cilindro se encuentre en el rango de 6 a 12m.

Como el diseño a realizar considera una geometría cilíndrica horizontal, las dimensiones del biodigestor se obtienen de la siguiente forma considerando un largo de 12m.

$$V_b = 3,14 \cdot L \cdot \frac{D^2}{4}$$

Donde:

V_b: Volumen del biodigestor en m³

L: Largo del biodigestor en m.

D: Diámetro del biodigestor en m.

π: Radianes (adimensional), considerar 3,14.

Reemplazando:

$$2.408 \text{ m}^3 = 12 \text{ m} \cdot \frac{D^2 \cdot 3,14}{4}$$

Despejando D²;

$$D^2 = \frac{4 \cdot 2.408 \text{ m}^3}{12 \text{ m} \cdot 3,14} = 256 \text{ m}^2;$$

$$D = 16 \text{ m}$$

Finalmente el diámetro D resulta de 16 metros para una altura de 12m.

1.4.2 Sistemas Naturales de Tratamiento

Los sistemas naturales de tratamiento son variados, muchos de ellos redescubiertos en sus capacidades y aplicaciones, ya que habían sido desplazados por la sustitución de las tecnologías modernas.

Estos métodos de tratamiento natural se les considera de gran relevancia debido a la reutilización de nutrientes, minerales y materia orgánica de los purines, además que dan posibilidad de cumplir con el grado de control esperado que indican las normativas de calidad de aguas.

Existen tecnologías relativamente modernas en el ámbito de los métodos naturales que están teniendo un rápido crecimiento, dado que son métodos cuya relación costo beneficio los hace muy atractivos para algunas aplicaciones. En el caso de la agricultura, pueden existir ventajas en aquellos predios que presenten terrenos para implementar estas tecnologías, las que involucran un menor costo de inversión, operación y mantenimiento que los sistemas convencionales de tratamiento.

Los métodos naturales incluyen el uso de sistemas de lagunas (métodos acuáticos) y aplicación al suelo de lodos y purines (métodos terrestres).

En ambos sistemas se desarrollan tratamientos primarios y secundarios de forma paralela. Es por ello que no se utilizará esta clasificación, como fue usada en el subcapítulo anterior.

Este subcapítulo busca establecer las bases necesarias para realizar los diseños a nivel de prefactibilidad de los métodos de tratamientos naturales, métodos que concitan el máximo de interés como una alternativa de tratamiento de aguas para el sector porcino en Chile.

1.4.2.1 Efectos del tratamiento en la composición de purines.

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

Nitrógeno.

El nitrógeno es un constituyente común en aguas residuales de origen agrícola y en el tratamiento normalmente es el factor limitante en los sistemas naturales. La eliminación del nitrógeno ocurre gracias a la absorción de éste por las plantas, por volatilización de amonio y por desnitrificación. Algo de nitrógeno se pierde por lixiviación, aunque el objetivo es la minimización de este proceso. La volatilización y la desnitrificación juegan un rol de gran importancia en la eliminación de nitrógeno, sin embargo, la absorción

de este elemento por las plantas es la base para el diseño de los sistemas terrestres de tratamiento (aplicación al suelo).

Fósforo.

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

Materia Orgánica y DBO.

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

Sólidos suspendidos (SS).

El proceso principal que ocurre en los sistemas de tratamiento de tipo terrestre es que el suelo filtra los sólidos suspendidos. En los sistemas de tipo acuático, los SS son depositados en el fondo del cuerpo de agua donde finalmente son degradados vía otros mecanismos biológicos.

Patógenos.

Los patógenos son efectivamente destruidos por los tratamientos de tipo natural. Los métodos terrestres tienen un mejor comportamiento que los acuáticos en este sentido. Los mecanismos principales involucrados son la competencia y la predación por organismos nativos presentes en el sistema de tratamiento, aunque algunas especies resistentes pueden persistir por un largo tiempo expuestas a las condiciones ambientales. En los sistemas que usan suelo, los patógenos son primero filtrados (bacterias) o adsorbidos por las partículas del suelo (virus) y luego degradados.

Sodio y otras sales.

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

1.4.2.2 Tratamiento con lagunas.

Perteneciente a un tipo de tratamiento acuático, las lagunas de estabilización son una técnica sencilla para el tratamiento de efluentes agrícolas. Consisten en retener el efluente en estanques durante un período de tiempo suficiente como para provocar la degradación de la materia orgánica por medio de la actividad microbiológica. Funcionan en forma natural, sin la intervención de mecanismos ideados por el ser humano, sin embargo se podrían incluir sistemas para aumentar la temperatura del agua, equipos mecánicos de aireación, u otros.

Sus ventajas se definen por la simplicidad extrema de su funcionamiento. La naturaleza no se equivoca, no hay equipos que se dañen, ni complicaciones para lograr el éxito. Pero, la naturaleza es lenta, necesiéndose largos períodos de retención y demandándose en consecuencia, un mayor uso de superficie.

Su construcción es muy simple, involucrando principalmente las actividades de movimiento de tierra y sellado. Los costos de operación son muy bajos, comparándolos con los costos de otros sistemas de tratamiento. Este bajo costo hace que muchas veces se considere que el funcionamiento de estos sistemas de tratamiento sean de menor calidad que otros, siendo por lo general tan eficiente como los sistemas convencionales.

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

A continuación se detalla la clasificación de las lagunas y sus principales características.

1.4.2.2.1 Clasificación según degradación biológica.**Lagunas aeróbicas.**

Las lagunas aeróbicas son estanques pocos profundos de 0,3m a 0,45m, diseñados con el propósito de maximizar la penetración de luz y favorecer el crecimiento de algas, por medio de la acción de la fotosíntesis. Las condiciones aeróbicas (presencia permanente

de oxígeno) se mantienen siempre en toda la profundidad de la laguna y los desechos son degradados por microorganismos aeróbicos.

El aporte de oxígeno necesario para la degradación se produce por la acción fotosintética de las algas que conviven en el estanque y por la difusión generada por las turbulencias de la propia laguna.

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

Lagunas facultativas.

Este tipo de lagunas se diseñan para que tengan dos zonas definidas. Una se mantiene aeróbica, mientras que otra es anaeróbica (Figura 17).

En el estrato superior de la laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables. Estas lagunas por lo general son aeróbicas durante el día, así como durante algunas horas de la noche.

El aporte de oxígeno se genera, al igual que en lagunas aeróbicas, a partir de las algas y de la difusión.

El objetivo esperado en las lagunas facultativas es obtener un líquido de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada degradación de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes. Sin embargo, por las mismas razones que en las lagunas aeróbicas, este tipo de tratamiento puede resultar no viable para el manejo de purines.

Lagunas aeróbicas aireadas mecánicamente.

Estas lagunas son más profundas, entre 1,8 y 6 metros y la aireación es mantenida mediante aireadores mecánicos. Dado que se airean en forma mecánica, la superficie necesaria de laguna es menor, los tiempos de detención son más cortos (3 a 10 días) y la carga orgánica capaz de ser degradada es mayor.

La desventaja es que los requerimientos de energía son altos, aunque pueden usarse generadores que utilicen energías alternativas a objeto de disminuir los costos de operación (Figura 18).

Figura 17. Laguna facultativa.

Fuente: IMS Dredge, 2003

Figura 18. Laguna aireada mediante ventiladores mecánicos.

Fuente: ISU, 1998

La carga orgánica máxima (DBO), que garantiza el buen funcionamiento de lagunas aeróbicas, aeróbicas aireadas y facultativas, no debe superar los $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de DBO. Dado que los purines de plantales porcinos presentan valores del orden de los $10.000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de DBO, éstos tipos de lagunas no serían técnicamente factibles de implementar. No obstante se han presentado sólo con la posibilidad de ser implementas como un tratamiento posterior a un sistema de laguna(s) anaeróbica(s).

Lagunas anaeróbicas.

Las lagunas anaeróbicas son estanques profundos de 2,4m a 8m que en su interior se desarrollan procesos biológicos conducentes a reducir la demanda de oxígeno (DBO) y los nutrientes que vienen en el efluente. Éstas pueden aceptar altas cantidades de carga orgánica (hasta $20.000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) y pueden funcionar sin la fotosíntesis de las algas. La penetración de la luz no es importante y se pueden construir más profundas, siendo 4 a 5m, las profundidades más comunes.

El efluente de una laguna anaeróbica, cuya eficiencia puede alcanzar un 70% de remoción de DBO, puede mostrar aún altos contenidos de DBO para su disposición en cuerpos de agua superficiales.

Por otra parte, los sólidos no degradados se acumulan en el fondo, dando lugar a la formación de una capa de lodos. A medida que aumenta el tiempo de almacenamiento de los lodos en las lagunas, su contenido en materia orgánica disminuye debido a la degradación anaerobia a la que están sometidos. Durante un año de operación se estima que el grado de mineralización alcanzado por los lodos en una laguna anaerobia es del 80-85% (Moreno, 1984; Ortuño, 1987). A medida que el lodo se mineraliza aumenta su compactación y disminuye su volumen.

La principal desventaja de las lagunas anaeróbicas es la generación de olores, por lo cual se recomienda que éstas se ubiquen entre 500m y 1000m de sitios residenciales y preferiblemente en una posición contraria a la dirección predominante del viento.

La presencia de oxígeno disuelto es muy perjudicial para el proceso de digestión anaeróbica, por lo que se recomienda el máximo de profundidad no excediendo los 8m. Además, una laguna más profunda mantiene una temperatura más constante y ocupa menor superficie de terreno.

El tiempo de detención en estas lagunas fluctúa entre los 20 y 50 días, el cual puede extenderse si la laguna es de descarga discontinua.

Existen dos factores que afectan significativamente la descomposición anaeróbica: la temperatura y el pH. Para que la fermentación ocurra de la mejor forma, el pH debe ser cercano a 7.0°, no debe existir oxígeno disuelto y la temperatura del líquido debe ser superior a los 15°C.

En este tipo de lagunas, una parte de la materia orgánica se reduce a metano (CH_4), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y nitrógeno gas (N_2), y la otra fracción se transforma en dióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno mineral.

El valor fertilizante de los efluentes de este tipo de lagunas es reducido debido a que, por descomposición, hasta el 60% del nitrógeno se pierde por volatilización. Por otra parte el 66% del fósforo y del potasio pueden perderse en los lodos que están en el fondo, aunque estos lodos deben a la larga ser eliminados y son normalmente aplicados al suelo.

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

Ventajas:

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

Desventajas:

- Las lagunas anaeróbicas son sensibles a los cambios repentinos de temperatura y tasas de carga orgánica y, como resultado, producen algunos olores. Sin embargo, los problemas serios de olor raramente se presentan si la laguna está diseñada y operada apropiadamente.
- Las lagunas anaeróbicas funcionan mejor durante el verano y en áreas sin inviernos fríos ya que las temperaturas altas mejoran el proceso de degradación.

1.4.2.2.2 Clasificación según la frecuencia de descarga.

Descarga continua

En esencia, el flujo de entrada llena la laguna y la rebalsa, teniendo en general un flujo similar de evacuación, osea, permanentemente está entrando y saliendo un flujo constante que si no fuera por la evaporación, tenderían a ser iguales.

Descarga discontinua

Cierto volumen de líquidos tratados es removido de la laguna en tiempos definidos por una frecuencia, cuatro veces al año por ejemplo. Normalmente, si la descarga es al suelo la periodicidad está relacionada con el estado de la vegetación o la estación del año. Es por ello que a este tipo de descarga se le llama comúnmente vertido por lotes.

Retención completa

Estas lagunas no descargan al ambiente, con la excepción de la percolación profunda cuando ésta es permitida y el agua es eliminada por evaporación. Por esta razón el área de este tipo de lagunas es lo suficientemente grande para que la evaporación se maximice. No obstante, este tipo de mecanismo para lagunas anaeróbicas puede llegar a ser inaplicables para el rubro, debido principalmente a los costos de construcción y de terreno para las extensas áreas que ocupan.

1.4.2.2.3 Clasificación según la disposición espacial.

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

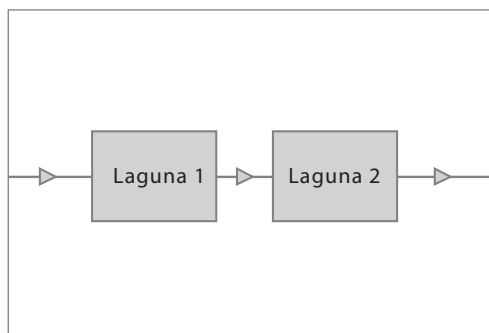
Disposición en serie

Las lagunas dispuestas en serie otorgan un aumento en la calidad bioquímica del líquido tratado, por lo que se aplica en proyectos donde se requiere alcanzar un alto grado de calidad en el efluente (Ver Figura 19).

Disposición en paralelo

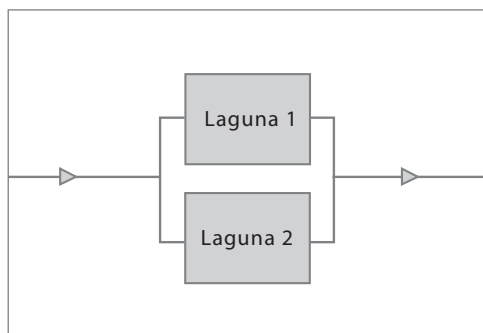
El uso de lagunas en paralelo no mejora la calidad bioquímica del efluente, pero en cambio, ofrece muchas ventajas desde el punto de vista de construcción y operativo, sobre todo cuando se utilizan para degradar altos flujos de purines. Además, el contar con dos lagunas o más, permite sobrecargar una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

Figura 19. Disposición espacial de lagunas en serie.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Disposición espacial de lagunas en paralelo.



Fuente: Elaboración propia.

La Organización Mundial de la Salud (W. H. O., 1987) recomienda que se cuente con al menos dos lagunas anaerobias en paralelo para asegurar la continuidad de la operación en caso de limpieza y retirada de los lodos en una de las dos unidades (Ver Figura 20).

1.4.2.2.4 Diseño de lagunas anaeróbicas.

El diseño de lagunas anaerobias se lleva a cabo mediante procedimientos empíricos. Los parámetros de diseño más adecuados para lagunas anaerobias son la carga volumétrica y el tiempo de retención hidráulico (W. H. O., 1987; Mara, 1976; Middlebrooks y col., 1982; Gloyne, 1973), como se vio en el subcapítulo 1.4.1.

La determinación del tamaño de una laguna está relacionada a los objetivos del tratamiento y puede enfrentarse por medio de modelos matemáticos o por un diseño utilizando criterios clásicos. En general, el diseño entrega un valor mínimo de superficie o volumen requerido para lograr el nivel de tratamiento requerido, el cual debe ser incrementado a objeto de considerar aspectos como capacidad de almacenamiento para precipitación y generación de lodos.

El objetivo principal que persiguen las lagunas es reducir la demanda de oxígeno del efluente (como DBO o sólidos volátiles). Adicionalmente, una laguna puede perseguir objetivos secundarios, como reducción del N, aunque en general, esto último es secundario y es resultado del objetivo principal.

El diseño de lagunas anaeróbicas consiste básicamente en calcular los parámetros de volumen y altura para un determinado flujo y concentración de purín.

El volumen requerido se constituye de lo siguiente:

- Volumen mínimo de tratamiento.
- Volumen de purines para un tiempo de almacenamiento.
- Volumen de acumulación de lodo.

La expresión matemática resulta ser:

$$VR = VMT + VP + VL$$

Donde:

VR: Volumen requerido de la laguna, en m³.

VMT: Volumen mínimo de tratamiento, en m³.

VP: Volumen de purines para un tiempo de almacenamiento, en m³.

VL: Volumen de lodos acumulados sobre el período de tiempo de extracción de éstos, en m³.

Las lagunas anaeróbicas son diseñadas en función a la proporción de carga de sólidos volátiles (CSV). Estos sólidos volátiles representan la suma de material sólido orgánico que llega a descomponerse. La eficiencia en descomposición de sólidos en las lagunas anaeróbicas es función de la temperatura; por lo tanto, esta eficiencia varía de acuerdo a la ubicación geográfica.

Respecto a la profundidad de las lagunas anaeróbicas (P), si bien existe un rango entre 2,4 y 8,0 metros, es recomendable la utilización de la mayor profundidad posible. Una gran profundidad se traduce en una menor área superficial y por ende una menor transferencia de calor desde el medio líquido hacia el ambiente. Esto último cobra importancia en zonas con climas fríos.

Otras ventajas de construir lagunas profundas son la minimización de la generación de olores por presentar menor área superficial, disminuyendo el impacto visual y aumentando la mezcla vertical de los contenidos de la laguna.

Los terrenos cuya profundidad al nivel freático sea menor a 4m, deberán estudiar la factibilidad técnica de construir en épocas en que la altura de la napa disminuya (generalmente verano) asegurando una impermeabilidad con un revestimiento de membranas flexibles, o bien construir la laguna sobre nivel del suelo.

Para aquellos terrenos que no cuenten con limitaciones de profundidad al nivel freático (mayores a 9m), la profundidad debería ser lo más cercano a 8 metros. No obstante, las mínimas profundidades se presentan en Tabla 4, recomendación basada en las necesidades de conservación calorífica otorgada por la profundidad ante la incidencia del clima de las diferentes regiones, proporción realizada a través de temperaturas mínimas mensuales.

Tabla 4. Profundidad mínima recomendada.

REGIÓN	PROFUNDIDAD MÍNIMA RECOMENDADA (m)
V	3
Metropolitana	3.5
VI	4.2
VII	5
VIII	6.5
IX	7

Fuente: Elaboración propia.

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

- Profundidad necesaria para la precipitación máxima mensual acumulada que incide en la superficie de la laguna.
- Profundidad necesaria para sostener un evento de tormenta (precipitación máxima diaria) a una tasa de retorno de 20 años. Si el proyecto de tratamiento por laguna contempla un determinado tiempo de vida útil, se deberá aplicar la misma cantidad de tiempo como tasa de retorno para el evento de tormenta.
- Borde libre de 30cm como seguridad ante potenciales desbordes.

La expresión matemática resulta ser:

$$Pr = Pm + Ppr + BL$$

Donde:

Pm: Precipitación máxima mensual acumulada, en mm*mes⁻¹.

Ppr: precipitación máxima diaria a determinada tasa de retorno, en mm.

BL: Borde libre, en mm.

La precipitación máxima mensual acumulada se puede obtener de la base de datos del Balance Hídrico de Chile y se presenta a continuación.

Tabla 5. Precipitaciones máximas mensuales por región.

Región	Precipitación mensual Máxima Pm (mm)
V	115
Metropolitana	150
VI	158
VII	188
VIII	240
IX	350

Fuente: *Balance Hídrico de Chile. D.G.A. 1987.*

La Tabla 6, presenta las precipitaciones máximas diarias en función del tiempo de retorno. Valores calculados a partir de la información climatológica de la Dirección Meteorológica de Chile en Santo Domingo, V región; Estación Meteorológica de INIA La Platina en la Región Metropolitana; Estación Meteorológica Hidango de INIA Rayentue en la VI Región; Dirección Meteorológica de Chile en Curicó, VII Región; Dirección Meteorológica de Chile en Los Ángeles, VIII Región y Estación Meteorológica INIA Carillanca, IX Región.

Sin embargo, en la laguna existe una pérdida de agua proporcionada por la evaporación. Para considerar esta pérdida de forma de no sobrestimar demasiado la capacidad del sistema, se puede considerar la evaporación mínima mensual de la localidad el sitio de emplazamiento.

La evaporación mínima mensual se puede obtener de la Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile. Para ello se agrupó en dos zonas (central y costera) cada una de las regiones involucradas (Ver Tabla 7). No obstante, para obtener un valor más exacto se recomienda, con la ubicación del predio, calcular el valor de la evapotranspiración usando los planos o el software disponible en el citado estudio.

Tabla 6. Precipitaciones máximas diarias (Ppr) en función del tiempo de retorno.

Región	Tiempo de Retorno (años)	Ppr (mm)	Probabilidad de Exedencia (%)
V	10	108	0,10
	15	109	0,07
	20	120	0,05
	50	122	0,02
RM	10	84	0,10
	15	87	0,07
	20	92	0,05
	50	94	0,02
VI	10	125	0,10
	15	126	0,07
	20	127	0,05
	50	129	0,02
VII	10	94	0,10
	15	95	0,07
	20	98	0,05
	50	105	0,02
VIII	10	118	0,10
	15	125	0,07
	20	130	0,05
	50	142	0,02
IX	10	91	0,10
	15	98	0,07
	20	101	0,05
	50	111	0,02

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 7. Evaporación regional por zona.

	Evaporación mínima mensual, en mm.	
	Zona Costera	Zona Central
V	30,42	40,92
Metropolitana	30,42	29,59
VI	30,42	29,59
VII	30,42	35,2
VIII	30,42	35,2
IX	23,12	35,2

Fuente: Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile, 1997.

La mayoría de las lagunas son rectangulares o circulares para facilitar la carga uniforme y para facilitar la mezcla de los contenidos.

Para las geometrías rectangulares la longitud dependerá de la profundidad, la anchura deseada, y la inclinación de los taludes. Sin embargo, una laguna no debería tener un largo más de 4 veces el ancho para asegurar una mezcla adecuada, por lo que se recomienda aplicar relaciones ancho/largo de 1:2 a 1:4, siendo 1:2 la relación más adecuada para conseguir una mezcla más completa. En el subcapítulo 1.4.2.2.3 Clasificación de Lagunas según la Disposición Espacial, se presentan los principales fundamentos para disponer de forma paralela o en serie un conjunto de lagunas de tratamiento.

Para lagunas anaeróbicas, la firma estadounidense Metcalf & Eddy, recomienda una serie de parámetros para el diseño de lagunas (Ver Tabla 8). Dentro de estas recomendaciones se presenta un rango de 0,2 a 0,8 hectáreas para el área superficial para este método de tratamiento. Para superficies de diseño mayores a este rango, se deberá optar por implementar más de una laguna.

El criterio para elegir la superficie entre 0,2 y 0,8ha serán las ventajas desde el punto de vista de construcción y operativo, sobre todo cuando se utilizan para degradar altos flujos de purines.

Se destaca que el contar con dos lagunas o más, permite sobrecargar una mientras se lleva a cabo la limpieza de la otra en los períodos de mantención o extracción de lodos.

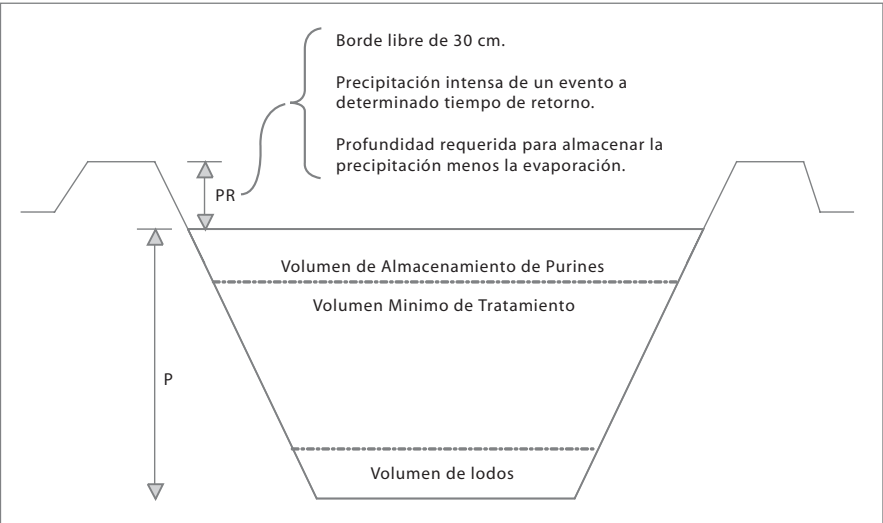
Tabla 8. Principales criterios de diseño de los sistemas acuáticos.

Criterios Típicos								
Tipo de Método	Tamaño de Laguna (Ha)	Tiempo de detención (días)	Profundidad (m)	pH	T° (°C)	T° óptima (°C)	Carga DBO (Kg/ha día)	Funcionamiento
Laguna anaeróbica	0,2-0,8	20-50	2,4-8	6,5-7,2	6-50	30	225-560	En serie
Laguna facultativa	0,8-4	5-30	1,2-2,4	6,5-8,5	0-50	20	56-200	En serie o en paralelo
Laguna aeróbica	0,2-0,8	4-6	0,3-0,45	6,5-10	5-30	20	90-180	En serie
Lagunas aireadas	0,8-0,4	3-10	1,8-6	6,5-8	0-30	20	150-250	En serie o en paralelo
Laguna de jacintos	0,2-0,8	10-36	0,45-0,9	6,5-8,5	>10	20	45-90	En serie

Fuente: Metcalf & Eddy, 1998

A continuación se esquematiza la distribución del perfil de una laguna anaeróbica.

Figura 21. Distribución del perfil de alturas de la laguna anaerobia.



Fuente: Elaboración Propia.

A modo de ejemplo, se ha diseñado una laguna anaeróbica de sección rectangular para un plantel que genera un flujo de purines de 8.000m³ mensuales. Los resultados se presentan en Tabla 9.

Tabla 9. Resumen de los resultados del ejemplo.

Resultado*	Símbolo	Valor/unidad
Volumen mínimo de tratamiento	VMT	24.070m ³
Volumen de almacenamiento de purín	VP	1.400m ³
Volumen de acumulación de lodos	VL	5.380m ³
Volumen requerido	VR	30.848m ³
Profundidad de la laguna	P	7m
Profundidad requerida para el efecto precipitación/evaporación	PR	0,42m
Área superficial de la laguna	AS	4.407m ² (0,41ha)
Ancho de la laguna	A	46,94m
Largo de la laguna	L	93,88m

Fuente: Elaboración Propia.

* Supuestos para la realización del diseño:

Concentración típica de sólidos totales de 6500mg·l⁻¹

Laguna de descarga continua que considera como seguridad, un período de almacenamiento de purines de 5 días.

Tiempo de acumulación de lodo para su extracción de 15 años.

Distancia al nivel freático de 8m.

Relación Largo/Ancho de la laguna 1:2.

1.4.2.2.5 Construcción y manejo de lagunas anaeróbicas.

El diseño de las lagunas no contempla la infiltración de líquidos hacia el subsuelo o hacia la napa subterránea. La razón es simple, se debe presentar un ambiente hermético que garantice que no habrá potencial riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por infiltración, asegurando a la vez no perder nutrientes por estas vía.

Para lograr este objetivo se puede revestir con algún tipo de material plástico (polietileno de alta densidad HPDE) el fondo de la laguna o bien aplicar arcilla y cierta compactación del suelo con tal de impedir el escape de líquidos.

El propósito de la compactación del suelo es cambiar las propiedades físicas de los materiales subyacentes para formar una base más firme. La compactación del suelo se puede lograr por medio de fuerzas estáticas, de impacto o vibratorias.

Por medio de fuerzas estáticas, un objeto grande con un gran peso estático rueda sobre el suelo para aumentar su densidad. Por medio de fuerzas de impacto, un objeto golpea contra la superficie del suelo a una frecuencia baja, normalmente a menos de 600 golpes por minuto o a través de la compactación vibratoria, en donde las ondas de energía que se transmiten al suelo disminuyen el roce entre las partículas del suelo, lo cual hace que las partículas se junten.

Si no se hace la compactación correctamente en todo el espesor de la capa, la parte de arriba queda bien compactada, pero la de abajo queda suelta. Esto crea una condición llamada “puente”, donde el material compactado flota sobre el suelo sin compactar, lo cual es una causa común de fallas prematuras.

A continuación, en Figura 22 se presentan fotografías de máquinas de compactación de suelos.

Figura 22. Fotografía máquinas de compactación.



Fuente: Empresas Construcción Pan Americana, 2001.

El tamaño de la superficie a trabajar, es otro factor que hay que considerar para escoger un compactador. Las extensiones grandes con capas delgadas que hay que compactar, se pueden hacer con rodillos pequeños. Sin embargo, debido a que éstos son menos anchos, se empleará más tiempo y habrá que hacer más pasadas para lograr la densidad deseada. Por el contrario, si se usa un compactador grande para hacer trabajos pequeños, se invertirá más tiempo tratando de maniobrar alrededor de obstáculos. Además, con un compactador grande es difícil compactar ciertas áreas en espacios confinados.

A continuación se describen los diferentes tipos de revestimiento o sellado que pueden utilizarse para garantizar la impermeabilidad de una laguna.

Sellado con excretas.

Las excretas por sí mismas ayudan a sellar el fondo introduciéndose en los poros o espacios vacíos del material existente. El problema con este método es que toma tiempo para que se desarrolle el sello. Algunos componentes podrían percolar y posiblemente llegar al agua subterránea durante el período inicial cuando el sello se está desarrollando. A la vez, cuando el lodo es bombeado en las operaciones de extracción, el sello establecido podría ser dañado.

Una solución para acelerar la formación de sello es emplear una carga inicial con una alta concentración de sólidos totales, aunque también podrían ser necesarias medidas adicionales para sellar lagunas en terrenos con drenajes moderados y con buen drenaje.

Sin embargo, dado los riesgos potenciales de contaminación de aguas subterráneas de esta práctica, la autoridad sanitaria nacional no recomienda el sellado natural con excretas como una práctica, dado que puede haber una migración de contaminantes a las aguas subterráneas. Por ello, dependiendo de la profundidad de la napa y la topografía del terreno, se recomienda, acondicionar el suelo natural compactándolo, y luego realizar un sellado con arcilla compactada con un espesor de ésta de 30 cm, de tal forma de lograr una conductividad hidráulica no superior a 10^{-7}cm/s^{-1} en su defecto usar polietileno de alta densidad HPDE.

Sellado por compresión.

Una de las propiedades de los suelos con drenaje bueno a bien drenados es presentar una alta porosidad, determinada por poros de gran tamaño, los cuales permiten la percolación del agua del suelo. Estos suelos, como una forma de reducir su capacidad de percolación, pueden ser comprimidos a una profundidad de 30cm.

Sellado por cubiertas de tierra.

Los suelos impermeables o de textura fina compuestos de arcillas con una conductividad hidráulica de $10^{-5} \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, pueden extraerse para comprimirlos sobre el suelo permeable del fondo de la laguna y formar una capa de al menos 30 centímetros de suelo.

Sellado con arcilla.

Las arcillas podrían ser utilizadas para sellar los suelos con buen drenaje. Las arcillas expandidas, como la bentonita, absorben muchas veces su peso en agua y se hinchan de ocho a veinte veces su volumen original cuando están completamente saturadas. La arcilla debería ser mezclada con el suelo, comprimida, y saturada completamente. Si se aplica apropiadamente, se formará un sello, el cual es prácticamente impenetrable para el líquido. La preocupación al utilizar arcillas expandidas como sellador es que se agrietan al no encontrarse saturadas en líquido, lo que se evita si se procura mantener siempre el volumen mínimo de tratamiento (VMT), incluso para períodos de extracción de lodos.

Sellado con membranas flexibles.

Las membranas de revestimientos de PVC son construidas en monogramas de una sola capa utilizando Cloruro de Polivinilo calandrados como el polímero principal, sin embargo su costo económico puede ser elevado. Son delicadas al impacto físico, por lo que se debe tener cuidado en no perforar el revestimiento durante la instalación y el uso, debiendo utilizar procedimientos de mantenimiento adecuados. Se recomienda el uso de membrana con un espesor mínimo entre 0,6 mm y de 1,50 mm.

Por otro lado, las geomembranas HDPE otorgan buenos resultados en esta aplicación, debido a la mayor resistencia que presentan para la extracción de lodos con maquinarias. Son fabricadas con resinas vírgenes de polietileno de alta densidad, especialmente formuladas para manufacturar este tipo de producto. Se recomienda el uso de membranas con un espesor mínimo entre 2,5 mm y de 6,0 mm.

En el sentido decreciente de las opciones anteriormente descritas, aumenta la inversión económica a realizar y el grado en impermeabilización.

Los diferentes tipos de revestimiento o sellado deben ser aplicados en función de la distancia mínima a la profundidad de la napa freática que posea el terreno a utilizar y en función del drenaje que pueda presentar este mismo terreno.

Para la elección del tipo de revestimiento o sellado de la laguna, se presentan a continuación dos tablas con recomendaciones en función del drenaje y la textura del suelo. Como recomendación general, la conductividad hidráulica del revestimiento, ya sea arcilla compactada u otros materiales, debe ser baja, no superior a 10^{-5} a $10^{-7} \text{ cm s}^{-1}$, de forma de minimizar el riesgo de escape de percolación hacia el agua subterránea.

Tabla 10. Tipos de revestimientos o sellados, recomendados en función de la textura del suelo.

TEXTURA DEL SUELO	TIPO DE REVESTIMIENTO O SELLADO DE LA LAGUNA
Arenoso	Membrana polietileno HPDE
Areno franco	Membrana polietileno HPDE
Franco arenoso	Membrana polietileno HPDE, arcilla compactada.
Limoso	Sellado por compresión y arcilla compactada.
Franco arcilloso	Por compresión/arcilla compactada
Arcilloso limoso	Por compresión/arcilla compactada
Arcilloso	Por compresión

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11. Tipos de revestimientos o sellados, recomendados en función de la distancia mínima a la profundidad de la napa freática.

Rango de distancia mínima a la altura de la napa freática	Tipo de revestimiento o sellado de la laguna
< 6m	Membrana polietileno HPDE.
6,1 – 10m	Con arcilla compactada
10,1 – 15m	Con arcilla compactada
15,1 – 20m	sellado por compresión/arcilla compactada.
20,1 – 25m	sellado por compresión/arcilla compactada.
25m y más.	sellado por compresión/arcilla compactada.

Fuente: Elaboración Propia.

Se deberá considerar el tipo de revestimiento o sellado que presente mas impermeabilidad de las dos tablas anteriores para un determinado proyecto de manejo.

Los factores que deben tomarse en cuenta para la selección del lugar básicamente son: topografía, disponibilidad de terrenos y características del suelo.

El sitio debería estar cerca de la fuente de purines, y preferentemente en una posición topográfica inferior de manera que el purín pueda ser transportado hacia la laguna por gravedad.

El sitio debería estar tan lejos de las casas como sea posible (al menos 500m) y en donde los vientos predominantes sean contrarios a lugares habitados o caminos públicos. Llámese vientos predominantes a la dirección del viento de mayor perdurabilidad en el tiempo.

Se recomienda además, construir barreras naturales (eucaliptos, por ejemplo) alrededor de la laguna para disminuir el impacto visual o paisajístico. Además, los árboles absorben compuestos olorosos y pueden generar turbulencia ayudando a la dispersión de los olores.

La laguna debe emplazarse colina abajo con respecto a los pozos de abastecimiento de agua y de las fuentes de agua superficial.

La pendiente del fondo es necesaria para otorgar bajos movimientos al líquido que se traslada de la entrada a la salida de la laguna. Las pendientes utilizadas son del orden de 1%. No obstante, se puede construir una laguna con un fondo sin pendiente si se otorga una diferencia de alturas entre el sistema de entrada y salida.

El talud de las paredes, por lo general es de 2:1 a 2,5:1 en relación. No obstante, si las paredes están recubiertas con adoquines, asfalto u otro material, es posible usar taludes de 1:1,5.

La laguna anaeróbica debe ser manejada de acuerdo a las funciones para las que fue diseñada. Las instrucciones específicas sobre las operaciones y el mantenimiento deben ser incluidas en el plan de manejo global de los desechos que se proporciona al encargado de tomar decisiones. Normalmente el nivel de una laguna se maneja para que el líquido se mantenga por debajo del máximo operativo.

El nivel mínimo de líquido en una laguna anaeróbica antes de agregar purines debe coincidir con el volumen mínimo de tratamiento. Si es posible una laguna debe ponerse en marcha durante el verano para permitir un desarrollo adecuado de poblaciones bacterianas. Una laguna opera más eficazmente y tiene menos problemas si se realizan pequeñas cargas diarias, en lugar de las cargas grandes, poco frecuentes, es por ello que es conveniente la utilización de homogenizadores en el manejo de purines porcinos.

El pH debe ser medido frecuentemente, siendo el óptimo cercano a 7. Valores inferiores a 6,5 inhibe el desarrollo de bacterias metanogénicas. La causa más frecuente de la disminución del pH en las lagunas anaeróbica es la alta carga de material orgánico que estimula a las bacterias acidófilas. Para aumentar el pH, se debe agregar cal hidratada si este valor está por debajo de 6,5, hasta que el pH alcance 7.

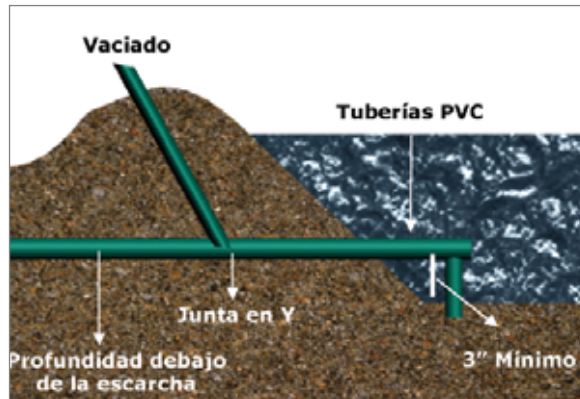
Sistema de salida

El sistema de salida de los líquidos tratados se compone de tuberías de desborde que transportan estos líquidos libres de sólidos desde una celda a otra en lagunas de dos estaciones o de una laguna al sistema de aplicación directa al suelo, en sistemas de una estación. La tubería de desborde se debe localizar al extremo opuesto y pendiente debajo de la entrada de purines.

