



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA METROPOLITANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL
ESCUELA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y MEDIO
AMBIENTE

PROPUESTA INICIAL DE PARÁMETROS OPERACIONALES EN LÍNEA
PARA PLANTELES PORCINOS POR TECNOLOGÍAS RELACIONADAS
CON EMISIÓN DE OLOR PARA EL CUMPLIMIENTO DEL DS N°9/2022
DEL MMA.

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL EN PREVENCIÓN DE RIESGOS Y MEDIO AMBIENTE

AUTORES:
ELGUETA MORÁN GABRIELA STEPHANIE
RIQUELME MACHUCA ANASTACIA CAMILA

PROFESOR GUIA:
ING. PENDOLA MORALES, ESTEBAN

SANTIAGO – CHILE

2023

Autorización para reproducción del trabajo de titulación

1. Identificación del trabajo de titulación

Nombre de las(os) Alumnas (os):

Gabriela Stephanie Elgueta Morán

Correo:

gelgueta@utem.cl / gelquetamor@gmail.com

Título de Tesis:

Propuesta inicial de parámetros operacionales en línea para planteles porcinos por tecnologías relacionadas con emisión de olor para el cumplimiento del DS N°9/2022 del MMA.

Escuela: Escuela de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente

Carrera o programa: Ingeniería Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente

Título al que opta: Ingeniero Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente

2. Autorización de Reproducción

- a. Se autoriza la reproducción total o parcial de este trabajo de titulación, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.
- b. En consideración a lo anterior, se autoriza su reproducción de forma (marque con una X):

	Inmediata
x	A partir de la siguiente fecha: enero 2024

Fecha: 12/09/2023

Firma:  _____

Gabriela Stephanie Elgueta Morán

Esta autorización se otorga en el marco de la Ley 17336 sobre propiedad intelectual, con carácter gratuito y no exclusivo para la institución.

NOTA OBTENIDA: 6,6

 
Firma y Timbre de la
autoridad responsable

Autorización para reproducción del trabajo de titulación

3. Identificación del trabajo de titulación

Nombre de las(os) Alumnas (os):

Anastacia Camila Riquelme Machuca

Correo:

ariquelme@utem.cl / anastaciariquelmemachuca@gmail.com

Título de Tesis:

Propuesta inicial de parámetros operacionales en línea para planteles porcinos por tecnologías relacionadas con emisión de olor para el cumplimiento del DS N°9/2022 del MMA.

Escuela: Escuela de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente

Carrera o programa: Ingeniería Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente

Título al que opta: Ingeniero Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente

4. Autorización de Reproducción

- c. Se autoriza la reproducción total o parcial de este trabajo de titulación, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.
- d. En consideración a lo anterior, se autoriza su reproducción de forma (marque con una X):

	Inmediata
x	A partir de la siguiente fecha: enero 2024

Fecha: 12/09/2023

Firma:  _____

Anastacia Camila Riquelme Machuca

Esta autorización se otorga en el marco de la Ley 17336 sobre propiedad intelectual, con carácter gratuito y no exclusivo para la institución.

NOTA OBTENIDA: 6,6

Firma y Timbre de la
autoridad responsable

DEDICATORIA

En honor a lo más valioso que el universo me ha brindado, dedico este logro a mi apreciada familia. A mis padres, quienes han sido la fuente inquebrantable de amor, comprensión y apoyo a lo largo de mi vida. Agradezco profundamente su presencia, constante y su guía en cada paso de mi camino.

A mis queridos hermanos, hermana y sobrinas, cuya existencia infunde diversión y amor a mi vida, haciéndola aún más significativa.

A Cristóbal, mi compañero de vida, cuyo apoyo constante, confianza y aliento han sido esenciales para creer en mí y avanzar sin titubeos en esta travesía.

A mi querida suegra, quien ejemplifica una gran fortaleza y me ha acogido en su hogar con amor maternal, regalándome cariño en cada oportunidad.

A mi fiel compañero Scooby, quien durante dieciocho años compartió amor en cada saludo y consuelo en los momentos difíciles.

A mis ancestras, cuya influencia trascendente, estoy segura de que me acompaña y guía desde el plano espiritual.

A ustedes, mis seres más queridos, dedico este día con profundo afecto. Mi amor por ustedes es inmenso.

Con cariño y gratitud sincera,

Gabriela Elgueta Morán

DEDICATORIA

A mis hermanas, mi papá, katty por ser mi principal apoyo y soporte durante todo este proceso universitario por entregarme las herramientas necesarias para poder avanzar en estos años de vida, por entregarme siempre lo mejor y poder dar lo mejor de mí.

A mi abuela por estar a mi lado durante toda mi vida por siempre apoyarme a salir adelante con tanto amor, cariño y comprensión.

A cada persona que tengo el placer de poder llamar mi familia, agradecida de siempre apoyarme.

A mis gatos y mis perritos por entregarme todo el cariño que podían dar y estar a mi lado siempre durante estos 5 años.

A Martin y mis amigos de la vida por darme siempre apoyo para continuar y sacándome una sonrisa cada vez que se pueda, y escucharme cada vez que estoy en momentos difíciles.

A mis seres queridos que ya no están conmigo que siempre sentí su amor en mi corazón.

A cada persona que conocí y pude acercarme con cariño durante todos estos años, que hicieron que toda esta experiencia fuera más llevadera.

Anastacia Riquelme Machuca.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento al Universo, por brindarnos la sabiduría y el entendimiento necesarios para avanzar en la vida y alcanzar nuestras metas.

Nuestros reconocimientos se dirigen al Departamento de Ruido, Lumínica y Olores del Ministerio de Medio Ambiente. Agradecemos su guía y la oportunidad que nos brindaron para crecer como futuras profesionales. Queremos extender nuestro agradecimiento a Daniela y Jessica por depositar su confianza en nosotras, lo que ha hecho que esta experiencia sea tan enriquecedora y gratificante.

Un agradecimiento especial se dirige hacia nuestro profesor guía, Esteban Pendola, quien nos acompañó y respaldó de manera constante a lo largo de este proceso. Su apoyo y dedicación en los momentos más desafiantes resultaron de un valor incalculable.

También queremos manifestar nuestra gratitud hacia nuestros amigos y compañeros de estudio, José y Alexandra. Su disposición para escucharnos y respaldarnos fue invaluable. Compartimos numerosas alegrías y largas jornadas de estudio juntos, en las que, a pesar del cansancio, nos alentábamos mutuamente. Los momentos compartidos, repletos de risas y locuras, se convirtieron en recuerdos imborrables. Siempre llevaremos en nuestro corazón este agradecimiento sincero.

Con aprecio y cariño,

Gabriela Elgueta – Anastacia Riquelme

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
1.INTRODUCCIÓN	2
1.1. Justificación del problema	2
1.2. Problema.....	3
1.3. Objetivos	4
Objetivo General.....	4
Objetivos específicos.....	5
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Olor	5
2.1.1 Tono de Olor Hedónico.....	6
2.2. Parámetro operacional.....	6
2.3. Planteles porcinos	7
2.3.1 Fuente emisora.....	7
2.4. Historia de la contaminación odorífera	8
2.5. Efecto del olor en la salud de las personas	9
2.6. Actividades generadoras de olor en Chile	11
2.6.1 Actividades con mayor número de denuncias.....	11
2.6.2. Actividades con mayor número de instalaciones.....	12
2.6.3. Actividades involucradas en conflictos socio-ambientales debido a olores	12
2.7. Definición de sectores prioritarios.....	12
2.8. Caracterización del sector porcino	13
2.9. Marco normativo en Chile para el sector porcino.....	16
3. MARCO TEÓRICO	19
3.1 Producción industrial ganadera	19
3.2. Producción industrial porcina	19
3.3. Olores y su impacto ambiental (Socioambiental).....	21
3.3.1. Percepción, y el Malestar por Olor	21
3.3.2. Generación de olores en los planteles porcinos.....	25
3.4. Planteles porcinos	27
3.4.1. Sistemas de producción:.....	27

3.4.2. Sistema de ventilación	29
3.5. Áreas productivas en los planteles porcinos.....	32
3.5.1. Alojamiento de porcinos.....	33
3.5.2. Tratamiento de purines	36
3.5.3. Disposición de purines.....	38
3.6. Medidas relacionadas al control de equipos emisores de olor	40
3.6.1. Equipos por áreas	41
3.6.1.1. Equipos a nivel de pabellón	41
3.6.1.2. Equipos a nivel de sistemas de tratamiento	45
3.6.1.3. Equipos a nivel de disposición de purines.....	61
3.6.2. Parámetros operacionales.....	65
3.6.3. Monitoreo en línea.....	97
4. METODOLOGÍA.....	99
4.1. Enfoque y alcance.....	99
4.2. Plan de trabajo	99
4.2.1. Revisión de la literatura para la recopilación de información	99
4.2.2. Análisis las medidas de abatimiento, prácticas operacionales y posibles monitoreos.....	101
4.2.3. Observación participante de planteles porcinos	102
4.2.4. Entrevistas semiestructuradas a profesionales	103
4.2.5 Búsqueda en el mercado de proveedores para monitoreo en línea	104
4.3. Análisis de resultados	104
4.4. Listado completo de parámetros operacionales propuestos	105
4.5 Resumen de metodología	105
5. RESULTADOS.....	106
5.1. Resultado entrevistas por perfil.	108
5.1.1. Académicos	108
5.1.2. Proveedores de tecnologías	110
5.1.3. Asociación gremial de productores de cerdos de Chile (ASPROCER).116	
5.1.4. Superintendencia Del Medio Ambiente (SMA)	118
5.2. Focus group	119
5.2.1. Área de alojamiento	119
5.2.2. Área de tratamiento	122
5.2.3. Área de disposición.....	127

5.2.4. Monitoreo en línea	130
5.3. Visita a plantel.....	133
5.4. Opciones del mercado para monitoreo continuo de equipos emisores de olor	139
5.4.1. Área de alojamiento	139
5.4.2. Área de tratamiento	140
5.4.3. Área de descomposición.....	147
6. ANÁLISIS.....	149
6.1. Área de alojamiento	149
6.2. Área de tratamiento.....	150
6.3. Área de disposición	155
6.4. Monitoreo en línea.....	156
6.5 Opciones del mercado para monitoreo continuo de equipos emisores de olor	159
7. CONCLUSIONES.....	162
8. BIBLIOGRAFÍA.....	167
9.GLOSARIO	184
10. ANEXOS	188
Consentimientos	188
Respaldo entrevistas.....	189

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Niveles de exposición de olor asociados a potencial es efectos de salud. .23	23
Tabla 2: Ventajas y desventajas del método secado en filas	63
Tabla 3 : Ventajas y desventajas del método pilas estáticas.....	64
Tabla 4: Ventajas y desventajas de los contenedores	65
Tabla 5: Temperatura en el ganado porcino	66
Tabla 6: Parámetros de control en las lagunas de estabilización (rango normal)	70
Tabla 7: Indicadores visuales comunes	73
Tabla 8: Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica.....	83
Tabla 9: Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas zonas climáticas.....	86

Tabla 10: Valor promedio aproximado de la relación carbono/nitrógeno en el purín porcino.....	87
Tabla 11: Residuos orgánicos de diversos orígenes.....	88
Tabla 12: Valores medios de composición química del purín porcino.	89
Tabla 13: Concentraciones de nutrientes en purín porcino.	90
Tabla 14: Producción de biogás en purines de cerdo.	90
Tabla 15: Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica.....	92
Tabla 16: Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico.	92
Tabla 17: Resumen de los parámetros operacionales en el área de pabellón	121
Tabla 18: Sensores disponibles para el monitoreo de lodos activados	143
Tabla 19: Concentraciones de olor ensayo sobre y bajo cubierta	148
Tabla 20: Resumen de parámetros operacionales de los Biodigestores	150
Tabla 21: Resumen de los parámetros operacionales de los lombrifiltros	152
Tabla 22: Resumen de los parámetros operacionales de los Lodos Activados	153
Tabla 23: Resumen de parámetros operacionales de las tecnologías utilizadas en los planteles porcinos	164

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ventilación presión negativa por túnel	44
Ilustración 2: Ventilación presión negativa por túnel en dos direcciones.....	44
Ilustración 3: Ventilación lateral cortinas en un extremo - extractores laterales.....	45
Ilustración 4: Capas del lombrifiltro	52
Ilustración 5: Esquema general de un sistema convencional de lodos activados	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tiempo de decaimiento bacteriano por radiación ultra violeta.	53
Gráfico 2: Impacto de la Humedad Sobre el Consumo de Alimento a Diferentes Temperaturas en el alojamiento.....	67
Gráfico 3: Dependencia del pH de la actividad metanogénica	82
Gráfico 4: Resumen tecnologías utilizadas en planteles porcinos.....	126
Gráfico 5: Resumen de la fracción sólida en el área de disposición.....	129
Gráfico 6: Resumen de la fracción líquida en el área de disposición.....	129

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:Tasa de carga orgánica (VCO).....	84
Ecuación 2:Cálculo Tiempo de retención hidráulica.....	85
Ecuación 3:Relación C/N.....	87
Ecuación 4: Cálculo de sólidos totales.....	88

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1:Área de alojamiento - Pabellones	134
Fotografía 2: Sistema de Lodos Activados.....	136
Fotografía 3: Nave de compostaje	137
Fotografía 4: Sistema de Biofiltro Skov	137
Fotografía 5: Tuberías de la nave de compostaje	138
Fotografía 6: Planta de tratamiento La Estrella	139
Fotografía 7: Cubierta Compofast.....	148

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo proponer parámetros operacionales iniciales en línea para tecnologías relacionadas con la emisión de olores en planteles porcinos, con el propósito de cumplir con la normativa del DS N°9/2022 del Ministerio del Medio Ambiente.

Para alcanzar los objetivos planteados, se llevó a cabo una recopilación y revisión de información relacionada con el tema de estudio. Posteriormente, se realizaron levantamientos de datos mediante entrevistas a perfiles de interés, una visita a terreno, la participación en un seminario, la toma de registros fotográficos y la realización de un “focus group” con los titulares más representativos de la industria porcina.

Los resultados obtenidos permitieron identificar las tecnologías actualmente empleadas en el país en las tres áreas principales de los planteles porcinos: alojamiento, tratamiento de purines y disposición de purines. Estas áreas fueron objeto de investigación debido a que son las principales áreas que generan emisiones de olor, identificándose como principal el área de tratamiento de los purines. Las tecnologías identificadas e investigadas para el área de alojamiento incluyen la ventilación tipo túnel, mientras que para el tratamiento secundario de purines se encontraron tecnologías como el biodigestor, lombrifiltro y lodos activados. En cuanto al área de disposición, se identificó el compostaje como la tecnología utilizada.

En cuanto a los parámetros operacionales, se pudo determinar que, al tratarse de residuos de materia orgánica, las principales tecnologías coinciden en varias ocasiones debido a que utilizan un tratamiento biológico, independientemente de la tecnología específica empleada.

Finalmente, se presentó la situación actual del monitoreo en línea, las opiniones de los titulares y los nuevos desafíos en relación con este tema. Además, se detalló cómo la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) ha implementado este tipo de monitoreo en otras industrias y cómo ha proporcionado directrices para establecer las conexiones necesarias en el contexto de los planteles porcinos.

Palabras claves: Producción Industrial ganadera y porcina/Olores/Planteles porcinos/Tecnologías relacionadas con la emisión de Olor.

1.INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación del problema

El presente estudio se fundamenta en la creciente preocupación por los olores generadores de molestia y su impacto en la salud y bienestar de la población. Históricamente, se ha reconocido que los malos olores pueden tener efectos negativos en la calidad de vida de las personas que los experimentan, afectando tanto su bienestar físico como mental y social. Es imperativo abordar este tema, ya que la exposición crónica a olores desagradables puede causar incomodidad, estrés, ansiedad e incluso problemas respiratorios en individuos sensibles.

La promulgación de la primera norma de olores para el sector porcino en Chile por parte del Ministerio del Medio Ambiente en el año 2023 es un indicio claro de que esta problemática está siendo reconocida y atendida por las Autoridades. Sin embargo, se debe destacar que el cumplimiento de esta normativa y la implementación de tecnologías de abatimiento de olores no garantizan completamente la eliminación de los eventos de olor que pueden afectar a las comunidades cercanas a los planteles porcinos.

En esta perspectiva, la investigación de los parámetros operacionales, que garanticen el adecuado desempeño de las tecnologías de reducción de olores adquiere una importancia crucial. Un análisis profundo y comprensivo de estos parámetros permitirá detectar posibles desviaciones en los rangos de los parámetros operacionales, identificar aquellos que resultan críticos y proponer cuáles de ellos podrían ser monitoreados en tiempo real para lograr una reducción efectiva de las emisiones de olores.

Además, el hecho de que la normativa no especifique los parámetros operacionales a reportar a la autoridad fiscalizadora representa una oportunidad para el desarrollo de esta investigación. Al proporcionar información valiosa sobre los parámetros relevantes, este trabajo contribuirá a la ejecución efectiva de las tecnologías relacionadas con emisiones de olor y a la medición adecuada del cumplimiento normativo, lo que se traducirá en beneficios tanto para las comunidades cercanas a los planteles porcinos como para el sector porcino en su conjunto.

En resumen, la relevancia de este trabajo radica en su potencial para abordar un problema ambiental y de salud pública significativo en la industria porcina en Chile. La investigación propuesta permitirá avanzar hacia un control más efectivo de los olores generados por estos establecimientos, mejorando la calidad de vida de las personas y promoviendo un desarrollo sostenible y responsable en el sector.

1.2. Problema

En la sociedad actual, se ha reconocido que los olores que generan molestias representan elementos perturbadores para la salud humana, entendida en el contexto del "completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades" (OMS, 1948). Consciente de la relevancia de este problema y considerando casos emblemáticos en Chile, el Ministerio del Medio Ambiente (2023) ha

promulgado la primera norma de olores para el sector porcino del país, estableciendo directrices claras para los planteles porcinos con el objetivo de reducir y regular las emisiones odorantes. Esta normativa busca mejorar la calidad de vida de las personas que residen cerca de estos establecimientos en Chile.

A pesar de que la normativa establece límites de olor y promueve el uso de tecnologías en cada uno de los procesos unitarios para cumplir con los requisitos, surge un problema significativo: los eventos de olor pueden persistir y afectar igualmente a la comunidad cercana debido al mal funcionamiento u operación de estas tecnologías. Por consiguiente, es esencial llevar a cabo una investigación que analice en detalle los parámetros operacionales que aseguren el correcto funcionamiento de las tecnologías emisoras de olores. Esta investigación adquiere aún mayor relevancia dado que, aunque la primera norma de olores en Chile establece la obligatoriedad de su implementación, no especifica los parámetros operacionales que deben reportarse a la autoridad encargada de la fiscalización. En este contexto, se pretende abordar esta laguna de conocimiento con el propósito de proponer parámetros operacionales en línea y soluciones que garanticen el adecuado rendimiento de las tecnologías de abatimiento y, en consecuencia, atenuar el impacto del olor en la comunidad aledaña a los planteles porcinos en el país.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Establecer una propuesta inicial de parámetros operacionales en línea para planteles porcinos, por tecnologías relacionadas con la emisión de olor, para cumplimiento de exigencia de la Norma de Emisión de Olores para Planteles Porcinos DS N°9/22.del MMA.