Sistema de entrada

El sistema de entrada se puede realizar a través de tuberías de alimentación extendidas a 3 o 4m adentro de la laguna. La tubería debería de ser apoyada cada 2,5 a 3,5m. Podría ser necesario utilizar más de una tubería de alimentación, si es que la laguna fuera muy grande, de manera que pueda ser llenada uniformemente (Ver Figura 23).

Figura 23. Sistema de tuberías de entrada.



Fuente: Elaboración Propia.

La formación de espuma o costras en superficie es normal en lagunas anaeróbicas, y según algunos autores es beneficiosa porque previene las pérdidas de calor, sobre todo en climas fríos, e impide la liberación de malos olores. En algunos países con climas muy fríos en invierno se favorece la formación de costra superficial mediante la colocación de paja o polietileno (Dietz y col., 1966). El principal inconveniente de estas costras es la posibilidad del desarrollo de insectos, por lo que se debe mantener un control en estos vectores.

Control de olores

Para controlar y minimizar la generación de olores, la laguna se puede cubrir en su superficie con revestimientos artificiales de plástico para prevenir que los olores sean emitidos al aire. Para mayores detalles ver subcapítulo 3.1.2 Tecnologías para el control de olores.

Control del nivel de lodos

La acumulación de lodo en la laguna debería ser vigilada frecuentemente. Es mejor tomar medidas una vez al año para asegurar que la laguna está funcionando apropiadamente. Una acumulación que sobrepasa los límites de diseño en el volumen de lodos indica un mal funcionamiento biológico del sistema. Para medir la acumulación de lodo, puede utilizar un bote de remos y un bastón para medir. La lectura debe realizarse cerca de la mitad de la laguna y al menos a 4,5m de las tuberías de entradas o salidas. El sistema de retiro de lodos que se implemente deberá ser el adecuado para no dañar el sellado basal de la laguna.

Desagüado de Lagunas con descarga discontinua

Cuando el nivel del agua llegue al nivel del borde libre, bombee la laguna a su volumen mínimo de tratamiento de diseño. Un marcador físico de altura es normalmente utilizado de manera que el operador pueda ver fácilmente cuando empezar y finalizar la extracción, ya sea destinada a riego o almacenaje.

1.4.2.3 Sistemas de aplicación directa al suelo de purines

La aplicación al suelo está definida como la aplicación controlada de los efluentes al suelo a objeto de alcanzar un tratamiento y remoción de los constituyentes que normalmente transportan estos efluentes, como asimismo, una forma de reutilización de agua y de nutrientes en producción agrícola.

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

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

Los procedimientos de TL e IR utilizan la matriz del suelo para realizar el tratamiento después de lograr la infiltración del efluente, y difieren básicamente en la tasa a la cual el efluente es aplicado al suelo. El procedimiento de FS utiliza la superficie del suelo y la vegetación que crece sobre él.

Las siguientes tres tablas, muestran las principales características de estos procedimientos.

Tabla 12. Características de los métodos terrestres de aplicación de efluentes.

Características	Tipo de sistema		
	Tasa lenta	Infiltración rápida	Flujo superficial
Método de aplicación	Aspersión o superficial	Generalmente superficial	Aspersión o superficial
Tratamiento mínimo de preaplicación	Primario	Primario	Primario/Filtración fina
Tasa anual aplicación (m ³ ·año ⁻¹)	0,5 a 6,0	6,0 a 125,0	3,0 a 20,0
Tasa máxima de carga orgánica (kg ·(ha·día) ⁻¹)	330	120	100
Disposición del efluente aplicado	Evapotranspiración y percolación	Percolación	Escurrimiento superficial y evapotranspiración
Necesidad de vegetación	Requerida	Sólo para estabilizar el suelo	Requerida

Fuente: Reed et al, 1995, complementada por material adicional

Tabla 13. Comparación de las eficiencias de remoción de algunos constituyentes al utilizar métodos de aplicación directa al suelo.

Sistema de Tratamiento	Eficiencias (%)					Producción/Recolección de Lodos.
	DBO ₅	DQO	SS*	P	N	
TL	90-95	90-95	95-99	85-90	90-95	No/No
IR	90-95	70-80	90-95	25-40	30-95	Reducida/Sobre 6 meses
FS	90-95	60-70	70-80	23-30	45-50	No/No

Fuente: Moreno, 2003

*SS: Sólidos Sedimentables

Tabla 14. Comparación de los procedimientos por las características de ubicación.

Características	Tipo de sistema		
	Tasa lenta	Infiltración rápida	Flujo superficial
Limitaciones Climáticas	Sistemas de almacenamiento para eventos de lluvias intensas	Ninguna	Sistemas de almacenamiento para eventos de heladas($T^{\circ}<0^{\circ}\text{C}$)
Profundidad a la napa subterránea	0,6-0,9m (mínimo)	3,0m (si existen drenajes se puede adoptar menores profundidades)	No es crítica
Pendientes	Menores a 15% en terrenos cultivados	No es crítico	Entre 1-8%
Permeabilidad del suelo	De moderadamente baja a moderadamente alta	Alta (arenas o gravas)	Bajas (arcillas, limos y suelos con barreras impermeables)

Fuente: Metcalf & Eddy, 1998.

El rasgo común de los tres métodos es que la eliminación de algunos componentes del purín se consigue a través de procesos naturales, desarrollados en un sistema planta-suelo-agua. El avance en el conocimiento de los mecanismos de dichos procesos ha permitido desarrollar criterios científicos de diseño y operación para estos sistemas.

A continuación, la descripción de los tipos de procedimientos.

1.4.2.3.1 Sistema de tasa lenta (TL)

Este procedimiento es uno de los más usados para realizar el tratamiento de efluentes, y en su tecnología, es muy similar al riego agrícola tradicional. Puede ser considerado un sistema de valorización agronómica del purín, donde éste es aplicado por su valor fertilizante, y donde el agua es utilizada para uso-consumo de los cultivos. En general, a nivel de productores chilenos, éste es el sistema usado con mayor frecuencia, aunque sin los controles y diseños requeridos para que sea efectivo para reducir los elementos en exceso que traen los purines. Normalmente se aplican tasas superiores a las necesarias para lograr un tratamiento efectivo (lo que incluye todos los procesos mediante los cuales los potenciales contaminantes pueden ser minimizados); no existe un diseño basado en el elemento limitante o la superficie disponible para aplicar es inferior a la necesaria y calculada mediante un diseño.

Las tasas de aplicación, son las más altas de los tres procedimientos presentados y, a su vez, los requerimientos del sistema son bastante amplios en lo que a suelos se refiere, ya

que este método acepta un amplio rango de tipos de suelo y permeabilidades (conductividad hidráulica).

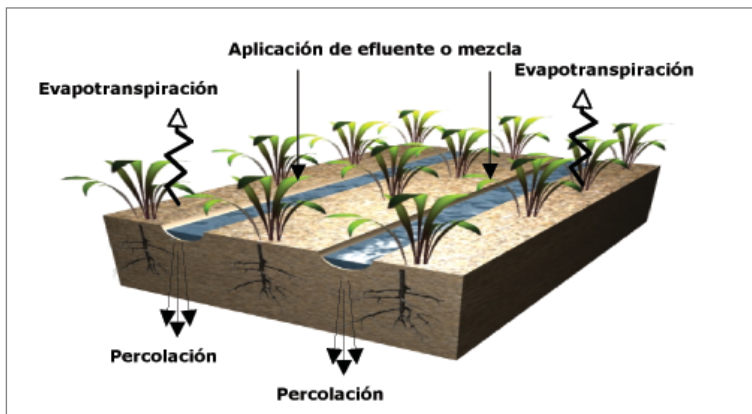
Consiste básicamente en la aplicación de un caudal controlado de efluente sobre la superficie del terreno, donde previamente se ha instalado una masa forestal o un cultivo (Ver Figura 24). Con ello se consigue, además de la depuración del efluente, el crecimiento de especies vegetales, lo que entrega valor agregado al sistema por su valor fertilizante y el agua, que es usada para evapotranspiración.

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

Objetivos del diseño

Existen dos tipos de sistemas de tasa lenta (TL), los de Tipo I que son diseñados en base a un factor limitante del diseño (FLD) lo que conduce a aplicar la tasa máxima posible de efluente al mínimo de área de suelo. El parámetro crítico de diseño que determina la tasa de aplicación es específico al sitio y al tipo de efluente. Para ciertas aplicaciones puede ser la capacidad de infiltración del perfil del suelo, el contenido de nitrógeno del efluente, la DBO, los metales pesados, etc.

Figura 24. Esquema del proceso en sistemas TL.



Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental

El Tipo II está diseñado para optimizar el potencial de reutilización del agua aplicada. En este caso, sólo se aplica una cantidad de agua justa para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos del área. La tasa de aplicación, en este caso, determina los requerimientos de superficie y ésta depende del clima, el suelo, el cultivo, los requerimientos de lixiviación y el método de riego. El objetivo básico del Tipo II es regar la máxima cantidad de superficie de suelo.

Requerimientos de preaplicación.

El tratamiento de preaplicación depende fundamentalmente del tipo de efluente, el tipo de cultivo, el grado de acceso público del lugar de aplicación y las exigencias ambientales de lixiviación. Si la aplicación se va a realizar en un lugar aislado y a cultivos que no son directamente consumidos por seres humanos, sólo es necesario un tratamiento primario de filtración. En general, estos efluentes no deben ser usados para cultivos que crecen a ras de piso y se consuman crudos.

Las lagunas son particularmente efectivas para la remoción de coliformes fecales y nitrógeno, lo cual las convierte en soluciones de preaplicación adecuada para muchos sistemas de TL donde el nitrógeno es el factor limitante de diseño.

Selección del cultivo.

El cultivo en este tipo de sistema de aplicación es de gran importancia, dado que cumple tres funciones fundamentales. Por un lado extrae nitrógeno, elemento normalmente crítico desde el punto de vista del diseño; produce un aumento de la velocidad de infiltración del efluente y, a veces en forma marginal, otras veces en forma importante, produce ingresos incrementales a la explotación pecuaria. Esta última característica es de gran importancia en aquellos sistemas de Tipo II. La selección del cultivo, en ambos tipos, debe considerar entre otros, la demanda de N de cada especie o variedad. En general, esta demanda depende fundamentalmente del rendimiento esperado el cual es resultado de una combinación de factores agronómicos y ambientales. Sin embargo, existen ciertos rangos publicados en la literatura que pueden ser usados como referencia en este tema.

La siguiente tabla entrega algunos valores de requerimientos de N para los principales algunos cultivos (a modo de orientación dado que esto es altamente variable y depende del cultivar o variedad).

Tabla 15. Requerimientos internos de nitrógeno (RIN) de los principales cultivos y su demanda de nitrógeno a un 100% del requerimiento alcanzable.

CULTIVOS	BIOMASA TOTAL (KG·HA ⁻¹)	RIN (%)	DEMANDA DE N (KG N·HA ⁻¹)
Trigo	17.800	1,2	214
Maravilla	12.500	1,3	163
Cebada	13.300	1,3	173
Frejoles	9.000	2,3	207
Garbanzos	5.700	2,5	143
Arvejas	9.700	2,4	233
Lentejas	5.400	2,5	135
Arroz	18.100	0,7	127
Maíz	32.600	1,0	326
Raps	15.000	1,2	180
Remolacha	24.600	1,1	271
Papas	15.400	1,7	262
Ballica Italiana	15.000	2,3	345
Avena	12.000	2,3	276
Maíz Silo	18.000	1,5	270
Ballica Inglesa	12.000	2,5	300
Trébol Rosado	7.000	3,5	245
Alfalfa	6.000	3,5	210
Pradera Mixta	6.000	2,3	138
Falaris-Trébol Subterráneo	4.000	2,3	92
Pradera Natural	3.000	1,5	45

Fuente: Rodríguez, 1993

Los cultivos pueden además ser seleccionados por otras características, como su demanda de agua o evapotranspiración, su resistencia a la salinidad o al exceso de humedad, y finalmente por su potencialidad de generar ingresos.

La selección de cultivos para los TL de Tipo I debe estar basada en la demanda de N, la tolerancia al exceso de humedad (dado que se aplican altas cargas de agua) y facilidad en su manejo, reflejado esto por pocas prácticas de cultivo y cosecha. En general, los cultivos que cumplen estas características son las praderas y los árboles no frutales.

A su vez, para los TL de Tipo II, los criterios de selección son los requerimientos de agua, la rentabilidad potencial, la compatibilidad con el suelo, el clima local y la tolerancia a la salinidad. Normalmente se seleccionan cultivos tradicionales dado que pueden ser comercializados, aunque deben escogerse según su resistencia a la salinidad. Valores de sólidos suspendidos sobre los $700 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ son a veces restrictivos para algunos cultivos.

Tasa de aplicación.

La mayoría de los TL están limitados por las tasas de carga hidráulica o de nitrógeno.

Para los TL de Tipo I, la tasa hidráulica está determinada por la permeabilidad del suelo y se expresa en unidades de $\text{cm}\cdot\text{semana}^{-1}$ o $\text{m}\cdot\text{año}^{-1}$, lo cual incluye períodos de aplicación y períodos sin aplicación (tasa promedio), necesarios para controlar debidamente el N del efluente.

Para los TL de Tipo II, la tasa hidráulica de aplicación está basada en los requerimientos de evapotranspiración del cultivo o cultivos seleccionados, el cual incluye la fracción normal de lavado o necesidades de lixiviación, el que previene la posibilidad de salinización del suelo.

Tasa hidráulica de aplicación para TL de Tipo I.

Lo básico para calcular esta tasa hidráulica de aplicación es un balance hídrico, es decir:

$$L_{ef} = ETR - Pp - Ppr$$

Donde:

L_{ef} : Tasa hidráulica de aplicación, en $\text{mm}\cdot\text{mes}^{-1}$.

ETR : Evapotranspiración, en $\text{mm}\cdot\text{mes}^{-1}$.

Pp : Precipitación mensual, en $\text{mm}\cdot\text{mes}^{-1}$.

Ppr : Tasa de percolación profunda, en $\text{mm}\cdot\text{mes}^{-1}$.

La evaporación mensual (ETR) se puede obtener de la Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile o bien se pueden realizar pruebas de evapotranspiración en el mismo predio.

El escurrimiento superficial no se incluye en la ecuación ya que se supone es interceptado y reaplicado, y el cálculo normalmente se hace en términos mensuales y basado en el estrato del suelo que presenta la conductividad hidráulica (percolación) más limitante. En términos de valores de precipitación Pp , lo generalmente aceptado es utilizar el mes más húmedo de una secuencia de 10 años.

La permeabilidad puede determinarse con pruebas de campo usando infiltrómetros, permeámetros o piscinas de infiltración. La permeabilidad medida o calculada es usada en la ecuación considerando el 4 al 10% de su valor, como criterio conservador, dado que lo que se está infiltrando no es agua pura, sino efluente.

Tasa hidráulica de aplicación basada en N como elemento limitante para TL de Tipo I.

Cuando la protección de los recursos hídricos para el consumo humano sea el objetivo del proyecto, la limitación será obtener valores inferiores al estándar del agua subterránea que rodea los límites del área de aplicación. Este estándar es variable, pero internacionalmente el valor más aceptado es de $10\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de N.

Para asegurar un diseño conservador, se utiliza este mismo estándar en el percolado obtenido bajo el área de aplicación, antes que éste se mezcle con el agua subterránea. De forma similar al cálculo anterior, en este caso se utiliza un balance de nitrógeno, como el siguiente:

$$L_N = N_{Abs} + f(L_N) + 0,1 \cdot (Ppr) \cdot (C_N)$$

Donde:

L_N : Carga de N aplicado en $\text{kg}\cdot(\text{ha}\cdot\text{año})^{-1}$.

N_{Abs} : Nitrógeno absorbido por el cultivo en $\text{kg}\cdot(\text{ha}\cdot\text{año})^{-1}$.

$f(L_N)$: Fracción del N aplicado que se pierde por volatilización o inmovilización.

Ppr : Tasa de percolación profunda, en $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$.

C_N : Concentración de N del percolado (usualmente el estándar de $10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de N).

Los valores de N absorbido por el(los) cultivo(s) se obtiene(n) de experiencias locales o tablas aceptadas para el área donde se está desarrollando la aplicación. Una guía para estos valores se obtiene de la Tabla 15, presentada en este mismo capítulo. El factor de volatilización o inmovilización varía de acuerdo al clima y al efluente. El factor “f” puede oscilar entre 0,2 a 0,5; valores menores se esperan para climas fríos, y mayores para climas más cálidos.

La ecuación de balance hídrico puede combinarse con la de balance de N para obtener una carga hidráulica que considere ambos aspectos.

Tasa hidráulica de aplicación para TL de Tipo II.

Cuando los sistemas están ubicados en zonas áridas o semiáridas, el diseño está basado en las necesidades de agua de los cultivos más que en la permeabilidad del suelo, ya que existe un incentivo para economizar agua y maximizar el riego.

Entonces, el análisis simplificado sólo considera los requerimientos de riego y la precipitación, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$L_{ef} = \text{Riego} - Pp$$

El término Riego en esta ecuación considera los requerimientos para cubrir la evapotranspiración del cultivo (descontando la precipitación), las necesidades de lavado (que fluctúan entre un 5 y un 30% dependiendo de la calidad del efluente) y la eficiencia del método de riego (30% para tendido, 40% para surcos, 70% para aspersión).

Tasas de carga orgánica.

En general, la carga orgánica no es un factor demasiado limitante para los sistemas TL. Cuando se utilizan efluentes que poseen un alto contenido de compuestos orgánicos, normalmente la situación se maneja alternando períodos de aplicación con períodos de no aplicación. Un valor considerado límite es evitar utilizar los sistemas de TL cuando la carga orgánica supere los 330 kg de DBO $\cdot$ (ha $\cdot$ día) $^{-1}$ ya que podrían presentar problemas por la generación de olores (Reed, et al, 1995, pag 300).

Requerimientos de superficie.

Los requerimientos de superficie para realizar los tratamientos de aplicación al suelo son significativamente mayores que los necesarios para aquellos métodos de tratamiento convencional. Adicionalmente, se requiere superficie para caminos, áreas donde se realiza preaplicación, áreas tampón, etc.

La superficie se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q + V_n}{C \cdot L_{ef}}$$

Donde:

A: Superficie requerida, en ha.

Q: Flujo anual de la aplicación, en m 3 año $^{-1}$.

V $_n$: Volumen neto de almacenamiento, en m 3 año $^{-1}$.

C: Constante para cambiar unidades, en este caso igual a 100.

L $_{ef}$: Tasa hidráulica de aplicación, en cm $\cdot$ año $^{-1}$.

Distribución de las aplicaciones.

Para los TL de Tipo I, las aplicaciones son generalmente semanales cuando se aplica por aspersión o cada quince días cuando se aplica mediante riego superficial. La superficie se distribuye de la misma forma que cuando se hace acuartelamiento para el riego, donde el riego se realiza en forma rotativa entre los potreros, calculando una superficie mínima de riego diario, que en este caso es función del caudal disponible y de la carga orgánica máxima permitida.

Para los TL de Tipo II, o para los TL limitados por la cantidad de N a aplicar mensualmente, las aplicaciones son función del clima y del cultivo. El objetivo, es mantener el cultivo en óptimas condiciones de crecimiento y que la humedad del suelo no disminuya más allá del umbral de riego (porcentaje de la diferencia entre Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente) establecido para dicho cultivo.

Técnicas de distribución de las aplicaciones y de control del escurrimiento.

Estos sistemas de tratamiento utilizan básicamente cualquier método de riego disponible, desde riego presurizado como aspersión y goteo, a riego superficial como surcos, bordes o riego tendido. Lo importante es que las características del método no limiten la aplicación. Por ejemplo, el utilizar riego por goteo para distribuir los efluentes presenta dificultades de taponamiento de los emisores; asimismo, un método de riego tendido tradicional puede presentar un mal escurrimiento del efluente. En general, cualquier escurrimiento debe ser interceptado y reaplicado si es necesario. De la misma forma, se debe establecer un sistema de manejo de suelos apropiado de forma de evitar la erosión en períodos de lluvias intensas.

1.4.2.3.2 Sistema de infiltración rápida.

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

Objetivos del diseño.

Este tipo de sistema de aplicación normalmente tiene como objetivo la recarga de napas subterráneas o de cauces superficiales mediante la interceptación de aguas subterráneas. Adicionalmente puede ser usado para reutilizar aguas residuales, las que luego de ser tratadas en la matriz del suelo, son bombeadas desde el acuífero hacia la superficie. Las

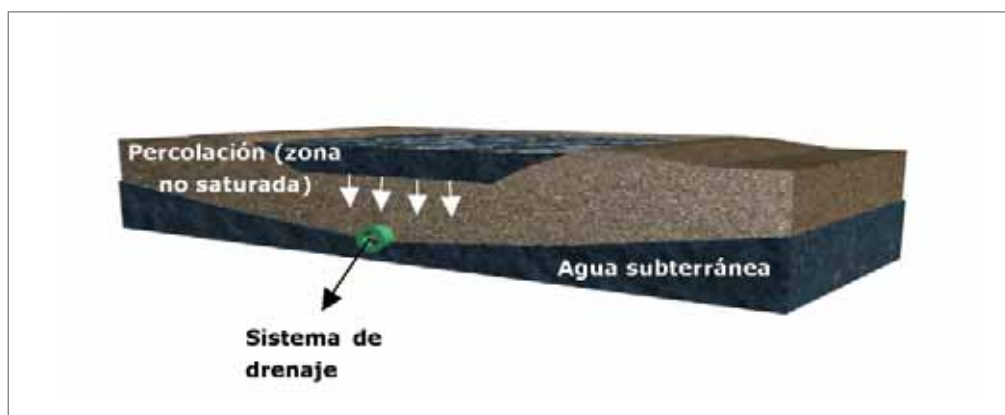
Figuras 25, 26 y 27 muestran las principales características de este sistema, tanto desde el punto de vista del destino hidráulico de la aplicación, como de los sistemas de recuperación del efluente una vez tratado.

Figura 25. Trayectoria hidráulica en sistemas de IR.



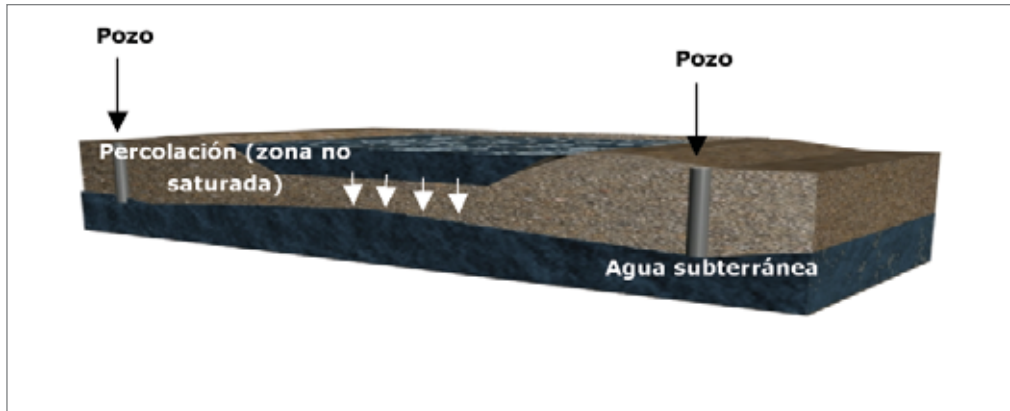
Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Figura 26. Recuperación mediante drenes en sistemas de IR.



Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Figura 27. Recuperación mediante pozos de extracción en sistemas IR.



Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Procedimiento de diseño.

El presente método es diseñado siguiendo una serie de pasos lógicos tales como:

- Evaluación del sitio de emplazamiento y selección del sitio definitivo, lo cual incluye la determinación de la conductividad hidráulica o infiltración del suelo y la evaluación de la profundidad al nivel freático.
- Determinación de los requerimientos de preaplicación y del sistema de tratamiento de los efluentes.
- Selección del sistema de distribución más apropiado a la aplicación.
- Determinación de la tasa hidráulica de aplicación.
- Establecimiento del ciclo operacional.
- Determinación de la superficie de suelo requerida para el nivel de tratamiento deseado.
- Bosquejar el área de infiltración, y el sistema de recolección del agua residual.
- Determinación de las necesidades de almacenamiento temporal.
- Establecimiento de los requerimientos de monitoreo.

Selección del sitio de aplicación.

EL sistema de IR requiere de suelos con alta permeabilidad, de tipo franco arenosos, arenosos o gravosos, con velocidades de infiltración superiores a los 10 o 15 cm·día⁻¹. Adicionalmente, el sitio debe presentar condiciones de drenaje bueno a excesivo, preferentemente con ausencia de nivel freático dentro de los 3 primeros metros de suelo. En términos de pendiente, se deben preferir suelos con pendientes inferiores al 5%, dado

que a pendientes superiores y debido a las altas tasas de aplicación, existen riesgos de escurrimiento, erosión o distribución de los efluentes. Se requiere desarrollar pruebas de campo para evaluar la velocidad de infiltración (V_i), usando piscinas de infiltración de unos 3x6m ya que hacerlo con cilindro infiltrómetro sobreestima la V_i para este tipo de aplicaciones.

Las áreas propensas a escorrentía superficial, inundación o anegamiento, no son adecuadas para la ubicación de balsas de infiltración y deben evitarse en su totalidad.

Requerimientos de preaplicación y aplicación.

Al igual que en sistemas de tasa lenta, el grado de preaplicación requiere de un tratamiento primario y, adicionalmente un tratamiento biológico si se van a regar cultivos de consumo humano. En general, estos efluentes no deben ser usados en cultivos que crecen a ras de piso y que se consuman crudos. Si la aplicación se va a realizar en cultivos que no tienen un contacto directo con el ser humano, sólo es necesario un tratamiento primario como la filtración.

El grado del tratamiento en este tipo de sistemas mejora en la medida que las tasas hidráulicas de aplicación disminuyen. Por literatura, tasas superiores a los $100 \text{ m}\cdot\text{año}^{-1}$ de aplicación, producen disminuciones significativas en la efectividad de la remoción de DBO y sólidos sedimentables. Esto es también válido para la remoción de nutrientes tan importantes como fósforo y nitrógeno, por lo cual su diseño debe considerar una optimización de acuerdo al objetivo de la aplicación.

La transformación de nitrógeno desde su forma amoniacal por nitrificación es rápidamente lograda por este tipo de sistema, y se encuentran valores máximos reportados de alrededor de $67 \text{ kg}\cdot(\text{ha}\cdot\text{día})^{-1}$. La nitrificación ocurre incluso bajo condiciones de baja temperatura. El ciclo de aplicaciones si la nitrificación es el principal objetivo debe consistir en 2 a 3 días de inundación, seguidos por 5 a 10 días sin aplicación, para restablecer las condiciones aeróbicas de la estrata superior del suelo.

La remoción del nitrógeno del suelo por desnitrificación requiere un tiempo adecuado y una fuente de carbono orgánico, el cual es utilizado por los microorganismos como alimento. En términos prácticos, una relación C:N de 3:1 o superior en el efluente, provee suficiente C para la desnitrificación. La remoción de N está relacionada también con la tasa de infiltración (V_i), donde los valores mayores de remoción (sobre 80%) se consiguen con valores de V_i inferiores a 18 a $20 \text{ cm}\cdot\text{día}^{-1}$. Valores muy altos de infiltración, por efecto de disminución del tiempo de tratamiento, pueden provocar ineffectividad de los sistemas de IR en la remoción de N. Debido a que los procesos biológicos que gobiernan las transformaciones de formas de N son afectados por las bajas temperaturas, aquellos sistemas diseñados para remover nitrógeno en forma estable todo el año, deben considerar almacenamiento temporal durante los períodos más fríos del invierno.

Formas de aplicación de los efluentes.

En general, la aplicación debe ser manejada de forma de reducir los costos. De esta forma, si la pendiente lo permite, se deben establecer pretils conformando piscinas de inundación cuadradas o rectangulares, donde el efluente es aplicado utilizando sistemas de distribución gravitacionales. Excepcionalmente, con pendientes superiores, se debe utilizar aspersión en conjunto con una apropiada cobertura del suelo con vegetación, de forma de minimizar el escurrimiento y la erosión.

Tasa hidráulica de aplicación (THA).

El factor limitante de la THA es generalmente el suelo por sus características hidráulicas. No obstante, la THA está limitada a veces por la carga de nitrógeno permitida o por el DBO. La característica más importante desde el punto de vista del diseño es la velocidad de infiltración (V_i) básica del suelo y debido al hecho de que lo que se está infiltrando no es agua sino efluentes, debe utilizarse un factor de seguridad que oscila entre el 7 al 15% de la V_i para efectos de cálculo de la carga hidráulica. La THA es generalmente calculada usando:

$$L_w = 0,01 \cdot V_i \cdot F \cdot CO$$

Donde:

L_w : Carga hidráulica anual, en m·año⁻¹.

V_i : Velocidad de infiltración básica del suelo, en cm·día⁻¹.

F : Factor de seguridad (entre 0,07 a 0,15)

CO : Ciclo operacional, en días·año⁻¹.

Tasas de aplicación orgánica.

Para este tipo de sistemas, la carga máxima de aplicación de DBO y nitrógeno depende de las condiciones ambientales donde la aplicación se desarrolla no habiendo criterios específicos al respecto. Lo importante es que la carga orgánica aplicada sea tal, que la tasa de descomposición la degrade con gran facilidad, no produciendo olores molestos. La carga orgánica recomendada, no debe exceder los 120 Kg DBO·(ha·día)⁻¹ (Reed et al, 1995, pág: 328)

Requerimientos de superficie.

La superficie basal de aplicación es calculada según la siguiente ecuación:

$$A = \frac{0,0365 \cdot Q}{L_w}$$

Donde:

A: Área de aplicación, en ha.

Q: Caudal promedio anual, en m³·año⁻¹.

A esta superficie de aplicación debe agregársele toda aquella superficie adicional para los pretilos, bermas, caminos y áreas de expansión.

Al calcular la superficie debe revisarse si ésta es compatible con los criterios adoptados en relación a cargas orgánicas máximas o eliminación de nitrógeno, si fuera el caso. En caso de no serlo, debe revisarse el cálculo con los nuevos parámetros hasta compatibilizar las tasas hidráulicas con las tasas de aplicación calculadas de acuerdo al factor limitante del diseño.

1.4.2.3.3 Sistema de flujo superficial.

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

Los procesos de degradación físicos, químicos y biológicos, se encargan de disminuir la carga de DBO y nutrientes que ocurre al escurrir el efluente por terrenos con suelos o estratos superficiales relativamente impermeables.

El objetivo del sistema es alcanzar cierto grado de tratamiento en los efluentes.

El grado de tratamiento que se puede alcanzar en estos sistemas es generalmente bajo para la degradación del nitrógeno y fósforo (48 y 28% respectivamente), obteniendo rendimientos para la DBO⁵ y los sólidos en suspensión en torno al 90 y 70 % respectivamente.

Para la instalación de este sistema es necesario presentar:

- Suelos con texturas finas, como arcillas y franco arcillosos.
- Pendientes del orden del 2 al 8%.
- Superficies muy lisas para que el agua forme una lámina sobre el suelo, lo cual se logra con una buena nivelación de suelos.

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

Los efluentes se aplican alternando fases de humidificación y secado, otorgando la aireación necesaria de la superficie para la degradación de la materia orgánica.

Estos sistemas se suelen emplear en terrenos con suelos o sustratos sub-superficiales relativamente impermeables. No obstante, si el terreno no presenta esta condición, en la práctica existe una tendencia a impermeabilizarse con el tiempo. Por lo tanto, la percolación profunda no es relevante y la mayor parte del agua aplicada se capta superficialmente, otra fracción es utilizada por la cubierta vegetal y pérdida por evapotranspiración en una fracción variable que depende del clima de la región y de la estación del año.

Para diseñar un proyecto de tratamiento por flujo superficial, se debe comenzar por evaluar y seleccionar el sitio de emplazamiento para un determinado nivel de pretratamiento.

Como segundo paso se debe elegir el método de distribución del efluente y la necesidad de almacenamiento.

En este sistema, el almacenamiento es opcional dado que las precipitaciones no inciden en el tratamiento. Sin embargo, si se presentan temperaturas promedio diarias inferiores a cero grados Celsius, se recomienda almacenar, dado que la eficiencia de degradación del nitrógeno, disminuye.

Luego se determinan los parámetros de diseño para calcular el largo y la superficie necesaria para el tratamiento, y finalmente se debe elegir el tipo de cubierta vegetal a aplicar.

Evaluación y selección del sitio de emplazamiento.

Las características más importantes para seleccionar el sitio de aplicación, incluyen características del suelo, topografía y clima.

Los suelos deben tener una permeabilidad entre 15 y 50 mm·h⁻¹, los cuales luego de aplicarlos, tienden a sellarse como consecuencia del desarrollo de películas biológicas y la deposición de sólidos en los huecos intersticiales. Esto traduce que las pérdidas por percolación sean pequeñas e independientes de la permeabilidad inicial del suelo. Por otro lado, la permeabilidad inicial se reduce por la compactación del terreno en la etapa de construcción del sistema. Estas son las razones por las cuales, la permeabilidad del suelo no es un factor limitante para un terreno que se pretende implementar un sistema de tratamiento por flujo superficial.

La distancia al nivel freático debe tener un mínimo de 30 cm. para permitir la degradación del efluente que no es aprovechado por la cubierta vegetal y que percola.

La topografía ideal para sistemas de flujo superficial, ya que disminuyen los costos de construcción, son los terrenos ligeramente inclinados con pendientes entre 1 a 8%. No obstante, se pueden formar inclinaciones sobre 1% a través de movimientos de tierra. En los casos en que la superficie natural del terreno tenga pendientes superiores a 8%, se pueden emplear sistemas de terrazas.

El clima es un factor importante para este tipo de aplicación al suelo. La actividad biológica presente en la superficie del terreno es la acción primordial del sistema FS y depende directamente de la temperatura. La degradación biológica de la DBO se produce incluso en presencia de heladas y no así la eliminación del nitrógeno.

El nivel mínimo de pretratamiento para el sistema FS es la filtración gruesa de los sólidos que puedan provocar obstrucciones en los sistemas de distribución. El tratamiento primario proporciona el nivel óptimo para la aplicación de efluentes al suelo. Como alternativa al tratamiento primario, se puede emplear lagunas anaeróbicas de tratamiento.

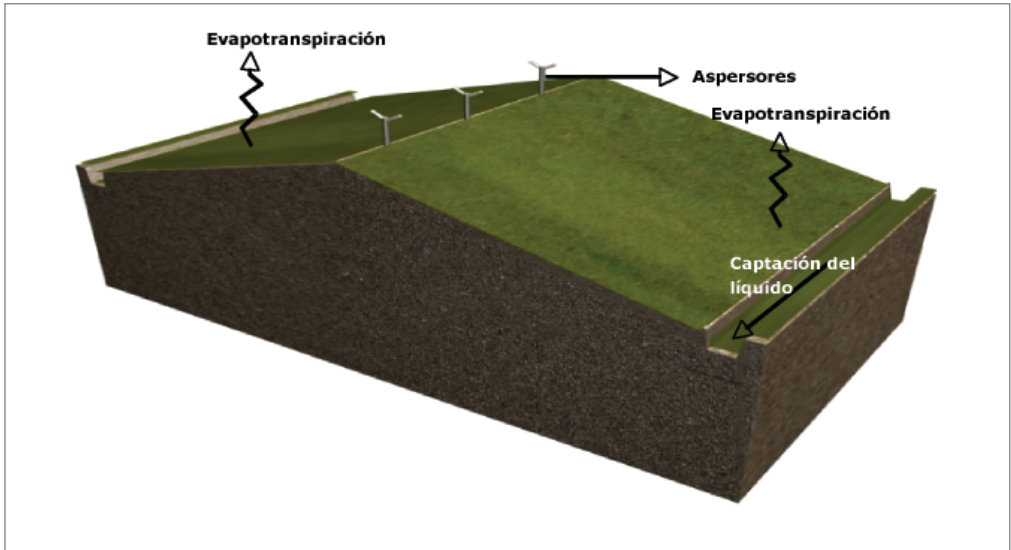
Sistemas de distribución.

Los sistemas de distribución para los sistemas de aplicación directa por flujo superficial incluyen el uso de tuberías con aberturas o compuertas y aspersores (Ver Figura 28 y 29).

Se pueden emplear tuberías del tipo utilizado para riego por surcos. Por otra parte, es necesario inspeccionar y limpiar constantemente las aberturas del sistema, para evitar una acumulación de material fibroso en el interior de las tuberías.

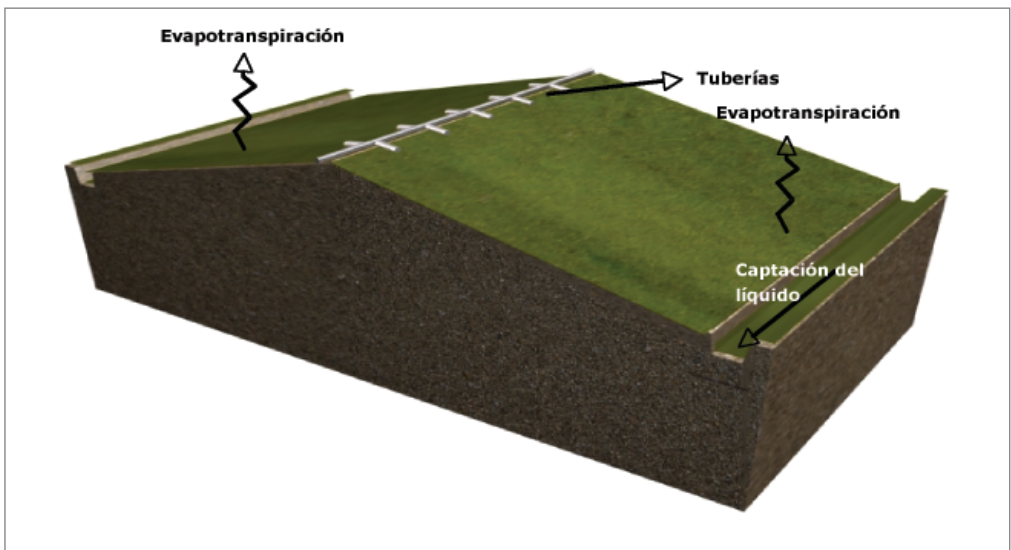
Los aspersores a alta presión ($2,45$ a $4,2 \text{ Kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) pueden distribuir el efluente a una superficie mayor que los sistemas de tuberías perforadas. Normalmente, los aspersores de rociado circular completo se suelen disponer a un tercio de la distancia total de la pendiente, o en el extremo más elevado de los sistemas de doble pendiente (Ver Figura 30 y 31). Para sistemas de distribución por aspersión, es necesario que la distancia de la pendiente sea mayor, dado que el sistema tiene mayor alcance de aplicación y mayor uniformidad en su distribución.