Objetivos específicos

- Examinar la situación actual en los planteles de porcinos en Chile, respecto al monitoreo continuo en equipos relacionados con la emisión de olores debido a la entrada en vigor del D.S. N°9/2022 del MMA.
- Identificar los parámetros operacionales medibles en línea por equipo emisor de olor para la mitigación de impactos, que deberán ser reportables para cumplimiento de exigencia del D.S N°9/22 del MMA.
- Realizar propuesta de parámetros operacionales en línea para planteles porcinos por tecnología relacionadas con la emisión de olor.

2. ANTECEDENTES

2.1. Olor

El olor según la Norma Chilena 3190:2010 se entiende como la propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando inspira determinadas sustancias volátiles es decir es la cualidad de una sustancia para activar el sentido del olfato humano (SEIA, 2017).

Los seres humanos presentan un sentido del olfato muy sensible, logra detectar diversas sustancias presentes en el ambiente en concentraciones muy bajas; por ello, es complejo el proceso de percepción, ya que se encuentra condicionado por múltiples factores. Según la NCh 3190 (Instituto Nacional de Normalización, 2010) el humano puede diferenciar alrededor de 10.000 olores con diferentes calidades.

Ahora bien, es posible distinguir el olor simple y el olor compuesto: El “olor simple” es el que percibe el olfato como consecuencia de la emisión de un compuesto químico o sustancia olorosa determinada (Servicio de

Evaluación Ambiental, 2017). Por ejemplo, el ácido sulfhídrico (H_2S) es una sustancia olorosa.

El “olor compuesto” es el que se percibe como consecuencia de la mezcla de más de un olor simple. En la mezcla de sustancias olorosas pueden producirse fenómenos de sinergias, interferencias e inhibiciones y, por lo mismo, en la percepción del olor compuesto, no siempre es fácil definir y atribuir las moléculas que lo causan (García A. I., 2012).

2.1.1 Tono de Olor Hedónico

Es el efecto de un olor, que es registrado en una evaluación clasificatoria del estímulo entre los extremos de “muy agradable” y “muy desagradable” (ECOTEC, 2013); es decir, según el Servicio de Evaluación Ambiental (2017) un juicio de categoría del placer o no placer, relativo del olor y se refiere a las asociaciones mentales hechas por el sujeto al percibirlo, en forma cualitativa (negativo o positivo) en una escala que va desde 4 (muy agradable) a -4 (muy desagradable) siendo el cero un olor neutral. La metodología para medir el tono hedónico se describe en la norma alemana VDI 3882 Blatt 2:1994-09 (1994)

2.2. Parámetro operacional

Un parámetro operacional se aplica a procesos basados en técnicas y utilización de herramientas para diagnosticar los problemas. Estos procesos suelen comenzar con la recopilación de datos, historia de producción e instalaciones de superficie. Usando los datos obtenidos se evalúa el sistema para identificar alteraciones (Andrade, 2016).

2.3. Planteles porcinos

Corresponde a un grupo de animales porcinos, con un mismo sistema productivo y administrativo, y que se encuentran en una o más unidades físicas territoriales denominadas sectores (SAG, 2019) .

2.3.1 Fuente emisora

Se considera como fuente emisora todo plantel porcino cuya cantidad de animales sea un número igual o superior a setecientos cincuenta (750), cuyo espacio físico conste de uno o más sectores de crianza, engorda y/o reproducción de porcinos, operado en forma técnica y administrativamente común, sea que compartan o no un sistema de tratamiento. En caso de que se comparta un sistema de tratamiento por dos o más fuentes emisoras, y que no esté dentro de los sectores que componen dichas fuentes emisoras, las emisiones se imputarán a quien aporta una mayor proporción de purines (todo tipo de residuo de orgánico)

Para determinar si un plantel porcino tiene la calidad de fuente emisora, solo deben considerarse aquellos animales porcinos cuyo peso sea superior a 25 kilos (DS N°9/22 del MMA art 3 letra c).

Fuente emisora pequeña

Aquella fuente emisora cuya cantidad de animales porcinos sea un número igual o superior a 750 e inferior o igual a 25.000 (DS N°9/22 del MMA art. 3 letra d).

Fuente emisora mediana

Aquella fuente emisora cuya cantidad de animales porcinos sea un número superior a 25.000 e inferior o igual a 50.000 (DS N°9/22 del MMA art 3 letra e).

Fuente emisora grande

Aquella fuente emisora cuya cantidad de animales porcinos sea un número superior a 50.000 (DS N°9/22 del MMA art 3 letra f).

2.4. Historia de la contaminación odorífera

En Chile se reconoce que la contaminación odorífera es un problema para la salud de las personas y de tipo medioambiental, lo que produce tanto perturbaciones psíquicas como sociales.

Se han presentado casos emblemáticos con episodios de olores, como lo fue el conflicto socioambiental con la empresa Agrosuper en Freirina, Región de Atacama en el año 2012, también se encuentra el caso de la Agrícola COEXCA S.A., del Plantel Porcino San Agustín del Arbolito”, ubicado en la comuna de San Javier; la problemática se habría ocasionado por la omisión de implementación de medidas de control del sistema de riego con digestato (Superintendencia de Medio Ambiente, 2021) Según ChileCarne (2019) el riego con digestato consiste en mezclar purines de cerdos con agua de riego y utilizar dicha mezcla como fertilizante.

Se pueden nombrar muchos casos relacionados con la emisión de olores en Chile, pero para efectos de este proyecto, se describirá a modo de ejemplo el caso emblemático ya mencionado de Freirina.

Las Autoridades que en 2005 otorgaron al megaproyecto de Agrosuper una Resolución de Calificación Ambiental positiva, las que no contaban con las capacidades para monitorear o fiscalizar los problemas que surgieran de esa industria (cifelli, 2020).

Los olores se produjeron porque la planta de tratamientos de purines no funcionó de la manera correcta. Los olores aparecían en horarios específicos, pero con el tiempo comenzaron a sentirse con más frecuencia, Empezaron a presentarse problemas de salud como náuseas, vómito, diarrea, cefalea, mareos y desmayos (Cerde, 2022).

Según el estudio realizado por la consultora norteamericana Wenck Associated y la Universidad de Minnesota (USA), explican que las falencias son la falla de los aireadores de la planta de tratamiento de purines y agua del complejo agroindustrial que criaba a 480 mil cerdos.

Los otros focos corresponden a los pozos homogeneizadores, que juntaban los purines de los animales; las canchas de compostaje y el traslado de los cerdos, que aún se realiza sólo en camiones enjaulados sin ningún filtro (Malla, 2012).

Desde el problema socioambiental generado en Freirina, el Ministerio del Medio Ambiente ha impulsado desde 2014 la implementación de la Estrategia para la Gestión de Olores en Chile. Esta fue actualizada en 2017 y contiene importantes avances en materia de regulación, entre ellos, contiene dentro de sus pilares, el fortalecimiento regulatorio de olores de cinco sectores prioritarios (Ministerio de Medio Ambiente, 2022).

Tras los diversos casos de conflictos socioambientales, fin en Chile el Ministerio de Medio Ambiente promulgó la primera norma de olores que regula los olores en los planteles porcinos.

2.5. Efecto del olor en la salud de las personas

Según la OMS (1948) la salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades,

en este caso la contaminación odorífera genera malestar a nivel, tanto físico como mental.

Como indica el Ministerio de Medio Ambiente (2022) entre los efectos que los olores molestos generan en la salud de las personas se encuentra insomnio, mal humor, dolor de cabeza, irritación de las mucosas, estrés, náuseas y vómitos. Dichos efectos alteran la calidad de vida de las personas y, en consecuencia, su salud.

La molestia consiste en un efecto acumulativo, la cual se debe a eventos repetidos de malestar durante un período prolongado de tiempo; la población no suele percibir malestar físico causado por los síntomas indicados anteriormente, sino que suele tratarse de una situación estresante por la molestia que ocasiona (Envirometrika, 2019).

Existen diversas fuentes identificadas como emisoras de agentes, tanto biológicos como químicos que tienen el potencial de generar olores molestos en las poblaciones expuestas, que podrían determinar efectos perjudiciales en su salud o en la calidad de vida. Según Fortt (2012) dentro de los sectores prioritarios de emisiones de olor se identifica la operación concentrada de alimentación animal (siglas en inglés CAFO, Concentrated Animal Feeding Operations, entendidas como procesos productivos de crianza de animales con sistemas intensivos) como la principal fuente emisora de malos olores en las que se han evaluado efectos en salud y en calidad de vida.

En concreto, y con relación a la cría intensiva de animales, los olores derivados son generados por múltiples compuestos, entre ellos el amoníaco (NH_3), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S).

2.6. Actividades generadoras de olor en Chile

Se identifican a nivel país al menos 12 actividades potencialmente emisoras de olor (MMA, 2017), las que son susceptibles de generar molestia, de acuerdo con las particularidades en el tipo de emisión, dispersión y respuesta del receptor. Sin embargo, se hace necesario establecer una priorización de estos sectores o fuentes emisoras. Para esto, se han definido los siguientes criterios:

- Actividades con mayor número de denuncias
- Actividades con mayor número de instalaciones
- Actividades involucradas en conflictos socio-ambientales debido a olores.

2.6.1 Actividades con mayor número de denuncias

De lo que va del 2023 la SMA ha recibido un total de 201 denuncias por olores a planteles porcinos (Superintendencia de Medio Ambiente, 2023).

Las principales fuentes emisoras que fueron denunciadas son, en primer lugar, el sector agroindustrial, en segundo lugar, están “Otros” sectores, el que se compone de: equipamiento, infraestructura de transporte, instalaciones fabriles varias, minería, transporte y almacenaje, vivienda e inmobiliario, seguido de fuentes emisoras de olores en el sector de saneamiento industrial, como plantas de tratamiento de aguas servidas y sitios de disposición final de residuos, finalmente en el cuarto y quinto lugar se encuentran los sectores pesquero y forestal respectivamente.

2.6.2. Actividades con mayor número de instalaciones

Las actividades que encabezan el listado de actividades potencialmente generadoras de olor respecto al número de instalaciones son: crianza y engorda de animales, plantas de tratamiento de aguas servidas, pesqueras y sitios de disposición final de residuos. Estas actividades engloban un 85% del total de las instalaciones. El resto de las actividades engloban el 15% de instalaciones restantes (AQUALOGY,2014).

2.6.3. Actividades involucradas en conflictos socio-ambientales debido a olores

En cuanto a las denuncias referidas a los sectores industriales, se identificó que alrededor 18% corresponde al sector Agroindustrial con un (206) que corresponde a las categorías económicas de planta procesadora de productos agrícolas, plantel de cerdos, plantel de aves, elaboración de productos lácteos, matadero / frigorífico, entre otras (SMA, 2020).

2.7. Definición de sectores prioritarios.

Según el Ministerio del Medio Ambiente (2017) dentro de las actividades potencialmente generadoras de olor se identifican 5 sectores prioritarios, los que se caracterizan por: poseer mayor número de denuncias por olores molestos, presentar un considerable número de instalaciones a lo largo del país que generan olores molestos, y/o han presentado conflictos socio-ambientales. Estos sectores corresponden a:

1. Plantas de tratamiento de aguas servidas.
2. Plantas de harina de pescado.
3. Planteles porcinos.
4. Plantas de celulosa.

5. Sitios de disposición final de residuos.

2.8. Caracterización del sector porcino

El desarrollo en Chile de la industria relacionada con la crianza masiva de animales para la producción de carne, así como otras actividades relacionadas con la industria de alimentos para consumo humano y animal, ha determinado que los problemas de malos olores que dichas actividades generan por su operación normal sean cada vez más relevantes en las comunidades cercanas a estos centros productivos.

En concreto los planteles de porcinos son recintos en los cuales se lleva a cabo la reproducción, gestación, maternidad, recría, crianza y engorda de animales para la posterior producción de carne mediante faenación correspondiente a otro proceso productivo.

Según la (Fundación para la transferencia tecnológica, 2005) la cría intensiva de ganado porcino incluye la gestión y el manejo de varias fases de producción con diferentes tipos de animales y necesidades. Partiendo de un colectivo de hembras reproductoras se obtienen los lechones que son criados y cebados hasta alcanzar el peso de sacrificio, habitualmente 100 kg. A cerca de las explotaciones ganaderas de porcinos éstas cuentan con alojamientos e instalaciones específicas adaptadas para los requerimientos de cada tipo de animal, teniendo en cuenta la fase fisiológica y productiva en la que se encuentra.

De acuerdo con fundación para la transferencia tecnológica (UNTEC, 2005), la cadena del proceso productivo consta de las siguientes etapas:

1. Sector Monta: Sector en que ingresan hembras antiguas y chanchillas, en donde permanecen hasta ser preñadas por monta

natural o inseminación artificial. Aquí también se encuentran los machos reproductores.

2. Sector Hembra Preñada: Corresponde a la sala de gestación donde las hembras preñadas permanecen alrededor de 114 días en corrales individuales.
3. Sector Maternidades: Pocos días antes del parto las hembras son trasladadas a este sector.
4. Sector Cría: Los cerditos destetados son ingresados a jaulas de crías de piso elevado y temperadas (25°C).
5. Sector Recría: Cumplidos los 45 días de vida son trasladados a jaulas en piso. Al día 60 alcanzan un peso entre 25 a 30 kg.
6. Sector Engorda: En los 90 días siguientes, los cerdos alcanzan los 95 a 100 kg de peso.

El sector porcino nacional, representado en la gran mayoría de los planteles porcinos por la asociación gremial de productores de cerdos de Chile (ASPROCER), ha desarrollado diversos proyectos para avanzar en los distintos desafíos para lograr una producción más sustentable.

Una de las iniciativas recientes que dan cuenta de cómo el sector productor porcino ha ido enfrentando sus desafíos de sustentabilidad, se trata del Proyecto PYME Porcina que busca promover el uso de tecnologías energéticas y ambientales para el tratamiento de purines de cerdo, en empresas de menor tamaño, que permitan una producción sostenible en el largo plazo, mediante la reducción de las emisiones de olores, gases de efecto invernadero y amoníaco, compatibilizando la actividad con las comunidades aledañas (Acuña et al., 2019).

La Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile (ASPROCER), adhiere al Programa Chile Origen Consciente (ChOC), liderado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) perteneciente

al Ministerio de Agricultura que busca potenciar la producción sostenible de alimentos.

Según ChOC su objetivo es añadir valor a la industria, apoyando y dando soporte a las empresas socias en materias de gestión sanitaria, inocuidad, comercio exterior, promoción internacional, fomentando el uso eficiente de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente de manera socialmente responsable, con énfasis en la inserción del sector porcino en el mercado global. Es en ese contexto es que el sector decide trabajar en el primer estándar de sustentabilidad para la producción porcina chilena, el cual es concebido como una hoja de ruta para abordar las 5 dimensiones de la sustentabilidad definidas por la Organización Internacional de Comercio (ITC): Ética, Social, Administración, Calidad y Ambiental (Chile Origen Consciente, s.f).

En el área ambiental en emisiones se crean planes de gestión de olores (PGO) en la empresa documentado e implementado, cuyo alcance incluye al sector evaluado.

Su aplicación es de carácter voluntario, y es complementario a otros instrumentos de carácter ambiental y a futuras normas de emisión que se dicten (Ministerio de Medio Ambiente, 2019).

Este Plan contiene al menos, lo siguiente:

- a) Identificación de las fuentes de olor en el proceso productivo (instalaciones, almacenamiento y aplicación) y tiempos de residencia.
- b) Análisis y definición de estrategias de control / minimización de olores.
- c) Un programa de seguimiento y control que incluya un sistema de reporte de observaciones de olor de parte de la ciudadanía.
- d) Protocolo de respuesta para la gestión de contingencias y reclamos.
- e) PGO con asignación de responsable y recursos.

El sector tiene identificado su catastro de receptores y su distancia desde perímetro del plantel, esto se verifica con un catastro documentado además en su gestión de olores el sector debe de contar con la siguiente infraestructura con el fin de minimizar las emisiones de olor y verificarse de forma visual.

- a) Red de canales cubiertas o tuberías de conducción del purín desde pabellón a pozo homogeneizador.
- b) Cubiertas en los pozos homogeneizadores.
- c) Cobertizo y paredes en la etapa de separación sólido-liquido del purín.
- d) La fracción sólida acumulada se encuentra en pilas y tapada, a excepción de los estabilizados (MMA, 2020).

2.9. Marco normativo en Chile para el sector porcino

El año 2014, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), presentó la Estrategia para la Gestión de Olores en Chile para el periodo 2014-2017, durante la implementación de la Estrategia, se avanzó en la estandarización de metodologías de medición de olores a través de normas técnicas; se ha evaluado técnica y jurídicamente propuestas de regulación de olores, cuyo objetivo es fortalecer el marco regulatorio a través de medidas en el corto, mediano y largo plazo que permitan cuantificar, controlar y prevenir la generación de olores, abordando la gestión del tema con un enfoque integral (Fernandez, 2016).

En el ámbito de la protección medioambiental, la responsabilidad de establecer normativas y planes de prevención y descontaminación atmosférica recae en el Ministerio del Medio Ambiente. Por otro lado, en lo que respecta a ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización, estas son llevadas a cabo por la Superintendencia de Medio Ambiente,

organismo que opera a través de las resoluciones de calificación ambiental (RCA). Además de ello, el Ministerio de Salud juega un papel fundamental al garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Código Sanitario.

En el año 2017 entra en vigencia el Plan de Descontaminación y Prevención Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana, donde se contemplan medidas para el sector agropecuario con el objetivo de reducir las emisiones de amoníaco (NH_3), debido a que es precursor de material particulado fino ($\text{MP}_{2,5}$), lo anterior, conlleva como co-beneficio la reducción de olores, en actividades de crianza de animales, cerdos, aves broiler, aves ponedoras (Fernández, 2016).

En el caso de la autoridad sanitaria se establece que por medio del CODIGO SANITARIO D.F.L. N° 725/67 éste deberá eliminar o controlar los factores, elementos o agentes del medio ambiente que afecten la salud, la seguridad y el bienestar de los habitantes como el caso de la emisión de olores en conformidad a las disposiciones Código Sanitario y sus reglamentos.

En el caso de la SMA fiscaliza aquellos proyectos y/o actividades que se encuentren afectos a instrumentos de carácter ambiental, incluyendo Resoluciones de Calificación Ambiental, Planes de Prevención y/o de Descontaminación Ambiental, las Normas de Calidad Ambiental, las Normas de Emisión, y todos aquellos otros instrumentos de carácter ambiental establecidos (SMA, 2023).

Actualmente la Norma de Emisión de Contaminantes en Planteles Porcinos es la primera norma ambiental de olores, además, el Ministerio del Medio Ambiente ya ha avanzado con el inicio de la elaboración de la segunda y tercera norma de olores en otros sectores prioritarios.

El DS N°9/2022 del MMA, es la primera normativa sobre emisiones de olores, aplicable al sector porcino, tiene como objetivo primordial la mejora de la calidad de vida de la población, logrando la reducción de las emisiones de olor en los planteles porcinos mediante la implementación de estándares más rigurosos en cuanto a tecnologías y prácticas operacionales.