Figura 28. Esquema del proceso en sistemas FS con doble pendiente y distribución por aspersores.



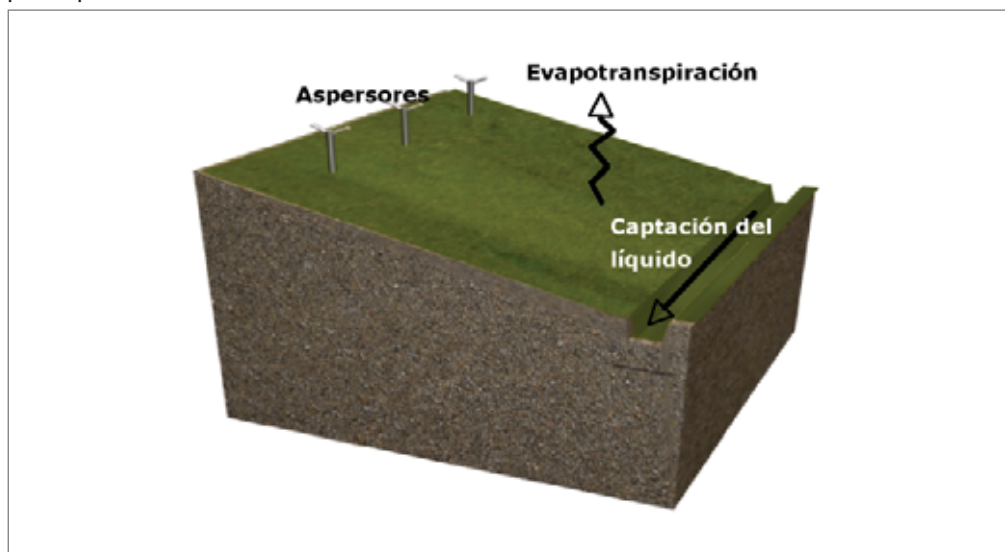
Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Figura 29. Esquema del proceso en sistemas FS con doble pendiente y distribución por tuberías.



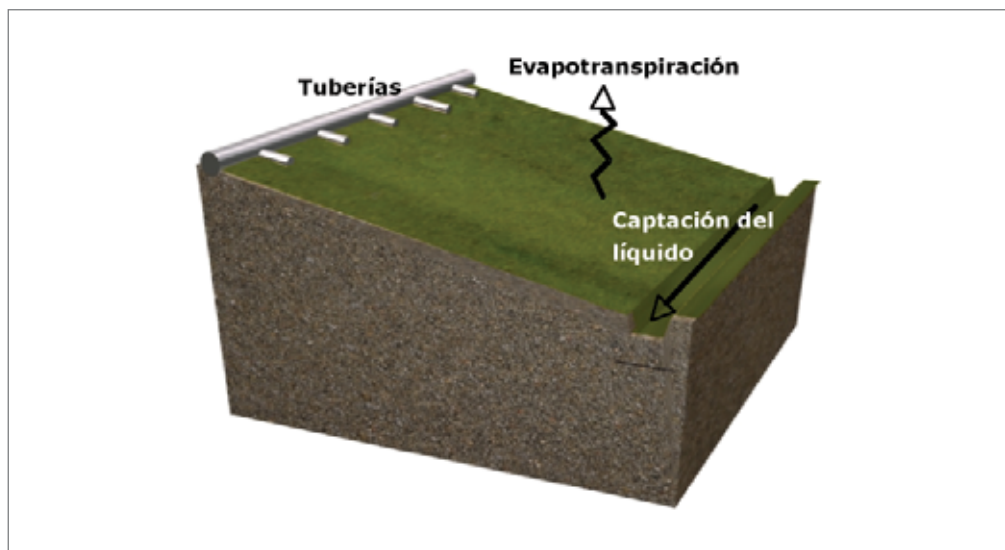
Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Figura 30. Esquema del proceso en sistemas FS con pendiente simple y distribución por aspersores.



Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Figura 31. Esquema del proceso en sistemas FS con pendiente simple y distribución por tuberías.



Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Parámetros de diseño.

Los principales parámetros de diseño de los sistemas de flujo superficial incluyen la carga orgánica aplicada, el largo de la zona de aplicación (Z), la pendiente y el ciclo operativo. (Ver Tabla 12. Características de los métodos terrestres de tratamiento de aguas).

La carga orgánica de aplicación, definido como la materia orgánica (DBO) aplicada por unidad de tiempo y superficie, no debe exceder los $100 \text{ kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{día})^{-1}$ (Reed et al 1995, pág: 313)

El largo de la zona de aplicación (Z) variará dependiendo del sistema de distribución que se utilice. En sistemas de tuberías perforadas y de rociadores, Z varía entre 30 a 45m.

Existe una tendencia a que la eficiencia de un sistema de FS es directamente proporcional a Z e inversamente proporcional a la carga aplicada. Por ende, para alcanzar una misma eficiencia, cuanto mayor sean las cargas, mayor deberá ser el valor de Z.

El ciclo operativo tiene un régimen intermitente compuesto por un período de aplicación seguido de una fase de secado. El ciclo operativo puede ser de un día, con períodos de aplicación entre 8 y 12h y períodos de secado entre 12 y 16h. No obstante, dada las altas concentraciones de DBO del efluente, se recomienda emplear ciclos operativos de 6 horas de duración con 3h de aplicación y 3h de secado, de esta forma se permite una mayor reaireación natural durante la fase de secado para cubrir la demanda de oxígeno del efluente agregado durante el período de aplicación, aumentando la eficiencia de eliminación de la DBO.

El largo de aplicación Z se puede calcular a través de un modelo empírico, de la siguiente forma:

$$\frac{C_z - C}{C_o} = A \exp \frac{-Kz}{q^n}$$

Donde:

C_z : Concentración de DBO del líquido tratado en el punto z, en $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

C_o : Concentración de DBO del agua residual aplicada, en $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

C : Concentración de DBO de referencia, en $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

A : Coeficiente empírico, depende del valor de q.

K : Constante empírica de velocidad.

z : Largo de aplicación, en m.

q : Carga volumétrica de aplicación, en $\text{m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{m})^{-1}$.

n : Exponente empírico, <1 .

La solución de esta ecuación es compleja, por ende, se recomienda utilizar el resultado gráfico de la ecuación presentada anteriormente, encontrado en la fuente bibliográfica Metcalf & Eddy 1998.

Selección de la cubierta vegetal.

Es necesario disponer de una cubierta vegetal uniforme y densa para evitar la erosión y facilitar los procesos de eliminación de la materia orgánica y nutrientes. Para ello, se deben seleccionar especies vegetales tolerantes al agua y con adaptación a las condiciones climáticas de la zona, como por ejemplo alfalfa o ballica.

1.5 Sistemas de tratamiento de lodo.

Los lodos se generan en sistemas de tratamiento de purines con lagunas anaeróbicas o con reactores anaeróbicos de película fija.

El lodo generado en estos sistemas, presenta una densidad entre $1060 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y $1300 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$, con una humedad entre 80 y 94%, formando un material semilíquido que no puede ser quemado por los altos costos energéticos que involucra volatilizar su humedad, y que no se puede enterrar ya que podría percolar hacia el nivel freático. Además contiene una alta concentración de carga orgánica (DBO) y de nutrientes (sobre todo N), por lo que se hace indispensable un sistema para su estabilización.

La estabilización es un proceso químico o biológico en el cual las sustancias orgánicas son oxidadas a materia inorgánica y los organismos patógenos se eliminan, disminuyendo así, la generación de olores y vectores. Es por ello que el lodo debe ser estabilizado para disponerlo de forma segura en el suelo o para su reutilización.

Las alternativas de estabilización requieren diferentes grados de inversión y variarán en complejidad. A continuación se muestran los diferentes sistemas de estabilización del lodo, ordenados en forma decreciente por la simplicidad de la tecnología utilizada.

- Solarización
- Compostaje con guano
- Estabilización con cal

Los lodos, una vez estabilizados, pueden ser:

- Aplicados al suelo en terrenos agrícolas o forestales como fertilizante, y/o recuperador de suelos.
- Aplicados como alimentación directa para otras especies.

Solarización

La solarización es un proceso de secado natural sobre una matriz de drenaje de arena, pavimento o membranas flexibles, llamada eras de secado. Las canchas constan de poca profundidad en donde los lodos se disponen para que drenen y se evaporen reduciendo así la humedad del material. La energía para aumentar la temperatura del lodo es de origen solar.

Los canchas presentan un sistema de captación del líquido percolado a través de pozos o tuberías de drenaje subterráneo, donde el líquido es elevado con bombas para disponerlo nuevamente en la superficie de la cancha o bien aplicarlo al suelo a través de los métodos presentados anteriormente. (Ver subcapítulo 1.4.2.3 Sistemas de aplicación directa al suelo)

El proceso de secado debe comprender un tiempo mínimo de tres meses con una temperatura ambiente superior a 0°C y una cubierta que desvíe las aguas lluvias para evitar el aumento de la humedad en el lodo.

Compostaje con guano

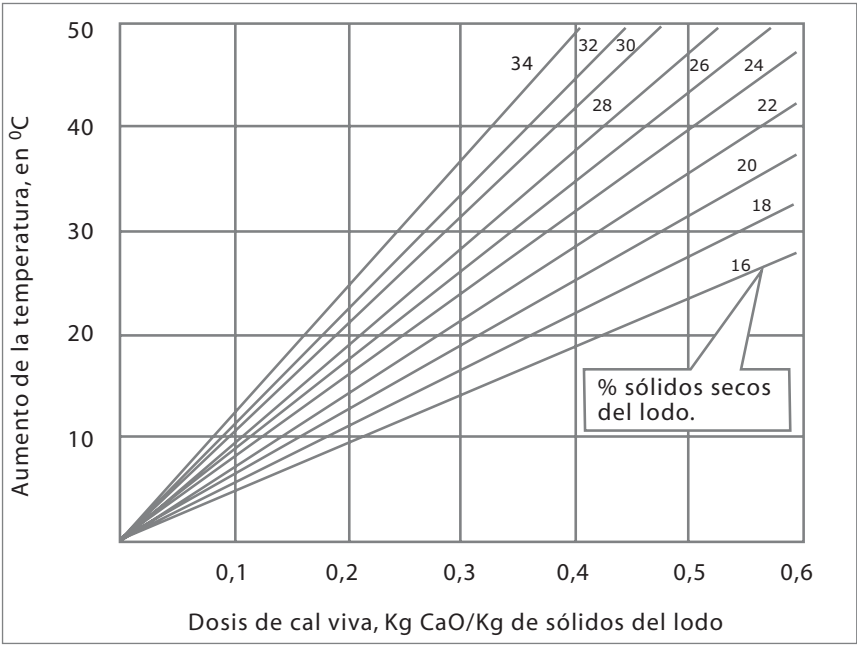
Al compostaje de guano se le puede aplicar lodo como una forma de agregar humedad y nutrientes a la mezcla. Si se aplica el método de compostaje con pilas no aireadas, la temperatura de los lodos debe mantenerse a 55°C o más, por un período a lo menos de 15 días. Durante dicho período, las pilas deben ser volteadas un mínimo de cinco veces. Usando el método de compostaje no confinado o pilas aireadas estáticas, la temperatura mínima de los lodos será de 40°C por 5 días. (Ver capítulo 2.4 Compostaje)

Estabilización con cal

Procedimiento en el cual se agrega cal hidratada (Ca(OH)_2) o cal viva (CaO) como material alcalino para mantener el pH de los lodos sobre 12 (básico) durante un período no inferior a dos horas. El valor elevado del pH crea un entorno que no favorece la supervivencia de los microorganismos.

Las dosis de cal para una determinada cantidad de lodos la determinan dos factores; la temperatura que se quiere alcanzar (sobre 50°C) y la concentración de sólidos totales que el lodo presente (generalmente entre 6 y 20%, lo que implica una humedad entre el 80 y 94%). De esta forma, la dosis puede variar entre 0,4 a 0,8 Kg de CaO por Kg sólidos en el lodo. A continuación se presenta en Figura 32, la gráfica utilizada para obtener la dosis de cal.

Figura 32. Gráfica de la dosificación de cal.



Fuente: Metcalf & Eddy, 1998

La práctica se realiza en estanques herméticos, en donde el aumento de temperatura se produce por la reacción química exotérmica (reacción que libera energía) del agua con la dosis de cal.

Aplicación de lodos en la agricultura.

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

No obstante, es obligatorio realizar análisis de coliformes fecales para asegurar estar bajo la concentración de 1.000NMP (Número Más Probable) por gramo de lodo en base seca, si se quiere abonar predios con cultivos que crezcan a ras de piso y se consuman crudos.

Las restricciones territoriales del uso de lodos estabilizados en la agricultura son el no aplicar en suelos saturados con agua durante algún período del año o cuya napa freática se encuentre a menos de 1 metro de profundidad o en suelos cubiertos con nieve.

La aplicación de lodos, su forma, tasa y oportunidad, debe estar orientado en base a los criterios sanitarios y agronómicos (contenido de nutrientes requeridos por los cultivos, principalmente nitrógeno y carbono) dados por las características de la explotación porcina y del terreno/suelo de cada predio.

Alimentación directa para otras especies animales.

El lodo estabilizado puede mezclarse con el guano para servir como alimento directo para animales rumiantes siempre que las condiciones sanitarias del material lo permitan. (Ver subcapítulo 2.2 Fuente de alimento para rumiantes).

1.6. Integración de unidades de tratamiento.

La solución tecnológica del tratamiento y disposición de los purines en un plantel porcino es un tema complejo que no tiene, por lo general, una solución simple. Existe una serie de limitaciones que condicionan la solución o al menos hacen necesario aplicar más de un tratamiento para cumplir los objetivos técnicos-económicos-ambientales exigidos.

Este subcapítulo presenta la integración de las unidades de tratamiento, priorizando la inversión económica inicial y las características del terreno-suelo en la selección del sistema a utilizar. Para ello, se discutirán cuatro escenarios de integración, cada uno de los cuales tiene exigencias y limitaciones diversas.

La incidencia de la inversión económica inicial se ve reflejado en la complejidad tecnológica del sistema a elegir. Generalmente se debe optar por tecnologías de mayor costo cuando se cuenta con altos flujos de purines y baja superficie de terreno para aplicar. De esta forma, los cuatro escenarios se presentan ordenados en forma creciente respecto a la inversión económica inicial.

Respecto a la limitante características del terreno-suelo, se contemplan como principales parámetros; la superficie para aplicar, la permeabilidad del suelo, la distancia al nivel freático, la necesidad de vegetación y de almacenamiento.

La superficie de terreno es el parámetro principal de esta limitante, relacionándose con la carga orgánica del flujo de purines a aplicar. Para estimar el valor de esta limitante, nominada como tasa de carga orgánica (TCO), se puede calcular en base a la superficie disponible para aplicar.

$$TCO = \frac{DBO \cdot Fp}{1000 \cdot S}$$

Donde:

TCO: Tasa de carga orgánica, en $\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{día})^{-1}$

DBO: Demanda biológica de oxígeno, en $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$

Fp: Flujo de purines diarios, en $\text{m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$.

S: Superficie disponible para aplicar, en ha.

Es importante destacar que para un mismo flujo de purines, implementar un sistema de Flujo Superficial requerirá de mayor superficie que un sistema de Infiltración Rápida y éste, mayor superficie a la vez que un sistema Tasa Lenta.

Escenario 1.

El presente escenario contempla la aplicación directa al suelo sin tratamiento primario previo. Si bien el sistema de tratamiento es el más simple técnico y económicamente, los requerimientos de diseño serán un poco mas estrictos debido a las características del purín bruto. De esta forma, para el presente sistema, la limitante principal es la relación *TCO*, que debe presentar un valor igual o menor a $500 \text{ kg DBO} \cdot (\text{ha} \cdot \text{día})^{-1}$.

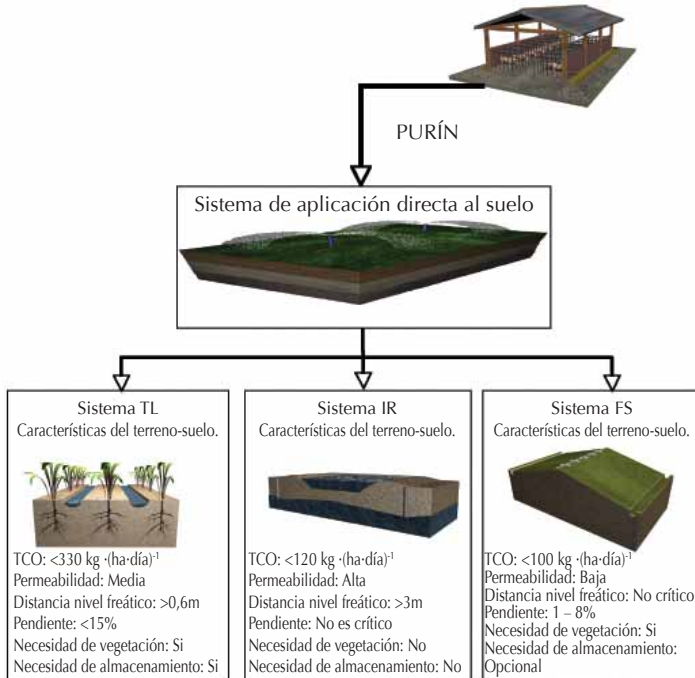


Figura 33. Diagrama del escenario 1.

Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

El sistema se adapta a predios con gran superficie de aplicación disponible, con purines ampliamente diluidos y climas secos.

El principal objetivo del sistema de aplicación directa al suelo es la disminución del nitrógeno y DBO del purín. Éste puede ser elegido por el productor de acuerdo a las características del terreno-suelo.

Escenario 2.

El escenario 2, presenta el procedimiento más usado para realizar el tratamiento de efluentes, y que en su tecnología, es muy similar al riego agrícola tradicional, especialmente si se selecciona el sistema TL. No obstante, a nivel de productores chilenos, la aplicación al suelo se realiza sin el diseño requerido para que sea efectivo como un sistema de tratamiento.

Una ventaja de este sistema es la reutilización del sólido (guano) proveniente de la separación, el que puede utilizarse como material para el compostaje o para la alimentación de rumiantes.

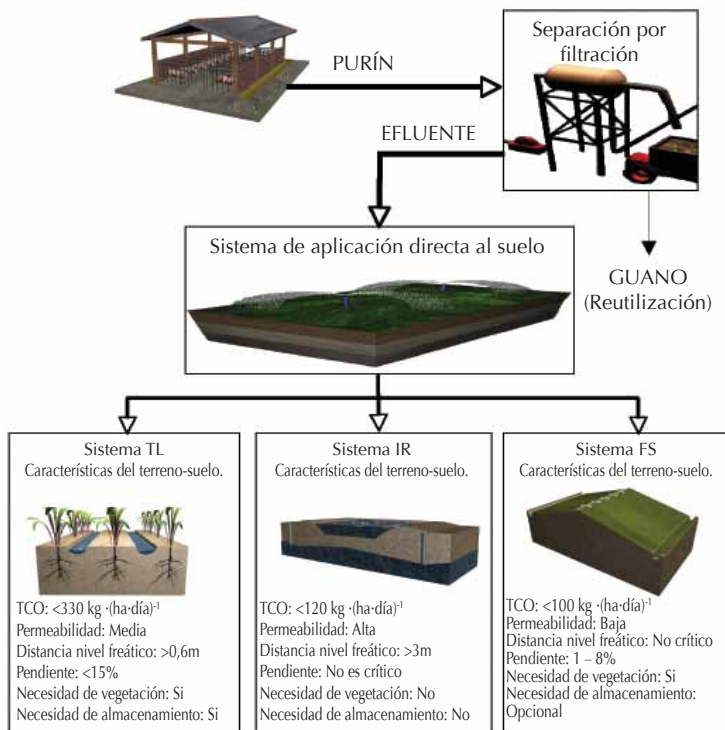


Figura 34. Diagrama del escenario 2.

Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Si bien, la superficie de terreno para tratar el efluente puede ser levemente menor que en el primer escenario, este sistema tiene un costo de inversión inicial levemente mayor por el equipo de separación de sólidos. De todas formas el sistema debe ser diseñado para degradar las concentraciones de carga orgánica que trae el efluente (Ver subcapítulo 1.4.2.3 Sistemas de aplicación directa al suelo), respetando los criterios ambientales contemplados, compuestos mayoritariamente de las características del terreno-suelo para un determinado predio.

Escenario 3.

Este escenario se presenta como sistema de tratamientos naturales con separación de sólidos usando sistemas acuáticos y terrestres. Las ventajas se presentan desde un punto de vista del tratamiento ya que en lagunas anaeróbicas se elimina hasta el 60% del nitrógeno total por volatilización y el nitrógeno restante en la laguna (40% aprox.) se estabiliza para ser inmediatamente asimilado por el vegetal, generando un aumento en la calidad fertilizante del líquido tratado (Ver subcapítulo 1.4.2.2 Tratamiento con lagunas).

En los sistemas que cuentan con lagunas anaeróbicas, los principales objetivos son la reducción de DBO y nitrógeno. Adicionalmente las lagunas son usadas como una forma de almacenamiento, lo que puede ser beneficioso en algunos climas que impiden la aplicación en determinados períodos.

Para lograr mejores resultados bajo este contexto, se recomienda obtener purines con bajas concentraciones de carga orgánica, a través de la separación de sólidos (tratamiento primario).

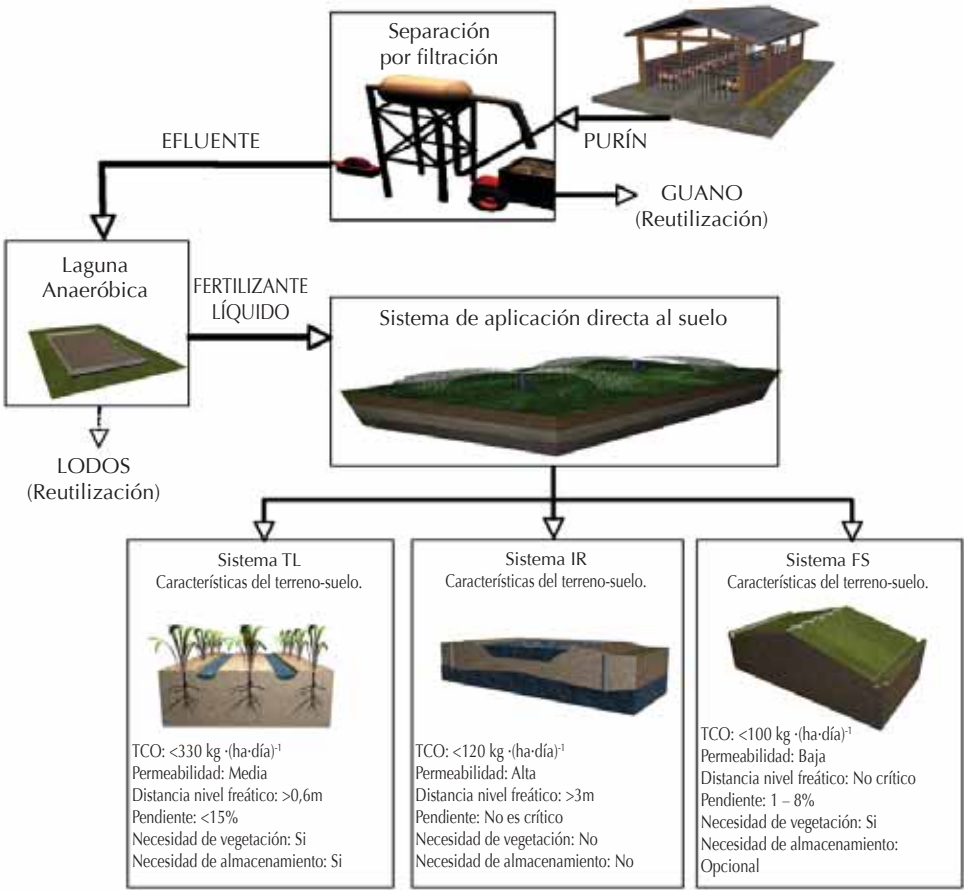
El sistema de aplicación directa al suelo lo elige el productor de acuerdo a las características del terreno-suelo. No obstante, se recomienda utilizar sistemas de TL o FS para aprovechar las propiedades de almacenamiento de las lagunas anaeróbicas, reutilizando así, los nutrientes en cultivos vegetales.

Escenario 4.

Este escenario se presenta como una solución para el tratamiento de purines de alta carga orgánica, la que a pesar de involucrar altos costos económicos de implementación, puede presentarse como una inversión a mediano plazo por la posibilidad de reducir materia orgánica, generar energía y transar bonos de carbono. Sin embargo, el reactor anaeróbico no es eficiente en reducir nitrógeno, por lo cual si ese es el elemento limitante, se deberá contar con un sistema adicional de eliminación. Adicionalmente, la reducción de materia orgánica del biorreactor es sólo parcial (50 a 60%). Lo que si se logra es una importante reducción de olores.

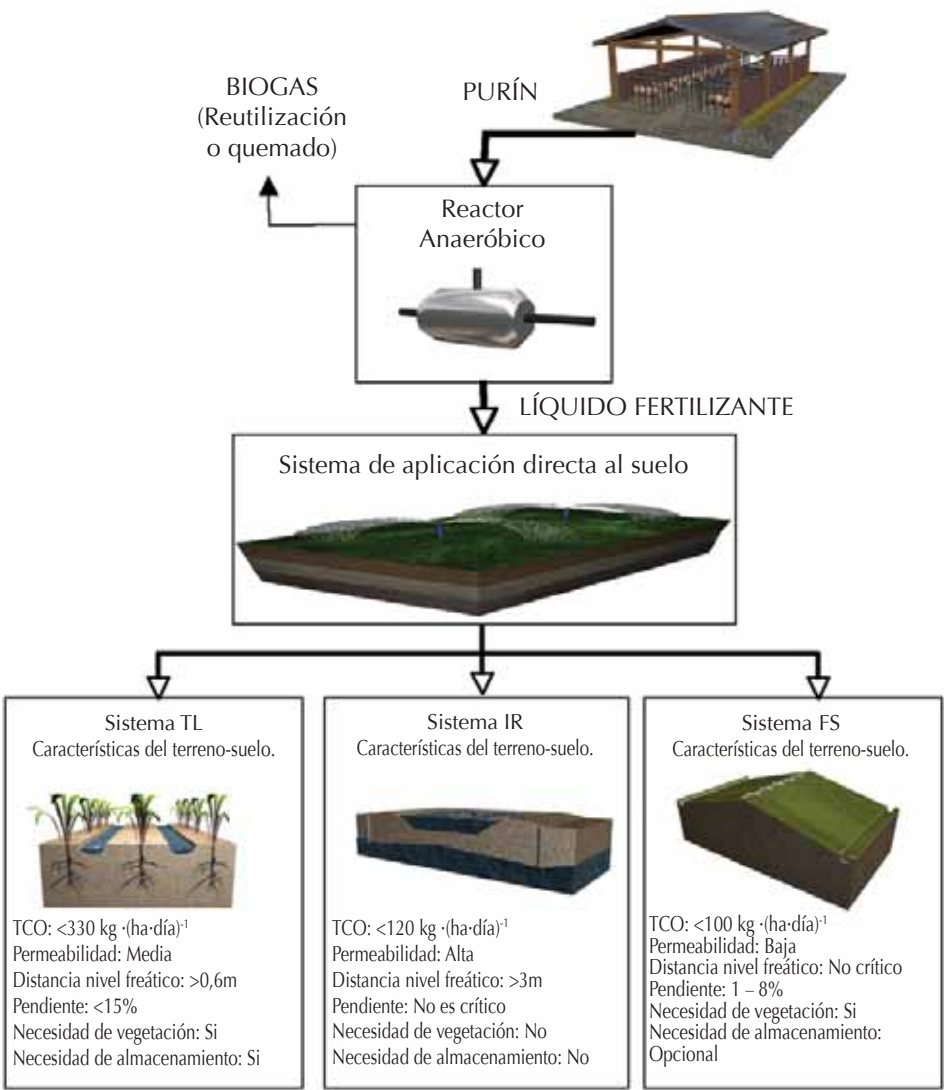
En los sistemas que cuentan con reactores anaeróbicos, uno de los principales objetivos es la generación de biogas para su posterior utilización como energía calórica o eléctrica.

Figura 35. Diagrama del escenario 3.



Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Figura 36. Diagrama del escenario 4.



Fuente: Elaborado por Cristian Gutiérrez S. Ingeniero Ambiental.

Para lograr mejores resultados, se recomienda alimentar el sistema con purines con altas concentraciones de carga orgánica, a través de eficientes sistemas de lavado en galpones (que impliquen una baja dilución de excretas con agua de lavado); y no separando los sólidos de los purines a través de filtros prensas (tratamiento primario).

Debido a la alta calidad del líquido fertilizante que se obtiene de este sistema (por la conversión a nitrógeno mineral), es conveniente aplicar un sistema TL para la aplicación al suelo y de esta forma reutilizar los nutrientes en cultivos vegetales.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

ACP, CORNARE Y CORANTIOQUIA. 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 Antioquía Medellín, Colombia. 1997.

ADAMS, JR., C.E.; AULENBACH D.B. Wastewater Treatment” Environmental Engineer’s Handbook Ed. David USA. 1999.

ASOCIACIÓN CÁMARA COSTARRICENSE DE PORCICULTORES, Seminario 2001. Costa Rica. 2001.

BBL, MEDICIONES HIDRÁULICAS. 2003.
(<http://www.bbl.com>)

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS Y TUBERÍAS SEMI LLENAS, 2003.
(www.lanasarrate.es/lanasarrate/niv.htm).

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

CIDTA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA) España. 2003
http://cidta.usal.es/Unidad_H/Edar/Unidades/LIBROS/DLAR-MO/parte-I/cap8/cap8,1.html.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, REPÚBLICA DE CHILE. Resolución Exenta N° 0027 “Aprueba Anteproyecto de Reglamento para el Manejo de Lodos no Peligrosos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas” Santiago, 2000.

CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA. Acuerdo de Producción Sector Productores de cerdo. Chile, 2000.

CENTRO INFORMACIÓN RECURSOS NATURALES (CIREN) Y COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. 1997. Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile, Chile, 1997.

FUNDACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN DE PURDUE, WEST LAFAYETTE. (Agencia de Protección Ambiental, la Universidad de Purdue y el Departamento de Ingeniería Agrícola y Biológica). INDIANA, 2001.

GUILLOTEAU J.A., LIENARD A., VACHON A. Y LESAVRE J. Wastewater treatment by infiltration basins. Case study: Saint Symphorien de Lay, France. Water Science and Technology Francia 1993.

GOBIERNO DE CHILE. Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores de Cerdos. Chile, Diciembre 1999.

HERRERA, LEANDRO, Lagunas para remoción de orgánicos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Chile. 2003.
(<http://www.cec.uchile.cl/~leherrer/BT53A/lagunas/lagunas.htm>).

IMS DREDGE. Dredging manufacturer dredge equipment. 2003.
(<http://www.imsdredge.com/images/wastewater/31-72.jpg>).

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN INN CHILE. 2003.
(<http://www.inn.cl>).

INTEC. Boletín N°2 “Producción Limpia”. Chile, 2000.

IOWA STATE UNIVERSITY. Commercial manure applicator certification study guide. Chapter 4: land application, 1999. (<http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1778D.pdf>).

IOWA STATE UNIVERSITY. Soil injection, Iowa Odor Control. Demonstration Project, 1998. (<http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1754E.pdf>).

METCALF & EDDIE, 1998 “Waste water Engineering: Treatment, Disposal and Reuse”. 3ªed., McGraw Hill Inc., New York.

MINISTERIO DE AGRICULTURA – INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. Generación de Información Local en Aplicación de Purines de Cerdo al Suelo como Apoyo a la Implementación de los Acuerdos de Producción Limpia. Informe Técnico Anual. Chile 2002.

MINISTERIO DE SALUD. División Rectoría y Regulación Sanitaria Departamento Salud Ambiental Proyecto: “Reglamento de Rellenos Sanitarios” Gobierno de Chile 2003.

MORENO MERINO LUIS. La Depuración de Aguas Residuales Urbanas de Pequeñas Poblaciones Mediante Infiltración Directa en el Terreno. Fundamentos y Casos Prácticos. Instituto Minero y Geológico de España. Ministerio de Ciencia y Tecnología. España 2003.

PERRY R.H., GREEN D. “Perry’s Chemical Engineer’s Handbook”, 6ªed., McGraw Hill, New York, 1984.

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

RAMAHLO R.S. “Tratamiento de Aguas Residuales”, Editorial Reverté SA., Barcelona, España, 1991.

RIVAS G. “Tratamiento de aguas residuales”, segunda edición, Editorial Vega, Madrid, España, 1978.

RODRÍGUEZ, JOSÉ. La Fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en agricultura, Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 1993.

ZAROR CLAUDIO. "Introducción a la Ingeniería Ambiental" Chile, 1998.

EMPRESAS CONSTRUCCIÓN PAN AMERICANA. Edición Marzo 2001.
(<http://www.cpa-mpa.com/CPA-Portada/03-001/Main.htm>)

2. VALORIZACIÓN DE LAS EXCRETAS PORCINAS

**Christian Herrera C.
José María Peralta A.**

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

A continuación, se describen algunos sistemas de valorización de estos residuos.

2.1. Valorización agronómica como fertilizante

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

El nitrógeno de las excretas (Tabla 1. subcapítulo 1.3) es el elemento de fertilización más importante, debido a que el alimento suministrado a los cerdos tiene altos contenidos de proteína. En las excretas, el nitrógeno total se compone principalmente de nitrógeno orgánico (40%), y de nitrógeno amoniacal (60%).

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 (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-).

El excedente de nitrato no aprovechado por las plantas es lixiviado a través del perfil del suelo, ya que es altamente soluble en agua. Los excesos de nitrógeno por encima de las necesidades de los cultivos se convierten en riesgo de contaminación de aguas. Por ello es necesario realizar un diseño con criterios agronómicos y ambientales en el sistema de aplicación directa al suelo, como se señala en el subcapítulo 1.4.2. Sistemas Naturales de tratamiento.

Al momento de separar el purín a través de filtros (tratamiento primario), el sólido tiene aproximadamente $13 \text{ Kg N} \cdot (\text{m}^3)^{-1}$, del cual, 33% es amoniacal. Considerando una pérdida de nitrógeno por almacenamiento (volatilización de la fracción amoniacal) y humedad, la fracción sólida puede llegar a $8,6 \text{ Kg N} \cdot (\text{m}^3)^{-1}$, disponible íntegramente en forma orgánica. De esta cantidad, sólo un 40% está disponible inmediatamente para la planta,

por lo tanto, por cada metro cúbico de sólidos, se tienen 3,4 Kg de nitrógeno disponible, y 5,1 Kg de nitrógeno no disponible inmediatamente.

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

2.2. Fuente de alimento para rumiantes

Uno de los aspectos que concita interés en las explotaciones porcinas es la posibilidad de utilizar la excreta o el guano en la alimentación de rumiantes.

La composición química de las excretas y guano se caracteriza porque tienen un alto contenido de proteína cruda, fibra cruda, cenizas, y valores bajos de extractos etéreos.

La excreta porcina tienen entre un 5 y 30% de la energía requerida por el animal en la dieta, y esta fracción nutritiva tiene una alta digestibilidad (Henning y Flachowsky, 1982). Dada su condición de monogástrico, el cerdo concentra en las excretas altos niveles de pared celular (44,6%), lignocelulosa (24,3%), lignina (4,9%), celulosa (16,9%), y hemicelulosa (20,3%) (Hillard, 1977).

El guano de cerdos contiene también otros elementos, como plomo, cadmio y arsénico, los cuales estarían en niveles levemente superiores a los presentes en forrajes verdes y que eventualmente pueden llegar a ser nocivos. Por otra parte se ha determinado la presencia en excretas de grandes cantidades de vitamina A, y del complejo vitamínico B (Henning y Flachowsky, 1982). En la Tabla 16, se entrega la composición mineral promedio de las excretas frescas.

En la Tabla 17, se muestran los resultados nacionales de la composición química de las excretas de explotaciones porcinas según su etapa productiva, expresado en porcentaje base de materia seca.

El contenido de fibra dietaria expresado como pared celular, tiene alrededor del 50% del total de materia seca, el que resulta similar al encontrado en un heno de alfalfa de buena calidad.