Esta norma se estructura en tres categorías que abarcan planteles de diferentes tamaños: pequeños, medianos y grandes. En el caso de los planteles pequeños y medianos, se les exigirá la reducción de las emisiones de olor en las fuentes que históricamente han sido identificadas como las de mayor impacto. En lo que concierne a los planteles de gran envergadura, se establece un límite máximo de impacto de olor que debe ser cumplido.

Para los nuevos planteles porcinos, se establecen límites de impacto de olor en función de su tamaño productivo y se les obliga a implementar mejoras tecnológicas desde el primer día de operación. Adicionalmente, se requerirá a todos los planteles porcinos mantener buenas prácticas operacionales que minimicen la ocurrencia de eventos de olor, y se les impondrá la obligación de mantener un control operacional en línea para asegurar el correcto funcionamiento de sus sistemas.

La supervisión y fiscalización de esta normativa recae en la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), entidad encargada de verificar el cumplimiento de las exigencias establecidas por la regulación en todos los planteles porcinos del país.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Producción industrial ganadera

La industria ganadera es la actividad de cría y explotación de animales domésticos, ya sean vacunos, porcinos y ovinos, entre otros, para el beneficio humano (Durán, 2021).

En diversos países del mundo, la demanda cada vez mayor de productos animales se satisface en gran medida mediante la producción ganadera a gran escala y sus correspondientes cadenas de suministro (FAO, 2023). El sector ganadero es vital para la supervivencia de más de mil millones de personas en todo el mundo, y para el 70% de los 880 millones de pobres que habitan en zonas rurales y viven con menos de un dólar diario, la ganadería es una fuente de ingresos importante o incluso crucial (FAO, 2023). En América Latina, el sector ha experimentado un crecimiento anual del 3,7%, superando la tasa de crecimiento global promedio del 2,1%. Recientemente, la demanda total de carne aumentó en un 2,45%, con una mayor demanda de carne de ave (4,1%) y carne de cerdo (2,67%), mientras que la demanda de carne vacuna disminuyó ligeramente (-0,2%) (FAO, 2023).

Por lo anterior millones de pequeños productores y pastores dependen de la cría de animales para su supervivencia. Además de producir alimentos, la cría de animales desempeña una serie de funciones y servicios importantes, tanto económicos como culturales y sociales. Los animales son un elemento fundamental de los sistemas agrícolas y ecológicos (FAO, 2023).

3.2. Producción industrial porcina

Se define la porcicultura o industria porcina como una rama de la Zootecnia que se dedica a la cría, reproducción y producción de cerdos, abarcando aspectos como la alimentación, la sanidad, la genética y otros factores importantes que contribuyen a la producción de carne de cerdo. Su

objetivo principal es garantizar la calidad óptima de la carne para el consumo humano (Euroinnova, 2023).

El cerdo doméstico "*Sus scrofa doméstica*" ha sido domesticado a lo largo del tiempo mediante una combinación de mutaciones, selección y adaptación, lo que ha dado lugar a cambios morfológicos significativos en la especie (FAO, 2010). Estos procesos han sido fundamentales para satisfacer la creciente demanda de productos cárnicos por parte de la población humana (FAO, 2010). Además, la gran capacidad de adaptación del cerdo doméstico a diversas condiciones climáticas ha sido una ventaja importante en el creciente éxito de la industria porcina, esto ha permitido que la explotación de cerdos se haya expandido con éxito en la mayoría de los países de todos los continentes del mundo, y ha dado lugar a una creciente industrialización de la industria porcina a lo largo de los años (FAO, 2000).

El sector porcino a nivel global es dinámico, con un importante crecimiento y buenas proyecciones. La producción de carne de cerdo se ha duplicado en las últimas tres décadas y se proyecta que su demanda aumente 32% al 2030 (FAO, 2018).

Para cumplir con tal demanda, tanto nacional como mundial, es que se ha ido cambiando la forma en que se crían los animales en las granjas a sistemas más intensivos (Fraser, 2008), con la adopción cada vez mayor de sistemas de confinamiento (Thornton, 2010). Este tipo de sistemas genera actitudes negativas de parte de los consumidores y público general, ya que las personas rechazan aquellos sistemas que suelen priorizar la eficiencia productiva por sobre el bienestar animal (Lassen, 2006). El rechazo del público ha llevado al desarrollo de acciones de regulación y de la industria asociadas con el cuidado de los animales en la granja, durante el transporte y en el matadero (Von Keyserlingk, 2015).

En Chile, la cría de cerdos se destaca por su enfoque altamente intensivo y por el uso de tecnología avanzada, además de estar integrada verticalmente en cada etapa de la cadena de suministro y controlada por un pequeño número de actores (Acuña, 2019).

De acuerdo con la Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile (ASPROCER), la industria porcina está enfocada en la exportación con un 75% de su producción, la cual representa hoy el 37% de la producción de carnes de Chile, encontrándose habilitada para exportar a 64 países. El año 2021 la carne de cerdo representó el 38% del total de carnes producidas en el país con 590 mil toneladas vara (ASPROCER, 2022).

Durante el transcurso del 2021, se experimentó un aumento del 37% en el consumo de carne de cerdo, logrando alcanzar la cifra de 367 mil toneladas vara. Esto equivale a un 23% del consumo global de carnes, lo que se traduce en una cantidad per cápita de 18,7 kg por persona al año. Como resultado, la carne de cerdo se posiciona como la tercera carne más popular entre las familias chilenas (ASPROCER, 2022).

3.3. Olores y su impacto ambiental (Socioambiental)

3.3.1. Percepción, y el Malestar por Olor

La emisión de moléculas odoríferas al medio ambiente por actividades humanas e industriales se considera una forma de contaminación del aire que puede resultar en olores desagradables (Ramos, 2017).

En relación con la presencia de olores desagradables puede tener un impacto en la salud y bienestar de las personas, incluso en niveles de exposición que no causan efectos fisiológicos o patológicos. Estos trastornos están relacionados con el estrés y pueden manifestarse como problemas respiratorios, dolores de cabeza o trastornos del sueño.

Además, el sentido del olfato es importante para evaluar y entender nuestro entorno, nuestra comida y las personas que nos rodean. Si perciben un olor desagradable en el entorno personal, es difícil ignorarlo y puede llevar a una evaluación negativa de todo el entorno. Dado que la respuesta más común es alejarse o intentar eliminar la fuente del olor (ECOTEC, 2013).

La tesis de (Cavalini, 1992) analiza los factores fisiológicos, psicológicos y sociológicos que contribuyen a la aparición del malestar causado por olores. Con respecto a la exposición a olores que se perciben como negativos se considera un factor de estrés ambiental que requiere una respuesta por parte del individuo. En este proceso, se llevan a cabo dos procesos mentales:

1. Percepción sensorial: implica que el cerebro procesa la información recibida para determinar su importancia. Para hacerlo, el cerebro conecta la información nueva con la almacenada en la memoria, como recuerdos de experiencias pasadas relacionadas con ese mismo olor y el contexto actual del comportamiento. La detección y evaluación del olor se realiza en un corto período de tiempo, generalmente en cuestión de segundos o minutos.
2. Estrategia de afrontamiento: implica que la persona se ajuste a una situación que percibe como estresante a través de acciones tanto cognitivas como de comportamiento. Durante el proceso, se produce una interacción dinámica entre la percepción y el afrontamiento. Ahora bien, existen dos principales formas de afrontamiento, una de ellas está dirigida al origen, la cual intente controlar el problema desde la acción, buscando eliminar la causa de generadora de la tensión. También se encuentra el afrontamiento basado en la emoción, esta se centra en la

negación y buscar distracciones, las cuales dirijan la atención a otros escenarios.

Por otro lado, los malos olores emitidos por las grandes instalaciones de producción animal y las plantas de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, provocan irritación de los ojos y la garganta, dolor de cabeza, náuseas, diarrea, ronquera, dolor de garganta, tos, opresión en el pecho, congestión nasal, palpitaciones, falta de aliento, estrés, somnolencia y alteraciones en el estado de ánimo (Envirometrika, 2019).

Tabla 1: Niveles de exposición de olor asociados a potencial es efectos de salud.

Nivel	Descripción
(1) detección del olor	Nivel al que el olor se diferencia del aire ambiente.
(2) reconocimiento del olor	Nivel al que el olor puede caracterizarse (ejemplo; reconocer si el olor es manzana o estiércol).
(3) molestia de olor	Nivel al cual un olor molesto al individuo, pero no muestra o percibe reacción física. Nota: No se esperan síntomas de salud en estos 3 primeros niveles a menos que el olor se produzca con un contaminante como el polvo, como en el Mecanismo 3, o que el nivel de molestia sea intenso o prolongado.
(4) intolerancia al olor (causa síntomas somáticos)	Nivel en el cual un individuo puede mostrar o percibir síntomas físicos (somáticos) de un olor. Nota: Este nivel corresponde al Mecanismo 2 en el que el olor induce síntomas a pesar de que la concentración de olor es inferior a la que se sabe que causa irritación.
(5) percepción de irritación	Nivel en el que un individuo indica irritación o síntomas somáticos como consecuencia de la estimulación del nervio que termina en el tracto respiratorio.

(6) irritación somática	Nivel en el cual un odorante (no un olor) resulta en una reacción física negativa sin importar la predisposición de un individuo. Esto puede ocurrir cuando un compuesto oloroso (por ejemplo, el cloro) daña el tejido. Nota: La irritación percibida y somática corresponde al Mecanismo 1.
(7) toxicidad crónica	Nivel al que un odorante puede producir efecto sobre la salud a largo plazo.
(8) toxicidad aguda	El nivel en el que se experimenta un efecto tóxico inmediato (por ejemplo, un solo evento puede evocar un efecto agudo en la salud). Nota: En el caso de toxicidad crónica o aguda, el compuesto no debe considerarse un odorante, sino más bien un compuesto con efectos tóxicos que resulta tener un olor.

Fuente 1: Adaptado de Schiffman et al. 2000.

En cuanto a los costos ambientales, los impactos y las acciones asociadas con "olores" pueden subdividirse en diferentes categorías. Muchos de estos costos, como gastos médicos o legales, se producen como resultado directo de las respuestas que la gente hace para hacer frente a los olores "ofensivos". Estos son costos intencionales que la gente elige incurrir para aliviar el negativo impactos de los olores. Sin embargo, hay otros costos, importantes, como la devaluación de la propiedad y la interferencia con el desarrollo de la comunidad, que no están directamente relacionadas con lo intencional. Estos son los costos de las oportunidades perdidas, y son impuestos por el sistema. Son los costos más difíciles de cuantificar y proyectar en el futuro.

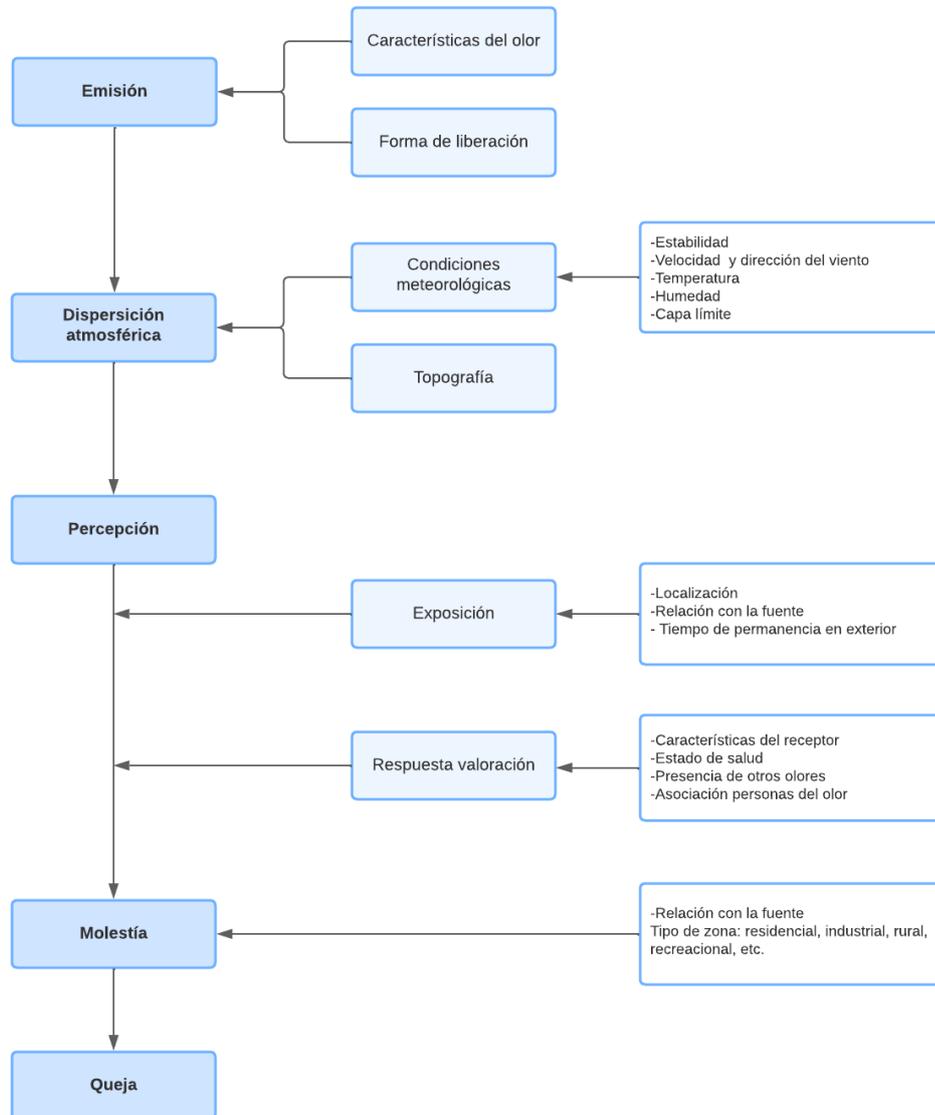
3.3.2. Generación de olores en los planteles porcinos

En la producción porcina, los olores provienen principalmente del almacenamiento de purines en pabellones, sistemas de tratamiento y aplicación en el suelo (EPA, 2001). El olor detectado es consecuencia de una combinación compleja de compuestos presentes en el aire, tales como alcoholes, aldehídos, aminas, ácidos carboxílicos, ésteres, cetonas, sulfuros orgánicos, terpenos, compuestos aromáticos, ácido sulfhídrico o H_2S , amoníaco o NH_3 , y otros elementos adicionales (Blanes-Vidal V., 2009).

La generación de olores en el purín animal se origina debido a una descomposición anaeróbica incompleta de materia orgánica, principalmente proteínas e hidratos de carbono fermentables presentes en el alimento (Mackie, 1998). La relevancia de la composición del alimento en la producción de olores se debe a que cuando se emplea una dieta rica en nutrientes como nitrógeno y azufre, se generan principalmente gases amoniacaes y sulfurados como resultado de la descomposición de excretas y purines (Peralta, 2005). Las proteínas son las sustancias que dan origen a los compuestos sulfurados, indólicos, fenólicos, ácidos grasos volátiles (AGVs), amoníaco (NH_3) y aminas volátiles presentes en el estiércol (Mackie, 1998).

El siguiente mapa conceptual representa de manera concisa la trayectoria de la emisión de olor, dispersión y respuesta al olor (SEA, 2017), el cual comienza con la formación de sustancias odorantes y finaliza con la recepción de quejas por parte de la comunidad (Ortiz, 2012).

Mapa conceptual 1: Proceso de emisión, dispersión y respuesta humana al olor



Fuente 2: SEA, 2017

En específico los residuos de cerdos comienzan a descomponerse inmediatamente después de su excreción, lo que puede generar compuestos volátiles tóxicos si se alcanzan ciertas concentraciones, la fermentación aeróbica en las capas profundas produce un aumento moderado de la temperatura y la emisión de gases, como dióxido de carbono, amoníaco, monóxido de carbono, metano y sulfuro de hidrógeno, que es el principal responsable del olor desagradable a huevo podrido. Además, se pueden

encontrar otros compuestos orgánicos volátiles (COVs) que contribuyen a la emisión de olores en pequeñas cantidades (Martínez, 2019).

3.4. Planteles porcinos

La cría y producción de cerdos en la industria porcina abarca diversas actividades que incluyen la reproducción, el cuidado y alimentación de los animales, la gestión y eliminación de los residuos generados y el traslado de los productos resultantes (Bustos, 2007).

3.4.1. Sistemas de producción:

3.4.1.1. Producción al aire libre:

Los sistemas de producción a campo bien gestionados son conocidos por presentar un bajo impacto ambiental. Esta afirmación se sustenta en la reducción de la presencia de moscas y olores desagradables, así como en la facilidad para manejar los residuos orgánicos. En dichos sistemas, el ganado tiene libertad para deambular y distribuye sus excreciones de forma natural, lo que evita la necesidad de recoger el estiércol. El manejo de los residuos se enfoca en evitar la saturación del suelo con los mismos, lo cual puede provocar contaminación difusa. Por consiguiente, este método de producción en pastoreo no exige un proceso posterior de los residuos, siempre y cuando se cumplan ciertos requisitos que garanticen su viabilidad ambiental (Vicari, 2012). Es importante prevenir los peligros relacionados con la erosión del suelo y la contaminación de cuerpos de agua que pueden ocurrir si se permite el acceso directo a ellos (Peralta, 2005).

3.4.1.2. Producción estabulada abierta:

La crianza de ganado porcino estabulada abierta, (llamada *Deep Bedding*, cama profunda o cama caliente), se refiere a una alternativa en la que los animales son criados en pabellones con camas hechas de diferentes

materiales, como rastrojo de maíz o trigo, cascaras de arroz, papel triturado, arena o una mezcla de ellos (INIA, s.f).

En este sistema de producción, se diseñan galpones sin piso de concreto o fosa, lo que reduce los problemas ambientales y los costos de inversión. En lugar de eso, el piso es de tierra, lo que permite que los residuos se filtren adecuadamente y reduzcan significativamente el uso de mano de obra en la limpieza y el manejo, así como el consumo de energía y agua (Vicari, 2012). Además, todas las excretas de los animales son retenidas por una capa de material vegetal y retiradas como residuo sólido cuando el grupo es trasladado a otra etapa de crianza o alcanza su peso final para el sacrificio (Peralta, 2005).

3.4.1.3. Producción convencional estabulada confinada:

Este sistema consiste en mantener a los animales en recintos con pisos de rejilla, los cuales se limpian a diario. Como resultado, se genera una solución líquida conocida como efluente o purín, que contiene las excreciones líquidas y sólidas de los animales, así como agua utilizada para el lavado de los pisos y consumo de los animales (Vicari, 2012).

En este sistema, se utilizan dos métodos para mantener limpios los pabellones:

1. Sistema Flush: El método se lleva a cabo mediante la descarga periódica de agua limpia o reciclada desde estanques de volteo, ya sean manuales o automáticos. Esta operación puede realizarse entre una y doce veces al día (Rebolledo, 2003).
2. Sistema PIT: Implica la acumulación de los purines en una fosa durante un período determinado de tiempo, para luego ser descargados periódicamente, lo cual generalmente ocurre cada 7 días. Una vez que los purines han sido descargados, se recarga la fosa con agua nueva o reciclada para su posterior acumulación

(Bustos, 2012). Los purines aislados del plantel posteriormente son enviados al sistema de tratamiento (Peralta, 2005).