2. VALORACIÓN DE EXCRETAS PORCINAS

Tabla 16. Composición mineral de excretas frescos

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

Fuente: Díaz y Egaña (1996)

Tabla 17. Composición química proximal de excreta fresca según la etapa productiva (% en base a masa seca)⁽¹⁾

Etapa Productiva	Masa Seca (%)	Proteína Cruda (%)	Fibra Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Extracto no nitrogenado (%)	Energía Bruta (Mcal/kg)
Recría	26,1±2,0 ^b (7,7)	22,2±1,7 ^a (7,4)	13,8±1,8 ^c (13,2)	11,4±3,3 ^a (29,2)	39,8±5,1 ^b (12,8)	4,65±0,2 ^a (4,3)
Crianza	24,5±2,6 ^b (10,4)	20,7±2,3 ^b (11,3)	15,8±4,1 ^b (25,8)	10,8±2,4 ^{ab}	39,3±4,4 ^b (11,3)	4,56±0,1 ^{ab}
Engorda	24,8±2,1 ^{bc}	18,8±3,2 ^c (17,7)	16,8±2,5 ^{ab}	10,7±2,9 ^{ab}	40,1±5,4 ^b (13,4)	4,5±0,1 ^b (2,4)
Hembras Gestantes	25,1±1,6 ^{bc}	14,0±1,5 ^d (10,9)	17,3±3,2 ^a (18,7)	9,0±2,6 ^c (29,2)	41,3±4,7 ^{ab}	4,31±0,2 ^c (3,9)
Hembras Lactantes	29,5±4,3 ^a (14,5)	14,0±1,7 ^d (12,4)	16,6±3,6 ^{ab} (21,7)	9,7±1,8 ^{bc} (18,2)	42,9±1,9 ^a (4,4)	4,49±0,2 ^b (5,3)

Fuente: Cerda (1990)

(1) promedio aritmético, desviación estándar y coeficiente de variación (%). Valores () corresponden a coeficientes de variación.

Las letras a, b, c, d, dentro de columnas, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La extracción mecánica de los sólidos de los purines que se encuentran en los pozos de acumulación, generan un material más manejable en una unidad de crianza intensiva, esto es porque tienen un menor contenido de agua (70%). Sin embargo, cuando se realiza la extracción, además de la pérdida de agua, hay pérdida de otros componentes, lo que disminuye el valor nutricional de los sólidos.

En la extracción de sólidos también se afecta la fracción fibrosa expresada como paredes celulares, la que tiene un gran incremento, llegando a alcanzar un 24% sobre el purín no prensado (Díaz y Egaña, 1996). Las diferencias en la composición química proximal entre los purines y el sólido prensado denominado guano, se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18. Composición química proximal de los purines y guanos (% base materia seca)⁽¹⁾, obtenidos en el país.

Composición química proximal y Mineral	Pre-prensado (Excretas)	Prensado (Guano)
Materia seca	16,6±1,9 ^b (11,1)	35,9±6,2 ^a (17,4)
Proteína cruda	11,0±1,9 ^a (17,2)	7,5±1,5 ^b (19,6)
Fibra cruda	25,5±3,7 ^z (14,5)	31,6±7,2 ^y (22,9)
Extracto etéreo	4,5±1,6 ^a (34,2)	3,0±1,0 ^b (32,6)
Extracto no nitrogenado	52,3±6,5 (12,5)	52,5 (12,3)
Ceniza	6,3±2,2 ^y (34,2)	4,7±1,6 ^z (34,3)
Calcio	1,5±0,6 (40,0)	1,4±0,5 (35,6)
Fósforo	0,5±0,3 (70,1)	0,4±0,2 (49,9)

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

(1) promedio aritmético, desviación estándar y coeficiente de variación (%).

Los valores () corresponden a coeficientes de variación.

Las letras a, b: letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,01$). y, z, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En lo que respecta a alimentación animal, el guano de cerdo puro o bien combinado con guano de broiler constituye una real alternativa para ser utilizada en la dieta de rumiantes. Una de sus principales ventajas como insumo alimenticio es que permite reducir el costo de alimentación con la consecuente disminución de los costos de producción, incrementando el margen al productor.

El uso de excretas frescas no es totalmente aceptado debido a la supuesta presencia de microorganismos, posiblemente patógenos, tanto para los animales como para el hombre. Para evitar este problema, las excretas y el guano ha sido probado en forma de ensilaje solo o combinado con otros ingredientes, seco y húmedo en dietas para ovinos y bovinos; buscando sustituir granos o fuentes proteicas dado su contenido de alrededor del 20% de proteína cruda.

El ensilaje de excretas o guano 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. 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.

2.3. Material generador de energía

Los purines también pueden tener otro destino, que es el de servir de materia prima para producir energía. Como se describe en el subcapítulo 3.4 Sistemas de tratamiento de purines, esto se logra a través de un reactor anaeróbico o biodigestor.

El biogas es un combustible cuyo poder calórico es de aproximadamente $5.400 \text{ Kcal} \cdot (\text{m}^3)^{-1}$ o $6,27 \text{ kwh} \cdot (\text{m}^3)^{-1}$. Se conforma entre un 50 a 75% de metano, 25 a 45 % de dióxido de carbono y pequeñas trazas de nitrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno y otros.

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

2.4. Compostaje

Existe otra alternativa en lo que respecta a la fertilización con excretas de cerdo. Anteriormente se mencionó la posibilidad de fertilizar directamente con guano, debido a su contenido de nutrientes. Sin embargo, existe una forma de estabilizar los desechos

orgánicos para su posterior utilización como fertilizante. Este proceso, que consiste en la descomposición de la materia orgánica lábil hasta alcanzar su forma más estable, se conoce como compostaje.

El compostaje es un proceso natural, reforzado y acelerado por la mezcla de desechos orgánicos con otros ingredientes (residuos vegetales, por ejemplo) de una manera predefinida para un crecimiento microbiano óptimo. Este proceso convierte un material de desecho orgánico, en un producto orgánico estable frente a las condiciones ambientales. Además, esteriliza en alto grado el guano animal.

2.4.1. Métodos de compostaje

Existen tres métodos básicos de compostaje; secado en filas o hileras (windrow); pilas estáticas (static pile) y; contenedores (in-vessel).

Secado en filas o hileras (windrow)

Este método consiste en apilar el material a compostar en montones largos y estrechos. Para mantener una condición aeróbica, la mezcla de este material debe voltearse periódicamente. Esto expone el material a las condiciones ambientales e impide el aumento de la temperatura. Algunas ventajas y desventajas de este método son:

Ventajas:

- El secado rápido con temperaturas elevadas.
- Un producto más seco, que favorece su manipulación.
- Facilidad de manejar volúmenes altos de material.
- El producto es muy estable.
- Bajo capital de inversión.

Desventajas:

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

En la Figura 37, se muestra un esquema con el método de secado en filas o hileras.

Figura 37. Método de compostaje por secado en filas (windrow)



Fuente: UC Berkeley, 2003

Pilas estáticas (static pile)

Este método consiste en mezclar el material de compostaje y apilar la mezcla, donde el aire es arrastrado o forzado. El exterior de esta pila generalmente se aísla con abono terminado u otro material. Las dimensiones de esta pila estática están limitadas por la cantidad de aire que puede ser proporcionada por los sopladores y las características del material apilado. La altura de mezcla del material generalmente va de 2,5 a 4,5 metros, y el ancho es normalmente dos veces la profundidad. Los sistemas de aireación forzados, se implementan por succión (vacío), o por medio de las cañerías perforadas a través de presión positiva (forzado). Las ventajas y desventajas de este sistema son:

Ventajas:

- Bajo costo de instalación.
- Alto grado de destrucción de patógenos.
- Buen control de olores.
- Alta eficiencia en la estabilización del producto.

Desventajas:

- Mayor espacio requerido.
- Vulnerable a cambios climáticos.
- Costo de operación y mantenimiento de sopladores.

En la Figura 38, se muestra un esquema con el método de pilas estáticas.

Figura 38. Método de compostaje con pilas estáticas (static pile)



Fuente: Remade Scotland, 2003.

Contenedores (in-vessel)

Este método involucra el mezclado del guano u otro material orgánico en un contenedor aislado y puede involucrar la adición de una cantidad controlada de aire. Este método tiene el potencial de otorgar un alto nivel de control del proceso, debido a que se puede mantener la humedad, la aireación y la temperatura. Algunas de las ventajas y desventajas de este método incluyen:

Ventajas:

- Menor espacio requerido.
- Buena protección ante las condiciones climáticas adversas.
- Alto control de olores.

Desventajas:

- Mayor costo de capital.
- Requiere de un manejo especial.
- Es dependiente de un equipo mecánico y eléctrico especializado.
- Se necesitan sistemas mecánicos de mezclado.
- Menor flexibilidad en cuanto a su funcionamiento, comparado con otros métodos.

En la Figura 39, se muestra un esquema con el método de contenedores (in-vessel).

Figura 39. Método de compostaje con contenedores (in-vessel)



Fuente: Coverall, 2003

2.4.1. Pasos en el proceso del compostaje

La operación de compostaje generalmente sigue estos pasos:

a) ***Pre-acondicionamiento de materiales.***

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

b) ***Mezclado de los desechos con un agente enmendante.***

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

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

Una vez que los materiales son mezclados, el proceso del compostaje comienza. Las bacterias empiezan a multiplicarse, consumen carbono y oxígeno libre. Para sostener la actividad microbiana, se debe agregar aire para mantener el oxígeno en la pila de compostaje. El aire puede ser agregado por simple mezcla o en cada volteo del compost. Las bajas concentraciones de oxígeno generalmente producen anaerobiosis, tiempos más lentos del proceso y olores.

d) ***Ajuste de Humedad.***

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

e) ***Secado (optativo).***

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

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

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

g) ***Almacenamiento.***

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

2.4.1. Beneficio del uso del compost

Entre los beneficios del compostaje se incluyen:

a) ***Acondicionamiento del suelo.***

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

b) ***Facilita el manejo del guano.***

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

c) ***Aplicabilidad al suelo.***

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

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

d) ***Disminuye los riesgos de contaminación y olores.***

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

e) ***Destruye los patógenos.***

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

f) ***Es un producto comercializable.***

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

2.5 Alternativa a la crianza convencional estabulada, Deep-Bedding o cama caliente.

El Deep-Bedding (Figura 40) o producción de cerdos sobre cama sobrepuesta es un sistema muy antiguo, que se ha popularizado recientemente en algunos países del mundo (Canadá, país precursor, Australia, Suecia, EEUU, Chile, etc.) como una respuesta a las exigencias ambientales; una alternativa de competitividad de productores medianos y pequeños para enfrentar a las grandes compañías que crecen ilimitadamente con instalaciones de tipo convencional.

El sistema “deep-bedding” ha nacido en muchas áreas como una oportunidad de aprovechar galpones construidos para aves, con cama de materiales como paja, viruta, capotillo de arroz, arena, etc. Normalmente estos galpones poseen piso plano de tierra o cemento.

En el país existen mas de 70 mil cerdos en producción con este sistema, con resultados económicamente competitivos al manejo convencional (Cuevas, 1999).

Figura 40. Sistema Deep Bedding o “cama caliente”



Fuente: Elaboración propia

Las características más importantes del sistema “deep-bedding” se resumen en los siguientes aspectos:

- **Tipo de galpón:** Pueden utilizarse infraestructuras de segundo uso como son los galpones de aves (broiler, pavos) generalmente de 1000 - 1200 m² ya sean viejos o nuevos, bodegas, establos o pabellones nuevos de un bajo costo.
- **Tipos de animales:** Cerdos de engorda en todas las fases de producción.

- **Tamaño de lotes:** Para la producción de cerdos pesados de 110-120 Kg se requieren al menos $1,4 \text{ m}^2 \cdot \text{cerdo}^{-1}$, por lo tanto, los lotes (un corral) generalmente son de 710 a 850 cerdos en galpones de 1000 a 1200 m^2 .
- **Ventilación:** La ventilación es un aspecto de gran importancia en este sistema, para evacuar el exceso de temperatura generado por la descomposición del material de la cama y por el calor corporal de los animales. El galpón, por lo tanto, debe ser alto y estar orientado de tal manera que quede construido perpendicular a la dirección de los vientos dominantes. Las cortinas deben permitir la total ventilación y las paredes laterales deben ser bajas. Puede considerarse ventilación forzada.
- **Manejo de sanidad animal:** El sistema debe ser totalmente por lotes. Todos los manejos individuales deben evitarse, se aconseja que los medicamentos sean suministrados sólo por agua o alimento.
- **Tipo y cantidad de cama:** Numerosos materiales pueden usarse como cama. Los mejores resultados se logran mezclando diferentes tipos, tales como, paja con viruta o aserrín, capotillo de arroz con viruta, etc. 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 no es aconsejable, debido a que como el animal los consume, provoca lesiones en los pulmones y en los intestinos. Se requieren aproximadamente tres fardos de 30 kilos de paja de trigo para cama por cerdo para cada turno o grupo.
- **Comederos/bebederos:** En lo posible, utilizar el sistema automático de alimentación, evitando el contacto de personas con los animales.
- **Alimentación:** Se usan esencialmente las mismas dietas que en sistema convencional

La calidad de la cama es importante, para la absorción de agua y la salud de los cerdos. Es primordial comenzar con cama seca. No se deben utilizar productos húmedos, ya que la humedad provee un ambiente para el crecimiento de hongos, los cuales pueden causar problemas de salud a los cerdos. Es importante empezar con 30 a 45 cm como mínimo. Para obtener buenos resultados, es recomendable que la cama en el corral se mantenga lo más seca posible, y durante la semana mantener esta condición, añadiendo 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, en especial las áreas de defecación.

Esta cama, en contacto con los residuos porcinos, comienza a descomponerse. Este proceso de compostaje forma excretas secas (residuos de camas calientes) en vez de líquido (purines), siendo más fácil su manejo y menos costoso de aplicar a los campos, como abono, cuando se limpia el pabellón.

Las estadísticas de producción en galpones con cama caliente, tales como ganancia diaria, eficiencia de conversión alimenticia y salud de los cerdos, indican que el rendimiento es igual o mejor que la de los galpones convencionales, con menores costos

de producción. Los tamaños mayores de los corrales conducen a mejor comportamiento de los animales, ya que los cerdos tienden a ser más dóciles. Por último, la producción en cama caliente permitiría a los productores de cerdos nacionales utilizar los galpones existentes o construir nuevos a menores costos. Esto se logra con menos inversión de dinero y menores gastos de producción en instalaciones que no dañan el medio ambiente (Gallardo, 2000).

2.6 BIBLIOGRAFÍA

AGRICULTURAL WASTE MANAGEMENT FIELD HANDBOOK, 1992. Chapter 9. Swine waste management systems. National Resources Conservation Service (NRCS) (<http://www.ftw.nrcs.usda.gov/awmfh/chap9.pdf>).

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

COVER-ALL BUILDING SYSTEMS, 2003. (<http://www.coverall.net/agriculture/index.htm>).

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

INGENIERO AMBIENTAL.COM, 2003. Tratamiento con biodigestor de los residuos de la producción porcina (<http://www.ingenieroambiental.com/new3informes/cerdos.htm>).

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

MANUAL DE COMPOSTAJE, 2002. Corporación de Investigación Tecnológica (Intec Chile, FDI).

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2003. World Health Organization. (www.who.int).

PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DEL COMPOST, 2000. Informaciones Técnicas, Gobierno de Aragón, N° 88.

REMADE SCOTLAND, 2003. Developing markets in Scotland for waste materials. (<http://www.remade.org.uk/Organics/biosolidsfacts.htm>).

UC BERKELEY, 2003. How we compost. (<http://www.ocf.berkeley.edu/~compost/methods.html>).

3. OLORES Y VECTORES GENERADOS EN LA EXPLOTACIÓN PORCINA

**Alexis Araya C.
José María Peralta A.**

En la actualidad, la industria porcina ha debido desarrollar sistemas de producción que, a la par de ser rentables, sean ambientalmente sustentables, ya que es bien sabido que toda gestión de manejo de residuos que no es bien llevada, generará problemas de contaminación, incluyendo la propagación de olores y vectores que serán motivo de reclamos y denuncias por parte de la comunidad y de las autoridades ambientales. Esto, dentro de un plano de exigencias en lo ambiental, cada vez mayores, a consecuencia de la globalización de los mercados internacionales y de acuerdos bilaterales específicos.

3.1. Generación de olores en planteles de producción porcina

En una actividad de tipo intensiva como lo es la ganadería porcina, son muchas las fuentes que contribuyen a la generación de gases y de olores. Por esta razón se debe realizar una identificación de cada una de las posibles fuentes generadoras desde su origen, con el fin de evitar que la suma de todas ellas genere un problema mayor en etapas posteriores de los procesos productivos.

Las fuentes de olor más comunes en las explotaciones porcinas son:

- Los corrales de los animales que por su naturaleza despiden olores, además de las excretas que producen.
- El alimento y la mortalidad en descomposición que no se manejan adecuadamente.
- Los tanques de almacenamiento y tanques de sedimentación que son evacuados con intervalos mayores a tres días.
- Las lagunas anaeróbicas, particularmente cuando tienen una alta carga orgánica.
- El purín aplicado al suelo de cultivo mediante equipos de riego.
- El guano cuando se aplica al suelo de cultivo y no es incorporado (Figura 41).

El control del acopio de residuos al interior de los planteles, el transporte del purín hasta los medios separadores como filtro y prensa, los sistemas de resuspensión de sólidos (estanques) y la aplicación del residuo, particularmente los efluentes, son los principales puntos de control con incidencia significativa en la reducción de olores.

Los cerdos son animales monogástricos (tienen una sola cámara estomacal), cuya alimentación se basa fundamentalmente en dietas que, a la vez de ser balanceadas, son concentradas. Éstas incluyen aminoácidos esenciales, minerales, vitaminas, fibras y grasas.

Es debido a este tipo de alimentación rica en nutrientes, como nitrógeno y azufre, que se generan gases amoniacales y sulfurados, principalmente, como productos de la descomposición de excreta, guano y purines, que son los responsables de los malos olores y de la atracción de vectores.

En cuanto a los factores que incrementan la emisión de olores, éstos se ven favorecidos por las altas temperaturas, humedad ambiental y poca o nula ventilación. Suponiendo una velocidad del viento muy baja, los gases pueden viajar con un patrón de flujo laminar sin mucha dispersión (sin dilución), alcanzando un punto bajo en el viento con una concentración que no difiere mucho de la que se encuentra en la fuente emisora.

Debido a esto, los mayores niveles de dispersión de olores ocurren al medio día, cuando la velocidad del viento está en su máximo y la humedad relativa está en su punto mínimo. Por lo tanto, es esperable menos problemas de olores en este momento que en la tarde, cuando la velocidad del viento disminuye y la humedad relativa se incrementa.

También, hay factores que son producto de las faenas mismas dentro de los recintos que incrementan la emisión de olores tales como acumulación de materiales en proceso de putrefacción; manipulación de excretas, y agitación de excretas en los estanques de resuspensión de sólidos.

En cuanto al área superficial disponible por animal, un área reducida conduce a que los cerdos se revuelquen sobre sus propias excretas, causando la dispersión de estas y por tanto, el aumento de la emisión de olores.

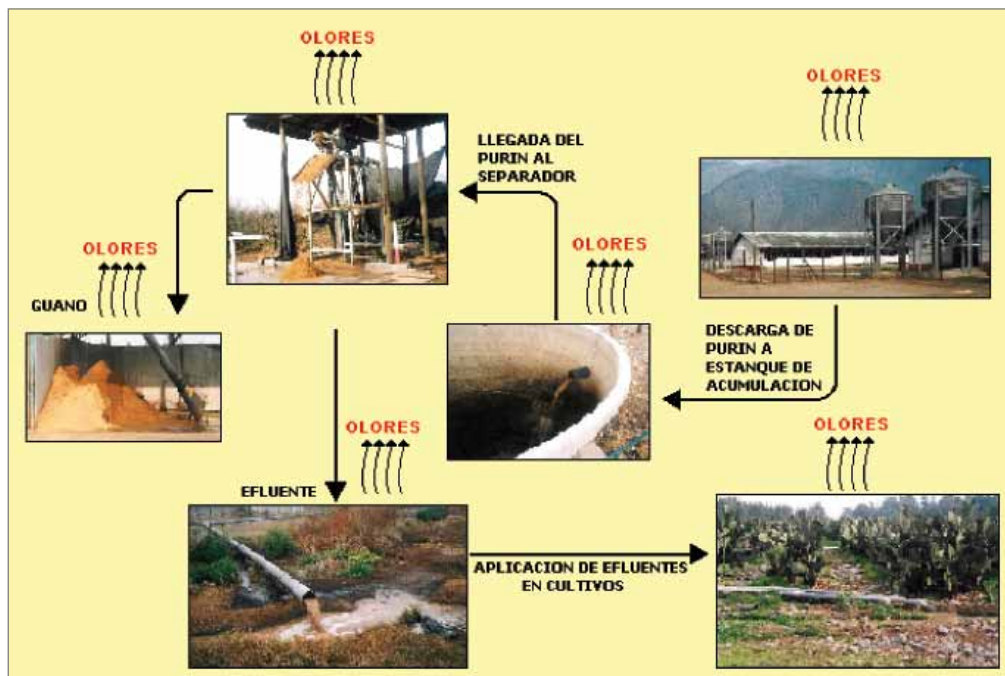
La acumulación de material particulado (polvo) que puede ser transportado por el viento fuera del predio puede ser una causa importante de olores, ya que comúnmente esas partículas están impregnadas o constituidas por algunas de las sustancias que componen estos complejos olores. Este material generalmente es alimento, orina o excreta que se descompone convirtiéndose en una fuente adicional de olor. Este es uno de los puntos que reviste gran importancia en el manejo de olores dentro de la explotación animal, ya que se debe ser estricto en cuanto al aseo y limpieza dentro de las instalaciones para controlar los olores. Generalmente en lugares como los techos, chimeneas y habitualmente en los sitios de salida de aire, se acumulan grandes cantidades de polvo que se transforman en fuentes importantes de olores.

Otro factor que contribuye a la formación de malos olores es la manipulación de excretas, cuando se transporta para separar la fracción líquida de la sólida.

Esta es una labor que se puede programar en cuanto a sus horarios y frecuencia, convirtiéndose entonces, en otra actividad que requiere control.

La agitación en los estanques de resuspensión de sólidos genera grandes volúmenes de gases. Mientras mayor sea la agitación, mayor será la emisión de olores (INIA, 2000).

Figura 41. Principales focos de emisión de gases y olores en la industria porcícola.



Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Fundamentos técnicos de los olores en la actividad porcícola.

Los gases producidos durante la descomposición de la materia orgánica son resultado de la fermentación bacteriana que puede ser de dos tipos: aeróbica y anaeróbica.

La descomposición aeróbica, ocurre en las capas superficiales de la materia orgánica, por acción de bacterias aeróbicas, entre ellas *Micrococcus ureae*, que transforma la urea (NH_2CONH_2) en carbonato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), el que por acción de otros organismos se transforma en anhídrido carbónico (CO_2), amoníaco (NH_3), óxidos de azufre (SO_2) y óxido nitroso (N_2O). Esta descomposición genera un pH básico a la masa que es adecuado para que se produzca la redisolución de otras sustancias. En esta etapa, se llegan a producir temperaturas de entre 70-80 °C, sobre todo cuando se trata de excretas con un alto contenido de sustancias orgánicas y humedad.

Los residuos de los cerdos comienzan a descomponerse inmediatamente después de haber sido excretados. La descomposición microbiana puede generar compuestos volátiles que al alcanzar determinadas concentraciones pueden ser tóxicos. La fermentación se produce por medio de bacterias anaeróbicas en capas profundas, con elevación de temperatura en forma moderada. En este caso, los principales gases generados son anhídrido carbónico (CO_2), amoníaco (NH_3), acompañado de gases reducidos, como el

monóxido de carbono (CO), el metano (CH₄) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S); este último, responsable de los malos olores. El monóxido de carbono y el metano son los de menor efecto odorífero, pero en altas concentraciones, pueden ser letales.

La gran variedad de microorganismos presentes en el intestino de los cerdos, puede encontrar condiciones óptimas para su desarrollo en los purines, por condiciones de pH, oxígeno y temperatura. Como consecuencia, se generan gases con olor característico, como el sulfuro de hidrógeno, reconocible por su olor a huevo podrido (Zhu and Larry, 1999; ACP, 1997).

La relación entre el amoníaco y las emisiones de olores de unidades de almacenamiento no ha podido ser establecido. También, existen en pequeñas cantidades otros compuestos orgánicos volátiles (COVs) que pueden incrementar la emisión de olores. Aproximadamente, 150 compuestos volátiles son los que se han encontrado en las excretas porcinas, muchos de los cuales son transportados por el polvo y otras partículas. No ha sido posible establecer que uno de estos compuestos químicos, actuando solo o en combinación con otros compuestos presentes, sea realmente el causante de la sensación de olor (Zhu and Jacobson, 1999).

La Tabla 19 muestra el género bacterial al que pertenecen las bacterias encontradas en purines y algunos de los compuestos olorosos (potenciales), emitidos bajo determinadas condiciones.

Tabla 19. Género bacterial y sus compuestos olorosos

Genero Bacterial	Temperatura (°C)	Tolerancia al oxígeno	pH	Compuestos Olorosos potenciales
Streptococcus	37	-	4,0-9,6	Fórmico, acético, propiónico, ácido butírico, amoniaco y aminos volátiles.
Peptostreptococcus	25-45	No	6,0-8,0	Fórmico, acético, propiónico, ácido butírico, amoniaco y aminos volátiles.
Eubacterium	20-45	No	6,5-7,5	Fórmico, acético, propiónico, ácido butírico, indoles y fenoles.
Lactobacilli	2-53	-	4,5-6,4	Fórmico, acético, propiónico y ácido butírico
Escherichia	37	-	4,4-9,0	Fórmico, acético, propiónico y ácido butírico
Clostridium	15-69	No	6,5-7,5	Fórmico, acético, propiónico, ácido butírico, indoles y fenoles.
Propionibacterium	25-45	No	5,0-8,5	Fórmico, acético, propiónico, ácido butírico, indoles y fenoles.
Bacteroides	25-45	No	5,0-8,5	Fórmico, acético, propiónico, ácido butírico, amoniaco y aminos volátiles
Megasphaera	25-40	No	7,4-8,0	Fórmico, acético, propiónico, ácido butírico y compuestos volátiles que contienen azufre

Fuente: Zhu and Jacobson; 1999

Existen experiencias en Estados Unidos, en que investigaciones sobre calidad de aire han indicado que emisiones asociadas al almacenamiento de residuos de cerdos tienen el potencial para hacer decaer la calidad del aire a escala local, regional y global a través de las emisiones de NH_3 , N_2O , CH_4 , H_2S , material particulado (PM) y (COVs) (Zahn et al., 2001).

3.1.2. Tecnologías para el control de olores

Existen tres condiciones necesarias para que un olor sea detectado:

- Los compuestos olorosos deben ser formados.
- Los compuestos olorosos deben ser liberados al ambiente o a la atmósfera, y en tercer lugar.
- Los compuestos olorosos deben ser transportados por el viento hasta las personas receptoras de la comunidad.

Consecuentemente, las tecnologías para el control de olores se pueden clasificar en tres categorías:

- Las que reducen la generación de olores (incluyen tecnologías de tratamiento tales como reactores anaeróbicos, manipulación de la dieta para reducir la cantidad de nutrientes en el residuo, aditivos químicos y biológicos).
- Las que disminuyen la emisión de olores (uso de biofiltros y cubiertas).
- Las que incrementan la dilución de olores (ventiladores, muros, barreras vegetales).

Si la primera estrategia de control demuestra ineficiencia, entonces, la segunda o tercera estrategia de control deberá ser llevada a cabo (Schmidt et al., 2001).

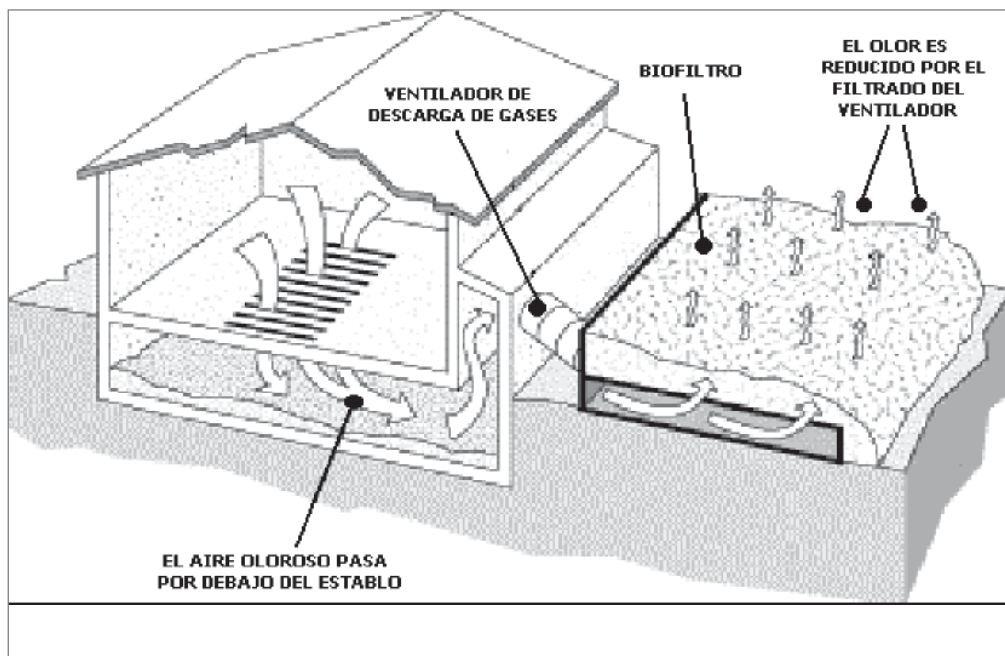
La Tabla 20 muestra algunas de las alternativas que existen para el control de olores.

Tabla 20. Tecnologías para el control de olores.

PROCESOS/ SISTEMAS	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS
Digestión anaeróbica	Proceso mediante el cual el carbono orgánico se convierte en metano por bacterias anaeróbicas bajo condiciones controladas de pH y temperatura.	Reduce olores y materia orgánica, Produce biogas.
Digestión aeróbica	Proceso biológico por el cual la materia es oxidada por bacterias aeróbicas; se requiere aplicación de oxígeno en forma mecánica.	Reduce olores, materia orgánica y nutrientes.
Manipulación de la dieta	Incorporación de aminoácidos sintéticos y proteínas baja en fibra cruda en la dieta.	Bajo contenido de nitrógeno en los residuos, disminuyen los olores y las emisiones de NH ₃ .
Aditivos	Productos biológicos o químicos son adicionados a los residuos.	Reducen olores y emisiones de NH ₃ .
Biofiltros	Gases pasan a través de una cama de compost, chips de madera, o ambas; bacterias y hongos ayudan a oxidar compuestos volátiles.	Reduce olores y emisiones de H ₂ S.
Lavadores de gases biológicos y químicos (scrubbers)	Gases olorosos pasan a través de columnas empaquetadas con diferente medios; el agua cae desde la parte superior de la columna ayudando a optimizar las reacciones biológicas y químicas.	Reduce olores y efectivamente emisiones de H ₂ S y NH ₃ .
Cubierta geotextil	Membranas geotextiles se ubican sobre la superficie de los residuos; residuos como paja puede ser ubicada sobre el geotextil para obtener mejores resultados.	Ayuda en la reducción de olores y emisiones de H ₂ S y NH ₃ .
Cubiertas plásticas o malla rashell	Gran variedad de plásticos pueden ser ubicados sobre los estanques de almacenamiento; pueden ser flotantes o estructuras rígidas.	Ayuda reducir olores y emisiones de H ₂ S y NH ₃ .
Estructura de corte de viento	Muralla o paredes, permiten el control de partículas que han absorbido olores.	Ayuda en evitar la dispersión de polvo y olores.
Cinturón o barrera de protección	Árboles y otro tipo de vegetación pueden ser ubicados en los alrededores, creando una barrera para el polvo y los olores. Los árboles absorben compuestos olorosos y pueden generar turbulencia ayudando a la dispersión de los olores.	Reducen efectivamente polvo y olores.
Inyección mecánica de efluentes	Inyección del purín sin tratar o del efluente mediante un sistema hidráulico al suelo	Reduce olores

Fuente: Jacobson et al., 1998

Figura 42. Biofiltro sobre extractores para el control de olores.



Fuente: Schmidt et al.; 2001

En la Figura 42, se muestra una posible tecnología de control de olores mediante el uso de biofiltros sobre los extractores de olores.

Esta tecnología considera reducir las emisiones con la captura de los gases olorosos. Los biofiltros son un buen ejemplo de una tecnología que reduce las emisiones de olor. Los biofiltros tratan los gases olorosos con microorganismos que oxidan estos químicos olorosos complejos en compuestos inodoros simples. El aire emitido del biofiltro casi no posee olor.

Dentro de alternativas más recurrentes en control de olores, se encuentra el empleo de cubiertas en los estanques de almacenamiento de purines, que pueden ser orgánicas o sintéticas.

Dentro de las orgánicas se encuentran aquellas constituidas por residuos orgánicos o paja; y las sintéticas pueden ser de plástico o PVC u otro material que contribuya a la retención de olores y gases (Nicolai, 1996). En la Figura 43, se muestra una alternativa de cubierta en los estanques de almacenamiento de residuos.

Figura 43. Cubierta de caña de maíz picado sobre estanque de purines



Fuente: Iowa State University, 2002

Otra alternativa en la reducción de olores corresponde a inyectar el purín en el suelo y no dejarlo dispuesto libremente en el suelo. En la Figura 44 se muestra este sistema.

Figura 44. Sistema de inyección de purines.



Fuente: Iowa State University, 1998.

3. OLORES Y VECTORES GENERADOS EN LA EXPLOTACIÓN PORCINA

Existe gran variedad de alternativas para el control de olores. El complemento de algunas de ellas pueden ayudar notablemente a mejorar el tipo de control. El adoptar cualquiera de las tecnologías mencionadas debe considerar aspectos ambientales y económicos.

La aplicación de los efluentes al suelo es el paso final para la mayoría de los programas de manejo de residuos de animales.

Diversas son las formas de evacuar el efluente en el suelo. La más simple corresponde a verterlo directamente al suelo a través de acequias de riego (Figura 45).

Figura 45. Descarga del efluente al suelo.



Fuente: Elaboración propia

Otros medios más sofisticados y más eficientes determinan una entrega más uniforme del efluente al suelo. Así, cañones o aspersores de baja presión crean menos contacto del efluente con el aire que los sistemas de alta presión, mientras que, el tipo de boquillas y aspersores determina el tamaño de las gotas, la altura y distancia recorrida por ésta. Mientras más grande es el tamaño de las gotas y su aplicación esté más cercana al suelo, menor será la cantidad de olor generado.

La agitación en los estanques de resuspensión de sólidos (Figura 46) se puede hacer de múltiples maneras, siendo algunas de ellas generadoras de grandes volúmenes de gases.

Figura 46. Estanque de resuspensión de sólidos.



Fuente: Elaboración propia

También es posible modificar el programa de aplicación de los purines, guano o excretas, de forma de evitar las quejas de la comunidad, escogiendo un momento para regar con la enmienda en que el viento transporte los olores lejos de las áreas sensibles. La aplicación se puede llevar a cabo en una hora del día en que halla las mejores condiciones de sequedad y velocidad del viento.

Ahora bien, si el manejo de la excreta seca considera su transporte y distribución, se debe esparcir en el campo frecuentemente para disminuir los olores. Esta debe esparcirse temprano en la mañana (antes del medio día) cuando el aire se está calentando y ascendiendo, ya que en la tarde el aire se enfría y desciende, y además no se debería esparcir en los días y en las horas en que el viento sopla en dirección de las áreas sensibles, ni tampoco cuando el aire esté quieto o suspendido.

3.2. Control dinámico de vectores

Los olores generados por la biodegradación de la materia orgánica, contenida en purines de cerdo, atraen organismos que pueden servir de transporte de enfermedades; tales organismos se denominan vectores.

En planteles de cerdos, los principales vectores atraídos por los olores son:

- Insectos: mosca doméstica; avispas (en menor grado),
- Roedores: ratón (campo o ciudad).

Los métodos que apuntan hacia el control de vectores, pretenden el control y no la eliminación de éstos, ya que esta situación -si bien, es la ideal- es virtualmente imposible.

3.2.1. Mosca doméstica (*Musca domestica*)

Uno de los insectos que se presenta de manera más frecuente en los planteles porcinos corresponde a la mosca doméstica (*Musca domestica*, Figura 47). Este díptero convive a diario con el ser humano, teniendo el hábito alimenticio de degradar la materia orgánica, desde donde obtiene su energía.

Al posarse y alimentarse de excretas, desperdicios y otros materiales, el adulto de la mosca puede retener organismos patógenos en sus patas, cuerpo y canal alimenticio, el que, por su hábito de defecar, regurgitar y limpiar su cuerpo en los lugares donde se posa, transfiere los microorganismos a nuevos hospederos y aumenta la incidencia de enfermedades como mastitis, salmonelosis, shigelosis, cólera, diarreas, etc. Además, puede transportar huevos y cistes de varios nemátodos, en especial ascáridos y platelmintos.

Este vector es, posiblemente, uno de los organismos mejor adaptados a utilizar como sustrato las excretas de los animales, aunque utiliza también materiales en descomposición (algas, flores, hortalizas, desperdicios de mataderos y basurales, etc.). La hembra de la mosca doméstica ovipone en pequeños espacios de la excreta, en grupos de más o menos 60 huevos.

Figura 47. Adulto de *Musca domestica*.