Por otra parte, se puede encontrar otro tipo de sistema de limpieza para los sistemas de producción descritos anteriormente, entre ellos:

Sistema Rastra: El método implica la instalación de losetas ranuradas (también conocidas como "slats") en el piso de los pabellones. Estas losetas permiten que los purines se evacuen fácilmente hacia canales ubicados en un nivel inferior. Se utilizará la tecnología "scrapers" en estos canales, lo que implica el uso de palas metálicas mecanizadas para arrastrar los purines a través de los canales del pabellón. Además, este sistema reduce la carga microbiana para el control de la exposición de cerdos a agentes patógenos (Dirección Nacional de Sanidad Animal, 2017).

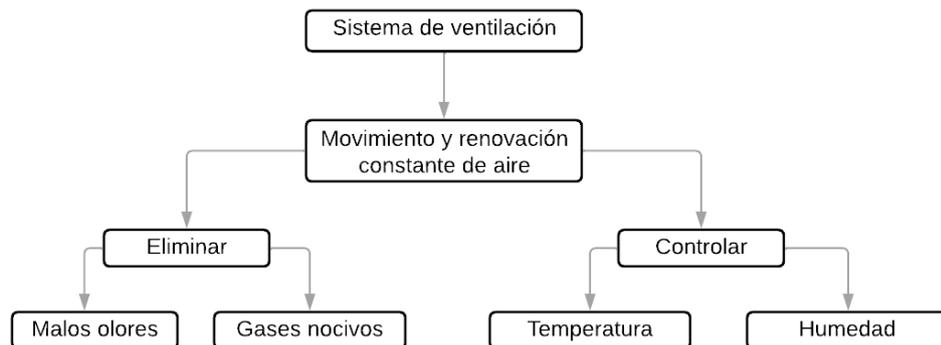
3.4.2. Sistema de ventilación

El propósito de los sistemas de ventilación en los planteles es lograr una circulación constante y renovación del aire en el interior de las instalaciones, con el fin de eliminar los gases perjudiciales (como CO₂ y amoníaco), los olores desagradables y el polvo, mientras se controla la temperatura y humedad ambiental (Bertsh, 2021).

El sistema de ventilación constituye un elemento central e imprescindible en las instalaciones actuales de producción porcina, debiendo ser integrado en el edificio para lograr un ambiente óptimo. La ausencia de un control adecuado puede resultar en un fallo ambiental y, por consiguiente, provocar comportamientos atípicos en los animales, como la aparición de conductas de mordedura de cola o problemas sanitarios (Pedersen, 2005).

El tipo de edificación en la que se crían los cerdos se define mediante el pabellón o alojamiento, lo que establece el sistema de ventilación y limpieza utilizado y permite identificar si el manejo del purín es líquido o sólido (Cifuentes, 2019). La cantidad de aire que circula por un edificio de producción de cerdos se debe de controlar al igual que el consumo de agua y alimento (Ratto, 2017).

Mapa conceptual 2: Objetivos del sistema de ventilación en planteles porcinos



Fuente 3: Elaborado a partir de la revista veterinaria digital, Ventilación en granjas porcina, Dr. Germán Bertsch, 2021.

La decisión de implementar un sistema de control climático dependerá de varios factores, como el nivel tecnológico de la explotación, el potencial genético de los animales y, especialmente, del nivel de trabajo en el predio (Carvalho, 2004).

Existen tres tipos de sistemas de ventilación que pueden ser utilizados en instalaciones de producción: natural, mecánico o una combinación de ambos (Carvalho, 2004). Es esencial que estos sistemas sean diseñados de manera que cuenten con entradas y salidas adecuadas para permitir una circulación adecuada del aire caliente y sus componentes, asegurando así una correcta disipación (Mueling, 1990).

3.4.2.1. Ventilación natural

Los métodos de ventilación natural se originaron con el confinamiento de animales en pabellones, en los que se dejaban las puertas abiertas para reducir la humedad y la acumulación de calor principios. Actualmente, se utilizan sistemas más sofisticados de ventilación natural, que operan según los mismos principios básicos (Jones, 2015). La variación de temperatura entre el aire interno y externo provoca un movimiento que aprovecha la ubicación del aire caliente en la parte superior del espacio para crear una presión negativa que favorece el ingreso del aire fresco proveniente del exterior (Bertsh, 2021).

La ventilación natural puede también ser producida por la presión del viento al moverse a través de las aberturas laterales y superiores del espacio. Un ejemplo de instalación que utiliza la ventilación natural y presenta una configuración diferente a la descrita anteriormente es el túnel de viento, el cual es económico y cuenta con una abertura en cada extremo. Este se coloca en dirección a los vientos predominantes (Bertsh, 2021).

3.4.2.2. Ventilación forzada o mecánica

El término "ventilación forzada" se refiere a la acción de impulsar el movimiento del flujo de aire dentro de las salas mediante el uso de mecanismos motorizados como extractores y ventiladores. Esta técnica genera un recambio continuo de aire a baja velocidad y alta prevalencia, lo que es esencial en este tipo de construcciones debido a la acumulación constante de amoníaco (NH_4) que se produce por las deyecciones almacenadas en las fosas de descarga, generalmente ubicadas debajo de la superficie donde se encuentra el animal sentado. El método de ventilación forzada más comúnmente utilizado en la actualidad es conocido como el "Sistema a Túnel" (Montanaro, 2006).

Los sistemas de ventilación forzada se caracterizan por incorporar componentes mecánicos, tales como ventiladores y extractores, para crear un flujo controlado y dinámico de aire. Existen tres tipos de sistemas de ventilación forzada:

1. De presión neutra: un ventilador empujar el aire fresco hacia el conducto donde se encuentra el extractor para expulsar el aire (Holmes, 1990).
2. De presión positiva: está constituido por dispositivos que permiten la entrada de aire hacia el interior con mayor facilidad, mientras que la salida se lleva a cabo mediante orificios o aberturas situados en diferentes lugares de la edificación. Este tipo de instalación se emplea en construcciones herméticas, aunque en la actualidad no es muy común debido a que presenta dificultades en el control de la humedad, lo que puede generar una acumulación excesiva de condensación y, por ende, dañar las estructuras (Bertsh, 2021).
3. De presión negativa: este tipo de sistema cuenta con aberturas de entrada de aire colocadas en la parte superior de las paredes, mientras que la salida se lleva a cabo mediante extractores situados en el techo. Una variante de esta configuración es aquella en la que los extractores se ubican en las partes inferiores de las paredes o debajo de las ranuras, con lo cual se consigue un mayor control de los gases perjudiciales, especialmente el amoníaco (Bertsh, 2021).

Cada uno de estos sistemas utiliza un enfoque específico para lograr su objetivo de ventilación y mejorar la calidad del aire (Bertsh, 2021).

3.5. Áreas productivas en los planteles porcinos

El ciclo de producción porcino se clasifica en tres etapas principales, alojamiento de animales, tratamiento de purines y disposición de residuos, que a su vez tienen sub – etapas (Envirometrika, 2019).

3.5.1. Alojamiento de porcinos

Se refiere a las unidades físicas, también llamadas pabellones, en cuyo interior permanecen durante el ciclo de vida los animales de producción, ya sea para fines reproductivos y/o de consumo. En efecto el pabellón determina el tipo de construcción en el cual se crían los cerdos, cuál es el sistema de ventilación y el sistema de limpieza lo que permite detectar si el purín se maneja de manera líquida o sólida (Cifuentes, 2019).

En cuanto a los pabellones, generalmente se dividen en cinco fases de producción:

1. Reproducción: En la sección de reproducción de un plantel porcino se encuentran los machos, hembras las primerizas y las cerdas que están gestando, y que esperan ser apareados o confirmar su estado de preñez. Es en este sector del plantel donde se lleva a cabo todo el proceso de apareamiento porcino, incluyendo la técnica de inseminación artificial.

Los machos normalmente se alojan en cubículos individuales, mientras que las cerdas secas pueden ser alojadas tanto en cubículos individuales para cerdas secas o de gestación, como en corrales colectivos.

2. Cerdas gestantes: Durante las primeras semanas de gestación, las cerdas suelen ser alojadas en cubículos individuales para confirmar su estado de preñez y para ser alimentadas y manejadas individualmente. Posteriormente, pueden ser trasladadas a corrales colectivos para completar su período de gestación.

3. Maternidad: En la sección de partos se encuentran tanto las cerdas a punto de parir como las que ya han dado a luz y están con sus crías hasta el momento del destete. En general, cada cerda y su camada se alojan en un corral individual que cuenta con:
 - Protección contra corrientes de aire;
 - Área de acceso separada del área principal mediante rieles laterales, para evitar que la cerda aplaste a los lechones y permitir que solo ellos accedan a la comida del área de acceso
 - Aporte adicional de calor en el área de acceso.

4. Destete: El destete puede generar estrés en los cerdos debido al cambio en la dieta (de leche a alimento sólido), la convivencia con otros cerdos y los cambios en el entorno, lo que puede aumentar su vulnerabilidad a enfermedades. Estos cerdos suelen tener entre tres o cuatro semanas y ocho o diez semanas de edad. La mayoría de ellos se crían en un ambiente controlado, ya sea en un cobertizo convencional ventilado mecánicamente o en alojamientos con camas profundas.

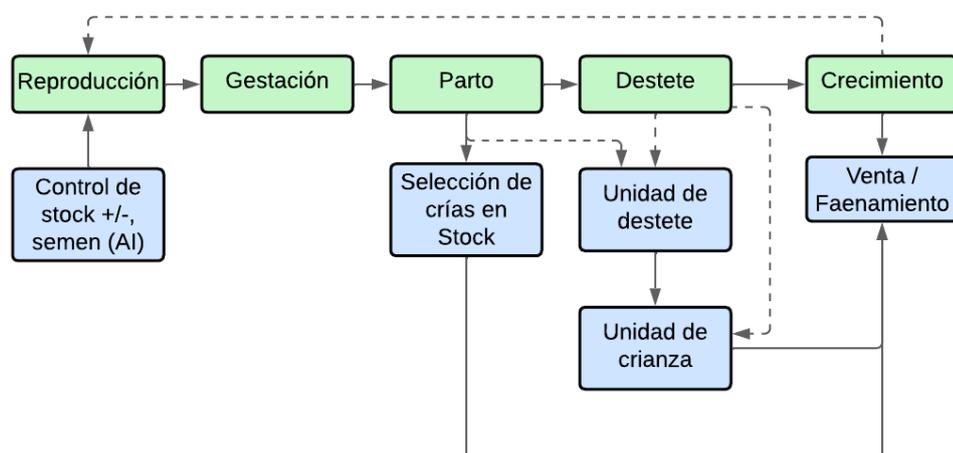
5. Engorda: Comprende cerdos en crecimiento (con edades aproximadas de 10 a 16 semanas) y cerdos en etapa de finalización (desde alrededor de las 16 semanas hasta las 22-26 semanas de edad). Los cerdos en esta etapa de crecimiento y finalización necesitan menos regulación ambiental en comparación con los cerdos recién destetados. Su alimentación se divide en diferentes "fases", con dietas específicas diseñadas para proporcionar la nutrición necesaria para cada etapa de crecimiento (Tucker, 2010).

Un plantel porcino de ciclo completo comprende las etapas desde la cría, destete y crecimiento/finalización. Los cerdos nacidos en dicha instalación son

criados hasta alcanzar la edad adecuada para su venta, que generalmente oscila entre las 20 y 26 semanas de vida. Muchos de estos criaderos funcionan con "rebaños cerrados", lo que implica que no se introducen nuevos animales y que los animales de cría de reemplazo se seleccionan internamente o a través de la inseminación artificial. No obstante, hay algunos criaderos de ciclo completo que optan por importar algunos o todos sus animales de cría de reemplazo desde rebaños externos (Tucker, 2010).

Ahora bien, si compara esta etapa del ciclo productivo se puede observar una diferencia importante en la forma en que se crían los animales en Europa y en Chile, específicamente en lo que respecta a la acumulación de residuos y a las características de los alojamientos. En Chile, los purines no son almacenados durante largos períodos de tiempo debajo o dentro de los alojamientos, sino que se trasladan a los sistemas de tratamiento lo más pronto posible. En cambio, en Europa, debido a la menor densidad de población animal, se permite la acumulación de purines, lo que influye en la gestión de residuos, el tamaño de los alojamientos y la ventilación utilizada, que suele ser forzada. En contraste, en Chile, se utiliza principalmente la ventilación mediante cortinas (Envirometrika, 2019).

Mapa conceptual 3: Áreas de producción porcina



Fuente 4: Tucker, 2010.

3.5.2. Tratamiento de purines

Se refiere al manejo, tratamiento y/o almacenamiento de los residuos generados durante la producción de cerdos (Envirometrika, 2019). La cantidad de desechos producidos en los pabellones varía según el método de explotación utilizado, ya sea a través de la crianza convencional estabulada confinada o mediante la crianza estabulada abierta conocida como *Deep Bedding* o cama caliente (Peralta, 2005).

Los purines son una mezcla compuesta por heces (45%), orina (55%) y agua de lavado, y se caracterizan por tener un alto contenido de materia orgánica, nutrientes, iones y otros compuestos (Villamar et al., 2011). La cantidad de purín generado puede ser influenciada por diversos factores como el número de animales presentes, su estado fisiológico, la calidad y cantidad de alimento consumido, así como la cantidad de agua ingerida por los animales (Tarrallardona, 2008).

La gestión de residuos porcinos se ha vuelto relevante debido a dos factores, en primer lugar, existe una tendencia creciente a expandir el tamaño de los planteles de cerdos en sistemas de producción intensiva, lo que conduce a la generación de grandes cantidades de desechos y, en segundo lugar, la sociedad ha aumentado su conciencia en relación con la protección del medio ambiente (Peralta, 2005).

El tratamiento de purines se puede categorizar en 2 principales etapas:

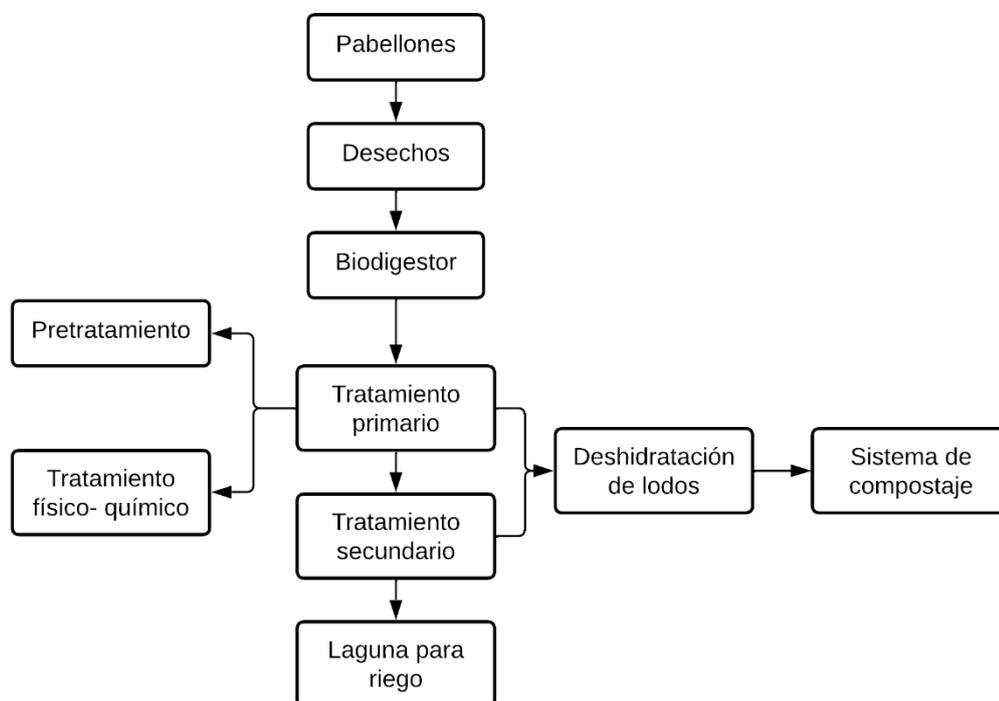
- a) Tratamiento primario: se refiere a la aplicación de procedimientos físicos al purín obtenido en los pabellones, tales como la utilización de pozos de homogenización, separadores sólido-líquido, decantadores o sedimentadores, con el fin de separar los sólidos de los líquidos y establecer dos corrientes distintas (Dictuc, 2019).

b) Tratamiento secundario: proceso para la degradación de la materia orgánica a través de la digestión aeróbica o anaeróbica (Envirometrika, 2019), la cual se refiere a la modificación biológica o química aplicada al flujo de purín, lo que implica la utilización de técnicas como el tratamiento aerobio, lodos activados, laguna anaerobia, biodigestor o incluso el uso de lombrices (Dictuc, 2019).

Después de completar el proceso de tratamiento, la parte líquida se guarda para su posterior uso en la limpieza de las instalaciones o como fertilizante a través del riego. La parte sólida se emplea para los propósitos que se especifican en el tratamiento inicial. Si se realiza un tratamiento secundario, se pueden implementar técnicas biológicas, como el uso de biofiltros o lombrifiltros, para tratar la carga orgánica y reducir el olor (Envirometrika, 2019).

Un ejemplo del procedimiento de producción de purín, conforme a la información presentada por la empresa Agrosuper en su sitio web, puede ser ilustrado mediante el mapa conceptual número 5. En dicho esquema, se puede apreciar que el proceso se inicia en los pabellones destinados a la crianza de cerdos, donde se generan los residuos. Estos residuos son direccionados hacia un biodigestor para luego someterse a un tratamiento primario, posteriormente se lleva a cabo un tratamiento secundario y terciario, culminando finalmente con su disposición en las lagunas de riego pertenecientes a la empresa.

Mapa conceptual 4: Ejemplo de proceso productivo del purín



Fuente 5: Elaboración propia, en base al proceso productivo de purín de la empresa AGROSUPER.

3.5.3. Disposición de purines

El término "disposición de residuos" se refiere al destino final que se les da a los desechos, ya sea en forma líquida o sólida, que surgen durante la producción o crianza de animales, así como en el proceso de tratamiento de los purines, en general, en Chile estos residuos se eliminan directamente en el suelo (Envirometrika, 2019).

3.5.3.1. Destino fracción sólida:

Si bien la disposición de residuos sólidos en suelo puede incluir su uso como abono natural, también es común que estos desechos se utilicen como alimento para los animales. En algunos casos, se realiza una combinación de

ambas prácticas, es decir, se utiliza parte de los residuos como abono y la otra parte como alimento para ganado bovino (Envirometrika, 2019).

En términos agronómicos, la aplicación de purines al suelo incrementa la capacidad del suelo para retener la humedad, además incrementa el contenido de nutrientes, lo cual a su vez permite reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos o inorgánicos al suelo (Flores, 2012). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la disposición directa de residuos en el suelo puede tener impactos negativos en el medio ambiente, como la contaminación de acuíferos y la emisión de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, es importante implementar prácticas adecuadas de gestión de residuos para minimizar estos impactos (Martínez, 2019).

3.5.3.2. Destino fracción líquida:

Por lo general, los efluentes son aplicados a campos agrícolas en períodos autorizados con el objetivo de evitar la saturación de suelos, generalmente estos se encuentran cercanos a los planteles productivos (ASPROCER, 2018). Visto que los purines líquidos que se producen durante el proceso de limpieza y desinfección de los criaderos de cerdos. En efecto para limpiar las jaulas y corrales, se utiliza una gran cantidad de agua que arrastra los residuos de heces y orina, los cuales se mezclan con el agua y se transfieren a un sistema de separación primaria para su almacenamiento o uso posterior. Por esto en promedio, se utilizan 18 litros de agua para limpiar cada litro de excremento (Martínez, 2019). Por último la generación de purines por unidad de cerdo depende del sistema de manejo y del estado fisiológico del animal y está compuesto por un 95% de agua (Envirometrika, 2019).