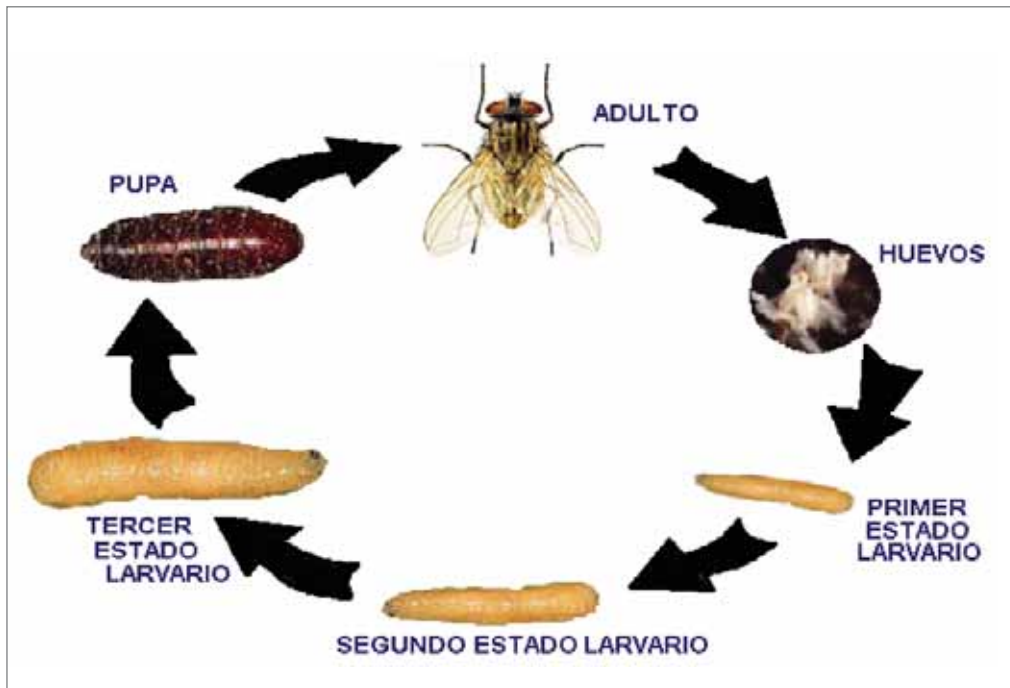


Fuente: University of Nebraska, 2003.

El desarrollo embrionario toma de 12 a 18 horas, tras lo cual eclosa una pequeña larva que se alimenta de la excreta. La larva pasa por tres estadios, a través de los cuales aumenta progresivamente de tamaño. Completa su desarrollo en 5 ó más días, dependiendo de la temperatura y la calidad del medio. Es el tercer estadio (3^{er} a 4^{to} días en condiciones óptimas), es el más difícil de controlar, ya que de esta forma, la mosca resiste hasta 48°C y 4 horas inmersa en el agua. Soporta igualmente ser enterrada 1,2 metros bajo el suelo y sobrevive al proceso de labranza.

Cuando la larva completa su desarrollo, emigra a algún lugar más seco para pupar, generalmente bajo la superficie del suelo (alrededor de 5 cm de profundidad), pero también lo puede hacer en las excretas o sobre la superficie del suelo. Esta pupa es de color café castaño y permanece en un estado inmóvil por un lapso de 4 a 10 días, luego de los cuales da origen a los adultos, los cuales se aparean al quinto o sexto día, iniciando la hembra un nuevo ciclo. Las oviposaduras van desde 400 a 1.000 huevos en total. Se ha observado que por cada kilo de excretas frescas se generan, aproximadamente, 4.000 moscas, explicando la abundancia de estos insectos dentro de una explotación pecuaria (Ripa, 2001). En la siguiente figura, se muestra el ciclo de vida de la mosca doméstica.

Figura 48. Ciclo de vida de *Musca domestica*



Fuente: Elaboración propia

Existe también, a nivel del plantel pecuario, otro tipo de mosca de menor presencia que la doméstica, que corresponde a la mosca pequeña, *Fannia canicularis* L. (Figura 49) la que se diferencia de la mosca doméstica por tener un menor tamaño. Son de color pardo, tienen forma de cuña aplanada y están cubiertas de múltiples proyecciones espinosas. Los adultos se caracterizan por realizar vuelos con bruscos cambios de dirección. Sus lugares predilectos son los sombríos y en el interior de las casas. Esta especie pueden transferir ciertas bacterias incluyendo *Staphilococcus aureus* y *Escherichia coli*. También se ha señalado su capacidad para transportar protozoarios parásitos, nemátodos y tenias. Se conocen casos de miasis nasal y aural (oidos). Los adultos pueden transportar (foresis) huevos de *Dermatobia hominis*, conocida como “ura” especie que produce forunculosis en diversos animales y en el hombre. Muchas especies de Fanniidae son importantes en estudios de medicina forense debido a la preferencia de las larvas de algunas especies de oviponer en cadáveres de vertebrados, incluyendo al hombre (Oliva, 1997).

Figura 49. Adulto de *Fannia canicularis* L.



Fuente: BugPeople.org

3.2.1.1. Métodos de control.

a) Control biológico

Dentro de las alternativas existentes para mantener controlada la presencia de moscas en los planteles de cerdo, se encuentra el empleo de insectos benéficos. Las moscas son controladas por numerosas especies de enemigos naturales. Entre los más recurrentes figuran algunos ácaros, estafilínidos e histéricidos (tipos de coleópteros), que se alimentan de huevos y larvas pequeñas.

Los adultos también tienen enemigos naturales. Pueden ser depredados por estafilínidos (coleópteros) y por la avispa *Vespula germanica* (chaqueta amarilla, Figura 50).

Existe además, una especie diferente de mosca, llamada *Hydrotaea aenescens* (Figura 51). Sus larvas son activas depredadoras de las de la mosca doméstica. El adulto se reconoce fácilmente ya que presenta una coloración metalizada verde oscuro, de similar tamaño a la mosca doméstica. Es muy eficiente en condiciones de alta humedad. Esta mosca, a diferencia de la doméstica, no se acerca a los centros urbanos, más bien, permanecen alrededor de las excretas, por lo tanto, no se transforma en un problema doméstico.

De comprobada efectividad en control biológico o biocontrol de moscas, se encuentra el *Muscidifurax raptor* (Figura 52), una avispa diminuta de 1 a 2 mm de longitud. Pertenecer a una familia de 340 especies y es uno de los parásitos más efectivos de las moscas.



Figura 50. Adulto de *Vespula germanica*.
Fuente: Katholieke Universiteit Leuven, 2003.



Figura 51. Larva de *Hydrotaea aenescens* (centro)

Fuente: Forensic Entomology, 2003.



Figura 52. *Muscidifurax raptor* sobre una pupa de mosca

Fuente: Weeden et al., 2001

3. OLORES Y VECTORES GENERADOS EN LA EXPLOTACIÓN PORCINA

Pueden llegar a parasitar y controlar en algunas situaciones, alrededor del 50% de las pupas, de las cuales sus larvas se alimentan, ocasionando una mortalidad adicional. Esta labor es más eficiente cuando las excretas y el sustrato donde pupan las larvas de mosca poseen una humedad baja.

Este parásito introduce su aguijón en la pupa de la mosca para matarla. Luego, deposita un huevo en su interior. Cuando el huevo eclosiona, la larva se alimenta de la pupa muerta.

El adulto de *Muscidifurax raptor* emerge en un período de 19 a 21 días, y empieza la búsqueda de pupas de moscas para alimentarse y depositar huevos. Los adultos se alimentan de los fluidos corporales de las moscas.

Estudios han demostrado que se desarrollan adultos del parásito en el 70% de las pupas parasitadas, pese a que la emergencia de adultos no ocurre, la pupa es muerta por adultos del parásito que se alimentan de ella.

La aplicación de pesticidas puede matar a gran parte de la población del parásito y no afectar a la población de moscas. La susceptibilidad frente a insecticidas es mayor en el *M. raptor* que en la mosca. Debido a esto, el uso apropiado de insecticidas (si es necesario), en conjunto con la liberación semanal de las avispas y manejo adecuado de los residuos, ayudan a establecer un balance favorable del parásito en relación con las moscas.

Otra especie de avispa que controla los estados larvarios de la mosca, corresponde a la *Spalangia endius* (Figura 53). Este parásito benéfico es un enemigo natural de varias especies de moscas comúnmente asociadas a sistemas intensivos de producción animal, como la mosca doméstica, mosca de los establos, moscardones, etc.



Figura 53. *Spalangia endius* parasitando una pupa de mosca

Fuente: Nosan, 2003

Estas avispas rastrean a las moscas en desarrollo (pupas) y depositan sus huevos dentro de las mismas. La larva del parásito devora la mosca que se está desarrollando dentro de la pupa. Luego, al nacer el parásito adulto, comienza la búsqueda de más pupas, reiniciando así su ciclo reproductivo (NUTRINET, 2003).

b) Control Químico

La mosca doméstica tiene una notable capacidad de desarrollar resistencia a los pesticidas. El éxito del control, radica en aplicar el insecticida apropiado, en una cantidad adecuada y en el lugar y momento correcto.

Existen puntos críticos a controlar dentro de un plantel pecuario, los que se determinan de acuerdo a los focos infectivos que se presenten. Esto determina la forma de controlar, y el producto a utilizar. El manejo que tengan las excretas para evitar la proliferación de nuevos individuos, y las aplicaciones controladas dentro del plantel, determinarán el éxito de esta labor.

- **Excretas:** la aplicación rutinaria de pesticidas sobre el excreta no se recomienda, dado que normalmente no penetra hasta el lugar donde se encuentran las larvas y que la adición constante de excreta fresca diluye rápidamente su actividad. Además, la acción microbiológica tiende a descomponer rápidamente el producto químico. Aplicaciones reiteradas sobre la excreta provocan la mortandad de los enemigos naturales, originando un mayor aumento de poblaciones de moscas después de un tiempo. A pesar de esto, existen productos químicos que se podrían utilizar en eventuales condiciones, como son Baycidal SC 480, Birlane® 240 EC; Neporex® 50 SP, Solfac EC 050, Vapona 480 EC, entre otros.
- **Infraestructura:** los insecticidas de contacto deben ser aplicados donde las moscas se posan al atardecer, usualmente, paredes, vigas, pilares, cañerías o estructuras fijas o colgantes que irradian más calor. Los sectores más utilizados por las moscas se deben tratar con insecticidas residuales, formulados preferentemente con polvos mojables (WP). Se recomienda agregar azúcar en dosis de 400 g en 10 L de caldo insecticida, con el objetivo de estimular la alimentación de los adultos cuando se posan sobre la superficie donde se aplicó. Los adultos detectan el sabor azucarado en el extremo de las patas, alimentándose así del azúcar mezclado con el insecticida, aumentando la eficacia ya que además actúa por vía estomacal.

Cuando se aplican productos insecticidas sobre superficies alcalinas (ladrillos, cemento, cal, otras superficies), el producto tiende a descomponerse en un período de una a dos semanas. La efectividad y duración mejora si es que se aplica en zonas pintadas.

Se debe tener una especial prolijidad al aplicar insecticidas en el cielo de los pabellones, ya que este es un sitio de gran importancia para el descanso nocturno de las moscas

3. OLORES Y VECTORES GENERADOS EN LA EXPLOTACIÓN PORCINA

(muchas veces son poco considerados debido a que durante las horas de mayor calor no se ven frecuentados por moscas).

Situación similar ocurre con las paredes de orientación norte, ya que absorben más calor durante el día y por lo tanto son muy atractivas durante las horas de menor temperatura.

La maleza que crece cercana a los pabellones, especialmente en primavera, debe ser eliminada al máximo ya que es un sitio muy frecuente de descanso nocturno durante la época estival. Un ejemplo de ello, los espinos, que se encuentran presentes en las cercanías de los pabellones, deben ser tratados con insecticidas dependiendo de la carga de moscas adultas en el plantel.

Como medidas específicas, la aplicación de insecticidas debe realizarse en las últimas horas de la tarde, ya que al disminuir la temperatura, las moscas tienden a posarse y no vuelan. Esto es especialmente importante, ya que determina la eficiencia del producto a utilizar.

Son muchos los productos disponibles en el mercado para el control. Entre estos figuran: Actellic, Alfacron 10 cebo, Atonit 5 EC, Baycidal SC 480, Birlane 240 EC, Cyperkill 25 EC, Diazinon 40 WP, K-Othrina, Snip, Solfac EC 050, Vapona 480 EC, entre otros.

El uso de cebos es una muy buena alternativa. En general, hay tres tipos de cebos. Algunos consideran una estructura de plástico en las que se incorpora un producto atrayente y un insecticida (Figura 54). Este cebo debe disponerse en lugares frecuentados por los individuos adultos.

Otro tipo de cebo corresponde a trampas con un cebo en su interior, pero sin pesticida. Los adultos ingresan a la trampa y no logran salir, muriendo en el interior.

Un tercer tipo de cebos, corresponde a cebos granulados, que contienen azúcar y/o feromona (Tricolure) con un insecticida, la que se esparce en caminos u otras áreas.

Los cebos pueden ser fabricados de forma artesanal. Para esto se utilizan bandejas plásticas en las cuales se coloca afrechillo fermentado, orujo de cerveza, maíz u otra sustancia altamente atractiva, la cual se moja con un caldo de 1 cc de Diclorvos (Vapona 480 EC) o de Azametiphos (Alfacron® 10 cebo), y se agregan 40 g de azúcar por cada litro de agua.

En principio, la atracción de moscas es lenta, pero va en aumento en la medida que se acumulan individuos muertos. Este efecto se denomina “factor mosca”, por lo tanto, no se deben sacar o botar las moscas muertas acumuladas en el interior de las bandejas. Si estos recipientes tienen muchas moscas muertas, una parte de ellas puede ser usada para cebar inicialmente nuevas bandejas, o botarlas lejos del lugar. Los cebos deben permanecer constantemente saturados del caldo insecticida.

Existe otro tipo de trampas, como las de superficies pegajosas, comúnmente cintas que cuelgan de techos, y también trampas eléctricas, en las que los insectos son atraídos por una luz reflejada o una fuente lumínica hacia una rejilla, donde se electrocutan.

Figura 54. Trampa para moscas catchmaster.



Fuente: ANASAC, 2003.

c) Control mecánico

Otra forma de controlar la aparición de moscas es colocar mallas y rejillas en las zonas donde se encuentra el material que estas podrían utilizar para colocar sus huevos. Dichas mallas actúan como una barrera física, impidiendo el paso de las moscas hacia las zonas que se quieren aislar.

d) Control integral de la mosca doméstica

El objetivo de un programa integrado es lograr el manejo y control de las moscas, desde el momento que se origina, hasta su posterior salida a la explotación animal.

De acuerdo a esto, un aspecto de importancia, corresponde a tratar de hacerle a la mosca el ambiente lo más inhóspito posible, especialmente a la larva. Debido a que la mosca para desarrollarse necesita un elevado contenido de agua en su alimento, al reducirle la humedad, aumentará su mortalidad. Con esto se logrará una reducción importante de la plaga.

Para lograr un control de este vector de una manera más eficiente, se debe tener especial atención en los siguientes puntos críticos dentro de un plantel porcícola:

- **Pozos o estanques:** la acumulación de excretas en estos pozos es muy favorable para el desarrollo de la plaga. Debido a las altas temperaturas que alcanza el material, por la fermentación, la mosca acorta su ciclo reproductivo, además que diariamente se está generando un insumo fresco, manteniendo una humedad adecuada para la ovipostura.
- **Corrales:** los animales en confinamiento generan una gran cantidad de excretas, sin embargo, no siempre se encuentran larvas en estos lugares, puesto que estos insectos se ubican preferentemente en las orillas, grietas y umbrales de puertas.
- **Acumulaciones de excretas:** en general, los desechos originados por la explotación porcina, son depositados en lugares cercanos a sus fuentes de origen. La emisión de malos olores genera atracción a las moscas adultas, las que encuentran el lugar propicio para oviponer, y sus larvas encuentran el ambiente apropiado (humedad y temperatura) para desarrollarse.
- **Uso de lagunas:** en algunos planteles de cerdos es frecuente el uso de lagunas en el manejo de las excretas. Eventualmente se observan larvas cuando se produce una costra en la superficie del agua o cuando hay abundantes partículas del tamaño medio flotando.
- **Excretas en riego:** la aplicación de excretas a través del riego no suele generar problemas importantes, excepto cuando se aplican con baja dilución, las que permiten un ambiente adecuado para el desarrollo de larvas y pupas que se localizan inmediatamente bajo la superficie (Ripa, 2001).

Se ha estimado, que el adecuado manejo de excretas, desde su origen hasta su utilización final, puede generar la reducción de moscas hasta un 50% dependiendo del sector.

Si se suma a lo anterior la contribución en la reducción de moscas, que se puede hacer vía aplicación de pesticidas (25 a 30%) a la realizada por el manejo adecuado de los residuos (50%), se tiene, que se puede controlar entre un 75 a un 80% el número de individuos adultos, vale decir, se controlan 3 de cada 4 moscas presentes.

Las recomendaciones de tipo práctico para el Control Integrado de Moscas, comprenden el manejo de efluentes líquidos, y la aplicación de pesticidas, indicando medidas generales y específicas para una correcta aplicación, las que se deben ejecutar en cada oportunidad.

A continuación, en la Tabla 21 se muestran los productos insecticidas disponibles en el mercado para el control de la mosca doméstica.

Tabla 21. Productos químicos disponibles en el mercado para controlar los distintos estados de la mosca doméstica.

Nombre Comercial	Grupo químico; Ingrediente activo	Concentración y Formulación	Modo de acción	Control	Dosis	Observaciones
Actelle® Generador de Humo	Organofosforado; Pirimifos metil	222 gr/K SG (generador de humo)	Contacto y fumigación	Moscas, mosquitos y otros insectos	1 a 2 generadores por 570 m²	Distribuir uniformemente sobre el piso todos los generadores. Aislar por 24 hrs
Actelle® 40 WP	Organofosforado; Pirimifos metil	400 gr/K WP	Contacto, ingestión y fumigación	Moscas, mosquitos y otros insectos	125 gr/10 L agua/100 m²	Aplicar alrededor de las construcciones
Actelle® 50 EC	Organofosforado; Pirimifos metil	500 gr/L EC	Contacto, ingestión y fumigación	Moscas, mosquitos y otros insectos	100 cc/10 L agua/100 m²	Aplicar alrededor de las construcciones
Aliacron® 10 Cebo	Fosforado; Azametifos	10% cebo (polvo mojable)	Contacto e ingestión	Moscas adultas	Aspersión: 250 g/2 L agua/200 m² pared Tipo pintura: 250 gr/200 cc de agua/200 m² pared	Mezclar con agua tibia. Aplicar con pulverizador en el 30% de las paredes en donde se posen las moscas Mezclar con agua tibia y aplicar con brocha en el 2% de las paredes, en los lugares donde se posen las moscas Aplicar con equipos manuales o motorizados. Mojar bien la superficie a aplicar evitando el escurrimiento
Atonit 5 EC	Piretroide; Lambdaialotrina	5 gr i.a./100 cc	Contacto e ingestión	Moscas adultas	20-30cc/5 L agua/100 m²	Aplicar sobre el guano y/o desecho orgánico. Repetir cada 6-7 días
Baycidal® SC 480	Benzofenilurea; Triflumuron	480 gr i.a./Kg	Regulador de crecimiento	Larvas de moscas	100 ml/100 L agua/100 m²	Aplicar sobre el guano y/o desecho orgánico. Repetir cada 6-7 días
Birlane® 240 EC	Organofosforado; Clorfeninfos;	240 gr/L EC	Contacto e ingestión. Inhibe la acetilcolinesterasa	Larvas de moscas	0.5 L + Vapona 480 EC 0.5 L	Aplicar sobre el guano y/o desecho orgánico. Repetir cada 6-7 días
Cyberkill® 25 EC	Piretroide; Cipermetrina	25 gr i.a./100 cc	Contacto e ingestión	Moscas adultas	20-30cc/5 L agua/100 m²	Aplicar con equipos manuales o motorizados. Mojar bien la superficie a aplicar evitando el escurrimiento
Diazinon 40 WP	Organofosforado; Diazinon	40 gr/100 gr	Contacto e ingestión	Moscas adultas	150-200 gr/10 L agua/100 m²	Preparar la mezcla y aplicar sobre todas las superficies donde se posen los insectos
K-Othrina® 1%	Piretroide; Deltametrina	10 gr/L EC	Contacto, residual	Moscas, mosquitos y otros insectos	Recintos cerrados: 70-150 cc/10 L Agua Exteriores: 1 L/ha	Considerar un cubrimiento de 10 m² por litro de la mezcla. Aplicar donde se encuentren los insectos.
K-Othrina® 25 EC	Piretroide; Deltametrina	25 gr/L EC	Contacto e ingestión	Moscas, mosquitos y otros insectos	40 a 60 cc/5 L agua/100 m²	Aplicar con mojamientos de 250-300 L de agua/ha. Pulverizar con equipos manuales o motorizados
K-Othrina® Floable	Piretroide; Deltametrina	7.5 gr/L SC	Contacto e ingestión	Moscas, mosquitos y otros insectos	100 a 130 cc/5 L agua/100 m²	Pulverizar con equipos manuales o motorizados. Esperar 2 a 6 hrs para observar el control realizado
Neporex® 50 SP	Triazina; Clorazina	50% SP	Regulador de crecimiento. Inhibe el proceso de muda de las larvas	Larvas de moscas	20 gr/5-15 L agua/20 m²	Aplicar sobre la excreta nueva. Repetir cada 15 días o según sea necesario
Snip®	Fosforado; Azametifos	1% cebo	Ingestión	Moscas adultas	200 gr/100 m² superficie	Distribuir gránulos en lugares frecuentados por moscas
Solfac® EC 050	Piretroide; Cyfluthrin	5% EC	Ingestión y contacto	Moscas adultas y larvas	Adultos: 25-30 cc/50 L agua/100 m² superficie	Rociar todos los lugares frecuentados por los insectos
Vapona 480 EC	Organofosforado; Diclono	480 gr/L EC	Contacto y acción del vapor. Inhibe la acetilcolinesterasa	Moscas adultas y larvas	Adultos: 2 L/100 L agua: Larvas: 0.5 + 0.5 Birlane 240 EC	Adultos: pulverizar paredes, techos, pisos, vigas; Larvas: aplicar sobre el guano y/o los desechos orgánicos. Repetir cada 6-7 días

Fuente: AFIPA, 1997; www.bayer.cl; www.bayerandina.com; www.anasac.cl; www.sanidadanimal.com

3.2.2. Roedores

Dentro de los vectores, la presencia de roedores, es un problema menor, no obstante no debe ser obviado. El control preventivo permanente, como las buenas prácticas de manejo, el control de basuras y residuos sólidos, permiten evitar la presencia de alimento fuera de los pabellones, y por consiguiente, la atracción de roedores.

Las especies dañinas más importantes reciben, en conjunto, el nombre de “roedores comensales”, porque comparten los alimentos en establecimientos donde vive el hombre.

Tres especies se encuentran distribuidas en todo el mundo: el guarén o pericote (*Rattus norvegicus*); la rata negra o del tejado (*Rattus rattus*); y la laucha (*Mus musculus*), especies que por lo demás están ampliamente difundidas en todo el país.

La clave del notable éxito de los roedores radica en su falta de especialización, lo cual les permite adaptarse a casi todos los medios.

Además, son animales inteligentes y tienen muy bien desarrollados casi todos los sentidos. Su olfato agudo les ayuda a localizar los alimentos y seguir la pista de los olores. También tienen muy bien desarrollados el tacto y el oído.

Son animales sumamente ágiles y nadan bastante bien. Pueden cruzar una extensión de agua, vivir en alcantarillas y hasta entrar en las viviendas por los colectores de agua.

Otra razón importante del éxito de los roedores es la capacidad de crecimiento explosivo de su población. Una sola pareja puede producir, en condiciones ideales, varios miles de individuos nuevos en un solo año.

En cuanto al daño económico se puede decir que los roedores ingieren diariamente alrededor del 10% de su peso corporal en alimento. Muchas especies son omnívoras, pero generalmente prefieren los cereales o productos basados en cereales. Los roedores causan daño a una amplia gama de alimentos almacenados, incluso granos, frutas y productos elaborados. Además, provocan deterioro a las construcciones rígidas, porque excavan y roen.

Otro punto de importancia radica en que los roedores también presentan un peligro sanitario, porque son portadores de muchas enfermedades importantes que afectan al hombre y los animales domésticos (BASF, 2002).

Estas tres especies de roedores poseen características propias que es necesario conocer:

- ***Rattus norvegicus*** (Guarén o Pericote, Figura 55): La rata gris o de alcantarilla adquiere la madurez sexual desde los 3 a los 5 meses; el período de gestación es de 22 días, prolongándose cuando se presentan la lactancia y la gestación al mismo tiempo. En promedio tiene de 6 a 12 crías por parto y unido a su alta fecundidad es capaz de criar de 6 a 10 camadas por año. La lactancia y la gestación pueden ocurrir simultáneamente, ya que la hembra puede ovular poco tiempo después del parto (48 hrs). Son frecuentemente huéspedes o vectores de parásitos que transmiten serias e importantes enfermedades que afectan al hombre y a los animales domésticos. Su apariencia general es larga

y robusta. Su peso a adulto es de 200-500 gr. El excremento tiene forma de cápsula, de 2x1 cm. Viven en promedio 1 año.

- ***Rattus rattus*** (Rata negra o del tejado, Figura 56): De apariencia general suave y menos robusta. El adulto pesa entre 150-250 gr. Su nariz es puntiaguda. Su piel va de gris a negro, vientre blanco, y liso. Su excremento tiene forma de espiral. Sus nidos los realizan en paredes, áticos, árboles y, en ocasiones, madrigueras subterráneas. En cuanto a la edad para aparearse, es desde 2 a 3 meses. La gestación ocurre en 22 días. Pueden llegar a tener entre 6 a 8 crías, con 4 a 6 camadas al año. Viven aproximadamente 1 año.



Figura 55. Guarén o pericote (*Rattus norvegicus*)

Fuente: Memeliler Resim Galerisi, 2002



Figura 56. Rata negra del tejado (*Rattus rattus*)

Fuente: A.J.W Bedrijfshygiëne, 2003.



Figura 57. Laucha (*Mus musculus*)

Fuente: Reite's Rodent Roadshow 1997

- ***Mus musculus*** (Laucha, Figura 57): es el mamífero más difundido en la tierra. Debido a su tamaño pequeño, necesita poco alimento y por su gran adaptabilidad es capaz de sobrevivir en ambientes muy difíciles. Su peso adulto es de 12-30 gr. Su nariz es puntiaguda. Su piel es color café claro a gris claro, y liso. El excremento tiene forma de rodillo (3-6 mm). Realiza sus nidos dentro de estructuras, comida almacenada, y escondites. La edad para aparearse es de 1,5 a 2 meses. Su período de crianza es durante todo el año. El período de gestación dura 19 días. El número de crías va de las 4 a 7, con 8 camadas al año. El promedio de vida de este roedor es, al igual que los anteriores, de 1 año (Basf, 2002).

3.2.2.1. Métodos de control

Antes de desarrollar un programa de control integral de roedores, es esencial tener información sobre el tipo de instalación, material existente, almacenado y/o elaborado. Para esto, se debe realizar una inspección completa de las instalaciones para determinar la especie plaga, el grado de infestación y el tipo de tratamiento que se debe emplear.

Las principales evidencias de la presencia de roedores son:

- Excretas.
- Pisadas o huellas.
- Marcas de los dientes (crecen de 0,3 a 0,4 mm/día).
- Madrigueras o nidos.
- Senderos o caminos bien marcados.
- Marcas grasosas.
- Manchas de orines.
- Presencia de roedores muertos o vivos.
- Chillidos.
- Olor a roedores.

Para realizar un buen control de roedores es fundamental realizar las siguientes prácticas:

- Se deben mantener bien cerradas las bodegas de almacenamiento de alimentos, las que deben ser herméticas a los roedores.
- Se deben mantener las bodegas ordenadas y limpias.
- No se deben acumular objetos en forma desordenada en ninguna parte del predio.

- Se deben ordenar y reorganizar en forma periódica cajas, insumos, e implementos que estén arrumados.
- El material empacado en sacos como viruta, aserrín, heno, debe estar periódicamente en movimiento (cada 1 semana aproximadamente).
- Eliminar malezas hospederas de roedores alrededor del predio
- Implementar un sistema de trampas que incluyen; trampas de golpes, mecánicas y adherentes.
- Todo el sistema de desagües debe tener rejillas metálicas para impedir el acceso de los roedores.
- Uso de productos rodenticidas en pellets, bloques o líquido.

Actualmente, la tecnología proporciona una variedad de opciones para controlar a los roedores en el exterior e interior de las instalaciones. Entre ellas, el uso de estaciones raticidas conteniendo en su interior algún rodenticida.

Otra alternativa, las trampas engomadas, son una herramienta versátil para ciertas áreas, sin embargo se reduce mucho su uso en áreas sucias o mojadas, cuando el roedor cubre su cuerpo con polvo, grasa o agua y pasará por las trampas sin ser atrapado.

Las trampas de golpe son quizás las más disponibles y conocidas y siguen siendo las más empleadas para eliminar roedores de una construcción. La necesidad de usar estas trampas es emplear y colocar el mayor número de ellas (IBERTRAC, 2002).

Una forma de control muy recurrente y recomendado por su seguridad es el uso de rodenticidas anticoagulantes. Su mecanismo de acción provoca la interferencia de la coagulación normal de la sangre de los roedores, produciéndoles una hemorragia interna causándoles la muerte. Son de acción lenta y frecuentemente tardan varios días para matar al roedor, evitando causar rechazo por parte de los roedores a los demás de la comunidad.

Cada rodenticida viene en variedad de formulaciones comerciales: “pellets”, cebo, polvo, bloques de distintos tamaños, y líquido. La forma de pellets es conveniente, fácil de usar y aplicar. El cebo es menos probable que sea almacenado o llevado por los roedores y tiende a deteriorarse más rápido por la alta absorción de humedad. Los bloques ofrecen una tolerancia a los cambios del ambiente, como la humedad. El polvo se emplea como ‘polvo de rastreo’ y el roedor lo ingiere directamente al momento de limpiar su pelaje. También este mismo polvo se prepara para elaborar la presentación en cebo, el líquido es utilizado en sitios donde escasea y es el complemento ideal en el interior de las estaciones raticidas.

Existen numerosos productos comerciales empleados como raticidas. En la Tabla 22 se presentan las distintas alternativas que ofrece el mercado.

Tabla 22. Productos químicos disponibles en el mercado chileno para controlar los distintos roedores presentes en las explotaciones pecuarias.

Nombre Comercial	Ingrediente activo	Especie a controlar	Dosis	Observaciones
Klerat® Minibloques	Brodifacoum	Laucha, Rata negra, Guarán	1-2 Kg/ha	Utilizar 2 a 3 minibloques por madriguera activa y distribuir 2 a 4 minibloques en forma lineal cada 10 a 20 mt. en las áreas afectadas. La dosis depende del grado de infestación
Klerat® Pellets	Brodifacoum	Laucha, Rata negra, Guarán	Alta infestación: 1 bolsa x 10 gr cada 5 m Baja infestación: 1 bolsa x 10 gr cada 10 m	Puede usarse en bodegas, casas, galpones, molinos, criaderos, plantales pecuarios. Colocar las bolsas desde que aparecen los primeros indicios de presencia de roedores. Repetir cada 7 días si fuese necesario.
Deadline Pellets	Bromadiolona	Roedores en general	En pabellones: 1 bolsa (25 gr) cada 10 m En periferia del predio: 1 bolsa (25 gr) cada 20 m	La frecuencia de aplicación y número de cebos a repartir, depende de la situación y del área afectada
Point Broma Block cebo	Bromadiolona	Roedores en general	Ubicar cebaderas cada 5 a 10 m	Dosificar los bloques de a uno o dos por cebadera o atando dos o más bloques a alcantarillados.
Racumin® Cebo	Coumatetralyl	Roedores en general	Inicio del control: 30-50 gr/100 m ² Mantenimiento control: 10-30 gr/100 m ²	Ubicar el cebo en lugares frecuentados por los roedores, evitando su consumo por otros animales. Revisar frecuentemente los comederos con cebos, los que no pueden estar vacíos por más de 1 día.
Racumin® Polvo	Coumatetralyl	Roedores en general	25-50 gr. Alrededor o cercano a cualquier sitio de acceso o paso de roedores. Cebos: 21,0 Kg. de grano (maíz) + 3,0 l. de aceite comestible + 0,5 Kg. de atrayente (harinillas) + 0,5 Kg. de azúcar granulada +1,0 kg. de Racumin polvo. Utilizar la misma dosis de Racumin cebo.	El polvo entra en contacto con los roedores y por sus hábitos de limpieza al lamerse la piel, los roedores ingieren el producto. Para el uso de cebo, utilizar las mismas recomendaciones de Racumin cebo.
Racumin® Líquido	Coumatetralyl	Roedores en general	1 l producto comercial/30-40 l. agua. A modo de hacerlo más atractivo, se puede utilizar jugos de frutas y/o azúcar	Recomendado para lugares secos o donde existen alimentos (bodegas, silos, molinos, etc). Los bebederos deben colocarse en lugares frecuentados por los roedores, de preferencia en cajas o estaciones raticidas.
Rastop® Cebo	Bromadiolona	Roedores en general	Lauchas y Ratás: 10-20 gr.(50-100 pellets) cada 5-10 metros; Guarán: 10 gr. o 50 pellets cada 5-10 metros	Disponer los cebos donde se observen signos de presencia de roedores. Se deben cambiar y retirar constantemente los restos de cebos.
Rastop® Bloque	Bromadiolona	Roedores en general	Lauchas y Ratás: 1-2 bloques cada 5-10 metros; Guarán: 1 bloque cada 2-4 metros	Los bloques se introducen en tubos de PVC de 30 a 40 cm. de largo por 10 cm. de diámetro, colocando 1 o 2 bloques en el interior. Dependiendo del grado de consumo, reponer los cebos dos a tres veces por mes como mínimo hasta que cese el consumo.
Rodiflon® Pellets	Difetialona	Roedores en general	Dependiendo del grado de infestación, de 50 a 100 gr por punto de cebo	Debe colocarse en los lugares frecuentados por los roedores, protegido en estaciones raticidas.
Storm® Bloque 20 g	Flocoumaten	Laucha; Rata negra	Lauchas: 1 bloque cada 5 m. Rata negra: 2 bloques cada 5 m	Examinar los puntos de cebo cada 7 días, reemplazando los que hayan sido consumidos y reubicar aquellos que se encuentren intactos. Para el control de ratas, colgar 2 bloques en las alcantarillas
Storm® Pellets	Flocoumaten	Laucha; Rata negra	Lauchas: 1 paquete cada 2 m. Ratás: 1 paquete cada 5-10 m.	Inspeccionar la zona infestada para descubrir por donde entran, anidan y se alimentan las lauchas. Importante explorar rincones oscuros y áreas donde se acumule basura
Storm® Bloque Pelletizado	Flocoumaten	Laucha; Rata negra	Lauchas: 1-2 bloques pelletizados cada 2-5 m. Ratás: 3-5 bloques pelletizados cada 5-10 m	Examinar los puntos de cebos cada 7 días, reemplazando los que hayan sido consumidos y reubicar aquellos que se encuentren intactos

Fuente: AFIPA, 1997; www.bayer.cl; www.anasac.cl; www.sanidadanimal.com

3.3. Normativa que regula los olores y vectores

A continuación se presenta el marco legal que rige los aspectos e impactos de olores y vectores.

3.3.1. Normativa específica sobre olores molestos

En Chile, no existen normas de calidad ambiental, por olores molestos, como lo que se generan desde un plantel pecuario. 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 en magnitud, lo cual explicaría la gran dificultad de tratar de establecer estándares para olores ambientales provenientes de químicos específicos (INIA-La Platina, 2001).

Esta lista de valores umbrales es asumida por la American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH). Para la definición de valores límites de exposición laboral, se consideran 15 minutos de exposición, no pudiéndose superar el valor indicado (Tabla 23).

Tabla 23. 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	0.001-0.13	10
Metilmercaptano	2×10^{-7} -0.041	0.5
Etilmercaptano	9.8×10^{-5} -0.003	0.5
Amoniaco	17	2.5
Metilamina	4.7	5
Etilamina	0.27	5
Dietilamina	0.02-14	5
n-butilacetato	0.063-7.4	150

Fuente: INIA La Platina, 2001

3. OLORES Y VECTORES GENERADOS EN LA EXPLOTACIÓN PORCINA

Existen algunos instrumentos legales que intentan normar en el ámbito de los olores, pero no se señalan 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. Sólo 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 24. Adicionalmente, en la Tabla 25 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 26, se muestra el tema regulado por cada país y su instrumento legal.

Tabla 24. Gases y olores en sitios de crianza de porcino

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)	
CO ₂	Ninguno	-	5000	30000	20000 30000 40000 60000 300000	- - - 30 30	Asfixiante Seguro Acelera la respiración Somnolencia, dolor de cabeza Asfixia respiratoria fuerte puede ser letal
NH ₃	Pungente agudo	5	25	35	400 700 1700 3000 5000	- - - 30 40	Irritante Irritación de garganta Irritación de ojos Tos y carraspera Asfixia Puede ser letal
H ₂ S	Huevo podrido nauseabundo	0.7	10	15	100 200 500 1000	Severo 60 30 -	Venoso Irritante de ojos y nariz Mareo y dolor de cabeza Náuseas, excitación e insomnio Incontinencia
CH ₄	Ninguno	-	-	30000	500000	-	Asfixiante Dolor de cabeza, no es tóxico
CO	Ninguno	-	50	200	500 1000 2000 4000	60 60 60 >60	Venoso Sin efectos Desagradable pero no peligroso Peligroso Fatal

Fuente: MWPS et al.; 1985

- (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.