3.5.3.3. Otros residuos:

En esta clasificación está el manejo o disposición de animales muertos. Para ello el Servicio Agrícola Ganadero (SAG), mantiene el protocolo disposición de animales muertos en el cual expresa la adecuada disposición

de cadáveres de animales, además de la indicación de no consumirlos como alimento para animales y personas, se debe considerar lo siguiente:

- El procedimiento de elección es efectuar el entierro de los cadáveres animales, indicación que debe realizarse, en medida de lo posible, en el menor tiempo transcurrido desde la muerte del animal.
- Si se retrasa la disposición de los cadáveres, generando por esta razón molestias o problemas sanitarios para la comunidad, se deben tomar las medidas pertinentes para evitar la presencia de insectos, aves y animales carroñeros (por ejemplo, barreras físicas como tapar con plástico en espera de la disposición final).
- En casos excepcionales y ante la necesidad de trasladar animales muertos, estos deben ser tratados con productos que impidan su consumo, como detergentes de uso doméstico, cloro, creolina, u otro similar, previo a su disposición final fuera del predio afectado. Debe procurarse el traslado en vehículos estancos o, en su defecto, contenedores que impidan el escurrimiento de líquidos. Los vehículos y contenedores deben ser posteriormente lavados y desinfectados. En estos casos, el destino final lo determinará la Autoridad local correspondiente (SAG, 2019).

3.6. Medidas relacionadas al control de equipos emisores de olor

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) ha elaborado una guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). En esta guía se proponen diversas estrategias preventivas con el objetivo de reducir la generación de emisiones en los procesos, a través de la modificación de hábitos o procedimientos poco eficientes. Entre las medidas recomendadas se incluyen la realización de inspecciones periódicas en equipos, sistemas o procesos propensos a emitir

olor, y la implementación de un protocolo de mantenimiento periódico en aquellos equipos o sistemas que generen olores.

El propósito de estas medidas es reducir la emisión de olores al ambiente. Para alcanzar este objetivo, se emplean no solo tecnologías especializadas en abatimiento y control de olores, sino también se enfoca en aquellos equipos o procesos propensos a emitir olor, permitiendo así el monitoreo y la reducción de compuestos odoríferos en el aire. La meta fundamental es minimizar el impacto negativo que los olores pueden tener en la calidad de vida de las personas y en el medio ambiente (SEA, 2017).

Un ejemplo ilustrativo de un equipo emisor de olor se encuentran los biodigestores, cuyo efluente resulta menos oloroso que el afluente, debido al adecuado proceso biológico que ocurre en su interior, especialmente en la industria animal, donde se generan abundantes residuos orgánicos (Pinzón, 2016).

3.6.1. Equipos por áreas

3.6.1.1. Equipos a nivel de pabellón

Ventilación túnel

El sistema de ventilación comúnmente utilizado en la actualidad es conocido como Sistema Túnel, que se basa en el mismo concepto utilizado en los confinamientos avícolas. Este sistema se aplica en estructuras de techo liviano, como cabreadas metálicas o de madera de poco peso, tirantes de madera económica, pero de baja deformación, techos de espesor mínimo o PVC de bajo costo. Además, se utiliza aislación termo-ventilada en el cielorraso con celulosa proyectada (Montanaro, 2015).

La ventilación por túnel es reconocida como uno de los sistemas de ventilación más efectivos y ampliamente utilizados en la industria porcina a

gran escala. Este sistema se implementa con el propósito de mantener un ambiente óptimo para los cerdos alojados en instalaciones de gran tamaño.

El funcionamiento básico de la ventilación por túnel implica la instalación de grandes ventiladores de extracción, generalmente con un diámetro de 48" (122 cm), en un extremo del pabellón. Estos ventiladores son responsables de extraer el aire viciado y caliente del interior del pabellón y generar un flujo de aire hacia el extremo opuesto, manteniendo el otro extremo abierto para permitir la entrada de aire fresco del exterior. Este flujo de aire crea un efecto de túnel, donde el aire fresco es impulsado hacia el interior, mientras que el aire caliente y viciado es expulsado al exterior.

El sistema aprovecha los principios de la convección y del flujo de aire para mantener un ambiente fresco y saludable para los cerdos. A medida que el aire fresco ingresa a al pabellón a través del extremo abierto, se mueve a lo largo de la misma, absorbiendo el calor y los contaminantes generados por los animales y siendo expulsado por los ventiladores de extracción. Este flujo constante de aire ayuda a reducir la temperatura y la humedad en la nave, creando un ambiente confortable y propicio para el bienestar de los cerdos.

La ventilación por túnel ofrece varias ventajas en comparación con otros sistemas de ventilación. En primer lugar, es altamente eficiente en términos de enfriamiento, ya que el flujo de aire constante y la extracción del aire caliente contribuyen a mantener una temperatura adecuada en los pabellones, lo que es especialmente importante durante los meses cálidos o en regiones con altas temperaturas ambientales. Además, la ventilación por túnel ayuda a mejorar la calidad del aire interior, ya que ayuda a reducir la acumulación de gases y contaminantes producidos por los cerdos, lo que puede tener un impacto positivo en la salud respiratoria de los animales (Zimmerman, 1999).

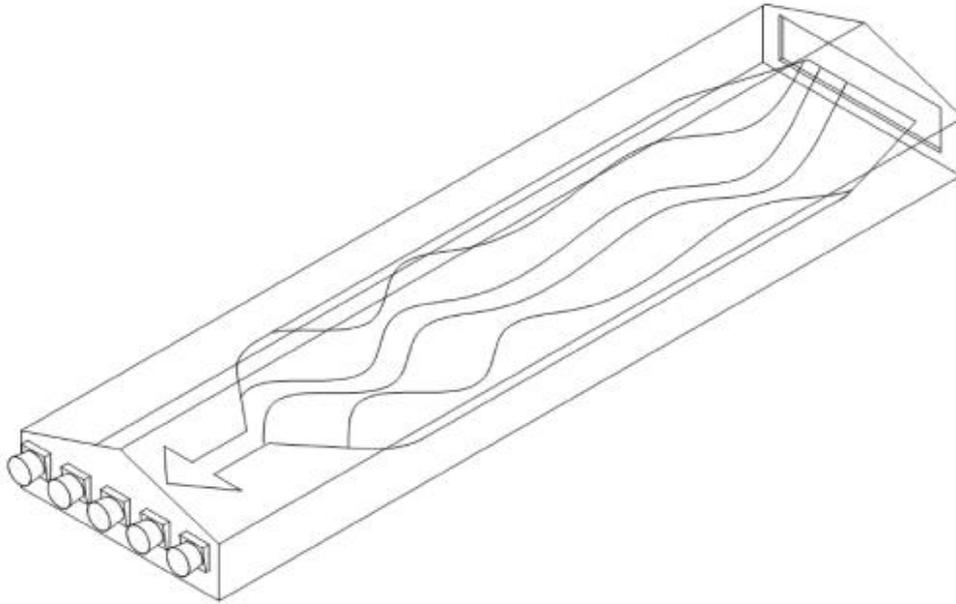
Ahora bien, se pueden encontrar dos tipos de presión en la ventilación por túnel: la ventilación por presión negativa y la ventilación por presión

positiva. Ambos sistemas tienen el objetivo de mantener un ambiente adecuado dentro del galpón, pero se diferencian en la forma en que generan y controlan el flujo de aire.

La ventilación por presión negativa consiste en introducir y extraer el aire al interior del galpón de forma controlada, generando un vacío parcial dentro del espacio. Para ello, se instalan ventiladores en una culata o pared que se encargan de extraer el aire viciado y vaho del interior del galpón. En la otra culata o pared opuesta, se colocan paneles valorativos que permiten el ingreso de aire fresco desde el exterior. Estos paneles valorativos cargan el aire de humedad y reducen su temperatura antes de ingresar al galpón. El objetivo de este sistema es recambiar rápidamente el volumen de aire contenido dentro del galpón en aproximadamente un minuto, manteniendo un flujo de aire uniforme y regulado.

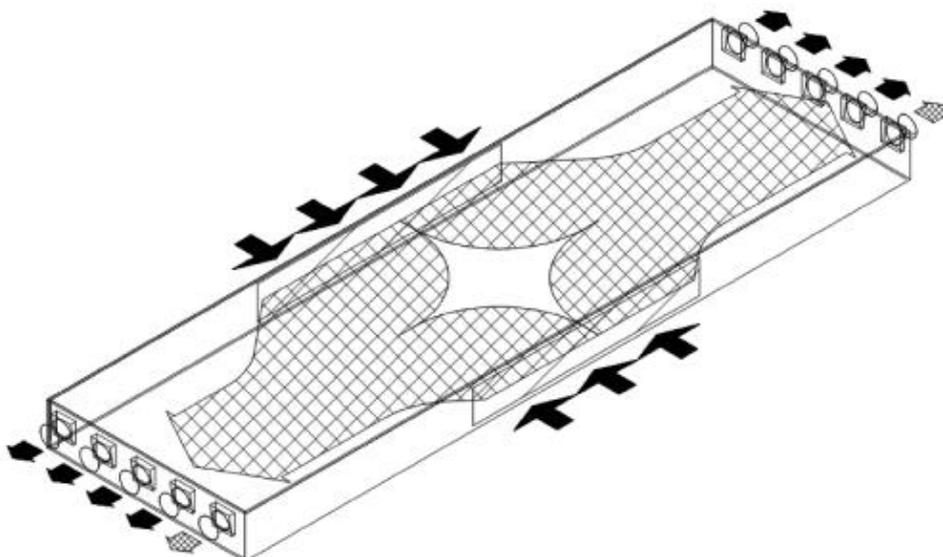
Por otro lado, la ventilación por presión positiva implica la instalación de ventiladores en las paredes laterales del galpón, los cuales empujan el aire del exterior hacia el interior, simulando un efecto similar a inflar el espacio. En este caso, el flujo de aire es menos uniforme y regular en comparación con los sistemas de presión negativa. Aunque la ventilación positiva también proporciona una renovación de aire, la distribución del flujo puede no ser tan equilibrada, lo que puede resultar en zonas con corrientes de aire más intensas y otras con menor flujo.

Ilustración 1: Ventilación presión negativa por túnel



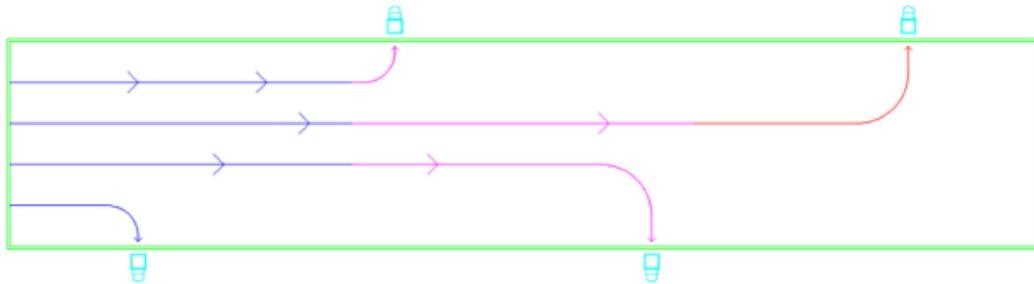
Fuente 6: Ayala (s.f)

Ilustración 2: Ventilación presión negativa por túnel en dos direcciones



Fuente 7: Ayala (s.f)

Ilustración 3: Ventilación lateral cortinas en un extremo - extractores laterales



Fuente 8: Ayala (s.f)

3.6.1.2. Equipos a nivel de sistemas de tratamiento

Tratamiento primario

Tal como se ha discutido en el capítulo anterior, el tratamiento primario en el contexto del manejo de purines se concentra en la etapa inicial de separación de los sólidos y líquidos. Esta etapa tiene como objetivo principal la separación de los sólidos gruesos y sedimentables, así como la separación de los componentes líquidos para su posterior tratamiento. Sin embargo, en el presente proyecto, se centrará específicamente en el proceso de tratamiento secundario, es en el tratamiento secundario donde se elimina la materia orgánica mediante procesos biológicos, en contraste al tratamiento primario que solo separa los residuos recolectados durante el tratamiento primario emiten olores debido al contenido de materia orgánica.

Como se ha mencionado en el capítulo previo, el enfoque principal del tratamiento primario en el manejo de purines se dirige hacia la separación inicial de sólidos y líquidos. Esta etapa tiene como objetivo principal la separación de sólidos gruesos y sedimentables, así como la separación de los componentes líquidos para su tratamiento posterior. No obstante, en el presente proyecto, se pondrá especial atención en el proceso de tratamiento secundario, el cual se encarga de eliminar la materia orgánica a través de procesos biológicos (Baeza, 2018), a diferencia del tratamiento primario que

únicamente separa los residuos recolectados durante esa etapa, lo cual genera olores debido al alto contenido de materia orgánica (Arriagada, 2008).

El tratamiento secundario en el manejo de purines es una fase crucial en la cual se buscan reducir y eliminar de manera efectiva los olores y compuestos contaminantes presentes en el efluente líquido después de la separación primaria. Este proceso de abatimiento de olores puede involucrar el uso de diversas tecnologías y técnicas, tales como la biofiltración, la desodorización química, la oxidación biológica, entre otras.

Debido a la relevancia del monitoreo en línea de los parámetros operacionales en la eficacia y eficiencia del tratamiento secundario, el enfoque específico de este proyecto se centra en la supervisión y control en tiempo real de las tecnologías de abatimiento de olores utilizadas. Este enfoque permitirá evaluar la efectividad del tratamiento secundario y realizar ajustes o correcciones necesarias para asegurar un tratamiento adecuado del efluente líquido y cumplir con las regulaciones y normativas ambientales pertinentes.

En resumen, en este proyecto se pone especial atención en el proceso de tratamiento secundario en el manejo de purines, considerando el monitoreo en línea de los parámetros operacionales de las tecnologías de abatimiento de olores utilizadas. Esto permitirá obtener resultados precisos y actualizados sobre la eficacia del tratamiento y garantizar un manejo ambientalmente responsable de los purines.

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es la etapa en la cual se lleva a cabo la descomposición biológica del líquido o sólido separado, mediante la aplicación de una combinación de técnicas físicas, químicas y biológicas. En este proceso, se realiza la conversión biológica de la materia orgánica compleja en

compuestos más estables, ya sea en forma de materia orgánica simple o inorgánica (Peralta, 2005).

Los microorganismos presentes en el purín se alimentan del material orgánico rico en carbono y nitrógeno que contiene. Este material orgánico es degradado por los microorganismos, transformándolo en compuestos más simples y fácilmente eliminables, como dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) (Zaror, 1998).

Durante el tratamiento secundario, se emplean diversos métodos para promover la descomposición biológica de la materia orgánica presente en los efluentes o residuos sólidos, lo cual implica la acción de microorganismos que transforman los compuestos contaminantes en productos más estables y menos nocivos. Estos procesos biológicos pueden incluir la aeración, la fermentación, la digestión anaerobia, entre otros, dependiendo de las características del agua o los residuos a tratar (Peralta, 2005).

Lagunas de estabilización

Su rol es funcionar como un gran reactor subterráneo (con impermeabilización) destinado a eliminar contaminantes (principalmente compuestos orgánicos) y patógenos. El proceso consta de tres lagunas interconectadas en secuencia: una anaeróbica, seguida de una facultativa y finalmente una aeróbica o de maduración. Durante las dos primeras etapas, se logra la mayor eliminación de DBO5 (alrededor del 95%), mientras que la etapa aeróbica contribuye principalmente a la remoción de patógenos y nutrientes (N y P) (Beyli et al., 2012).

Por tanto, las lagunas de tratamiento pueden ser clasificadas en base a la forma en que ocurre la degradación biológica en ellas (ya sea aeróbica, anaeróbica o facultativa), la frecuencia con la que se realizan descargas y su disposición espacial (Peralta, 2005).

Lagunas anaeróbicas o de maduración

Durante la etapa anaeróbica, se lleva a cabo una intensa descomposición de sólidos. En esta fase, la degradación es llevada a cabo por un conjunto de bacterias, incluyendo procesos de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Beyli et al., 2012).

Lagunas facultativas

El objetivo deseado en las lagunas facultativas es obtener un efluente de alta calidad con una degradación efectiva de la materia orgánica, así como una reducción en nutrientes y bacterias coliformes (Peralta, 2005).

Estas lagunas están diseñadas con dos zonas bien definidas, una aeróbica y otra anaeróbica. En la capa superior de la laguna facultativa, hay una simbiosis entre algas y bacterias en presencia de oxígeno, mientras que en las capas inferiores se produce una degradación anaeróbica de los sólidos sedimentables. Por lo general, estas lagunas son aeróbicas durante el día y algunas horas de la noche, ya que el oxígeno es generado a través de las algas y la difusión. El objetivo deseado en las lagunas facultativas es obtener un efluente de alta calidad con una degradación efectiva de la materia orgánica, así como una reducción en nutrientes y bacterias coliformes (Peralta, 2005).

Laguna aeróbica o laguna de oxidación

Las lagunas aeróbicas son estanques poco profundos, con una profundidad que oscila entre 0,3 y 0,45 metros, diseñados con el objetivo de permitir una mayor penetración de la luz y favorecer el crecimiento de algas a través de la fotosíntesis. Estas lagunas mantienen condiciones aeróbicas en toda su profundidad, lo que significa que hay presencia constante de oxígeno. Los desechos presentes en estas lagunas son degradados por

microorganismos que requieren oxígeno para su actividad biológica (Peralta, 2005).

El suministro de oxígeno necesario para la degradación de los desechos en las lagunas aeróbicas ocurre a través de la acción fotosintética de las algas presentes en el estanque, así como por la difusión generada por las turbulencias de la laguna (Peralta, 2005).

La principal ventaja de las lagunas aeróbicas es que la degradación aeróbica tiende a ser más completa que la anaeróbica, lo que resulta en productos finales con menos malos olores, debido a la emisión de gases oxidados en lugar de gases reducidos. En las lagunas aeróbicas naturales, también conocidas como lagunas de oxidación, se suministra oxígeno a través de la superficie del agua mediante la aireación. La cantidad de oxígeno consumido puede aumentarse mediante la agitación del agua. Sin embargo, una gran desventaja de las lagunas aeróbicas con aireación mecánica es el costo continuo de operación de los dispositivos de aireación alimentados con electricidad (Roppa, 2000).

Lombrifiltro

El sistema Tohá, también conocido como Lombrifiltro o Biofiltro Dinámico Aeróbico, es un tipo de filtro percolador compuesto por distintos estratos filtrantes y lombrices (Martínez, 2019).

El lombrifiltro es un tipo de biofiltro que utiliza lombrices generalmente para el tratamiento de agua residual. Este biofiltro consta de cuatro capas de diferentes materiales. La capa superior está compuesta por material orgánico que contiene una gran cantidad de microorganismos y lombrices, principalmente *Eisenia phoetida*, que absorben y digieren la materia orgánica, dejando el agua sin su principal contaminante. A continuación, hay una capa de aserrín que actúa como segunda etapa de filtración, seguida de una tercera

capa compuesta por piedras de tamaño pequeño y una última capa con piedras de mayor tamaño. Estas dos últimas capas proporcionan soporte y aireación al sistema, asegurando su permeabilidad. El efluente a través del biofiltro únicamente por gravedad y emerge clara y sin materia orgánica (Arango, 2003).

Es importante que el lombrifiltro esté en un estado de saturación adecuado para su correcto funcionamiento. Esto significa que las aguas residuales deben dispersarse de manera uniforme en el filtro, permitiendo que las lombrices puedan llegar a esa zona de manera eficiente (Lay-Son, 2002).

El Sistema Tohá se compone de dos etapas distintas:

En la primera etapa, el agua residual fluye por gravedad a través de un lombrifiltro, donde se lleva a cabo la absorción y procesamiento de la materia orgánica presente en el agua (Arango, 2003).

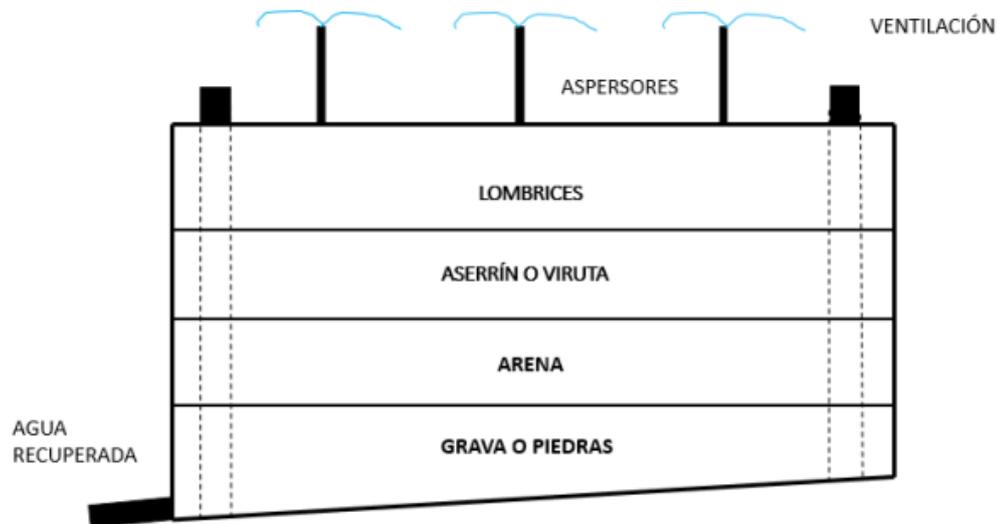
Dentro de esta primera etapa se llevan a cabo cuatro capas de medios filtrantes, descritas a continuación:

1. En la parte superior del lombrifiltro se encuentra una capa de lombrices con un espesor de 25 cm. Esta capa actúa como un filtro y retiene toda la materia orgánica presente en el agua que es distribuida de manera uniforme a través de aspersores. La materia orgánica retenida es consumida por una población de microorganismos presentes en el lombrifiltro, y las lombrices se encargan de oxidarla, convirtiéndola en anhídrido carbónico y agua a través de su proceso de alimentación y digestión.
2. El lombrifiltro también incluye una capa de aserrín o viruta. Esta capa de aserrín o viruta tiene la función de proporcionar alimento a las lombrices en caso de que la carga contaminante del afluente no sea

suficiente para satisfacer sus necesidades. Es importante que el aserrín o viruta sea de madera de ulmo o tepa, ya que estas especies de madera no generan daños a las lombrices y son adecuadas para su alimentación.

3. Debajo de la capa de aserrín o viruta, se encuentra una capa de arena. Esta capa de arena tiene la función de retener los sólidos que no hayan sido degradados por los microorganismos o las lombrices rojas californianas. Para evitar que el aserrín o viruta se mezcle con la arena, se coloca una malla entre los medios filtrantes. La arena actúa como un medio adicional de filtración y ayuda a mantener la calidad del agua en el lombrifiltro.
4. En la parte inferior del lombrifiltro se encuentra una capa de grava o piedras. Esta capa de grava o piedras permite la formación de una flora bacteriana que ayuda en la degradación del material orgánico que no ha sido degradado por las lombrices. La granulometría de las piedras debe ser de dos tamaños, uno pequeño y otro grande, y cumplir con el espesor establecido. Como resultado del proceso de tratamiento, se obtiene un efluente de mayor calidad y humus, que es un producto orgánico beneficioso para el suelo (Rojas, 2020).

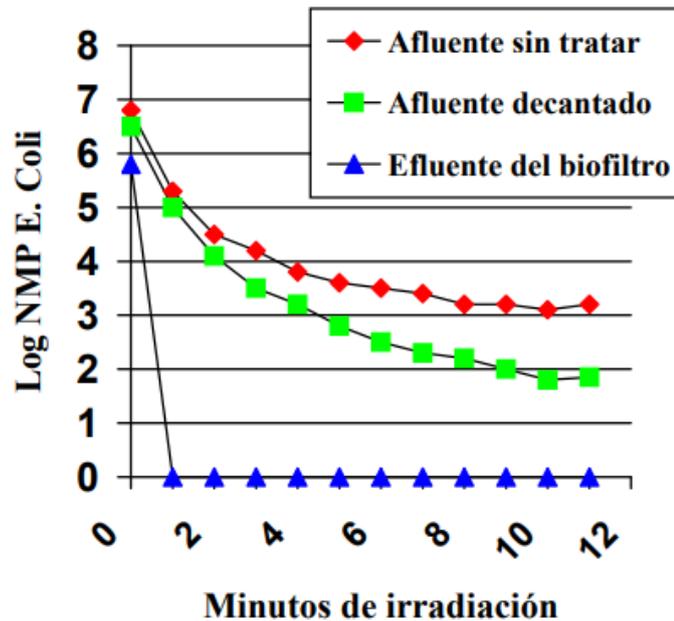
Ilustración 4: Capas del lombrifiltro



Fuente 9: "Estudio de filtros biológicos para aguas grises utilizando lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)", Rojas, 2020.

En la segunda etapa del tratamiento, el efluente del lombrifiltro es dirigido a una cámara de irradiación ultravioleta. En esta cámara, se utiliza la radiación ultravioleta para eliminar las bacterias patógenas presentes en el efluente en menos de un minuto. Este proceso de irradiación es eficiente en la desinfección y ayuda a garantizar la seguridad sanitaria del efluente tratado antes de su descarga o reutilización (Arango, 2003).

Gráfico 1: Tiempo de decaimiento bacteriano por radiación ultravioleta.



Fuente 10: Soto y Tohá, 1998.

Este tipo de tecnología se destaca por su proceso de tratamiento simple y su capacidad para funcionar de manera independiente de tratamientos previos, sin la necesidad de agregar nutrientes, coagulantes, floculantes u otros aditivos. Solo se requiere que el agua entrante cumpla con ciertas características que permitan la existencia de organismos vivos, como un pH entre 4.5 y 8.0. Los Lombrifiltros son considerados únicos en el tratamiento de efluentes y aguas residuales, ya que generan ingresos a través de la producción de lombrices, humus y agua, los cuales tienen valor en el mercado (Pérez & Pérez, 2016).

La aplicación agronómica del humus, además de mejorar la estructura del suelo, tiene varios beneficios. Aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo, lo cual es esencial para la salud del suelo y el crecimiento de las plantas. Además, el humus incorpora nutrientes importantes para el desarrollo de las plantas. También promueve y facilita el crecimiento de bacterias benéficas en el suelo, las cuales son indispensables para la disponibilidad de ciertos elementos minerales en el suelo, permitiendo que los cultivos los

aprovechen de manera eficiente. En resumen, el uso del humus como enmienda orgánica en la agricultura tiene múltiples beneficios en la mejora de la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos (Martínez, 2019).

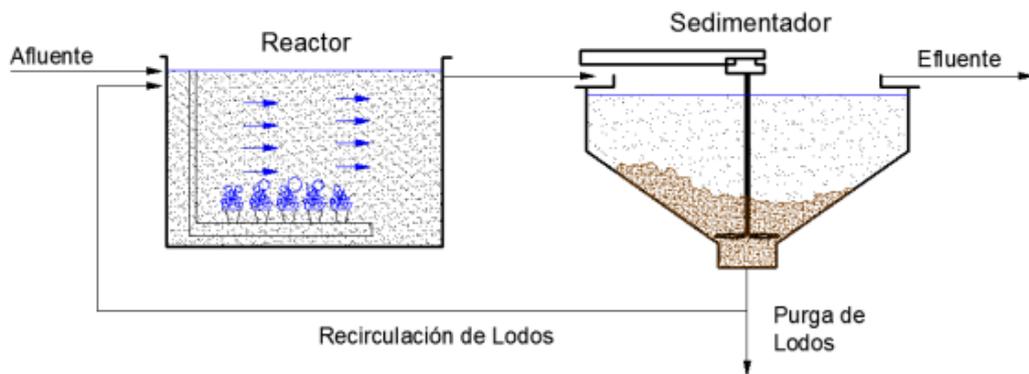
Lodos Activados

El tratamiento aeróbico con cultivo en suspensión conocido como proceso de lodos activados es ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales domésticas y una amplia gama de desechos industriales debido a su alta frecuencia de uso (Mena, s.f).

En este proceso, se produce la completa mezcla de los microorganismos con la materia orgánica, lo que les permite crecer y estabilizarla. La agitación generada por el aire inyectado induce la formación de una masa activa conocida como "lodos activados", en la que los microorganismos se aglomeran y flocculan (Mena, s.f).

Este tratamiento biológico se enfoca en transformar los compuestos orgánicos disueltos y suspendidos en biomasa y gases (como CO_2 , CH_4 , N_2 y SO_4^{2-}). El proceso comienza con el contacto del lodo activado con el afluente, en el que los microorganismos presentes degradan rápidamente los desechos. Después de un período de aireación y agitación adecuado, el licor de mezcla resultante es dirigido a un clarificador, donde los lodos se sedimentan y el líquido sobrenadante se elimina como efluente. Una parte del lodo se recircula al tanque de aireación para mantener una población microbiana adecuada, mientras que el exceso de lodo se retira del sistema como purga (Bureau of Water Supply and Wastewater Management, Department of, 2009).

Ilustración 5: Esquema general de un sistema convencional de lodos activados



Fuente 11: Adaptado de Jiménez et al. (1991)

El sistema de tratamiento de lodos activados cuenta con diversas ventajas destacables, entre las que se encuentran: la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones gracias al control de la biomasa en el proceso, su eficacia en la eliminación de cargas orgánicas, incluso superando el 90% en comparación con otros métodos convencionales, así como su habilidad para minimizar olores y evitar la presencia de insectos (Arango, 2003).

Aunque el sistema de tratamiento de lodos activados ofrece ventajas significativas, también es importante mencionar algunas de sus principales desventajas, como la necesidad de un control constante tanto en su operación como en los análisis de laboratorio asociados. Además, este sistema conlleva altos costos de operación debido principalmente a la necesidad de proveer aireación de manera mecánica. Otro aspecto que considerar es su limitado abatimiento bacteriológico, lo que implica la necesidad de llevar a cabo una desinfección final del efluente (Arango, 2003).

La tecnología de lodos activados es conocida por producir grandes cantidades de lodos al final del proceso de tratamiento de los afluentes (Rivera, 2014). Estos lodos suelen ser almacenados en áreas de compostaje, donde pueden descomponerse y emitir malos olores que atraen vectores y pueden causar problemas de salud a la población circundante. La

Superintendencia de Servicios Sanitarios ha identificado este problema como una de sus principales preocupaciones debido a las quejas constantes de la comunidad y a la importancia de abordar los posibles riesgos sanitarios asociados. Hay diversas opciones de manejo de lodos, pero es necesario buscar soluciones adecuadas para garantizar la seguridad y la salud de la población local (Fundación Chile, 2011).

Biodigestor

Son recipientes o estanques sellados que permiten la carga de materia orgánica (biomasa) y la descarga de bio-abono (efluente), así como la recolección de biogás para su uso como energía. La biomasa o sustrato puede incluir material orgánico de animales (estiércol), árboles, plantas y otros desechos orgánicos que pueden ser transformados en energía. Por ejemplo, el estiércol de cerdo es una biomasa adecuada debido a su alto contenido de grasas, proteínas e hidratos de carbono (Williams, 2021).

El concepto de biomasa o sustrato se refiere a la materia orgánica derivada de animales (como el estiércol), árboles, plantas y otros desechos orgánicos que pueden ser convertidos en energía. El estiércol de cerdo es especialmente adecuado como biomasa debido a su alto contenido de grasas, proteínas e hidratos de carbono (Williams, 2021).

Los biodigestores son dispositivos herméticos que utilizan bacterias anaeróbicas para descomponer estiércol de diferentes animales u otros desechos orgánicos, produciendo biogás (metano, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de monóxido de carbono y dióxido de azufre), vapor de agua y un fertilizante líquido como subproducto. La digestión anaeróbica, que ocurre tanto en una laguna anaeróbica como en un biodigestor, comparte similitudes en el proceso. Sin embargo, la diferencia radica en que los biodigestores aprovechan de manera más eficiente los subproductos del sistema cerrado. La digestión anaeróbica depende de diversos factores, como

la temperatura del efluente, un equilibrio de macro y micronutrientes para los microorganismos, el pH y otros factores (Millares , Lamelas , & Maisonnave , 2017)

Según Sosa Cáceres y Shao (2007), las excretas de cerdo pueden ser aprovechadas como una fuente de nutrientes y energía, lo que las hace útiles para la sostenibilidad de la producción porcina si se reciclan adecuadamente.

Por lo que se refiera a la descomposición anaeróbica es un procedimiento extremadamente complicado debido a la cantidad de procesos bioquímicos que se llevan a cabo y a la cantidad de microorganismos que participan en ellos. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren simultáneamente. Hasta ahora, los análisis bioquímicos y microbiológicos han dividido el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

1. Hidrólisis: En la hidrólisis, la materia orgánica compleja se descompone en compuestos más sencillos y solubles que pueden ser utilizados por los microorganismos. Es el primer paso necesario para la degradación de sustratos orgánicos complejos en la digestión anaeróbica. De esta forma, la hidrólisis es la que proporciona los sustratos orgánicos necesarios para la digestión anaeróbica.
2. Etapa fermentativa o acidogénica: En esta fase, las moléculas orgánicas se fermentan y se convierten en compuestos que las bacterias metanogénicas pueden usar directamente (como el ácido acético, fórmico e hidrógeno) y otros compuestos orgánicos más simples (como el ácido propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol) que deben ser procesados por bacterias acetogénicas en la siguiente fase del proceso.

3. Etapa acetogénica: En esta etapa, algunos productos de la fermentación se pueden utilizar directamente por los organismos metanogénicos, pero otros como el etanol, los ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos necesitan ser convertidos en sustancias más simples como el acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2) por las bacterias acetogénicas.
4. Etapa metanogénica: Para esta fase, un grupo de bacterias anaeróbicas estrictas actúa sobre los productos de las etapas anteriores. Estas bacterias son muy importantes porque producen metano y eliminan los productos de las etapas anteriores. Por eso, se les llama microorganismos metanogénicos y son los más importantes en el proceso de biometanización (Varnero, 2011).

Con relación a las diversas tecnologías de biodigestores que buscan ser más compactas y eficientes en la degradación de sustratos. Hay distintos diseños y conceptos de plantas de biogás o biodigestores que se utilizan según el contenido de humedad con el que operen (ya sea fermentación en seco o húmedo), el número de fases (una o dos), el rango de temperatura en el que trabajen (psicrofílico, mesofílico o termofílico), su capacidad de aceptar carga orgánica (alta o baja) y el mecanismo o ausencia de agitación (como mezcla completa, flujo pistón o convencional). Estas características pueden combinarse entre sí (Martí et al., 2017).

El factor limitante en la degradación del estiércol es la capacidad del biodigestor para descomponer las fibras y someterlo a la primera etapa de fermentación, la hidrólisis, ya sea con o sin separación de sólidos. En consecuencia, los modelos de biodigestores más comúnmente utilizados en Chile para el tratamiento del estiércol son los siguientes:

1. Biodigestores de mezcla completa: Estos biodigestores, también conocidos como CSTR por sus siglas en inglés, suelen ser tanques verticales construidos en acero o concreto, con una doble cubierta para acumular el biogás. Se les llama de mezcla completa porque la agitación interna de los líquidos es un componente esencial en su funcionamiento. Esta agitación se logra de diversas formas, como la recirculación de biogás, la recirculación de digestato o el uso de paletas horizontales o verticales. El principio de operación se basa en la agitación, lo que obliga al sustrato a entrar en contacto con los microorganismos, acelerando así el proceso de degradación. Esto evita la formación de sedimentos o sólidos flotantes y elimina la necesidad de separar sólidos antes de su ingreso al biodigestor. Estos biodigestores funcionan típicamente a una temperatura mesofílica, por lo que se requiere de calor externo.
2. Biodigestores de flujo pistón: El biodigestor de flujo pistón se construye en tanques horizontales de concreto con cubiertas dobles o sencillas de geomembrana para acumular el biogás, o en acero. Este tipo de biodigestor recibe su nombre de "flujo pistón" porque el sustrato que ingresa es empujado por el sustrato del día siguiente en forma de pistón o tapón, lo que también se conoce como flujo continuo. En otras palabras, el sustrato no se mezcla al interior del biodigestor como en el caso del biodigestor de mezcla completa, sino que se mueve a lo largo del sistema casi como paquetes que se van empujando. Este sistema se logra con sustratos "espesos" o con un contenido de sólidos totales superior al 10%, lo que evita problemas de sedimentación o flotación en su interior y no requiere separación de sólidos fibrosos antes de la entrada al biodigestor. Para su funcionamiento, se requiere agregar calor externo, ya que su rango de temperatura típico es mesofílico. Además, el

calentamiento también ayuda a mejorar la viscosidad del sustrato para que pueda fluir fácilmente por el interior del reactor.

3. Biodigestores convencionales, tales como la laguna cubierta, los pre-fabricados o los tubulares: El biodigestor convencional se caracteriza por su simplicidad tecnológica, ya que no requiere de agitación ni calefacción. Su funcionamiento se basa en la sedimentación, lo que significa que los sólidos permanecen en el sistema durante largos períodos de tiempo. Al no promover activamente el contacto de los microorganismos con el sustrato y normalmente operar a temperatura ambiente, su eficiencia suele ser baja.

Para las lagunas cubiertas impermeabilizadas y recubiertas con geomembrana de diferentes materiales plásticos, como polietileno de alta (HDPE) y baja densidad (LPDE), etileno propileno dieno tipo M (EPDM) y policloruro de vinilo (PVC), pueden presentar complicaciones en su operación debido a la posible falla en la integridad de la geomembrana utilizada. Esta es considerada una de las debilidades de este tipo de tecnología, ya que con el tiempo pueden presentarse filtraciones de biogás en los puntos donde se producen frecuentes tensiones.

Los biodigestores prefabricados son una alternativa a las lagunas herméticas, ya que son más fáciles de instalar al ser una única pieza o como máximo dos. Estos tanques están fabricados en geomembrana (ya sea de PVC o polietileno) y vienen sellados desde fábrica, habiendo pasado un control de calidad de hermeticidad. La instalación consiste en ubicarlo en la zanja y llenarlo, lo que simplifica el proceso de construcción y minimiza las posibilidades de filtraciones de biogás (Martí et al., 2017).