3. OLORES Y VECTORES GENERADOS EN LA EXPLOTACIÓN PORCINA

Tabla 25. Normas primarias para calidad de aire en distintos países

Contaminante	Chile	Alemania	Japón	Suecia	Suiza	Australia	Nueva Zelanda	USA	España	Canadá
CO										
Promedio 1 h (mg/m ³)	40000						300000	4000		30 ppm
Promedio 8 h (mg/m ³)	10000		20 ppm	600		10000	10000	10000		13 ppm
Diario (mg/m ³)			10 ppm		8000					
Anual (mg/m ³)		10000								
SO ₂										
Día (mg/m ³)	365		0.04 ppm	100	100		125	365		110 ppb
Año (mg/m ³)	80	140			30	60	50	80		20 ppb
NO ₂										
Día (mg/m ³)			0.04-0.06 ppm	75	80		1000		200	110 ppb
Año (mg/m ³)	100	80			30			100	100	50 ppb
H ₂ S										
Promedio 0.5 h							7 (mg/m ³)			

Fuente: INIA La Platina, 2001

Tabla 26. Materia regulada por cada país e instrumento legal

MATERIA REGULADA	PAIS	INSTRUMENTO LEGAL
OLORES	Estados Unidos de América	
	• Arizona	• Statute 27-30. Oil and Gas Operation
	• California	• Statute 49-421. General Air Contaminant
	• California, San Francisco	• Section 41705, Health and Safety Code. Operations other than agricultural, compost
	• Minnessota	• BAAQMD Regulation 7, odorous substances. Operations agricultural operations
	• Florida	• Statute 1160713, livestock odor, measurement (H ₂ S monitoring, ambient air quality standards)
	• Nevada	• Rule 62-296320 objectionable odor prohibited
	• Oregon	• Regulation 445B.393, odors. Offensive odor, complaint.
	• Rhode Island	• Administrative rule 340-030-0610, Odors (odorous matter, public nuisance, scentometer)
	• Texas	• Departament of enviromental management divisoin of air resources, air pollution control regulation N° 17, odors.
	Canadá	• Title 30, enviromental quality, part I. Resource Conservation Commission, chapter 112. (cites EPA regs.)
		• Enviroment Protection Act. Odorant.
	Japón	• Farm Practices Protection (Right to farm) Act RSBC, 1996 (Canada, Brithis Columbia)
		• Production and use of compost regulation,waste management Act, BC Reg. 334/93.
	Korea	• The basic enviroment law of 1993. General offensive odors
		• Atmospheric enviroment preservation Act of 1990. Incineration of odorants. Nuisance, authorized officer, control, abatement

Fuente: INIA La Platina, 2001

3.3.2. Normativa relacionada al control de vectores

Al igual que en el tema de los olores, hasta finales del año 2002 no existe en Chile una normativa que sea específica para vectores. Lo que sí existe es un plan de medidas de manejo del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente SESMA, que tienen carácter de obligatorias, y algunas recomendaciones que son aplicables a los procesos de producción porcina, en los que se pone énfasis a la limpieza que se debe tener en los plantales, además del uso de insecticidas en los casos que se requiera.

Los principales aspectos sobre el seguimiento que realiza el SESMA ante las quejas o denuncias sobre olores y vectores son los siguientes:

- Denuncia externa, el SESMA recibe la denuncia o queja.
- El personal del SESMA en terreno constata presencia de moscas.
- Sí existen moscas, buscan e identifican el o los focos; particularmente en el caso de las moscas se buscan las larvas en los criaderos o lugares de acopio de los residuos.
- Se debe encontrar el foco de moscas para sancionar.
- Dependiendo del foco, pequeño o grande, es el proceso que se sigue.
- La sanción que realiza es por insalubridad, no propiamente por presencia de moscas. Las medidas para el control en el caso de vectores, son:
 - a) eliminación de insalubridad,
 - b) buen manejo de residuos (técnicas preventivas), y
 - c) medidas de control de vectores, que consisten en un plan dinámico de control que consiste en el empleo de métodos físicos, químicos y biológicos de control.

3.3.3. Normativa relacionada con la aplicación de plaguicidas y de la obligatoriedad de contar con empresas especializadas para el control de plagas

Código Sanitario, Ministerio de Salud, 1967, Art. Relacionados;

1. **Art. 82**, Título III, Higiene y seguridad de los lugares de trabajo, El reglamento comprenderá normas como las que se refieren
 - a) las condiciones de higiene y seguridad que deben reunir los lugares de trabajo, los equipos, maquinarias, instalaciones, materiales y cualquier otro elemento, con el fin de proteger eficazmente la vida, la salud y bienestar de los obreros y empleados y de la población en general;
 - b) las medidas de protección sanitaria y de seguridad que deben adoptarse en la extracción, elaboración y manipulación de sustancias producidas o utilizadas en los lugares en que se efectúe trabajo humano;

- c) las condiciones de higiene y seguridad que deben reunir los equipos de protección personal y la obligación de su uso.
2. **Art. 90.** El reglamento fijará las condiciones en que podrá realizarse la producción, importación, expendio, tenencia, transporte, distribución, utilización y eliminación de las sustancias tóxicas y productos peligrosos de carácter corrosivo o irritante, inflamable o comburente; explosivos de uso pirotécnico y demás sustancias que signifiquen un riesgo para la salud, la seguridad o el bienestar de los seres humanos y animales. Los productos señalados en el inciso anterior no podrán ser importados o fabricados en el país, sin autorización previa de la Dirección General de Salud.
- El Director General de Salud queda facultado para controlar y prohibir en casos calificados el expendio de tales sustancias y productos, cuyo uso indiscriminado pueda dar origen a accidentes o intoxicaciones, así como para decomisarlos si las circunstancias lo requieren.
3. **Art. 91.** Sin perjuicio de lo dispuesto en el artículo anterior un reglamento establecerá las condiciones en que se podrá realizar la fabricación, importación, almacenamiento, envase, distribución, o expendio a cualquier título, manipulación, formulación, uso o aplicación, de los pesticidas para uso sanitario y doméstico, así como la manipulación de los que puedan afectar la salud del hombre
4. **Art. 92.** Todo producto destinado a ser aplicado en el medio ambiente con el objeto de combatir organismos capaces de producir daños en el hombre, animales, plantas, semillas y objetos inanimados, será considerado pesticida.
5. **Art. 93.** Ningún pesticida podrá ser importado o fabricado en el país sin autorización del Director General de Salud, debiendo obtenerse para su venta y distribución a cualquier título, el correspondiente registro

D.F.L. N° 1/89, del Ministerio de Salud. Promulgado el 8 de noviembre de 1989. Publicado en el Diario Oficial de 21 de febrero de 1990.

Determinense las siguientes materias que, conforme a lo dispuesto en el artículo 7° del Código Sanitario que requieren autorización sanitaria expresa:

- 1.- Empresas aplicadoras de pesticidas.
- 2.- Fabricación y/o importación de plaguicidas.
- 3.- Importación y/o fabricación de sustancias químicas peligrosas para la salud.

Ley N° 16744/68, Sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, Ministerio del Trabajo.

Esta Ley es un seguro social obligatorio contra riesgos del trabajo, que establece los siguientes objetivos:

Prevenir: Con el propósito de evitar que ocurra el accidente o se contraiga la Enfermedad Profesional.

Otorgar la Atención Médica: para restituir al trabajador en lo posible, toda su capacidad de trabajo.

Otorgar las Prestaciones Económicas: para reparar la pérdida de la capacidad de ganancia del trabajador y sus derecho-habituantes.

Rehabilitar: al trabajador para devolver en todo o en parte su capacidad de ganancia.

Reeducar: al afectado para darle posibilidades de desempeñar un nuevo oficio o profesión, considerando su capacidad residual de trabajo.

Código Sanitario de los Alimentos, DFL 725 /1968 y sus modificaciones

Párrafo V. De los requisitos de Higiene de los Establecimientos

1. **Artículo 47.** - Deberá aplicarse un programa preventivo eficaz y continuo de lucha contra las plagas. Los establecimientos y las zonas circundantes deberán inspeccionarse periódicamente para cerciorarse de que no exista infestación.
2. **Artículo 48.** - En caso que alguna plaga invada los establecimientos deberán adoptarse medidas de erradicación. El tratamiento con agentes químicos, físicos o biológicos sólo deberá aplicarse de acuerdo a la reglamentación vigente, por empresas autorizadas para tales efectos por la autoridad sanitaria correspondiente.
3. **Artículo 49.** - Sólo deberá emplearse plaguicidas si no pueden aplicarse con eficacia otras medidas de prevención. Antes de aplicar plaguicidas se deberá tener cuidado de proteger todos los alimentos, equipos y utensilios contra la contaminación. Después de aplicar los plaguicidas y a fin de eliminar los residuos, estos equipos y utensilios se deberán limpiar minuciosamente antes de volverlos a usar.
4. **Artículo 50.** - Se prohíbe la mantención de plaguicidas u otras sustancias tóxicas que puedan representar un riesgo para la salud, en las zonas de producción, elaboración, transformación, envase y almacenamiento de alimentos.
5. **Artículo 51.** - No deberá almacenarse en la zona de manipulación de alimentos ninguna sustancia que pueda contaminar los alimentos ni depositarse ropas u objetos personales en las zonas de manipulación de alimentos.

DS N° 594/99, Condiciones Ambientales y Laborales en Lugar de Trabajo y sus modificaciones, MINSAL.

Reglamento N° 105, of. 27/08/1998, MINSAL, Reglamento Empresas Aplicadoras de Pesticidas de Uso Doméstico y Sanitario

Este reglamento se encuentra vigente desde el 13 de febrero de 1998 y sus alcances especifican que cada empresa será autorizada por el servicio de salud en cuyo territorio de competencia (art. 2º). Establece también ciertas definiciones de Pesticidas, Empresa Aplicadora de pesticidas de uso doméstico y sanitario, Sanitización, Desinsectación, Desratización, Fumigación.

3.4. 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 Antioquía Medellín, Colombia.

AGRÍCOLA SUPER LTDA, 2001, Chile. "Sectores de destete-venta de cerdos El Mormón y El Cura, Corneche"; Declaración de Impacto Ambiental.

A.J.W. BEDRIJFSHYGIËNE, 2003. De zwarte rat (*Rattus rattus*) (<http://www.ajw.nl/muisrat.htm>).

BASF. DIVISION AGRO CHILE, 2002. Programa de control de roedores. (http://www.basf.cl/agro/salud_publica/programas/cont_roe.html).

BAYER S.A., 2001; Chile. (<http://www.bayer.cl/productos/agro/insecticidas/alsystin.htm>).

BAYER SANIDAD ANIMAL, 2002. (<http://www.sanidadanimal.com/manuales/ratas.htm>)

BAYER S.A. 2002. CONTROL ESTRATÉGICO DE MOSCAS; "Manuales Bayer". (<http://www.sanidadanimal.com/manuales/moscas.htm>).

BIGERIEGO D., M.; 1999; "Informe De La Consultoría Efectuada Sobre Gestión Ambiental De La Producción Porcina En Chile".

BUGPEOPLE.ORG, 2003. A San Francisco Bay area entomology outreach program, Oakland, California. ([http://www.bugpeople.org/taxa/Diptera/_ss/Diptera\(SS\)16-a.htm](http://www.bugpeople.org/taxa/Diptera/_ss/Diptera(SS)16-a.htm)).

CONTROL SANITARIO DE MOSCAS Y MOSQUITOS; UNIDAD 11; 1996; Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología de Cuba. (<http://www.infomed.sld.cu/instituciones/inhem2/curso/Mosca>)

DICKEY, C. ELBERT; MICHAEL, BRUMM AND SHELTON, DAVID P; 1996; "Swine Manure Management Systems". (<http://www.ianr.unl.edu/pubs/wastemgt/g531.htm>).

DT QUÍMICA, MARCHAN VENTURA, S.L. (<http://www.dtquimica.com/catalogo/alimentaria/desodorantes.htm>).

FORENSIC ENTOMOLOGY. Insects in legal investigations. (<http://www.forensicentomology.com/maggot.htm>).

GALLARDO, DAGOBERTO. 2000. Innovación tecnológica en la producción porcina es necesaria en el momento actual. Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de Concepción, Chile.

(<http://www.chillan.udec.cl/medvet/pecuarias/articulos/cerdoscamaprofunda.html>).

IBERTRAC, BARCELONA, ESPAÑA, 2002.

(<http://ibertrac.com/servicios/ratas/ratas5.html>).

INIA LA PLATINA; 2001. Estudio de evaluación de los efectos ambientales sinérgicos e impactos ambientales acumulativos de las actividades relacionadas con las operaciones de planteles de engorda, crianza y reproducción de cabras, cerdos y aves, ubicados en la comuna de Las Cabras, VI Región.

INIA LA PLATINA; 1999. Estudio y evaluación de efectos sinérgicos e impactos ambientales acumulativos de las actividades relacionadas con las operaciones de planteles de engorda, crianza y reproducción de cerdos y aves, ubicados en la comuna de San Pedro, Región Metropolitana y Santo Domingo, V Región.

IOWA STATE UNIVERSITY, 1998. Soil injection, Iowa Odor Control. Demonstration Project.

IOWA STATE UNIVERSITY, 2002. Biocovers, Iowa Odor Control. Demonstration Project.

JACOBSON, LARRY D.; 1995; "Impact Of Livestock Buildings As Sources Of Gas And Odor Emissions". (<http://www.bae.umn.edu/extens/ennotes/enfall95/impact.html>).

JACOBSON, LARRY; SCHMIDT, DAVID; NICOLAI, RICHARD; BICUDO, JOSE; 1998; "Odor Control For Animal Agriculture". (<http://www.bae.umn.edu/>).

KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN, 2003.

(<http://www.kuleuven.ac.be/bio/ento/vespula.htm>).

MASTEN, SUSAN J.; YANG, HYESOON KIM; WALKER, EDWARD D.; ROMAN, HUGO AND YOKOYAMA, MELVIN T.; 2001; "Toxicity Of Ozonated Animal Manure To The House Fly, *Musca domestica*"; J. Environ. Qual. 30:1624-1630.

MEMELILER RESIM GALERISI, 2002.

(<http://194.27.40.19/bolumler/biyolojibolumu/memeligaleri.htm>).

NICOLAI, RICHARD E.; 1996; "Managing Odors From Swine Waste".

(<http://www.bae.umn.edu/extens/aeu/aeu8.html>).

NOSAN, 2003. Pest control on farm. (<http://www.nosan.co.jp>).

NUTRINET, 2003. (<http://www.nutri-net.com.ar/Publicidad%20Insectarios%20srl.htm>).

OLIVA, A. 1997. Insectos de interés forense de Buenos Aires (Argentina). Primera lista ilustrada y datos bionómicos. Revista del Museo de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" e Instituto Nacional de Investigaciones de las Ciencias Naturales 7(2):1-59.

REITE'S RODENT ROADSHOW, 1997.

(<http://members.aol.com/MusBeMice/Species.html>).

RIPA, RENATO, 2001. Mosca doméstica en planteles pecuarios. Manejar el estiércol para enfrentarla. Revista Tierra Adentro. Enero-Febrero 2001, N° 36.

SCHMIDT, DAVID; JACOBSON, LARRY AND JANNI, KEVIN; 2001; "Preparing An Odor Management Plan"; Department of Biosystems and Agricultural Engineering. (<http://www.extension.umn.edu/distribution/livestocksystems/DI7637.html>).

UNIVERSITY OF NEBRASKA, 2003. Department of Entomology. (<http://entomology.unl.edu>).

USDA- ARS COASTAL PLAINS RESEARCH CENTER, 2001. Alternative Management of Liquid Swine Manure. Separation of solids and nutrients into value-added products. WEF- EPA Symposium

WEEDEN, C.R.; SHELTON, A.M.; LI, Y. AND HOFFMANN, M.P.; 2001; "Biological Control Guide To Natural Enemies In North America". (<http://www.nysaes.cornell.edu/ent/biocontrol/index.html>)

ZAHN, J.A.; HATFIELD, J.L.; LAIRD, D.A.; HART, T.T.; DO, Y.S. AND DISPIRITO, A.A.; 2001; "Functional Classification Of Swine Manure Management Systems Based On Effluent Air Gas Emission Characteristics"; J. Environ. Qual. 30:635-647.

ZHU, JUN AND JACOBSON, LARRY D.; 1999; "Correlating Microbes To Major Odorous Compounds In Swine Manure"; J. Environ. Qual. 28: 737-744.

4. BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

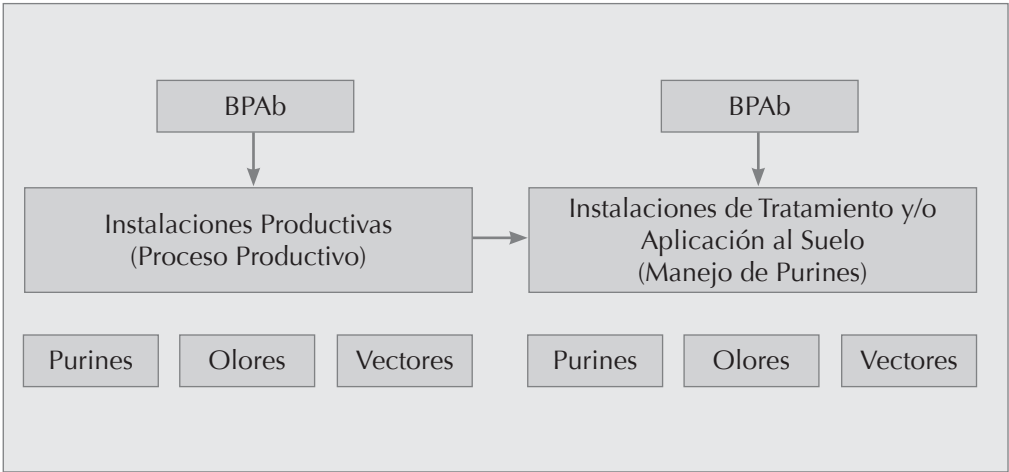
José María Peralta A.
Christian Herrera C.

A continuación, se exponen todas las medidas necesarias para cumplir con los principios de las Buenas Prácticas Ambientales (BPAAb) en el manejo de purines de la producción porcina. Además, se incluye en anexo 6, una lista de chequeo, como material auditable.

El objetivo de las medidas de buenas prácticas ambientales es evitar los impactos en el agua y suelo; y minimizar la generación de olores y vectores.

La siguiente Figura señala los ítems que agrupan las medidas de buenas prácticas que se indican en el presente apartado.

Figura 58. Líneas de Acción en Buenas Prácticas Ambientales.



Fuente: Elaboración Propia.

Nota: Las distancias propuestas desde potenciales fuentes de impacto ambiental a cursos superficiales o subterráneos de aguas son recomendaciones formuladas a través de juicios de expertos en el área.

4.1 Proceso productivo

La minimización de la generación de purines en la fuente es la mejor alternativa económica para reducir los impactos ambientales de esta actividad productiva. No obstante, cuando es técnicamente dificultoso reducir en origen, se debe optar por sistemas de manejo.

4.1.1 Disminución del impacto por purines.

Respecto a las prácticas al interior de los galpones:

- Desviar las aguas lluvia o aguas limpias de techos y patios para impedir su incorporación al flujo de purines y disminuir su volumen.
- Utilizar dispositivos de alta presión y bajo volumen para lavar galpones o sistemas como Pit y Slat.
- Los galpones deben presentar barreras físicas o cualquier sistema que asegure que la evacuación de purines se desarrolle a través de los canales abiertos destinados para la operación, evitando así, el escurrimiento superficial de purines al exterior.
- Los galpones deben situarse a una distancia mínima de 20 metros de quebradas, líneas de drenaje y cursos de agua. Los planteles existentes, instalados a una distancia menor, deben tomar las medidas preventivas necesarias para evitar eventuales escurrimientos de los purines.
- Revisar mensualmente el estado de la red de canales abiertos para evitar la infiltración o el desborde de purines.

4.1.2 Disminución de la proliferación de Vectores.

Respecto al control de moscas:

- Verificar que en el recorrido de los purines no existan sectores de acumulación, utilizados por las moscas para oviponer. Para esto, los pisos deberán ser inclinados para favorecer el lavado y el escurrimiento hacia canales de evacuación.
- Las instalaciones y su entorno deben permanecer libres de basura y desperdicios. Para ello se recomienda instalar basureros clasificados por tipo de residuo, cada 150m de distancia en los lugares más transitados.
- En oficinas, comedores y bodegas, las mallas mosquiteras instaladas en los accesos (ventanas y puertas) otorgan un adecuado control, que puede mejorarse instalando lámparas ultra violeta (UV) en lugares cercanos a las luces.
- Se deberá eliminar la maleza que crece cercana a los pabellones, ya que es un sitio frecuentado por las moscas, como descanso nocturno en época estival.

4. BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

- Se pueden cubrir las zonas favorables para el desarrollo de huevos, como acopios de guano o residuos de camas calientes en sistemas Deep Bedding. Las mallas o rejillas actúan como una barrera física, impidiendo el paso de las moscas hacia las zonas que se quieren aislar.
- Se pueden emplear insectos benéficos como algunas avispas u otros tipos de moscas que se alimenten de huevos y larvas.¹
- Se pueden aplicar controles químicos en la época primavera-verano utilizando insecticidas mezclados con un atrayente, el que puede ser azúcar flor. Los insecticidas deben obligadamente ser rotados en cada temporada debido a la resistencia que adquieren estos insectos.¹
- Los insecticidas de contacto deben ser aplicados donde las moscas descansen al atardecer, usualmente, paredes, vigas, pilares, cañerías o estructuras fijas o colgantes que irradian calor.¹
- Se debe tener una especial prolijidad al aplicar insecticidas en el cielo de los pabellones, ya que este es un sitio de gran importancia para el descanso nocturno de las moscas. Lo mismo para las paredes de orientación norte, ya que absorben más calor durante el día.¹
- Para cumplir con las buenas prácticas agrícolas en el almacenamiento y aplicación de pesticidas, refiérase a Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial "Almacenamiento, Transporte y Aplicación de Plaguicidas, Insecticidas, Pesticidas y Fungicidas, CONAMA 1998.

Respecto al control de roedores:

- Mantener todas las instalaciones ordenadas, limpias y cerradas, especialmente las bodegas de almacenamiento de alimentos, de tal forma que se impida el ingreso de roedores.
- No se deben acumular objetos en forma desordenada en ninguna parte del predio.
- Ordenar y reorganizar en forma periódica cajas, insumos e implementos que estén arrumados.
- Limpiar los alrededores del predio permanentemente, de manera que no existan malezas que sirvan de escondite de roedores.
- Todo el sistema de evacuación de purines de galpones debe tener rejillas verticales metálicas del tipo matricial para impedir el acceso de los roedores por el fluido. La apertura de luz de las rejillas debe ser igual o menor a 9 cm² (3·3cm).
- Se pueden utilizar rodenticidas anticoagulantes para la eliminación de roedores, ya que son muy efectivos y recomendados por su seguridad.²

¹ Ver capítulo 3.2 Control dinámico de Vectores.

- Se pueden utilizar trampas engomadas, sin embargo se reduce mucho su eficiencia en áreas sucias o mojadas.
- Respecto al empleo de cebos, si la zona a controlar es la bodega con alimentos, los cebos líquidos son los más eficientes, debido al ambiente seco que existe en el lugar. En lugares donde existan fuentes de agua, los cebos en base a pellets o bloques, resultan eficientes.²

4.1.3 Disminución de la generación de Olores.

Respecto a las prácticas al interior de los galpones:

- Retirar los purines de forma periódica para evitar su acumulación y generación de olores. Se recomienda un mínimo de dos lavados por día si se utiliza agua, o dos arrastres por día si se efectúa en seco.
- Implementar ventiladores verticales para facilitar la extracción continua de olores.
- Revisar mensualmente el estado de la red de canales abiertos en el interior de los galpones para evitar la acumulación o estancamiento de purines.

4.2 Manejo de purines.

Para la minimización de impactos ambientales a través del manejo de purines, se deben considerar criterios técnicos de acuerdo al diseño, implementación y operación de cada unidad de tratamiento y/o aplicación. Se presenta así, las medidas de buenas prácticas ambientales para los sistemas de tratamiento primario y secundario.

4.2.1 Aspectos generales

- No eliminar los efluentes líquidos generados en el plantel a cursos de agua superficiales y/o subterráneos, a menos que sus características físico químicas cumplan con lo establecido en la normativa vigente³.
- El sistema de tratamiento/manejo de purines y sus derivados (guano y lodos), debe ser diseñado e implementado de acuerdo a las características propias del plantel y predio, por profesionales calificados.

² Ver capítulo 3.2 Control dinámico de Vectores.

³ Normativa Vigente:

Decreto Supremo N°90 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República: Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.

Decreto Supremo N°46 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República: Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas.

- Se deberá generar un plan de manejo de purines, que incluya:
 - Caracterización del purín o derivado.
 - Características del suelo/terreno respetando los factores señalados más adelante (proximidad a los cursos de agua, distancia al nivel freático, textura del suelo y pendiente del terreno) y variables climáticas.
 - Especificaciones técnicas del sistema integrado de tratamiento. (Ej. Características del cultivo sobre el cual se efectúa la aplicación (si se emplean) y tasas de aplicación de nitrógeno y sólidos orgánicos al suelo.
- Cualquiera de las alternativas de manejo de purines, debe analizar su ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (S.E.I.A.).
- En caso de existir traslado de los residuos dentro y fuera del predio, se deberá incorporar un sistema de transporte hermético que evite derrames o escurrimientos, como por ejemplo camiones aljibes o cisternas. Si el residuo se encuentra estabilizado, se podrá trasladar en dispositivos abiertos cubiertos con lonas o mallas.

Para obtener más información respecto al manejo de purines, refiérase a capítulo 1 Manejo de Purines Porcinos y Tecnologías Aplicables.

4.2.2 Tratamientos primarios

Respecto al almacenamiento de purines en pozos purineros:

- Los sistemas de almacenamiento deben ubicarse en terrenos donde la pendiente sea menor a 10% para impedir el escurrimiento superficial de purines hacia el exterior, especialmente cuando existan cuerpos naturales de agua o sistemas de captación de agua de consumo humano o animal.
- El pozo debe estar ubicado a una distancia mínima de 20 metros de quebradas, líneas de drenaje y cursos de agua. Los pozos instalados a una distancia menor deben contar con medidas preventivas para evitar desbordes.
- Se debe considerar una distancia mínima de 1,5 metros entre el fondo de sistemas de almacenamiento y el nivel freático.
- El pozo debe estar aislado del suelo por una superficie impermeable artificial, de modo que no existan infiltraciones ni lixiviación a recursos hídricos subterráneos y/o superficiales.
- Los sistemas de almacenamiento deben considerar un borde libre de al menos 20 cm.
- Evitar el ingreso de agua lluvia de escurrimiento a los sistemas de almacenamiento a través de canales o zanjias de desviación de estos flujos u otro sistema.

- Controlar periódicamente los pozos abiertos al ambiente, manteniendo un tiempo de residencia de los purines no mayor a 2 días.
- Implementar un sistema de agitación que permita homogeneizar periódicamente el contenido del pozo para disminuir la generación de olores.
- Se pueden implementar barreras vegetales en los puntos de impacto de los vientos dominantes hacia sectores poblados o viviendas aisladas, mediante la utilización de árboles. Éstas deben ser diseñadas con criterio técnico considerando al menos: dirección e intensidad del viento y características del sitio y especies vegetales, por ejemplo Eucaliptos y Pinos.

Respecto a la separación de sólidos:

- Se recomienda la agitación en pozos purineros porque permite aumentar la eficiencia del posterior proceso de separación.
- La separación de sólidos debe realizarse con las siguientes condiciones climáticas: cuando la velocidad del viento esté en su máximo y la humedad relativa esté en su mínimo y así producir una mayor dilución de los olores generados.

Respecto al almacenamiento temporal del guano:

- Para el almacenamiento de guano, éste debe encontrarse previamente prensado y con un porcentaje de humedad inferior a 70%.
- El guano de cerdo no debe permanecer más de 48 horas en almacenamiento, posteriormente, puede ser incorporado al suelo usando criterios agronómicos o a la alimentación de rumiantes. Después de este período se debe presentar un sistema de estabilización.
- El lugar de almacenamiento debe estar a una distancia no inferior a 20m de cualquier cuerpo de agua como: canales de riego, pozos, norias, vertientes, etc.
- La topografía del terreno debe presentar una pendiente resultante inferior a 5%.
- El límite superior máximo de la napa freática no debe encontrarse a menos de 1,5m de profundidad.
- El guano debe almacenarse en canchas de acopio con fondo impermeabilizado con geomembrana o concreto. Además, debe contar con protección física para la humedad y precipitaciones.
- Evitar la dispersión del material acopiado, implementando barreras de contención.
- Se debe implementar un sistema de desviación del escurrimiento de aguas lluvias a través de canales perimetrales, por ejemplo.

4.2.3 Tratamientos secundarios

Respecto a lagunas anaeróbicas:

- La laguna debe situarse a una distancia mínima de 20 metros de quebradas, líneas de drenaje y cursos de agua. Las lagunas instaladas a una distancia menor deben contar con medidas preventivas para evitar desbordes (sistemas de contención, pretilles, etc.).
- Para la instalación de lagunas anaeróbicas, evitar terrenos con nivel freático a una profundidad menor a 4 metros.
- La laguna debe emplazarse a un nivel topográfico inferior respecto a pozos profundos de abastecimiento de agua potable o de consumo animal que estén situados a menos de 200m de la laguna.
- El terreno donde se ubique la laguna debe presentar una pendiente menor al 5%, para impedir el potencial escurrimiento superficial.
- El diseño de la laguna deberá considerar un borde libre de al menos 30cm.
- Las lagunas se deben ubicar a más de 500m de áreas residenciales y preferiblemente en una posición contraria a la dirección predominante del viento.
- Cuando la distancia a centros urbanos sea menor a 500m, utilizar productos bacterianos o enzimáticos que minimizan el impacto por olor, o bien utilizar recubrimientos flexibles o filtros biológicos.
- El diseño de lagunas anaeróbicas debe ser realizado de acuerdo a los criterios técnicos ambientales especificados en el capítulo 3.4.2.2 Tratamiento con Lagunas.
- Mantener siempre el flujo de entrada al nivel predeterminado por el diseño.
- Se recomienda que una laguna no exceda una superficie de 0,8 hectáreas. Para situaciones en que las superficies de diseño resultan mayores a este rango, se pueden implementar lagunas en paralelo.
- La laguna debe estar aislada del suelo por una superficie impermeable natural o artificial.
- Se podrán implementar barreras vegetales alrededor de la laguna, mediante la utilización de árboles aromáticos. Las barreras vegetales deben ser diseñadas con criterio técnico considerando al menos: dirección e intensidad del viento, características del sitio y especies vegetales, por ejemplo Eucalipto y Pino.
- Se deberá chequear con una frecuencia de al menos 7 días, la temperatura y el pH de la laguna. El pH debe ser cercano a 7.0° y la temperatura del líquido debe ser superior a los 15°C para que la fermentación ocurra de la mejor forma en estos sistemas.
- Se deben implementar registros de campo respecto al tratamiento secundario del purín por laguna, donde se indiquen los volúmenes de entrada y salida, el tiempo de almacenamiento, el sitio en donde se hará la aplicación, etc.

Respecto a la aplicación directa al suelo:

- El sistema de aplicación directa al suelo, como unidad de tratamiento de purines, debe ser realizado de acuerdo a los criterios técnicos ambientales especificados en capítulo 3.4.2.3. Sistema de Aplicación Directa al Suelo. Las tecnologías existentes para la aplicación pueden ser, entre otras: Tasa Lenta, Infiltración Rápida o Flujo Superficial.
- El diseño del sistema de aplicación debe considerar el nitrógeno, la carga orgánica (DBO) y la carga hidráulica (agua aplicada) como factores limitantes de cada tecnología.
- La aplicación al suelo no se puede hacer sin un previo cálculo de cargas (balance de nitrógeno, DBO y agua).
- El cálculo de cargas debe ser de tipo mensual.
- Si los balances mensuales indican que la oferta del elemento limitante (N, DBO o agua) es mayor a la demanda suelo/cultivo, se debe considerar un sistema de almacenamiento/tratamiento o distribución a terceros.
- Frente a la tecnología de aplicación directa al suelo, el productor debe elaborar un plan de aplicación de purines (PAP) conforme a pauta elaborada por el SAG, asegurando el cumplimiento de los estándares ambientales y de calidad presentes en la normativa vigente.
- Debe existir una distancia mínima de 3 metros entre el área de aplicación de purines y cuerpos de agua superficiales (ríos, esteros, canales, humedales o lagos) o infraestructuras tales como pozos y norias.
- Las áreas propensas a escorrentía superficial, inundación o anegamiento, no son adecuadas para la ubicación de sistemas de aplicación directa al suelo.
- La aplicación al suelo debe ser físicamente discontinua para otorgar tiempos de aplicación y tiempos de secados en un mismo terreno, a objeto de maximizar las pérdidas de nitrógeno.
- No aplicar en condiciones de suelo desnudo excepto que exista un diseño apropiado (Infiltración Rápida)
- Se recomienda aplicar un pretratamiento por filtración gruesa de purines antes de aplicar al suelo.
- Se deben implementar registros de campo respecto al almacenamiento, estabilización y aplicación del purín, donde se indiquen los volúmenes, el tipo y tiempo de almacenamiento, el sitio en donde se hará la estabilización y la aplicación, etc.

Respecto a la aplicación directa al suelo por Sistemas de Tasa Lenta:

- Los sistemas de Tasa Lenta son aplicables en terrenos donde se presenta un suelo con permeabilidad media (moderadamente baja a moderadamente alta).

4. BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

- Debe existir un sistema de almacenamiento y/o tratamiento de purines, para los períodos en que no se pueda aplicar al suelo (lluvias intensas y bajo desarrollo de cultivos).
- El sistema debe ser diseñado para el tipo de cultivo utilizado.
- La topografía del terreno debe presentar una pendiente inferior a 10%.
- El nivel freático no puede encontrarse a menos de 0,6m de la superficie.
- La carga orgánica aplicada por unidad de superficie, para los sistemas de Tasa Lenta, será entre 110 y 330kg de DBO·(ha·día)⁻¹, dependiendo de las características terreno/suelo/cultivo, del plantel.

Respecto a la aplicación directa al suelo por Sistemas de Infiltración Rápida:

- Los sistemas de Infiltración Rápida deben ser implementados en terrenos con alta permeabilidad (arenas o gravas).
- Se recomienda emplear sistemas de Infiltración Rápida en efluentes con menos de 500mg/l de DBO, para evitar la generación de olores.
- El nivel freático debe mantenerse a más de 3m de profundidad.
- La carga orgánica aplicada por unidad de superficie, para sistemas de Infiltración Rápida, será entre 40 y 120kg. de DBO·(ha·día)⁻¹.

Respecto a la aplicación directa al suelo por Sistemas de Flujo Superficial:

- Los sistemas de Flujo Superficial son aplicables en terrenos con permeabilidad baja (arcillas, limos y suelos con barreras impermeables).
- El nivel freático debe encontrarse a una profundidad no inferior a 0,3m desde la superficie del suelo.
- La carga orgánica aplicada por unidad de superficie, para los sistemas de Flujo Superficial, será entre 48 y 100kg de DBO·(ha·día)⁻¹, dependiendo de las características terreno/suelo/cultivo, del plantel.

Respecto a la reutilización de sólidos orgánicos:

- Las alternativas permitidas para el empleo de guano y/o lodos a considerar, salvo otra autorizada por la autoridad correspondiente, son las siguientes:
 - Alimentación directa para otras especies.
 - Ensilaje con guano de cerdo.
 - Aplicación al suelo en terrenos agrícolas o forestales como fertilizante, y recuperador de suelos.
 - Energía.
 - Sustrato para callampas.

- Frente al empleo del guano y/o lodos para algunos de los fines señalados, el productor debe elaborar PAP conforme a pauta elaborada por el SAG.
- Cada PAP para sólidos orgánicos o purines debe considerar al menos los siguientes aspectos:
 - Caracterización del material.
 - Identificación del generador y el lugar de uso del guano, lodo o fracción líquida de los purines.
 - Características del suelo (edafológicas).
 - Proximidad de los cursos de agua.
 - Tasa orgánica de aplicación.
 - Tasa de nitrógeno de aplicación.
 - Características del cultivo sobre el cual se efectúa la aplicación.
 - Balance de nutrientes y sólidos orgánicos.
- No se debe aplicar en terrenos saturados. La aplicación debe ser en suelos secos o hasta con un contenido de humedad equivalente a capacidad de campo.
- La topografía del terreno debe presentar una pendiente inferior a 10%.
- No se debe aplicar en suelos cubiertos con nieve.
- La aplicación se debe llevar a cabo en horas del día en que se hallen las mejores condiciones de humedad ambiental (baja) y velocidad del viento (alta), las que van a estar determinadas según la localidad. No se debe aplicar en días y horas en que el viento sopla en dirección de las áreas sensibles, ni tampoco cuando el aire este sin movimiento.

Respecto a la estabilización de sólidos orgánicos:

- Para situaciones en que no se pueda aplicar directamente al suelo debido a la imposibilidad de cumplir con criterios ambientales como tasas de carga orgánica y de nitrógeno (bajas superficies de aplicación), distancia al nivel freático, distancia a cursos superficiales naturales de agua menores a 20m, entre otras, se deberá implementar sistemas de estabilización para el guano y/o lodo, ya sea por el mismo plantel o por terceros.
- Cuando el tiempo de almacenamiento de lodo o guano exceda las 48 horas, se deberá implementar sistemas de estabilización, ya sea por el mismo plantel o por terceros.
- Para reutilizar sólidos orgánicos en la agricultura, se deberá implementar sistemas de estabilización para el guano y lodo, ya sea en el mismo plantel o por terceros.

4. BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

- Las alternativas tecnológicas para estabilizar el guano y lodo, salvo otra autorizada por la autoridad correspondiente, son las siguientes:
 - Compostaje.
 - Reactor anaeróbico.
 - Reactor aeróbico.
 - Lombricultura.
 - Solarización.
 - Estabilización con cal.
- Cualquier otra tecnología debe ser presentada a la autoridad competente para su evaluación técnica.
- Si la estabilización se realiza a través de compostaje con pilas no aireadas, la temperatura de los lodos o guano debe mantenerse a 55°C o más, por un período a lo menos de 15 días. Durante dicho período, las pilas deben ser volteadas un mínimo de cinco veces.
- Si se usa el método de compostaje no confinado o pilas aireadas estáticas, la temperatura mínima de los lodos o guano será de 40°C por 5 días.
- Si la estabilización se realiza a través de procesos de solarización, se debe considerar un período mínimo de tres meses con una temperatura ambiental mínima superior a 5°C y una cubierta que desvíe las aguas lluvias para evitar el aumento de la humedad en el lodo o guano.
- Si la estabilización se realiza a través de la adición de cal hidratada (Ca(OH)_2) o cal viva (CaO) como material alcalino, se deberá mantener el pH de los lodos sobre 12 (básico) durante un período no inferior a dos horas. La temperatura deberá aumentar a 55°C producto de la reacción exotérmica entre la cal y el agua.
- Se deben implementar registros de campo respecto a la estabilización del guano o lodo, donde se indiquen los volúmenes de sólidos, el tipo y tiempo de almacenamiento, el sitio en donde se hará la estabilización y la aplicación, etc.

4.3 BIBLIOGRAFÍA.

COMISIÓN NACIONAL DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS, MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2003. Especificaciones Técnicas de buenas Prácticas Agrícolas Producción de Cerdos.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA) REGIÓN METROPOLITANA, 1998. Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial “Almacenamiento, Transporte y Aplicación de Plaguicidas, Insecticidas, Pesticidas y Fungicidas.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA) & SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG), 2004. Manual de Buenas Prácticas Ambientales en Manejo de Purines en Planteles Porcinos.

5. GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. **Acuerdo de Producción Limpia:** Instrumento de gestión que permite mejorar las condiciones productivas, ambientales, de higiene y seguridad laboral, de un sector empresarial y de las empresas que lo suscriben, buscando generar sinergia y economías de escala en el logro de los objetivos acordados con la autoridad competente en las materias del convenio.
2. **Acuífero:** Formación geológica permeable susceptible de almacenar agua en su interior y ceder parte de ella.
3. **Aditivos:** Sustancias que se agregan a otras para aumentar o mejorar sus cualidades.
4. **Aeróbico:** Proceso en que microorganismos requieren oxígeno para llevar a cabo sus reacciones metabólicas.
5. **Agricultura orgánica:** Conjunto de prácticas agronómicas cuyo objetivo es hacer producción agropecuaria sin utilizar agroquímicos (fertilizantes, insecticidas, fungicidas, herbicidas sintéticos y hormonas). Se emplean fertilizantes orgánicos como guano, guano estabilizado y compost.
6. **Agroindustrias:** Industrias que funcionan o se desenvuelven con productos agropecuarios.
7. **Aguas subterráneas:** Agua contenida en el subsuelo, procedente de la infiltración (precipitaciones y escorrentía). El agua infiltrada circula por el subsuelo hasta llegar a una zona de acumulación limitada por capas impermeables, formando un manto cautivo o capa freática.
8. **Aguas superficiales:** Son las aguas continentales que se encuentran moviéndose o almacenadas sobre la superficie del suelo.
9. **Almacenamiento:** Acción de retener temporalmente residuos en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección, o se dispone de ellos.
10. **Anaeróbico:** Proceso en que microorganismos se desarrollan en ausencia de oxígeno, generando CO₂, CH₄ y compuestos orgánicos de bajo peso molecular como subproductos.
11. **Arcilla:** Mineral natural procedente de la descomposición (durante millones de años) de rocas feldespáticas. Físicamente se considera un coloide, de partícula extremadamente pequeña y superficie lisa. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina. Se caracteriza por adquirir plasticidad al mezclarla con agua y también por sus capacidades de retención del agua en el suelo, debido al bajo nivel de drenaje que presenta.

12. **Autocontrol:** Es la práctica según la cual los productores, controlan el impacto que ellos producen en el ambiente.
13. **Bacterias aeróbicas:** Microorganismos que biodegradan la materia orgánica bajo condiciones específicas de concentración de oxígeno, temperatura y pH.
14. **Bacterias anaeróbicas:** Microorganismo que degrada la materia orgánica en ausencia de oxígeno, bajo determinadas condiciones de temperatura y pH.
15. **Bacterias coliformes:** Familia de microorganismos de diversos géneros de bacilos intestinales gram negativos que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. Ejemplos son la *Escherichia*, *Enterobacter* o *Klebsiella*.
16. **Bacterias saprófitas:** Microorganismos que se alimentan de detritos orgánicos, en los cuales producen una digestión externa que les permite absorber los nutrientes requeridos.
17. **Beneficio animal:** Etapa en que el animal cumple con los requisitos para el faenamiento.
18. **Bentonita:** Es una arcilla que al ser humedecida aumenta su volumen, se usa para impermeabilizar.
19. **Biofiltro:** Sistema que permite el control de olores haciendo pasar la masa de aire contaminada por una capa de materia orgánica o humus. A través de esta acción se adsorben los gases en las partículas de humus permitiendo la actividad biológica que consume las moléculas o compuestos adsorbidos.
20. **Bioseguridad:** Conjunto de prácticas de manejo orientadas a prevenir el contacto de los cerdos con microorganismos patógenos.
21. **Cama animal:** Piso del galpón, compuesto generalmente de paja y viruta.
22. **Carne en vara:** Animal ya faenado que se encuentra abierto en dos canales, listo para el desposte.
23. **Carrier:** Transportador
24. **Cebos:** Compuestos atrayentes mezclados con diversos elementos (tóxicos, fitohormonas, otros) utilizados para capturar ciertas plagas.
25. **Compactación:** Reducción del volumen de los residuos sólidos, con el consecuente aumento de su densidad, a través de procesos físicos tales como el aplastamiento o aplastamiento, que puede ser resultado del tránsito deliberado de maquinaria pesada sobre el suelo, del apisonamiento con equipamiento manual o de la compresión que resulta de la acción del propio peso de los residuos.

26. **Compost:** Producto inocuo y libre de efectos fitotóxicos que resulta del proceso de compostaje. Está constituido principalmente por materia orgánica estabilizada, donde no se reconoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras. Puede ser almacenado, sin alteraciones ni tratamientos posteriores, bajo condiciones ambientales adecuadas.
27. **Compostaje:** Es el tratamiento aeróbico que convierte los residuos orgánicos en humus, por medio del concurso de microorganismos, esencialmente bacterias y hongos. El proceso permite obtener un abono orgánico estable.
28. **Conductividad eléctrica (CE):** Medida de la concentración de sales en un medio líquido o sólido. A mayor concentración salina, mayor es su “conductividad” de electricidad, medida en un conductímetro.
29. **Conductividad hidráulica (k):** Tasa de descarga del volumen de agua por unidad de área, en condiciones de temperatura estándar (20° C).
30. **Contaminación de origen agrario:** Introducción de contaminantes en el medio natural, de forma directa o indirecta, que tenga consecuencias que puedan poner en peligro la salud humana, perjudicar los recursos vivos y el ecosistema acuático, causar daños a los lugares de recreo u ocasionar molestias para otras utilidades legítimas de las aguas.
31. **Contaminante:** Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.
32. **Control biológico de plagas:** Aplicación de medidas biológicas para la disminución o erradicación de plagas.
33. **Control de olores:** Inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para minimizar o eliminar los impactos por olores.
34. **Control integral de plagas:** Combinación de técnicas disponibles para el control de plagas, considerando el contexto del agro-ecosistema asociado y su dinámica de poblaciones.
35. **Control mecánico de plagas:** Aplicación de medidas físicas para la disminución o erradicación de plagas.
36. **Control químico de plagas:** Aplicación de sustancias o mezcla de sustancias químicas para la disminución o erradicación de plagas.
37. **Crianza convencional estabulada confinada:** Sistema productivo en que los animales son mantenidos en corrales sobre piso falso, los cuales son lavados diariamente, y los residuos generados corresponden a una suspensión acuosa denominada purín.

38. **Crianza estabulada abierta:** Sistema en que los animales son mantenidos en corrales sobre una cama vegetal compuesta mayoritariamente por residuos vegetales fibrosos (Ejemplo: paja, viruta u otro material)
39. **Cuenca Hidrográfica:** Corresponde a una unidad geográfica, definida por que toda el agua que ingresa a dicha unidad, drena en forma natural a un mismo punto.
40. **Cuerpo de agua:** Es un volumen de agua, por ejemplo río, lago o acuífero
41. **DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno. Estima el grado de contaminación orgánica de un medio. Es la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos para la degradación de materia orgánica a un tiempo y temperatura específica. Se expresa en unidades de mg/litro de oxígeno disuelto a 5 días y 20 °C de temperatura. Mide indirectamente la biodegradación de un sustrato o la cantidad de carga orgánica.
42. **DQO:** Medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos, por la acción de agentes fuertemente oxidantes en medio ácido. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/l). La materia orgánica se oxida hasta dióxido de carbono y agua, mientras el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco.
43. **Degradación:** Proceso molecular microbiológico de un compuesto orgánico, que tiende a la mineralización completa del material.
44. **Degradación aeróbica:** Proceso en que los microorganismos degradan la fracción orgánica de un material, requieren oxígeno.
45. **Degradación anaeróbica:** Proceso en que los microorganismos degradan la fracción orgánica de un material, en ausencia de oxígeno.
46. **Densidad animal:** Número de animales por unidad de superficie. Ejemplo: Número de cerdos por hectárea.
47. **Desarrollo Sostenible:** Aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la satisfacción de las necesidades de generaciones futuras.
48. **Desinfección o Sanitización:** es el control del desarrollo y reproducción de microorganismos patógenos del medio ambiente, mediante métodos físicos, tales como el calor o las radiaciones y químicos.
49. **Desinsectación:** es la acción de eliminar insectos por medios químicos, mecánicos o con la aplicación de medidas de saneamiento básico.
50. **Desratización:** es la acción destinada a eliminar roedores mediante métodos de saneamiento básico, mecánicos o químicos. Esta actividad incluye el retiro de los cadáveres como de los elementos utilizados en su eliminación, tales como cebos, cajas cebadoras, trampas, u otros.

51. **Disposición final:** Acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar problemas sanitarios o daños al ambiente.
52. **Dosis:** Cantidad de producto fitosanitario que se aplica en una determinada superficie.
53. **Efluente:** Residuos líquidos que se producen como resultado de actividades industriales, agrícolas o urbanas. Estos portan sustancias o materiales indeseables de muy distinta naturaleza, según su origen (compuestos orgánicos, metales, microorganismos); en el marco del Acuerdo de producción Limpia (APL) y en el presente documento, se entiende por el líquido después de pasar por una prensa que separa el guano.
54. **Emisión atmosférica:** La descarga directa o indirecta a la atmósfera de toda sustancia, en cualquiera de sus estados físicos, o de energía.
55. **Empresa Aplicadora de Pesticidas de Uso Sanitario o Doméstico:** el establecimiento que ofrece y ejecuta desinfección o sanitización, desinsectación o desratización en viviendas colectivas o unifamiliares, edificios, parques y jardines, industrias, establecimientos comerciales y en medios de transporte terrestre, marítimo o aéreo, sean éstas públicas o privadas.
56. **Encuesta:** Método de estudio que se realiza en la comunidad para investigar fenómenos colectivos.
57. **Espesor saturado del suelo:** Corresponde a aquella parte del perfil del suelo, en el cual los poros se encuentran llenos de agua.
58. **Estabilización:** Proceso químico o biológico en el cual las sustancias degradables, son oxidadas a materia inorgánica y los organismos patógenos se eliminan.
59. **Evaporación:** Emisión de vapor de agua desde la superficie libre del agua en contacto con el aire, a temperatura inferior a su punto de ebullición.
60. **Excretas:** Conjunto de orina y heces que produce el animal; material sólido y líquido producido por el metabolismo de los animales en producción.
61. **Fermentación bacteriana:** Degradación biológica anaeróbica.
62. **Fertilizante:** Sustancia rica en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos, que posee propiedades para abonar la tierra, haciéndola fértil y productiva.
63. **Fertilizante orgánico:** Fertilizante de origen animal o vegetal.
64. **Fiebre Aftosa:** Enfermedad viral que afecta únicamente a algunas especies animales, y que no es transmisible al hombre; su responsable es el llamado “virus de la fiebre aftosa”, de la familia *Picornaviridae*, género *Aphthovirus*.
65. **Filtración:** Remoción de las partículas suspendidas en un cuerpo de agua, mediante el paso del agua a través de una capa de material poroso o a través de una malla apropiada.

66. **Fumigación:** es el tratamiento en un inmueble, bodega, galpones, naves u otros, mediante el desprendimiento de gas, vapores o aerosoles provenientes de una fuente emisora destinado a eliminar plagas.
67. **Canado:** Conjunto de animales criados con fines de aprovechamiento o con fines lucrativos.
68. **Generadores eólicos:** Máquinas que utilizan la energía cinética del viento para mover las palas de un rotor y producir energía eléctrica
69. **Georeferenciación:** Consiste en asignar una coordenada a un punto, por ejemplo mediante un GPS
70. **Gestación:** Período de nutrición y desarrollo del embrión, que queda retenido en el aparato sexual de las hembras. El período de gestación varía de unas especies mamíferas a otras, siendo de 110 días promedio para cerdas.
71. **Gestión Ambiental:** Proceso continuo de acciones en el plano técnico, administrativo y político, destinados a optimizar y equilibrar la protección ambiental, el uso público y el desarrollo económico, de tal manera que el capital ambiental permita alcanzar una calidad de vida lo más elevado posible.
72. **Guano:** Residuo sólido proveniente de la separación por prensa, de la fracción sólida y líquida de los purines.
73. **Heterótrofos:** En contraste con los organismos autótrofos, son aquellos que obtienen energía a partir de otros organismos. Entre los organismo heterótrofos se encuentra multitud de bacterias y los animales.
74. **Infiltración:** Introducción del flujo de agua desde la superficie del suelo, a su interior.
75. **Ingrediente activo:** Parte biológicamente activa del producto fitosanitario, presente en una formulación plaguicida.
76. **Impacto ambiental:** Cualquier efecto causado por una actividad propuesta sobre el medio ambiente y, especialmente, sobre la salud y la seguridad humana. La fauna, el suelo, el aire, el agua, el clima, el paisaje, y los monumentos históricos u otras estructuras físicas, o la interacción entre dichos factores; comprende también los efectos sobre el patrimonio cultural o las condiciones socioeconómicas que resulten de las modificaciones de dichos factores.
77. **Insecticidas:** Producto fitosanitario que controla insectos.
78. **Lactancia:** Período de la vida de los mamíferos que va desde el nacimiento hasta el destete. La duración de este período es muy variable entre especies, siendo de aproximadamente 20 días para cerdos en crianza.
79. **Lixiviado:** Líquido proveniente de los residuos sólidos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación, y que contiene componentes disueltos o en suspensión.

80. **Lodos:** Acumulación de sólidos orgánicos sedimentables separados en los distintos procesos de tratamiento de aguas. Producto semi-sólido, obtenido mediante tamices, precipitación o flotación, aplicadas tanto en un tratamiento primario o físico-químico como en un tratamiento secundario o biológico.
81. **Lodo estabilizado:** Aquellos sometidos a procesos de tratamiento para evitar la putrefacción y la atracción de vectores.
82. **Madrigueras subterráneas:** Nidos bajo el nivel del suelo.
83. **Maleza:** Plantas adventicias o invasoras que nacen y se desarrollan en los cultivos, ya sea de manera espontánea o propagadas por el hombre involuntariamente por ir mezcladas sus semillas con la de las plantas sembradas o con su riego.
84. **Manejo:** Considera todas aquellas prácticas que promueven la productividad, bienestar general y salud de los cerdos. Inclúyase el manejo de subproductos y residuos.
85. **Materia orgánica:** Sustancia perteneciente o proveniente de organismos vivos y cuyo componente constante es el carbono, en combinación con el hidrógeno, el nitrógeno y otros elementos.
86. **Materia grasa:** Sustancia líquida o sólida, de origen animal o vegetal, constituido principalmente por una mezcla de glicéridos.
87. **Medidas de mitigación:** Conjunto de acciones ejecutadas para atenuar los impactos y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes, antes de la perturbación que se causará con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas.
88. **Medidas de prevención:** Conjunto de acciones ejecutadas para evitar efectos pre-visibles de deterioro del ambiente.
89. **Medio ambiente:** Es el compendio de valores naturales, sociales y culturales, existentes en un lugar y un momento determinado que influyen en la vida material y psicológica del hombre y en el futuro de generaciones venideras.
90. **Microorganismos:** Seres vivos que no son visibles excepto con un microscopio. Estos incluyen algas, bacterias, hongos y virus. Algunos de estos microorganismos pueden causar enfermedades a las plantas, animales o personas, mientras que otros pueden ser buenos para el suelo o el ambiente, puesto que ayudan a descomponer o transformar la materia orgánica u otros productos de la naturaleza que son aprovechados por otros organismos de la cadena trófica.
91. **Modo de acción:** Forma en que un producto químico o pesticida es aplicado a su objetivo.
92. **Monitoreo:** Secuencia planificada de observaciones o mediciones relacionadas con el cumplimiento de una buena práctica en particular.
93. **Monogástricos:** Animales que poseen solo una cámara estomacal.

94. **Muestreo:** Es el proceso de tomar una porción representativa de agua, que permita medir los parámetros que representan la calidad de un cuerpo de agua.
95. **Nemátodos:** Clase de animales bilaterales, pertenecientes al tipo Nematelminthos, cubiertos de una espesa cutícula lisa o estirada, con el cuerpo filiforme, desprovistos de apéndices, generalmente unisexuales, y ovíparos, con desarrollo larvario complejo. Se encuentran entre los animales más ampliamente difundidos, en todo tipo de ambientes y pueden causar daños a la salud humana, animal y a los cultivos.
96. **Nivel freático:** Cota o nivel de saturación del agua de un acuífero libre medido desde la superficie del suelo.
97. **Nutrientes:** Sustancias esenciales para la nutrición animal, compuestas por proteínas, vitaminas, hidratos de carbono, lípidos, ácidos grasos y elementos minerales, entre otros.
98. **Olor ofensivo:** Gases generados por sustancias en actividades pecuarias y que por sus propiedades organolépticas, composición y tiempo de exposición, pueden causar desagrado, aunque no causen daño a la salud humana.
99. **Organismos facultativos:** Organismos que pueden sobrevivir en ambientes aeróbicos y anaeróbicos indistintamente.
100. **Organolépticas:** Propiedades de los cuerpos que se pueden percibir por los sentidos.
101. **Oviposición:** Acción de depositar huevos.
102. **Pabellón:** Estructuras donde habitan los cerdos.
103. **Parásitos:** Ser que se alimenta a expensas de otro ser vivo, tanto animales como vegetales, en donde el ser invadido se llama huésped.
104. **Parición:** Punto donde el animal llega a término, concretándose la gestación y formando el nacimiento.
105. **Pastoreo:** Forma de explotación del ganado al aire libre, mediante la cual los animales obtienen el alimento directamente de la vegetación que producen los predios sobre el cual están asentados.
106. **Percolación:** Filtración de un líquido a capas profundas del terreno.
107. **Pesticida o plaguicida:** Sustancia destinada a controlar, prevenir, destruir, repeler o mitigar efectos indeseables provocados por hongos, insectos bacterias, ácaros, nemátodos, malezas, etc.
108. **pH:** Medida de la concentración de iones H⁺ en los medios sólidos o líquidos.
109. **Plaga:** Insectos u otros animales fitófagos que causan cierto nivel de daño al plantel animal y cultivos, entre otros. Ejemplo; las plagas de langostas, roedores y moscas.

- 110. **Plantel:** Unidad de producción porcina operada en forma independiente que consta de uno o más pabellones para la cría y/o engorda de cerdos.
- 111. **Prevención:** El conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente
- 112. **Producción limpia:** Tipo de producción que busca minimizar emisiones y/o descargas hacia el medio ambiente, reducir los riesgos para la salud humana y ambiente, y elevar simultáneamente la competitividad de las empresas.
- 113. **Punto de muestreo:** Posición precisa dentro de la masa de agua de donde se toman las muestras.
- 114. **Purines:** Mezcla producida por las excretas animales líquidas y sólidas, el agua de lavado de pisos y la cama animal propiamente tal (paja, viruta, u otro material) compuesta mayoritariamente por residuos vegetales fibrosos.
- 115. **Reciclaje:** Opción de valorización consistente en reutilizar un residuo en el proceso de fabricación del mismo producto o de un producto con un función análoga.
- 116. **Residuos de camas calientes:** Material que ha terminado su fase útil de cama vegetal o llega a su peso final de sacrificio, y que en conjunto con las excretas depositadas por el conjunto animal, es retirada como residuo sólido.
- 117. **Reutilización:** Recuperación de materiales de descarte para ser utilizados en su forma original.
- 118. **Recría:** Período de tiempo comprendido entre el destete y el estado de adulto, correspondiente a la madurez; durante aquella tiene lugar el desarrollo del organismo. Los cerdos entran a recría a la edad de 20 días y un peso aproximado de 5 Kg y salen el día 70 con un peso aproximado de 30 Kg. Posteriormente los cerdos pasan a los pabellones de engorda.
- 119. **Recursos Naturales:** Componentes del medio ambiente susceptibles de ser utilizados por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades o intereses corporales, espirituales, culturales, sociales y económicos.
- 120. **Registro:** Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas.
- 121. **Residuos líquidos:** Material líquido que se produce a consecuencia no deseada de cualquier actividad humana y del cual el productor o poseedor se ha desprendido o tiene la intención o obligación de hacerlo.
- 122. **Residuos sólidos:** Material sólido que se produce a consecuencia no deseada de cualquier actividad humana y del cual el productor o poseedor se ha desprendido o tiene la intención o obligación de hacerlo.
- 123. **Riego por aspersión:** Método de riego en que el agua es rociada en la superficie del suelo.

124. **Rodenticidas:** Producto fitosanitario que controla roedores.
125. **Roedores:** Animales omnívoros que se alimentan de cereales, remolachas, zanahorias y nabos, entre otros. Son transmisores de la peste y otras enfermedades y pueden padecer de rabia.
126. **Sanidad:** Que conserva o promueve la salud.
127. **Simbiosis:** Forma de relaciones inter-específicas entre dos individuos de distintas especies, e incluso de diferente reino. La asociación se caracteriza porque los dos seres que la forman sacan un beneficio mutuo sin perjuicio manifiesto para ninguno de ellos.
128. **Sistemas de Tratamiento Edificados:** Sistemas de Tratamiento artificiales o convencionales.
129. **Sólidos Totales:** Fracción total de sólidos en un medio líquido; Es la suma de los sólidos suspendidos y sólidos disueltos de una muestra.
130. **Subsidios:** Auxilio económico extraordinario.
131. **Tasa agronómica:** Tasa de aplicación de efluentes al suelo, considerando la provisión de las necesidades de nitrógeno de la vegetación y reduciendo la cantidad de nitrógeno que infiltra hacia aguas subterráneas.
132. **Tiempo de detención (o retención):** Período durante el cual el efluente es retenido en una unidad o en un sistema particular de tratamiento, y que es calculado en función de un flujo específico.
133. **Tratamiento:** Acción de transformar los residuos, por medio del cual se cambian sus características.
134. **Tratamiento primario de efluentes:** Etapa del tratamiento que consiste en la preparación del purín a través de la eliminación de los sólidos y de la homogenización, para ser degradado por algún sistema secundario.
135. **Tratamiento secundario de efluentes:** Sistema de degradación biológica que tiene como propósito reducir los contenidos de materia orgánica y de sólidos no removidos en el tratamiento primario.
136. **Vectores:** Organismos vivos capaces de transportar y transmitir enfermedades causadas por microorganismos patógenos, tanto de forma mecánica como biológica. Los principales vectores asociados a planteles porcinos son moscas y roedores.
137. **Vulnerabilidad:** Es la facilidad relativa con la cual un contaminante, aplicado en o cerca de la superficie del suelo, puede migrar al acuífero.
138. **Zona no saturada:** Corresponde al perfil del suelo sobre el nivel freático, en el cual existe aire en los poros y el agua sólo se encuentra retenida por capilaridad.
139. **Zona saturada:** Corresponde al perfil del suelo bajo el nivel freático, en el cual los poros están llenos de agua.

ANEXO 1.
NORMATIVA ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN PORCINA.

Tabla 1. Normativa asociada a la producción porcina

TIPO	CUERPO LEGAL	SECTOR	ALCANCE	AÑO DE PUBLICACIÓN
RESIDUOS SÓLIDOS	Resolución N° 5081 de 1993.	Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente	Establece el Sistema de Declaración y Seguimiento de los Desechos Sólidos Industriales (o líquidos cuando se encuentran en un recipiente o contenedor) generados en la Región Metropolitana.	1994
	Decreto Ley N° 3.557 de 1980.	Ministerio de Agricultura	Establece Disposiciones sobre Protección del Suelo, Agua y Aire.	1981
	Decreto Supremo 594, (que reemplaza al DS 745/93) Artículos del 16 al 20	Ministerio de Salud	Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Parrafo III de la Disposición de Residuos Industriales Líquidos y Sólidos (Acumulación, transporte y disposición final)	1999
	D.F.L. N° 725 de 1967. Arts. 71 letra b), 72, 73 y 75, 79,80,81. (permiso sectorial ambiental)	Ministerio de Salud	Código Sanitario	1968

Tabla 1. Normativa asociada a la producción porcina (continuación)

TIPO	CUERPO LEGAL	SECTOR	ALCANCE	AÑO DE PUBLICACIÓN
RESIDUOS SÓLIDOS	Decreto Supremo N° 609 de 1998	Ministerio de Obras Públicas	Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos al Alcantarillado.	1998
	Decreto N° 1775 de 1995	Ministerio de Salud.	Establece normas para la aplicación del artículo 75 del Código Sanitario	1975
	Decreto Ley N° 3.557 de 1980	Ministerio de Agricultura	Establece Disposiciones sobre Protección del Suelo, Agua y Aire.	1981
	Ley 19.821 deroga la Ley 3.133 y modifica la ley 18.902 en Materia de Residuos Industriales (Permiso sectorial ambiental)	Ministerio de Obras Públicas	Establece obligatoriedad de neutralización o depuración" de Residuos de Establecimientos Industriales (RILES)	2002
	Decreto con Fuerza de Ley N° 725 de 1967. Artículos. 71, 72, 73 y 75. (permiso sectorial ambiental)	Ministerio de Salud	Código Sanitario.	1967

Tabla 1. Normativa asociada a la producción porcina (continuación)

TIPO	CUERPO LEGAL	SECTOR	ALCANCE	AÑO DE PUBLICACIÓN
RESIDUOS SÓLIDOS	Decreto Supremo 594 de 1999 Arts 16, ,17, 18 19 y 20.	Ministerio de Salud	Aprueba Reglamento Sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Párrafo III de la disposición de Residuos Industriales Líquidos y Sólidos	1999
	Resolución N° 350 del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente. A la resolución SESMA 350/83, se agregó la resolución 10.111/91 , sobre el riego de hortalizas con aguas servidas o aguas que contengan más de 1000 coliformes fecales en 100 ml de agua.	Ministerio de Salud	Prohíbe el cultivo de las especies vegetales que señala, en predios agrícolas de la región Metropolitana que utilizan aguas servidas para su riego.	1983

Tabla 1. Normativa asociada a la producción porcina (continuación)

TIPO	CUERPO LEGAL	SECTOR	ALCANCE	AÑO DE PUBLICACIÓN
RESIDUOS SÓLIDOS	D.S. 90 Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. (Permiso sectorial ambiental)	MINSEGPRES	Protección ambiental para prevenir la contaminación y estableciendo la concentración máxima de contaminantes permitida para residuos líquidos descargados por las fuentes emisoras a las aguas marinas y continentales superficiales de la República, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. Con lo anterior, se logra mejorar sustancialmente la calidad ambiental de las aguas, de manera que éstas mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación.	2000

Tabla 1. Normativa asociada a la producción porcina (continuación)

TIPO	CUERPO LEGAL	SECTOR	ALCANCE	AÑO DE PUBLICACIÓN
GENERAL	Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente	Ministerio Secretaría General de la Presidencia	Bases Generales del Medio Ambiente	1994
	D.S. N° 95 de 2001 del MINSEGPRES, publicado en el Diario Oficial el Sábado 7 de Diciembre de 2002, y que modifica el D.S. N° 30 de 1997 del MINSEGPRES, sobre el “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”.	Ministerio Secretaría General de la Presidencia.	Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	2002
	D.S. N° 735 Reglamento de los Servicios de agua destinados al consumo humano	Servicio de Salud	Establece que el Servicio de Salud debe aprobar todo proyecto de construcción, reparación, modificación y ampliación de cada obra pública o particular destinada a la provisión o purificación de agua para consumo humano. Autoriza la explotación y funcionamiento de servicios de agua siempre que estén libres de coliformes máximas aceptables de sustancias o elementos químicos que pueda contener el agua.	1969
	N.Ch. 409 Requisitos de Agua potable (Es una norma técnica, por lo tanto es sólo referencial y no vinculante)	INN	Esta establece los requisitos físicos, químicos, radiativos y bacteriológicos que debe cumplir el agua potable. Aplicable al agua potable proveniente de cualquier sistema de abastecimiento.	1984

Tabla 1. Normativa asociada a la producción porcina (continuación)

TIPO	CUERPO LEGAL	SECTOR	ALCANCE	AÑO DE PUBLICACIÓN
GENERAL	D.S. 594 Normas sobre Condiciones Sanitarias en los Lugares de Trabajo. (Permiso sectorial ambiental) Ver con el Título VII del D.S. N° 594 de 1999, modificado por el D.S. 201 de 2001, ambos del MINSAL, que establece las “Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas de los Lugares de Trabajo”, en todas las etapas del proyecto. Sobre Normas especiales para actividades agrícolas, pecuarias y forestales a campo abierto	Servicio de Salud	Establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo, sin perjuicio de la reglamentación específica que se haya dictado o se dicte para aquellas faenas que requieren condiciones especiales, además, los límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos y agentes físicos, y aquellos límites de tolerancia biológica para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.	1999
	N.Ch 777 Norma sobre fuentes de abastecimientos y otras obras de captación. (Es una norma técnica, por lo tanto es sólo referencial y no vinculante)	INN	Establece la terminología general y una clasificación para las fuentes de abastecimiento de agua potable, atendiendo a su origen, para las obras de captación que se efectúan para su aprobación, también, los requisitos generales para las fuentes de abastecimiento, así como para las obras que se ejecuten para la captación de agua potable. Se aplicará a la elección del proyecto y ejecución de las obras de captación.	1971

Fuente: *Elaboración Propia.*

ANEXO 2.
LABORATORIOS ACREDITADOS EN CALIDAD DE AGUA
POR EL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN
INN.

Tabla 1. Laboratorios acreditados en calidad de agua por el INN.

Nº CERTIFICACIÓN	ORGANIZACIÓN/ÁREA DE ACREDITACIÓN	DIRECCIÓN	TELÉFONO
LE 044	Sociedad Ingeniería Lobos Ltda.	Javiera Carrera 839, Valparaíso	(32) 797866
LE 050	Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile	Las Palmeras 299, Quinta Normal, Santiago	(2) 6817101
LE 064	DICTUC S.A., Área Servicios Mecánicos / Ensayos para medidores de agua	Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago	(2) 6864250
LE 068	CESMEC Ltda., sede Puerto Montt	Egaña 198, Puerto Montt	(65) 255025
LE 076	CESMEC Ltda., sede Santiago	Av. Marathon 2595, Macul, Santiago	(2) 3502100
LE 087	CESMEC Ltda., sede Iquique	Ruta A-16, KM 10, Sitio 4, Alto Hospicio, Iquique	(57) 405000
LE 105	Sociedad Ingeniería Lobos Ltda., SILOB	Javiera Carrera 839, Cerro Placeres, Valparaíso	(32) 797866
LE 111	Análisis Ambientales ANAM S.A.	Av. Camilo Henríquez 540, Santiago	(2) 6943222
LE 114	AGUASDECIMA S.A.	San Carlos N° 147, Valdivia	(63) 213321
LE 117	SGS Chile Ltda., Sector SGS EcoCare, Laboratorio Ambiental	Ignacio Valdivieso 2409, San Joaquín, Santiago	(2) 5558478
LE 120	AQUA, Calidad del Agua Ltda.	Almirante Latorre 548, Santiago	(2) 6972407
LE 141	Corthorn Quality (Chile) S.A., sede Santiago	Palacio Riesco 4549, Huechuraba	(2) 2439292
LE 149	DICTUC S.A.	Vicuña Mackenna 4860, Santiago	(2) 6864171
LE 166	Fundación Chile, sede Santiago.	Av. Parque Antonio Rabat Sur 6165, Vitacura, Santiago	(2) 2400300

Fuente: INN Chile 2003.

Tabla 1. Laboratorios acreditados en calidad de agua por el INN (continuación).

Nº CERTIFICACIÓN	ORGANIZACIÓN/ÁREA DE ACREDITACIÓN	DIRECCIÓN	TELÉFONO
LE 170	Aguas Nuevo Sur Maule S. A.	Monte Baeza s/n, Talca	(71) 204100
LE 171	Carlos Latorre S. A.	Av. Presidente Bulnes 139, Oficina 64, Santiago	(2) 6961481
LE 173	Centro Nacional del Medio Ambiente, CENMA	Av. Larraín 9975, La Reina, Santiago	(2) 2994178
LE 182	Know S. A., Ingeniería y Laboratorios.	Madrid 1704, Santiago	(2) 5551216
LE 191	Laboratorio Manuel Ruiz y Cía. Ltda.	Santa Elena Nº1209, Santiago	(2) 5543645
LE 198	Universidad de la Frontera	Av. Francisco Zalazar Nº01145, Temuco	(45) 325050
LE 204	TECNOLAB	Camino Troncal Antiguo 2150, Paso Hondo, Quilpué	(32) 965949
LE 206	ESSCOLAB	Colo Colo 935, La Serena	(51) 206000

Fuente: INN Chile 2003.

ANEXO 3.
PROTOCOLO PARA EL MONITOREO DEL IMPACTO DE
LA APLICACIÓN DE PURINES EN LOS CUERPOS DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES.

Elaborado por: José Luis Arumi R.
Universidad de Concepción

Alcances

Este documento pretende entregar una serie de recomendaciones técnicas, destinadas a los productores de cerdo, para apoyarlos en el desarrollo de sus procesos de autocontrol. Para este efecto se entregan una serie de recomendaciones que permitirán la definición e implementación de una red de monitoreo para medir la concentración de un grupo de parámetros que caracterizan la calidad de los cuerpos de agua receptores de la contaminación difusa producida por la aplicación de purines.

Las publicaciones que han servido de referencia para la elaboración de este documento son las siguientes:

- Compendio de Normas Chilenas de Calidad de Agua. Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos en la Norma de Emisión a Aguas Subterráneas, Decreto Supremo N° 46 de 2002. DGA 2003.
- Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (D.S. 46 año 2002)
- Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (D.S. N° 90 año 2000).

Definiciones

Se presentan algunas definiciones pertinentes a este documento:

Acuífero: Es una formación geológica donde se almacena agua y desde la cual ésta puede ser liberada fácilmente, ya sea mediante drenaje natural, artificial o bombeo.

Aguas Subterráneas: Son las aguas continentales que se encuentran moviéndose o almacenadas bajo la superficie del suelo.

Aguas superficiales: Son las aguas continentales que se encuentran moviéndose o almacenadas sobre la superficie del suelo.

Autocontrol: Es la práctica según la cual los productores, controlan el impacto que ellos producen en el ambiente.

Bentonita: Es una arcilla que al ser humedecida aumenta su volumen, se usa para impermeabilizar.

Coordenadas UTM: Es el sistema de coordenadas planas utilizado en la cartografía oficial de Chile.

Cuenca Hidrográfica: Corresponde a una unidad geográfica, definida por que toda el agua que ingresa a dicha unidad, drena en forma natural a un mismo punto.

Cuerpo de agua: Es un volumen de agua, por ejemplo un río, un lago o un acuífero

Espesor saturado del suelo: Corresponde a aquella parte del perfil del suelo, en el cual los poros se encuentran llenos de agua.

Georeferenciación: Consiste en asignar una coordenada a un punto, por ejemplo mediante un GPS

Muestreo: Es el proceso de tomar una porción representativa de agua, que permita medir los parámetros que representan la calidad de un cuerpo de agua.

Nivel freático: Es el nivel que alcanza el agua en un acuífero. Bajo este nivel los poros del suelo que conforma el acuífero están saturados.

Vulnerabilidad: Es la facilidad relativa con la cual un contaminante, aplicado en o cerca de la superficie del suelo, puede migrar al acuífero.

Zona no saturada: Corresponde al suelo ubicado sobre el nivel freático, en el cual existe aire en los poros y el agua se encuentra retenida por capilaridad.