3.6.1.3. Equipos a nivel de disposición de purines

Compostaje

El compostaje es un procedimiento biológico mediante el cual la materia orgánica se transforman en biosólidos gracias a la acción de distintos microorganismos. La finalidad de esta tecnología es transformar la materia orgánica en descomposición en formas estabilizadas, logrando así la eliminación de patógenos a través del aumento de la temperatura durante el proceso de descomposición, reducir el volumen del residuo gracias a los procesos de evaporación del agua presente y digestión del material orgánico (Cardoso et al., 2021).

Asimismo, el compostaje se refiere a un proceso natural que se puede mejorar y acelerar mediante la combinación de residuos orgánicos con otros materiales, como desechos vegetales, en proporciones específicas para fomentar el crecimiento de microorganismos. Este proceso transforma los desechos orgánicos en un producto estable que puede resistir las condiciones ambientales, al mismo tiempo que esteriliza en gran medida el estiércol animal (Peralta, 2005).

El proceso de compostaje se realiza en dos fases:

1. Descomposición: La descomposición implica una simplificación mediante la cual las moléculas complejas se desintegran en moléculas más simples, tanto orgánicas como inorgánicas. La fase consta de dos etapas:
 - Digestión aerobia termofílica: los microorganismos termofílicos aumentan la temperatura de la mezcla por encima de los 60°C, lo que provoca la destrucción de microorganismos patógenos. Para mantener condiciones aerobias, se requiere la aplicación de

técnicas de aeración mecánica que implican el volteo periódico de la mezcla con ayuda de un cargador frontal o la inyección de aire mediante un ventilador y difusor. El tiempo de duración de esta fase oscila entre uno y tres meses. Como resultado del aumento en la actividad microbiana, se produce un incremento en la demanda de oxígeno y la generación de calor metabólico, lo que da lugar a temperaturas en el rango termófilo (50 a 60°C). Es recomendable que la temperatura no supere los 60°C para que se logre una adecuada reducción de patógenos. No obstante, en materiales con alta capacidad calorífica, la temperatura puede superar los 80°C, lo que conlleva el riesgo de ocurrencia de incendios. La aeración es una técnica esencial para el control de la temperatura (Cardoso et al., 2021).

2. Maduración o curado: En esta fase (mesofílica) se pueden distinguir dos etapas bien definidas:

- Etapa de enfriamiento: El proceso implica trasladar la mezcla de composteo a una nueva ubicación donde permanecerá en reposo, sin necesidad de aplicar técnicas de aeración. En esta etapa, las temperaturas iniciales son superiores a los 40°C y, posteriormente, disminuyen hasta alcanzar temperaturas mesofílicas o de ambiente (EPA,1992).
- Etapa de estabilización: La etapa se lleva a cabo a temperatura ambiente y se caracteriza por una baja actividad microbiana, resultado de la presencia de organismos superiores (Beyli et al., 2012). La finalidad de esta etapa es garantizar la completa estabilización de la composta y la eliminación de compuestos orgánicos tóxicos (EPA,1992). En esta fase, no se requiere un sistema de aireación ni una alta frecuencia de volteo, ya que la actividad biológica es mucho más estable y los requerimientos de

oxígeno son menores que en la etapa de descomposición. Además, el espacio requerido es menor debido a la reducción del peso y volumen de la mezcla durante la fase de descomposición, que se estima en alrededor del 50% (Beyli et al., 2012). La duración del curado varía entre uno y dos meses (EPA, 1992).

En efecto, hay tres métodos básicos de compostaje que se pueden utilizar para transformar los residuos orgánicos en compost:

1. Secado en filas o hileras (windrow): Consiste en apilar los residuos orgánicos en hileras largas y estrechas para permitir la aireación y el secado del material. El volteo regular del material ayuda a mantener una condición aeróbica y a evitar que la temperatura aumente demasiado. Este método es especialmente útil para compostar grandes cantidades de material en áreas abiertas y bien ventiladas (Peralta, 2005).

Tabla 2: Ventajas y desventajas del método secado en filas

Ventajas	Desventajas
✓ Se logra un secado rápido mediante el uso de altas temperaturas.	✓ Requiere una gran cantidad de espacio para operar de manera eficiente.
✓ El producto resultante es más seco, lo que facilita su manipulación.	✓ Los costos operativos son elevados.
✓ Puede procesar grandes volúmenes de material con facilidad.	✓ Es vulnerable a los cambios climáticos.
✓ El producto es muy estable.	✓ Para mantener las condiciones aeróbicas, es necesario voltear las hileras, lo que implica la necesidad de contar con equipo especializado.

✓ Se requiere una inversión inicial baja.	✓ El volteo del material produce olores desagradables.
---	--

Fuente 12: Elaborado a partir de Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina, INIA, MINAGRI, 2005.

2. Pilas estáticas (static pile): Este procedimiento implica la combinación y apilamiento de materiales de compostaje, con la circulación de aire inducida o forzada. La envoltura exterior de la pila se cubre comúnmente con abono ya procesado u otros elementos aislantes. Las dimensiones de esta estructura estática se encuentran restringidas por la cantidad de aire que los dispositivos de soplado puedan suministrar, así como las características del material utilizado. Los sistemas de aireación forzada se aplican ya sea a través de succión (al vacío) o mediante el uso de tuberías perforadas que generan una presión positiva (forzada) (Peralta, 2005).

Tabla 3 : Ventajas y desventajas del método pilas estáticas.

Ventajas	Desventajas
✓ Costo de implementación bajo.	✓ Espacio adicional necesario para su implementación.
✓ Destrucción efectiva de patógenos.	✓ Vulnerabilidad ante alteraciones climáticas.
✓ Control efectivo de olores.	✓ Costos de operación y mantenimiento de los sopladores.
✓ Alta eficiencia en la estabilización del producto final.	

Fuente 13: Elaborado a partir de Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina, INIA, MINAGRI, 2005.

3. Contenedores (in-vessel): Este procedimiento implica la combinación de purines u otro sustrato orgánico en un recipiente

aislado, que puede incluir una cantidad regulada de aire. Debido a que se puede controlar la humedad, la aireación y la temperatura, esta técnica posee una gran capacidad para regular el proceso, lo que permite alcanzar un alto grado de control (Peralta, 2005).

Tabla 4: Ventajas y desventajas de los contenedores

Ventajas	Desventajas
✓ Requiere de menor espacio para su implementación.	✓ Posee un mayor costo de inversión inicial.
✓ Ofrece una buena protección contra condiciones climáticas adversas.	✓ Requiere de un manejo especializado, por lo que depende de equipos mecánicos y eléctricos especializados.
✓ Ofrece un alto control sobre los olores.	✓ Se necesitan sistemas mecánicos para mezclar los materiales.

Fuente 14:Elaborado a partir de Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina, INIA, MINAGRI, 2005.

3.6.2. Parámetros operacionales

3.6.2.1. Área de alojamiento porcino

Sistema de ventilación tipo túnel

La ventilación por túnel es un sistema altamente eficaz y comúnmente utilizado en alojamientos de cerdos a gran escala (Zimmerman, 1999). Estos sistemas de ventilación forzada utilizan componentes mecánicos, como ventiladores y extractores, con el objetivo de generar un flujo de aire dinámico y controlado (Bertsh, 2021).

Para lograr un ambiente adecuado en un plantel porcino, es necesario controlar los parámetros principales, que incluyen:

1. La Temperatura: El parámetro más crucial para el éxito de una explotación ganadera se considera la temperatura. Si la temperatura es demasiado baja, los animales necesitan utilizar parte de sus reservas de energía para combatir el frío, lo que significa que una porción del alimento consumido se destina a mantener su temperatura interna en lugar de aumentar su peso, lo que afecta su índice de consumo. Por otro lado, si la temperatura es demasiado alta, los animales se esfuerzan por reducir su producción de calor y pueden comer menos. Este esfuerzo por regular la temperatura se traduce en una menor producción de carne (Manual práctico de ventilación, s.f).

Tabla 5: Temperatura en el ganado porcino

Temperatura °C	Humedad relativa % del aire	Aumento de peso (gramos/día)	Índice de consumo
24	90	700	3,6
23	50	780	3,4
15	70	780	3,4
8	70	710	3,7
3	70	630	4,3

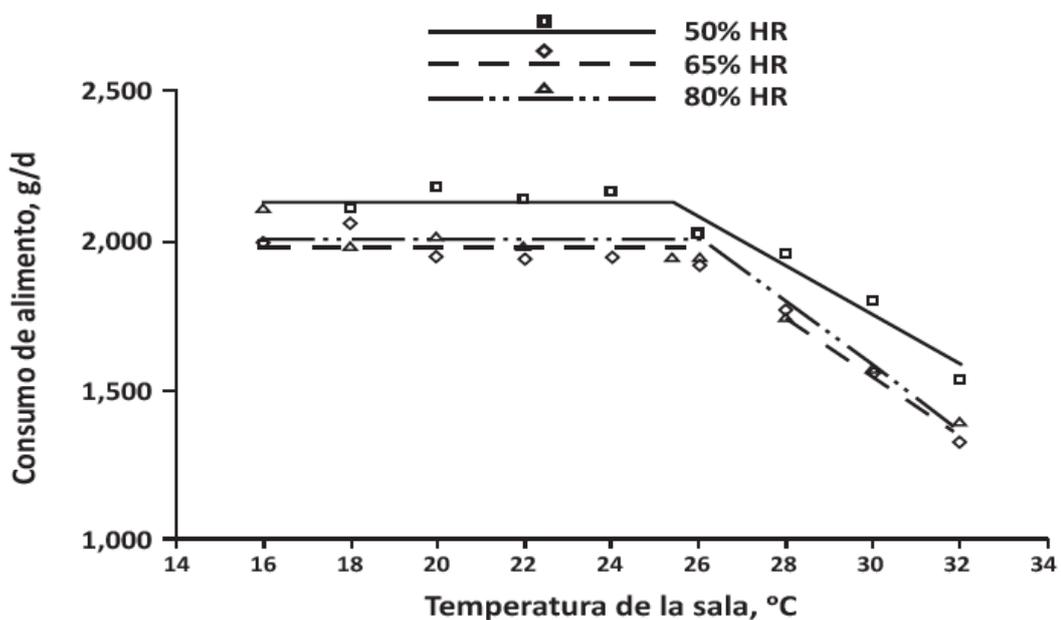
Fuente 15: Manual técnico de ventilación (s.f)

2. La Humedad relativa: La humedad relativa se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire, expresada como un porcentaje de la cantidad necesaria para saturar el aire a esa misma temperatura. A medida que la temperatura aumenta, la capacidad de retención de agua del aire también aumenta (PIC, 2019). Los rangos óptimos de humedad relativa se sitúan entre el 60% y el 80%. Cuando la humedad relativa supera el 80%, puede resultar perjudicial tanto para los animales como para las

instalaciones y estructuras del edificio (Manual práctico de ventilación, s.f)

La relación entre la humedad y la temperatura tiene un impacto en el rendimiento de los cerdos. El consumo de alimento se ve más afectado cuando tanto la temperatura como la humedad relativa son altas en comparación con situaciones en las que la temperatura es alta pero la humedad es baja.

Gráfico 2: Impacto de la Humedad Sobre el Consumo de Alimento a Diferentes Temperaturas en el alojamiento



Fuente 16:Huynh et al., 2005

3. La Calidad del aire: la ventilación mínima también desempeña un papel importante en el control de los niveles de gases en los edificios de cerdos. Por lo tanto, es esencial conocer qué gases deben medirse y cuál es el límite máximo permitido en el interior de estos edificios. A continuación, se presentan algunas referencias para los pabellones de cerdos:

- NH_3 <20ppm
- CO_2 <3,000ppm
- CO <30ppm
- H_2S <5ppm

Los niveles de gases mencionados anteriormente pueden ser superiores a los niveles de tolerancia para los humanos cuando se exponen durante 8 horas al día, 40 horas a la semana. Es importante cumplir siempre con las leyes locales vigentes, incluso si estas difieren de las recomendaciones mencionadas anteriormente (PIC, 2019).

4. La Velocidad: Es una consecuencia del flujo de aire requerido para la ventilación adecuada del espacio. La velocidad del aire también está vinculada a la temperatura dentro del recinto. En el caso de temperaturas bajas, una velocidad del aire superior a 0,5 m/s puede generar una sensación incómoda de frío (Manual práctico de ventilación, s.f).

Para los pabellones con ventilación en túnel, un intercambio de aire estándar es 35-40 segundos a una velocidad estándar de 300-400 FPM (medida en el túnel) (Manual destete-venta, 2029).

3.6.2.2. Área de tratamiento de purines

Lagunas estabilizadoras

Los factores y variables que se utilizan para regular y controlar el proceso de tratamiento en las lagunas de estabilización varían significativamente dependiendo del tipo específico de laguna. Existe una variedad de parámetros que pueden ser relevantes, pero algunos de los más comúnmente utilizados incluyen:

- pH: El valor de pH en los sistemas de lagunas varía según el tipo de laguna. En las lagunas anaerobias, se espera que el pH esté entre 6.5 y 7.5, mientras que, en las lagunas facultativas, se espera que el pH en la capa aeróbica se encuentre entre 8 y 10, y en el fondo de la laguna, entre 6.5 y 7.5. En las lagunas de maduración aeróbicas, el pH debe estar en el rango de 8 a 10. Es importante monitorear el pH en diferentes profundidades de la laguna y en al menos tres puntos (entrada, centro y salida) para observar su comportamiento a lo largo del sistema. Se recomienda realizar un perfil de pH para obtener información más detallada. Para la medición se requiere un potenciómetro para medir el pH en las lagunas, y es importante calibrarlo antes de su uso. Es fundamental registrar las mediciones en una bitácora para llevar un seguimiento adecuado del comportamiento del pH en el sistema de lagunas (Comisión Nacional del Agua, 2015)..
- Color: El color depende del tipo de laguna, para las lagunas anaeróbicas se espera observar la generación de biogás y una coloración gris en el estanque. El efluente de la laguna debería tener una tonalidad café oscuro o gris. Para las lagunas facultativas, se espera que el efluente tenga una coloración verde oscuro brillante, mientras que para las lagunas de maduración el efluente presenta una coloración verde claro (Comisión Nacional del Agua, 2015).
- Olor: En relación con el olor en los sistemas de lagunas estabilizadoras, cabe mencionar que solo se presenta si la laguna anaerobia está sobrecargada. Con frecuencia, se percibe un olor característico a huevo podrido, generado por la emisión de sulfuro de hidrógeno hacia la atmósfera. Por otro lado, las lagunas facultativas y de maduración, en caso de que estén funcionando

de manera adecuada, no deberían generar olores desagradables (Comisión Nacional del Agua, 2015).

- **Temperatura:** La temperatura es un factor crítico que influye significativamente en las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización, y está relacionada con la radiación solar. Tanto la velocidad de la fotosíntesis como el metabolismo de las bacterias encargadas de la eliminación de la materia orgánica se ven afectados por la temperatura, y estos procesos se retrasan en condiciones de bajas temperaturas (Correa, 2008). Se recomienda medir diariamente la temperatura en el afluente y efluente de la laguna con un termómetro calibrado, registrando los resultados correspondientes en una bitácora (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Oxígeno disuelto: Se debe realizar mediciones diarias de la concentración de oxígeno disuelto en el afluente y efluente de cada laguna durante el primer turno de operación. Para esto se debe utilizar un medidor de oxígeno disuelto, previamente calibrado, como parte de las tareas diarias de monitoreo. En las lagunas facultativas, durante la fase de radiación solar y en la capa aerobia, se observan concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 6 mg/L, mientras que por la noche disminuyen. En las lagunas de maduración, también se registran concentraciones mayores a 6 mg/L durante el día, aunque en la profundidad de la laguna.

Tabla 6: Parámetros de control en las lagunas de estabilización (rango normal)

Parámetro	Anaerobia	Facultativa	Maduración
------------------	------------------	--------------------	-------------------

Color	Café	Verde oscuro	Verde claro
Olor	Sí	No	No
pH	6.5-7.5	8-9	8-9
T° del agua	20-25°C	20-25°C	20-25°C
T° ambiente	18-35°C	18-35°C	18-35°C
Oxígeno disuelto	0	>6mg/L	6-35 mg/L

Fuente 17: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, s.f.

Lombrifiltro

Los parámetros fisicoquímicos medibles son pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV), al tener controlados estos parámetros se puede determinar la eficiencia del proceso y el buen funcionamiento del lombrifiltro (Alexander et al., 2015)

La adaptación del sistema tradicional de lombricultura, resulta el lombrifiltro y está compuesto por 3 capas y lombrices del tipo *Eisenia foetida* (Quille, 2019) Las condiciones ideales del hábitat para la lombriz *Eisenia Foetida*, corresponden a una temperatura de 20°C, pH neutro, oxígeno ambiental, baja luminosidad (debido a su naturaleza fotosensible) y humedad considerable (Bravo, 2019).

(Loro, 2018) afirma que la temperatura es un parámetro de vital importancia, el cual debe ser monitoreado constantemente, ya que determina las condiciones esenciales para el desarrollo de microorganismos y de la *Eisenia foetida* en las reacciones químicas, pues su actividad metabólica se acelera con la temperatura y viceversa. Asimismo, de acuerdo con Jin et al. (2016), las especies de la lombriz de tierra *Eisenia foetida* favorecen las partículas orgánicas, toleran la fluctuación de la temperatura y se adaptan al ambiente húmedo. En comparación con otras especies, estas poseen una

mayor tolerancia a la fluctuación de la temperatura y a la alta humedad, así como una mayor reproducción.

Tabla 7: Rangos de operación y sobrevivencia lombriz Eisenia Foetida (Bollo, 1999).

Parámetro	Óptimo	Adecuado	Inadecuado
Temperatura (°C)	20	15-24	<5;>37
Humedad (%)	75	70-80	<70;>85
pH	6,5-7,5	6-8	<4,5;>8,5

Lodos activados

El sistema de lodos activados es un proceso biológico altamente efectivo para la eliminación de contaminantes orgánicos en aguas residuales. Sin embargo, para que este proceso funcione correctamente, es necesario mantener ciertos parámetros de operación en niveles óptimos (Sánchez & Villaverde, 2020).

Al mismo tiempo, se suele decir que la eficacia de una planta de tratamiento de aguas residuales depende de manera crucial de la competencia de los operadores que la manejan. Aunque el diseño de la planta sea excelente, si los operadores no realizan su trabajo de forma adecuada, los resultados serán pobres. Por otro lado, una planta que presente problemas de diseño puede brindar buenos resultados si los operadores son capaces de manejarla de forma competente. En última instancia, una planta que sea tanto bien diseñada como bien operada podrá ofrecer efluentes de calidad (Calderón, 2004).

En efecto, para el correcto funcionamiento de una planta de tratamiento, es necesario supervisar y monitorear el rendimiento de cada una de sus unidades de procesamiento. Además, se debe realizar un registro detallado de los datos obtenidos durante el proceso y procesarlos adecuadamente para

obtener información valiosa que permita controlar y mejorar el rendimiento del sistema en su conjunto (Calderón, 2004).