Zona saturada: Corresponde al suelo ubicado bajo el nivel freático, en el cual los poros están llenos de agua.

Procedimiento

Los predios donde se realiza la aplicación de purines no están aislados del entorno, sino que ellos forman parte de una cuenca hidrográfica. Por esa razón, es importante identificar los puntos del predio por donde ingresan y salen las aguas, pues a través de estos puntos se producirá el transporte de los contaminantes.

En el caso de la escorrentía superficial, los puntos de ingreso corresponden a los canales de riego y a los esteros que pasen por el predio. Las salidas de agua son los desagües y las salidas de los esteros.

En el caso de las aguas subterráneas, lo normal, en el Valle Central, sería esperar que los ingresos de agua subterránea ocurran en los puntos más altos del predio y las salidas en los puntos más bajos.

Los puntos donde se deberá controlar el impacto de la aplicación de purines quedan definidos por los ingresos y salidas de agua del predio:

1. Determinación de los puntos de control

Se denominan puntos de control a lugares específicos donde se toman, en forma periódica, muestras de agua para obtener una caracterización de su calidad mediante la medición de un conjunto de parámetros. La medición periódica de los parámetros permite hacer análisis comparativos y estudiar la variación de la calidad del agua en el punto donde se toman las muestras.

La localización de los puntos de control deberá ser georeferenciada en coordenadas UTM, especificando el Datum utilizado. Además se deberá establecer una minuta donde se describa la ubicación del punto de control, tomando como referencia algún objeto estático fácilmente reconocible (estructuras, caminos, etc). Para cada punto seleccionado se deberá llenar la ficha de punto de control.

Aguas superficiales:

Para definir los puntos de control se deben considerar los siguientes criterios:

- Se deberá definir un punto de control en cada desagüe del predio.
- Se recomienda definir un punto de control en cada punto de ingreso de agua al predio.
- En caso de esteros o cauces colindantes, se recomienda definir un punto de control aguas arriba del predio y se debe definir un punto de control aguas abajo del predio.
- Los puntos de control deberán estar ubicados de tal forma que sea posible obtener muestras de agua representativas
- Es recomendable en el caso de esteros o canales medir el caudal en el punto de control; y en el caso de lagunas o lagos, medir la altura del espejo de agua.
- No se recomienda establecer puntos de control donde se observen aguas estancadas o notoriamente estratificadas.
- Los puntos de control deberán ser claramente marcados, ya sea con una estaca o con un monolito de hormigón.

Aguas subterráneas:

- No se recomienda monitorear en norias, puesto que estas son muy factibles de ser contaminadas por otros factores como caída de basura, purines. Por ello, es discutible que el agua de la noria refleje la calidad de las aguas subterráneas.
- Si existen drenes o vertientes, ubicados aguas abajo del predio, se deberá considerar como puntos de control.
- Se recomienda construir una batería de tres punteras ubicadas en el límite más bajo del predio para utilizarlas como punto de control de la calidad de las aguas subterráneas que salen del predio
- Se recomienda construir una batería de tres punteras ubicadas en el límite más alto del predio para utilizarlas como punto de control de la calidad de las aguas subterráneas que ingresan al predio
- Debido a que se espera detectar impactos recientes producidos por la aplicación de purines, las muestras de aguas subterráneas deben ser tomadas sólo en los primeros 50 centímetros del espesor saturado del suelo, tomando como referencia el nivel saturado medido en el mes de marzo.

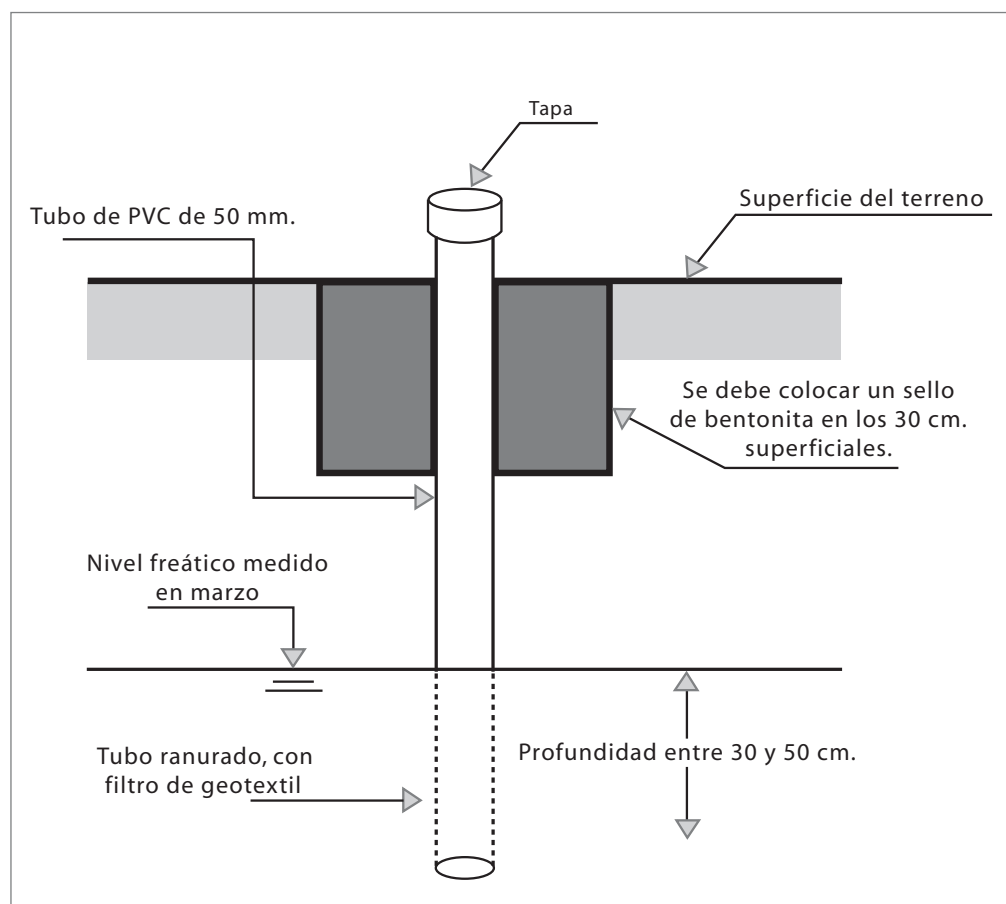


Figura 1. Esquema de la instalación de una puntera para el muestreo de agua subterránea

Fuente: Elaboración Propia.

Si el suelo lo permite, las punteras pueden ser construidas mediante una perforación hecha con barreno y posteriormente se coloca un tubo de PVC (Fig. 1).

2. Análisis de vulnerabilidad de las aguas subterráneas

El impacto más difícil de visualizar en el caso de la aplicación de purines de cerdo, es la contaminación que se puede producir en los acuíferos ubicados bajo los terrenos donde se hacen las aplicaciones. Por esto y recomendando la adopción de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas, se recomienda realizar un análisis de vulnerabilidad del acuífero ubicado bajo el predio donde se aplican los purines. Para esto se deberá utilizar la metodología propuesta en el Manual Para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos en la Norma de Emisión a Aguas Subterráneas, creado por la Dirección General de Aguas (DGA) en 2003.

La metodología exigida por la DGA considera el uso del método desarrollado por el Instituto de Geociencias y Recursos Naturales en conjunto con los Servicios Geológicos Federales de Alemania (Método BGR). Para aplicar este método se deben evaluar cinco parámetros:

- A. Capacidad de Campo efectiva de la columna de suelo no saturado ubicada sobre el nivel freático.
- B. Tasa de percolación, se debe evaluar tanto la recarga natural como la recarga artificial que percola al acuífero.
- C. Composición de la zona no Saturada y el suelo orgánico
- D. Espesor de la zona no saturada
- E. Condiciones de acuíferos artesianos

A cada parámetro se le asigna un puntaje de acuerdo a tablas de referencia publicadas en el Manual de la DGA. La suma de los puntajes entrega el índice de vulnerabilidad que se clasifica en los siguientes rangos: Alta, Media y Baja.

Para la aplicación del Método BGR, de acuerdo a las instrucciones de la DGA, se debe medir el nivel freático, en la zona a evaluar, durante la primavera. Lo anterior se debe al hecho de que durante dicha estación el nivel freático está más cerca de la superficie.

3. Parámetros a controlar

Con el objetivo de obtener una representación de la calidad de las aguas superficiales o subterráneas impactadas por la aplicación de purines de cerdo, es necesario definir un conjunto de parámetros o índices de calidad. Para esto se recomienda utilizar los siguientes conjuntos de parámetros.

Tabla 1. Parámetros representativos de la calidad de agua para zonas ubicadas sobre acuíferos de alta vulnerabilidad

NUMERACIÓN	PARÁMETRO
1	Coliformes fecales
2	DBO ₅
3	Fosfatos
4	Nitratos
5	Oxígeno disuelto
6	pH
7	Sólidos disueltos
8	Temperatura
9	Turbidez

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de predios ubicados sobre acuíferos de vulnerabilidad alta, se recomienda la realización de una campaña cuatrimestral monitoreo.

Tabla 2. Parámetros representativos de la calidad de agua para zonas ubicadas sobre acuíferos de media vulnerabilidad

NUMERACIÓN	PARÁMETRO
1	Coliformes fecales
2	DBO ₅
3	Fosfatos
4	Nitratos
5	pH
6	Temperatura

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de predios ubicados sobre acuíferos de vulnerabilidad media, se recomienda la realización de una campaña semestral de monitoreo.

Tabla 3. Parámetros representativos de la calidad de agua para zonas ubicadas sobre acuíferos de baja vulnerabilidad

NUMERACIÓN	PARÁMETRO
1	Coliformes fecales
2	DBO ₅
3	Fosfatos
4	Nitratos
5	pH
6	Temperatura

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de predios ubicados sobre acuíferos de vulnerabilidad baja, se recomienda la realización de una campaña anual de monitoreo.

4. Procedimiento de muestreo

A continuación se entrega una serie de recomendaciones para realizar el muestreo de agua, tanto superficial como subterránea, que los productores deberán realizar en sus programas de autocontrol. Estas recomendaciones deberán ser complementadas con las instrucciones específicas dadas por los laboratorios que procesen las muestras.

Toma de muestras:

El objetivo del muestreo es lograr obtener una muestra de agua que sea representativa de la calidad del cuerpo de agua que se quiere evaluar. Para esto se deben cuidar los siguientes aspectos:

- A. Al momento de tomar la muestra se debe evitar introducir algún tipo de contaminante adicional al agua que se evaluará.
- B. La muestra debe ser conservada y transportada, asegurando que no se produzcan alteraciones significativas en su calidad.

Cada vez que se realice un muestreo deberá llenarse la ficha de muestreo que se entrega en el Anexo 2.

Aguas superficiales:

En el caso de aguas superficiales se debe tomar una muestra siguiendo las siguientes recomendaciones:

- El equipo de toma de muestras, preferiblemente deberá ser un balde o un recipiente, especialmente acondicionado para esta función. El balde deberá estar limpio y libre de elementos extraños adheridos a él. Antes de tomar la muestra, el balde deberá ser enjuagado prolijamente, al menos tres veces, cuidando de que el agua de enjuague no se mezcle con el agua a controlar.
- La toma de muestra se hará cuidando de realizar un mezclado del agua a controlar, para ello se debe desplazar el balde, tanto horizontal como verticalmente al momento de tomar la muestra.
- Si la toma de muestra se realiza mediante bombeo, se debe cuidar de la limpieza de las tuberías y la bomba. Se deberá bombear al menos por cinco minutos, antes de tomar la muestra.

Aguas subterráneas:

- El muestreo de aguas subterráneas deberá realizarse en las punteras especialmente construidas para el autocontrol.
- Cuidar que el equipo a utilizar para el muestreo, esté limpio y no altere la calidad del agua muestreada. Evitar los sistemas que introducen aire para bombear, pues alteran la concentración de los parámetros de control.
- Antes de muestrear se deberá extraer toda el agua existente en la puntera, para así tomar una muestra que represente la calidad del agua existente en el acuífero.

Envases:

- Se recomienda el uso de envases de vidrio. Estos envases deberán estar limpios. Se recomienda que el propio laboratorio entregue los envases para el muestreo.
- El tamaño de los envases deberá ser consultado con el laboratorio de la técnica utilizada para los análisis cada laboratorio requerirá de un volumen mínimo de muestra.
- Para cada muestreo se requiere de cinco envases, de acuerdo a lo siguiente:

- 1° envase para DBO₅, pH, sólidos disueltos y turbidez
- 2° envase para coliformes fecales
- 3° envase para nitratos
- 4° envase para fosfatos
- 5° envase para oxígeno disuelto

5. Preservación y transporte de las muestras.

De acuerdo a la normativa vigente se recomiendan los siguientes procedimientos para la preservación y transporte de las muestras:

- La temperatura debe ser medida en terreno, con un termómetro que se sumerge en la muestra recién obtenida.
- El tiempo de transporte de las muestras, tomado desde el momento de muestreo hasta el análisis no debe ser superior a 24 horas.
- Se recomienda medir en terreno el pH, el oxígeno disuelto y la turbidez.
- Para el transporte a laboratorio se recomiendan las siguientes medidas de preservación:

Tabla 4. Medidas de preservación y transporte a laboratorio de las muestras.

PARÁMETRO	MEDIDAS DE PRESERVACIÓN Y TRANSPORTE
Coliformes fecales	Se deberá usar un envase estéril. Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas
DBO ₅	Almacenar en la oscuridad. Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas
Fosfatos	La muestra deberá ser filtrada en terreno. Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas
Nitratos	Acidificar la muestra con ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) a un pH menor a dos
Oxígeno disuelto	Fijar y almacenar en la oscuridad
pH	Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas

Fuente: Elaboración Propia.

6. Laboratorios de análisis

Para la selección del laboratorio donde se realicen los análisis se deben considerar los siguientes aspectos:

- Cercanía del Laboratorio con el lugar donde se tomen las muestras
- Respaldo institucional y acreditación de los laboratorios (Ver Anexo 2)

FICHA DE PUNTO DE CONTROL

Identificación del Punto de Control:		
Coordenadas UTM Datum:	Este:	Norte:
Parámetros a controlar		
Descripción y croquis de la ubicación del punto		

FICHA DE Muestreo

Fecha:
Hora:
Operario:
Predio

Punto de control

--

Tipo de muestreo

Aguas superficiales	Desagüe	Estero	Laguna	Otro
Aguas subterráneas		Dren	Puntera	Vertiente

Ubicación (Coordenadas UTM)

Este	Norte:	Datum:
------	--------	--------

Método de muestreo

--

Descripción de la muestra

--

Métodos de preservación

--

Método de almacenamiento de la muestra

--

Mediciones realizadas en terreno		Comentarios
Fosfatos		
Nitratos		
Oxígeno disuelto		
pH		
Sólidos disueltos		
Temperatura		
Turbidez		

ANEXO 4.
ECUACIÓN DILUCIÓN EXCRETAS CON AGUA DE
LAVADO
FUNDAMENTO TEÓRICO

Dado que el balance global de flujo es:

$$F_p = F_{Te} + F_{al} \quad \text{Ecuación 1.}$$

donde:

F_p : Flujo de purines en (lt·d⁻¹)

F_{Te} : Flujo total de excretas en (lt·d⁻¹)

F_{al} : Flujo del agua de lavado en (lt·d⁻¹)

El balance de nitrógeno total será:

$$F_p \cdot C_{np} = F_{Te} \cdot C_{ne} + F_{al} \cdot C_{nal} \quad \text{Ecuación 2.}$$

donde:

C_{np} : Concentración de nitrógeno en purines en mg·lt⁻¹

C_{ne} : Concentración de nitrógeno en excretas en mg·lt⁻¹

C_{nal} : Concentración de nitrógeno en agua de lavado en mg·lt⁻¹

Debido a que la concentración de nitrógeno en el agua de lavado (C_{nal}) es despreciable, el término:

$F_{al} \cdot C_{nal} = 0$ y la ecuación 2 queda como:

$$F_p \cdot C_{np} = F_{Te} \cdot C_{ne} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Despejando el término C_{np} de la ecuación 3:

$$C_{np} = \frac{F_{Te} \cdot C_{ne}}{F_p} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Si se tiene una relación en dilución excretas-agua de lavado 1: R_d , lo que implica que se ocupen R_d litros de agua de lavado por un litro de excretas, la ecuación 1 resulta ser:

$$F_p = R_d + 1 \quad \text{Ecuación 5.}$$

Finalmente reemplazando el flujo de purines (F_p) en la ecuación 4, la solución final será:

$$C_{np} = \frac{C_{ne}}{R_d + 1} \quad \text{Ecuación 6.}$$

ANEXO 5.
FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS QUE CONLLEVAN
AL TRATAMIENTO.

A continuación se reseñan algunos de los procesos que están involucrados en el tratamiento de los efluentes mediante técnicas naturales.

1. Procesos físicos

Filtración: Es el proceso mediante el cual los sólidos suspendidos son removidos por filtración mecánica. La extensión de este proceso es dependiente de la textura del suelo, la tasa de aplicación y el tamaño de partículas a ser removidas. Las bacterias son removidas por filtración, mientras que los virus son adsorbidos por el suelo.

Debido a que este proceso remueve el material particulado del efluente, el suelo puede llegar a taponarse. Una de las formas de evitar este inconveniente es mediante un pretratamiento o tener ciclos de aplicación y no aplicación, de forma de incentivar la descomposición de los sólidos por acción bacteriana.

Dilución: Proceso de aumento de volumen, donde las partículas contaminantes disminuyen su concentración relativa. Se produce por mezcla del efluente con aguas provenientes de la lluvia, el derretimiento de la nieve, o aguas de origen subterráneo.

2. Procesos químicos

Adsorción: Es el proceso mediante el cual los coloides del suelo, debido a su naturaleza que les confiere cargas eléctricas, retienen en forma reversible y temporal, ciertos elementos como nutrientes, metales y otros en su superficie. Una forma de evaluar la capacidad de adsorción de un suelo es a través de la medición de su Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Ejemplo de adsorción es el ión N-NH^{4+} .

Precipitación: La precipitación es un fenómeno químico que ocurre cuando las concentraciones de los iones en solución, multiplicadas, exceden el producto de solubilidad del compuesto correspondiente.

En general, los contaminantes que son afectados por procesos químicos son principalmente el nitrógeno, los metales pesados y el fósforo, cuando existe un íntimo contacto entre el suelo y el efluente.

3. Procesos biológicos

Descomposición biológica de la materia orgánica: Es el proceso de degradación paulatina de los materiales orgánicos llevado a cabo por una mezcla de organismos. Los productos finales de esta degradación son materia orgánica estable, algunos compuestos inorgánicos solubles que son absorbidos por las plantas, agua y, algunos gases, como metano y dióxido de carbono. Estos productos serán diferentes dependiendo del tipo de microorganismos que esté presente en la descomposición. Éstos pueden ser aeróbicos o anaeróbicos dependiendo del medio en que se encuentren.

Descomposición aeróbica: En la descomposición aeróbica, los microorganismos consumen oxígeno y utilizan una fuente de carbono orgánico para generar los materiales orgánicos en constituyentes básicos como agua, dióxido de carbono, masa celular, nitratos y sulfatos, entre otros compuestos. Los contaminantes que son afectados por este proceso son compuestos orgánicos e inorgánicos, disueltos, suspendidos o sedimentables.

Descomposición anaeróbica: Este tipo de degradación de los materiales orgánicos sucede en ausencia de oxígeno. En términos conceptuales, el proceso envuelve tres procesos, a saber: las bacterias hidrolíticas se encargan de convertir las moléculas orgánicas complejas a orgánicas simples, las bacterias formadoras de ácidos transforman las moléculas simples en ácidos orgánicos, mientras que, en una tercera etapa, las bacterias formadoras de metano, convierten los ácidos orgánicos a metano, dióxido de carbono, y otros productos como el H_2S . Los contaminantes que son degradados por este proceso son sólidos orgánicos suspendidos y disueltos, algunos nutrientes, incluido el nitrógeno a través de la desnitrificación.

Mineralización: La mineralización es la conversión microbiana de materiales orgánicos a constituyentes inorgánicos. Es un proceso de descomposición que puede producirse bajo condiciones anaeróbicas como aeróbicas. Los constituyentes que son afectados por este proceso son elementos y compuestos que componen sustancias orgánicas.

Nitrificación: Es un proceso aeróbico, mediante el cual el $N-NH_4^{+}$ es transformado en $N-NO_3^{-}$ (nitrato). Es un proceso que ocurre en dos etapas, cada una de ellas dominada por dos tipos de bacterias aeróbicas. El primer paso es la transformación desde amonio a nitrito ($N-NO_2^{-}$), por medio de las bacterias Nitrosomonas. El nitrito es transformado rápidamente a nitrato mediante la acción de las bacterias Nitrobacter. Los contaminantes afectados son los compuestos nitrogenados presentes en el efluente.

Desnitrificación: Este proceso biológico afecta específicamente al nitrógeno. Es un proceso anaeróbico en el cual un grupo de bacterias convierte nitrato a nitrito y luego a N_2 y ciertos gases nitrogenados, N_2O o NO . Estos dos últimos gases, productos intermedios del proceso, pueden ser finalmente transformados a nitrógeno gaseoso. Este proceso tiene ciertas similitudes con la respiración aeróbica, pero en este caso el nitrato reemplaza al oxígeno como el receptor de electrones. Además, para que proceda, la desnitrificación requiere una fuente de carbono.

Inmovilización: Este proceso es la asimilación de los constituyentes del efluente en la biomasa microbiana. Estos constituyentes son asimilados en sus formas solubles e incorporados a sustancias orgánicas complejas como resultado del metabolismo de los microorganismos. Este proceso crea una fuerte competencia por nutrientes en un sistema con plantas, reduce el riesgo de lixiviación de ciertos elementos, y como característica más importante, no es un proceso que renueva los elementos del efluente transformándolos en compuestos más estables y de menos toxicidad. Normalmente los nutrientes como el N, P, S, K y algunos micronutrientes, son afectados por este proceso.

Absorción por el cultivo: Este proceso puede considerarse como un caso específico de inmovilización. Los nutrientes principales afectados por este proceso son el nitrógeno y

el fósforo. Dado el hecho de que el N es uno de los principales elementos a ser tratados en los efluentes residuales, el proceso es de gran relevancia en aplicaciones donde este nutriente necesita ser degradado. Similarmente a la inmovilización, este proceso no remueve los nutrientes, excepto a través de la cosecha. Si no existe cosecha, el nutriente es reciclado en el sistema cuando las plantas mueren y se descomponen.

Transpiración de las plantas y oxigenación: La vegetación del sitio es responsable de varios de los mecanismos que están envueltos en el tratamiento de los efluentes. Dado que transpiran, eliminan agua en forma de vapor, situación muy conveniente en aquellos casos donde la capacidad de carga hidráulica del sitio controla la tasa de aplicación. La oxigenación, por su parte, es el resultado del proceso de fotosíntesis, donde las plantas producen oxígeno a nivel de sus hojas y lo trasladan a diferentes órganos, entre ellos las raíces. Las raíces, a su vez, liberan el oxígeno al medio (agua o suelo).

Algas: Las algas tienen diferentes impactos en los sistemas de tratamiento natural. Por un lado realizan fotosíntesis, por lo tanto, liberan oxígeno al medio. En segundo lugar, las algas fijan carbono atmosférico incrementando la materia orgánica del sistema. En tercer lugar, las algas absorben nutrientes en sus tejidos, principalmente N y P.

ANEXO 6.
LISTA DE CHEQUEO.

1. PROCESO PRODUCTIVO

1.1 Disminución del impacto por purines.

Respecto a las prácticas al interior de los galpones			OBSERVACIONES
¿Desvía las aguas lluvia o aguas limpias de techos y patios para impedir su incorporación al flujo de purines?	SI	NO	
¿Utiliza dispositivos de alta presión y bajo volumen para lavar galpones o sistemas como Pit y Slat?	SI	NO	
¿Presentan los galpones barreras físicas o cualquier sistema que asegure que la evacuación de purines se desarrolle a través de los canales abiertos destinados para la operación?	SI	NO	
¿Los galpones se sitúan a una distancia mínima de 20 metros de quebradas, líneas de drenaje y cursos de agua?	SI	NO	
¿Revisa mensualmente el estado de la red de canales abiertos para evitar la infiltración o el desborde de purines?	SI	NO	

1.2 Disminución de la proliferación de Vectores.

Disminución de la proliferación de Vectores			OBSERVACIONES
¿Verifica que en el recorrido de los purines no existan sectores de acumulación, los que son utilizados por las moscas para oviponer?	SI	NO	
¿Las instalaciones y su entorno permanecen libres de basura y desperdicios?	SI	NO	
¿Se instalan basureros clasificados por tipo de residuos?	SI	NO	
¿Elimina la maleza que crece cercana a los pabellones?	SI	NO	
¿Se cubren las zonas favorables para el desarrollo de huevos, como acopios de guano o residuos de camas calientes (sistemas Deep Beeding)?	SI	NO	
¿Se emplean insectos benéficos como algunas avispas u otros tipos de moscas que se alimenten de huevos y larvas?	SI	NO	
¿Se aplican controles químicos en la época primavera-verano?	SI	NO	
¿Los insecticidas utilizados son aplicados donde las moscas descansen al atardecer (paredes, vigas, pilares, cañerías, etc.)?	SI	NO	

Respecto al control de roedores			OBSERVACIONES
¿Mantiene las instalaciones ordenadas, limpias y cerradas, especialmente las bodegas de almacenamiento de alimentos?	SI	NO	
¿Mantiene de forma ordenada los objetos acumulados en el predio?	SI	NO	
¿Ordena y reorganiza en forma periódica cajas, insumos e implementos que estén arrumados?	SI	NO	
¿Limpia los alrededores del predio permanentemente, de manera que no existan malezas que sirvan de escondite de roedores?	SI	NO	
¿El sistema de evacuación de purines de galpones tiene rejillas verticales metálicas del tipo matricial para impedir el acceso de los roedores por el fluido?	SI	NO	
¿Las rejillas verticales metálicas del tipo matricial tienen una apertura igual o menor a 9cm ² (3·3cm)?	SI	NO	
¿Utiliza rodenticidas anticoagulantes para la eliminación de roedores?	SI	NO	
¿Utiliza trampas engomadas para el control de roedores?	SI	NO	
¿Utiliza cebos para el control de roedores?	SI	NO	

1.3 Disminución de la generación de Olores.

Respecto a las prácticas al interior de los galpones			OBSERVACIONES
¿Retira los purines de forma periódica para evitar su acumulación y generación de olores?	SI	NO	
¿Cuenta con ventiladores verticales para facilitar la extracción continua de olores?	SI	NO	
¿Revisa mensualmente el estado de la red de canales abiertos en el interior de los galpones para evitar la acumulación o estancamiento de purines?	SI	NO	

2. MANEJO DE PURINES**2.1 Aspectos generales**

Aspectos generales			OBSERVACIONES
¿Procura no eliminar los efluentes líquidos generados en el plantel, a cursos de agua superficiales y/o subterráneos?	SI	NO	
En el caso de que los elimine ¿cumple con la normativa vigente?	SI	NO	
¿Tiene un plan de manejo de purines?	SI	NO	
¿El sistema de manejo de purines de su plantel ha sido propuesto en un PAP de acuerdo a la pauta del SAG?			
¿El sistema de tratamiento/manejo de purines y sus derivados (guano y lodos), es diseñado e implementado de acuerdo a las características propias del plantel y predio, por profesionales calificados?	SI	NO	
¿En caso de existir traslado de residuos sólidos o líquidos dentro y fuera del predio, se incorpora un sistema de transporte hermético que evite derrames o escurrimientos?	SI	NO	

2.2 Tratamientos primarios

Respecto al almacenamiento de purines (pozo purinero)			OBSERVACIONES
¿Los sistemas de almacenamiento están ubicados en terrenos donde la pendiente es menor a 10%?	SI	NO	
¿Los sistemas de almacenamiento están ubicados a una distancia mínima de 20 metros de quebradas, líneas de drenaje y cursos de agua?	SI	NO	
¿Los sistemas de almacenamiento cuentan con medidas preventivas para evitar desbordes?	SI	NO	
¿Existe una distancia mínima de 1,5 metros entre el fondo de sistemas de almacenamiento y el nivel freático?	SI	NO	
¿El pozo esta aislado del suelo por una superficie impermeable artificial, de modo que no existan infiltraciones ni lixiviación?	SI	NO	
¿Evita el ingreso de agua lluvia de escurrimiento a los sistemas de almacenamiento a través de canales o zanjas de desviación u otro sistema?	SI	NO	
¿El tiempo de almacenamiento de los purines es menor a 48hrs?	SI	NO	
¿Cuenta con un sistema de agitación que permita homogeneizar periódicamente el contenido del pozo?	SI	NO	

Respecto a la separación de sólidos			OBSERVACIONES
¿Realiza la separación de sólidos bajo las siguientes condiciones climáticas: cuando la velocidad del viento esté en su máximo y la humedad relativa esté en su mínimo?	SI	NO	

Respecto al almacenamiento temporal del guano			OBSERVACIONES
Para el almacenamiento de guano ¿aplica un prensado para conseguir un porcentaje de humedad inferior a 70%?	SI	NO	
¿Permanece el guano más de 48 horas en almacenamiento?	SI	NO	
¿El lugar de almacenamiento se encuentra a una distancia no inferior a 20m de cualquier cuerpo de agua como: canales de riego, pozos, norias o vertientes?	SI	NO	
¿La topografía del terreno presenta una pendiente resultante inferior a 5%?	SI	NO	
¿El límite superior máximo de la napa freática es de al menos 1,5m de profundidad?	SI	NO	
Si almacena el guano en canchas de acopio, ¿Mantiene impermeabilizado con geomembrana o concreto el fondo de la cancha?	SI	NO	
¿Mantiene en canchas de acopio una protección física para la humedad y precipitaciones?	SI	NO	
¿Cuenta con sistemas de contención en el lugar de acopio?	SI	NO	
¿Tiene implementado un sistema de desviación del escurrimiento de aguas lluvias a través de canales perimetrales, por ejemplo?	SI	NO	

3.3 Tratamientos secundarios

Respecto a lagunas anaeróbicas			OBSERVACIONES
¿La laguna se sitúa a una distancia mínima de 20 metros de quebradas, líneas de drenaje y cursos de agua?	SI	NO	
¿La ubicación de lagunas es en terrenos con nivel freático a una profundidad mayor a 4 metros?	SI	NO	
Si existen pozos profundos de abastecimiento de agua potable o animal a menos de 200m de la laguna, ¿Se emplaza esta última a un nivel topográfico inferior con respecto a estas fuentes de abastecimiento?	SI	NO	
¿Su laguna tiene una superficie menor a 0.8 ha?	SI	NO	
¿El terreno donde se ubica la laguna, presenta una pendiente menor al 5%?	SI	NO	
¿Las lagunas se ubican a más de 500m de áreas residenciales y en una posición contraria a la dirección predominante del viento?	SI	NO	
¿Cuando la distancia a centros urbanos es menor a 500m, se utilizan productos bacterianos o enzimáticos que minimizan el impacto por olor, o bien utiliza recubrimientos flexibles o filtros biológicos?	SI	NO	
¿Se mide el flujo de entrada a la laguna?	SI	NO	
¿Se mantiene siempre el flujo de entrada al nivel predeterminado por el diseño?	SI	NO	
¿La laguna se encuentra aislada del suelo por una superficie impermeable natural o artificial?	SI	NO	
¿Se presentan barreras vegetales alrededor de la laguna como la utilización de árboles aromáticos?	SI	NO	
¿Se chequean parámetros como la temperatura y el pH con frecuencia de al menos 7 días?	SI	NO	
¿Se tienen registros de campo respecto al tratamiento secundario por laguna, donde se indiquen los volúmenes de entrada y salida, el tiempo de almacenamiento, el sitio en donde se hará la aplicación, etc.?	SI	NO	

Respecto a la aplicación directa al suelo			OBSERVACIONES
¿El diseño del sistema de aplicación considera el nitrógeno, la carga orgánica (DBO) y la carga hidráulica (agua aplicada) como factores limitantes de cada tecnología?	SI	NO	
¿Se realiza un previo cálculo de cargas (balance de nitrógeno, DBO y agua) respecto a la aplicación al suelo?	SI	NO	
¿El cálculo de cargas es de tipo mensual?	SI	NO	
¿Se considera un sistema de almacenamiento/tratamiento o distribución a terceros?	SI	NO	
¿Frente a la tecnología de aplicación directa al suelo, el productor elabora un PAP conforme a pauta elaborada por la autoridad competente, asegurando el cumplimiento con los estándares ambientales y de calidad presentes en la normativa vigente?	SI	NO	
¿Existe una distancia mínima de 3 metros entre el área de aplicación de purines y cuerpos de agua superficiales (ríos, esteros, canales, humedales o lagos) o infraestructuras tales como pozos y norias?	SI	NO	
¿Existen sistemas de aplicación directa al suelo en áreas propensas a escorrentía superficial, inundación o anegamiento?	SI	NO	
¿La aplicación al suelo se realiza con intervalos de tiempo en un mismo terreno?	SI	NO	
¿Aplica en condiciones de suelo desnudo?	SI	NO	
¿Se utiliza un pretratamiento por filtración gruesa de purines antes de aplicar al suelo?	SI	NO	
¿Se implementan registros de campo respecto al almacenamiento, estabilización y aplicación del purín, donde se indiquen los volúmenes, el tipo y tiempo de almacenamiento, el sitio en donde se tratan y la aplicación?	SI	NO	

ANEXO 6

Respecto a la aplicación directa al suelo por Sistemas de Tasa Lenta			OBSERVACIONES
¿Aplica esta tecnología en suelos de permeabilidad media (moderadamente baja a moderadamente alta)?	SI	NO	
¿Existe un sistema de almacenamiento y/o tratamiento de purines, para los períodos en que no se pueda aplicar al suelo (lluvias intensas y bajo desarrollo de cultivos)?	SI	NO	
¿Se aplica un pretratamiento por filtración gruesa de los purines antes de aplicar al suelo?	SI	NO	
¿El diseño del sistema considera el tipo de cultivo utilizado?	SI	NO	
¿La topografía del terreno presenta una pendiente inferior a 10%?	SI	NO	
¿El nivel freático se encuentra a más de 0,6m de profundidad?	SI	NO	
¿La carga orgánica aplicada por unidad de superficie, para los sistemas de Tasa Lenta, se encuentra entre 110 y 330kg de DBO·(ha·día) ⁻¹ ?	SI	NO	

Respecto a la aplicación directa al suelo por Sistemas de Infiltración Rápida			OBSERVACIONES
¿Aplica en terrenos con alta permeabilidad (arenas o gravas)?	SI	NO	
¿Mantiene una concentración de 500mg/l de DBO, en el efluente a tratar con esta tecnología?	SI	NO	
¿El nivel freático se encuentra a más de 3m de profundidad?	SI	NO	
¿La carga orgánica aplicada por unidad de superficie, se encuentra entre 40 y 120kg. de DBO·(ha·día) ⁻¹ ?	SI	NO	

Respecto a la aplicación directa al suelo por Sistemas de Flujo Superficial			OBSERVACIONES
¿Aplica en terrenos con permeabilidad baja (arcillas, limos y suelos con barreras impermeables)?	SI	NO	
¿Se aplica un pretratamiento por filtración gruesa de purines antes de aplicar al suelo?	SI	NO	
¿El nivel freático se encuentra a una profundidad no inferior a 0,3m desde la superficie del suelo?	SI	NO	
¿La carga orgánica aplicada por unidad de superficie, para los sistemas de Flujo Superficial, se encuentra entre 48 y 100kg de DBO ₅ ·(ha·día) ⁻¹ ?	SI	NO	

Respecto a la reutilización de sólidos orgánicos			OBSERVACIONES
¿Se aplica sólidos orgánicos en terrenos saturados?	SI	NO	
¿La topografía del terreno presenta una pendiente inferior a 10%?	SI	NO	
¿Se aplica en suelos cubiertos con nieve?	SI	NO	
¿La aplicación se lleva a cabo en las horas del día en que se hallen las mejores condiciones de humedad ambiental (baja) y velocidad del viento (alta)?	SI	NO	
¿Se aplica en los días y en las horas en que el viento presente dirección a las áreas sensibles y cuando el aire este sin movimiento?	SI	NO	

Respecto a la estabilización de sólidos orgánicos			OBSERVACIONES
¿Se implementan sistemas de estabilización para el guano y/o lodo, ya sea por el mismo plantel o por terceros?	SI	NO	
¿El tiempo de almacenamiento de lodo o guano es menor a 48 horas?	SI	NO	
Si la estabilización se realiza a través de compostaje con pilas no aireadas, ¿la temperatura de los lodos se mantiene a 55°C o más, por un período a lo menos de 15 días?	SI	NO	
Si se usa el método de compostaje no confinado o pilas aireadas estáticas, ¿la temperatura mínima de los lodos es de 40°C por 5 días?	SI	NO	
Si la estabilización se realiza a través de procesos de solarización, ¿se considera un período mínimo de tres meses con una temperatura ambiental mínima superior a 5°C y una cubierta que desvíe las aguas lluvias para evitar el aumento de la humedad en el lodo?	SI	NO	
Si la estabilización se realiza a través de la adición de cal hidratada (Ca(OH) ₂) o cal viva (CaO) como material alcalino, ¿se mantiene el pH de los lodos sobre 12 (básico) durante un período no inferior a dos horas?	SI	NO	
¿Se implementan registros de campo respecto a la estabilización del guano o lodo, donde se indiquen los volúmenes de sólidos, el tipo y tiempo de almacenamiento, el sitio en donde se hará la estabilización y la aplicación?	SI	NO	