Para asegurar un proceso de lodos activos eficiente, es esencial supervisar y controlar diversos factores, tanto biológicos como fisicoquímicos, con el fin de garantizar:

- La creación y mantenimiento de una comunidad de microorganismos activa capaz de consumir los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- La formación de agregados de microorganismos en forma de flóculos (floculación).
- Una adecuada sedimentación de los flóculos generados, lo que da lugar a la formación de un lodo concentrado que puede ser recirculado, y, en consecuencia, a la obtención de un sobrenadante clarificado (Buitrón, Reino, & Carrera, s.f).

Dado lo anterior, y considerando que resulta esencial entender las diferentes variables e indicadores que afectan su operación y rendimiento. De los principales parámetros se encuentran los siguientes:

1. Indicadores:

La planta de tratamiento puede ser considerada como un ecosistema completo y, como tal, presenta una serie de respuestas ante diferentes condiciones a las que se enfrenta. Algunas de estas respuestas pueden ser observadas sin necesidad de utilizar equipos especializados y se les conoce como indicadores visuales (Calderón, 2004).

Tabla 7: Indicadores visuales comunes

Indicador	Causa
------------------	--------------

Color	Se puede determinar la antigüedad de los lodos según su coloración. El color marrón claro indica un lodo activado en óptimas condiciones, mientras que el color oscuro o negro puede indicar condiciones de putrefacción en el reactor. Esto puede ser causado por problemas como una distribución inadecuada del oxígeno o una sobrecarga orgánica.
Espuma	La formación de espuma blanca en el efluente indica alta concentración de sólidos. Una gran cantidad de espuma blanca y cremosa en el aerador sugiere que el lodo es joven y se debe reducir la carga. La espuma café oscuro y gruesa indica que el lodo es viejo y se debe aumentar la carga.
Algas	Cuando las paredes, canaletas y vertedores presentan una proliferación de algas, esto indica que el agua contiene altas cantidades de nutrientes, específicamente nitrógeno y fósforo.
Materia flotante	Indica altos niveles de grasas y aceites en el afluente, lo que afecta la sedimentación y la eficiencia de remoción de DBO. La formación de una capa de nata puede indicar inyección excesiva de aire que arrastra los flóculos fuera del manto de lodos.
Burbujeo	El burbujeo en el sedimentador puede deberse a un manto de lodos demasiado profundo que entra en condiciones de anaerobiosis, produciendo gases formadores de burbujas. Las burbujas arrastran sólidos y pueden afectar el funcionamiento del sedimentador.
Acumulación de sólidos	Si se acumulan sólidos, en particular en las esquinas y espacios entre difusores, esto puede ser indicativo de una mezcla inadecuada en el tanque de aeración. Asimismo, la mala funcionalidad de los desarenadores y/o sedimentadores primarios también puede ser una causa de la formación de sedimentos en el tanque de aeración.
Turbulencia	La uniformidad de la turbulencia es esencial en el tanque de aeración, y la presencia de zonas con baja turbulencia puede indicar la obstrucción de difusores o una colocación desigual de los aeriadores superficiales.

Trayectoria del flujo	La dirección del flujo puede ser útil para identificar cortocircuitos. La forma en que la espuma, los sólidos suspendidos o los materiales flotantes se mueven en el agua es una señal del patrón de flujo, y si se mueven demasiado rápido, puede ser un indicio de un cortocircuito.
Claridad en el efluente	El grado de transparencia del efluente es un factor que refleja el estado del proceso, ya que, si el efluente es transparente, esto sugiere que el proceso está funcionando correctamente, mientras que, si el efluente es turbio, es una señal de que la planta está experimentando un mal funcionamiento.
Aspecto del lodo	La apariencia del lodo es un indicador crucial del estado del proceso. Los flóculos deben ser esponjosos y sedimentar adecuadamente. La falta de compactación puede indicar microorganismos filamentosos, mientras que la compactación excesiva puede deberse a la aeración. La rápida sedimentación puede ser indicativa de lodo viejo.
Olor	Cuando los sistemas de lodos activados operan correctamente, los lodos emiten un olor a humedad. Sin embargo, si la planta emite malos olores, es una señal de problemas operativos. Esto podría ser debido a una falta de aireación en el reactor, una acumulación excesiva de lodos en el sedimentador o un choque orgánico en el sistema.

Fuente 18: Elaboración propia, a partir de Operación de plantas de lodos activados, Calderón, 2004.

2. Parámetros de operación del sistema:

Entre las condiciones más importantes para el correcto funcionamiento del sistema de lodos activados se encuentran:

- **Caudal:** Se refiere a una medida de la cantidad de agua que fluye a través de una corriente en un período determinado. Esta medida se puede expresar en diversas unidades, como litros por segundo, litros por minuto, metros cúbicos por hora, entre otras unidades que se obtienen mediante cálculos matemáticos (Monge, 2017).

- Tiempo de retención hidráulica (TRH): es una medida independiente que determina cuánto tiempo las bacterias tienen contacto con el agua residual. Esta medida es crucial para el diseño y operación adecuados de los sistemas de tratamiento, ya que es necesario conocer el tiempo necesario para que las bacterias asimilen la materia orgánica presente en el agua entrante. Si el tiempo de retención no es el adecuado, no se logrará una eliminación efectiva de la materia orgánica y, por lo tanto, no se obtendrá una respuesta satisfactoria en términos de remoción (Ramos, 2017).
- Tiempo de retención celular: Este parámetro, también se denomina "edad de lodo", hace referencia al tiempo en que los lodos permanecen en el sistema de tratamiento. Es esencial que los lodos permanezcan en el sistema al menos durante 3 días, ya que los lodos con una edad inferior a este tiempo presentan una sedimentabilidad deficiente. Los tiempos medios de retención celular entre 3 y 15 días producen efluentes estables de alta calidad y lodos con excelentes propiedades de sedimentabilidad (Metcalf & Eddy, 2003).
- Carga orgánica volumétrica: medida que indica la cantidad de materia orgánica, expresada en kilogramos de DBO5, que se aplica por cada metro cúbico del tanque de aireación durante un período específico, generalmente un día. Es una medida importante en la evaluación del rendimiento de los sistemas de tratamiento biológico y puede ayudar a determinar la capacidad de un sistema para tratar eficazmente el agua residual (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013).

3. Parámetros biocinéticos:

Los parámetros biocinéticos son empleados para analizar tanto el aumento en el número de microorganismos como la mortalidad celular, los cuales tienen un impacto en el rendimiento del sistema (Ramalho, 2003). Los principales parámetros son:

- Oxígeno Disuelto: se refiere a la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua residual. Es un parámetro crítico del agua, y su nivel debe ser superior a 1 mg/L para garantizar la efectividad de los procesos de tratamiento aerobio (Lozano, 2012).
- pH: es un parámetro que indica el grado de acidez o alcalinidad del agua, y es fundamental para controlar los procesos biológicos. Los microorganismos encargados de la depuración del agua suelen desarrollarse en un rango de pH de 6.5 a 8.5 (Lozano, 2012).
- Temperatura: parámetro físico que indica la energía cinética interna de las moléculas de agua, y se expresa en grados Celsius (°C). Este parámetro influye en el nivel de actividad de los microorganismos presentes en el sistema, así como en la solubilidad de gases y sales en el agua (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Muñoz, 2018).
- Sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación: medida de la concentración de biomasa presente en dicho tanque. Esta concentración incluye tanto microorganismos vivos como muertos, así como restos celulares (Chamorro, 2015).
- Sólidos volátiles del lodo sedimentado: se refiere a la fracción de los lodos sedimentados en el sedimentador secundario que se volatilizan a una temperatura de 550°C. Esta fracción corresponde a los componentes orgánicos del lodo que pueden ser quemados mediante este proceso (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013).

- Relación Alimento/ Microorganismos (A/M): parámetro operativo que se utiliza para medir la cantidad de materia orgánica disponible para cada microorganismo presente en el sistema de tratamiento. También se conoce como factor de carga, y se expresa en términos de masa de alimento por masa de microorganismos. Este parámetro es importante para determinar la capacidad de carga del sistema y asegurar que los microorganismos tengan suficiente alimento para llevar a cabo su función de degradar la materia orgánica (Lozano, 2012).

- Índice volumétrico de lodos: se refiere al volumen que ocupa un gramo de lodo después de haber sedimentado durante media hora. Este índice se determina colocando un litro de licor mezclado del tanque de aireación en una probeta y midiendo el volumen que ocupa el lodo sedimentado después de 30 minutos. Este parámetro es utilizado para evaluar la capacidad de sedimentación de los lodos y, por lo tanto, la eficacia del proceso de tratamiento (Lozano, 2012).

- Eficacia del sistema de lodos activados: determina mediante el cálculo de la remoción de la carga contaminante que se logra aplicando dicho sistema de tratamiento. Esta eficacia se define como el porcentaje de la carga contaminante del agua residual que se reduce al aplicar el sistema de lodos activados. El cálculo de la eficacia del sistema es un indicador importante de su desempeño y se utiliza para asegurar que se cumplan los objetivos de tratamiento establecidos para la calidad del agua residual tratada (Reina, 2015).

5. Calidad de efluentes:

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua es utilizado para evaluar la carga contaminante presente en los efluentes. Estos parámetros permiten obtener información sobre las características del agua residual y determinar el nivel de contaminación presente en ella (FAO, 2006).

- Demanda biológica de oxígeno: se refiere a la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para oxidar la materia orgánica presente en el agua. Por lo general, este parámetro se mide después de cinco días de haber iniciado el proceso y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mgO₂/L). La medición de la DBO₅ es una forma común de determinar el grado de contaminación orgánica en un cuerpo de agua y se utiliza para evaluar la eficacia de los procesos de tratamiento biológico en la remoción de la materia orgánica (López & Martín, 2017).
- Demanda Química de Oxígeno: es una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica y otras sustancias contaminantes presentes en el agua. Es un indicador más amplio que la DBO₅, ya que incluye tanto la materia orgánica biodegradable como no biodegradable. La DQO se expresa en mg O₂/L y se utiliza para evaluar la carga contaminante total de un efluente (López & Martín, 2017).
- Sólidos suspendidos totales (SST): son las partículas que no pueden ser filtradas del agua y que incluyen materia orgánica e inorgánica, como arena, arcilla y partículas coloidales. Los SST pueden estar compuestos por un 68% de sólidos orgánicos y un 32% de sólidos inorgánicos. La medición de los SST es importante para evaluar la calidad del agua y la eficacia de los tratamientos de aguas residuales (López & Martín, 2017).

- Aceites y Grasas (AyG): compuestos que no se disuelven en el agua debido a su naturaleza hidrófoba y baja densidad, lo que provoca su acumulación en la superficie del agua en forma de capas de aceite y espuma. Por lo tanto, se eliminan en el proceso de pretratamiento antes de aplicar el tratamiento de lodos activados (López & Martín, 2017).

Biodigestores

El control y seguimiento del proceso biológico presentan un reto. En el sector agrícola, el objetivo de la digestión anaeróbica es mantener una producción de metano constante y estable (BMZ, 2010).

Al igual que ocurre con otras plantas industriales, el nivel de complejidad en el mantenimiento de un biodigestor dependerá del tipo de biodigestor y de la forma en que se aprovechen sus productos. Esto puede variar en términos de la frecuencia de monitoreo requerida, la sensibilidad del proceso y los costos involucrados (Martí, Pino, & Viquez, 2017).

Existen diversos factores que pueden afectar el proceso de biodigestión anaeróbica, lo que puede acelerar o inhibir el proceso. Sin embargo, como cada grupo de bacterias involucradas en las diferentes etapas del proceso tiene una respuesta única a estos factores, no se pueden proporcionar valores precisos sobre cómo afectan cada uno de ellos a la producción de biogás (Moncayo, 2017).

Así mismo, el éxito del proceso de digestión anaeróbica depende de las condiciones presentes en el biodigestor, ya que es un proceso biológico. Por lo tanto, es importante tener un conocimiento profundo de los rangos de los diferentes parámetros que influyen en el desarrollo de los microorganismos que trabajan en la materia orgánica, y cómo afectan al proceso de

biodigestión. De esta manera, se puede garantizar un desarrollo óptimo del proceso (Moncayo, 2017).

A continuación, se describen los aspectos físicos y químicos fundamentales para asegurar el correcto funcionamiento de un biodigestor y se detalla cómo se relacionan con la tecnología utilizada:

PH:

se refiere a la acidez o alcalinidad de una solución y está estrechamente relacionado con la actividad de los iones de hidrógeno y los procesos de producción y degradación de ácidos orgánicos en el biodigestor. Controlar este factor es crucial ya que el proceso biológico que genera biogás depende en gran medida del pH, especialmente los microorganismos metanogénicos responsables de la producción de metano (FAO, 2019).

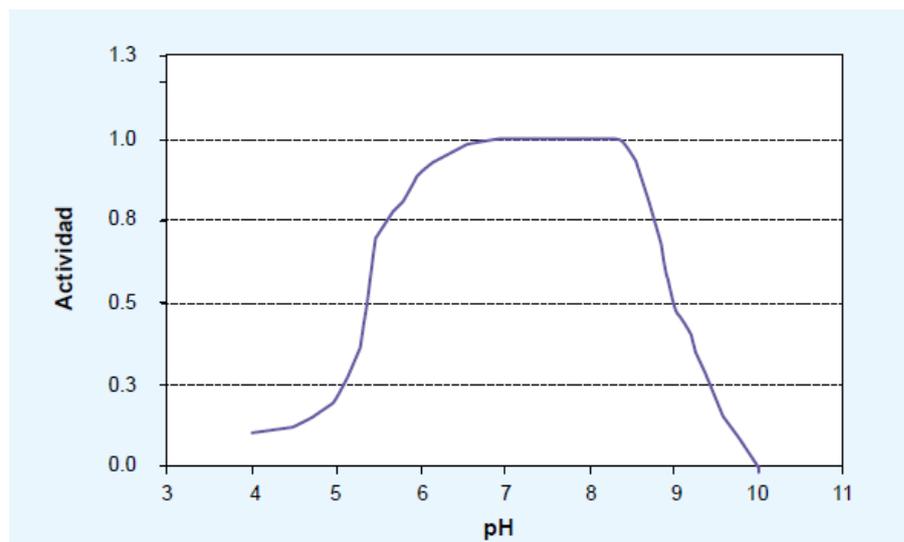
El pH en el biodigestor puede fluctuar debido a las características de la mezcla que se introduce y a los procesos que tienen lugar en el interior, como la acidificación. Por lo tanto, es esencial monitorear regularmente el pH del material que entra y sale del biodigestor para poder realizar ajustes antes de que caiga a un nivel crítico en el que se inhiba el metabolismo de los microorganismos metanogénicos y se detenga la producción de biogás (FAO, 2019).

Los distintos grupos bacterianos que participan en la digestión anaeróbica tienen una actividad óptima que se sitúa alrededor del pH neutro. Los microorganismos acidogénicos tienen un óptimo de entre 5.5 y 6.5, mientras que los metanogénicos lo tienen entre 7.8 y 8.2. Para los cultivos mixtos, el rango de pH óptimo se encuentra entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal (Ministerio de Energía, 2011).

En efecto, si el pH disminuye por debajo de 6, una de las consecuencias es que el biogás producido tendrá un bajo contenido de metano, lo que

significa que tendrá una menor calidad energética. Dado que la metanogénesis es la etapa limitante del proceso, es fundamental mantener el pH del sistema lo más cercano posible a la neutralidad. A diferencia de los microorganismos metanogénicos, los acidogénicos son menos sensibles a variaciones extremas de pH (Ministerio de Energía, 2011).

Gráfico 3: Dependencia del pH de la actividad metanogénica



Fuente 19: Speece (1996)

Temperatura:

La temperatura es un factor fundamental que influye en el rendimiento de un biodigestor. Este aspecto puede verse influenciado por diversos factores, como la tecnología empleada en el biodigestor, los materiales utilizados en su construcción, la ubicación geográfica y el clima, así como la temperatura de la mezcla que se utiliza para alimentarlo (FAO, 2019).

Asimismo, el proceso de biodigestión puede ocurrir en un amplio rango de temperatura, que va desde los 10 a los 55 °C. Dependiendo de la temperatura, los biodigestores y sus procesos pueden ser clasificados en tres grupos principales (FAO,2019).

Tabla 8: Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrofílicos	4 – 10 °C	15 – 18 °C	20 – 25 °C	Sobre 100 días
Mesofílicos	15 – 20 °C	25 – 35 °C	35 – 45 °C	30-60 días
Termofílicos	25 – 45 °C	50 – 60 °C	75 – 80 °C	10-15 días

Fuente 20: Lagrange, 1979.

Por otra parte, en la práctica se ha comprobado que las fronteras entre los diferentes rangos de temperatura no son rígidas y que los cambios bruscos de temperatura son los que pueden perjudicar a los microorganismos. Sin embargo, si la temperatura cambia de manera gradual, los microorganismos metanogénicos pueden adaptarse a diferentes niveles de temperatura. Por tanto, no es tanto la temperatura absoluta lo que resulta fundamental para mantener estable el proceso, sino la estabilidad a un nivel determinado de temperatura (BMZ, 2010).

Además, existe una relación entre la temperatura y el tiempo que la biomasa debe permanecer en el digestor para completar su proceso de degradación, también conocido como Tiempo de Retención Hidráulico (TRH). Si la temperatura es mayor, el TRH será menor, lo que significa que se necesitará menos tiempo para degradar la biomasa. Esto se traduce en la necesidad de un menor volumen de reactor para tratar la misma cantidad de biomasa (Rodríguez, 2022).

Con relación a los sensores, es recomendable instalar sensores de temperatura a distintas alturas para poder detectar cualquier problema de estratificación o mezcla inadecuada. Es importante evitar la instalación de sensores en zonas muertas o en áreas cercanas al equipo de estabilización de temperatura (BMZ, 2010).

Velocidad de carga orgánica y tiempo de retención Hidráulico:

La velocidad de carga orgánica (VCO) se refiere a la cantidad de material orgánico en sólidos volátiles (SV) que se introduce en el reactor por unidad de volumen cada día. Esta tasa depende directamente de la concentración del sustrato y del tiempo de retención que se haya establecido (Varnero, 2011).

La tasa de carga orgánica se expresa como:

Ecuación 1: Tasa de carga orgánica (VCO)

$$VCO \left(\frac{Kg VS}{m^3 día} \right) = \frac{\text{sustrato} [Kg SV/día]}{\text{Volumen de reactor} [m^3]}$$

El Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) se refiere al tiempo que el sustrato (o material orgánico a procesar) permanece dentro del biodigestor desde su carga hasta su descarga. Durante este tiempo, las bacterias trabajan en la degradación del sustrato para producir biogás. Por lo tanto, el TRH es el período de tiempo que se les da a las bacterias para que procesen el sustrato en el biodigestor. En pocas palabras, el TRH es el tiempo que el sustrato permanece dentro del biodigestor (Martí, Pino, & Viquez, 2017).

Por tanto, el tiempo de retención hidráulico y la carga orgánica, que depende del tipo de sustrato, son los parámetros principales que determinan el volumen del digestor en el diseño del proceso. La materia orgánica o los sólidos volátiles (SV) son aquellos componentes de la materia seca (MS) o los sólidos totales (ST) que se volatilizan a temperaturas superiores a 550 °C durante la incineración. En el caso de los residuos de animales, estos pueden tener un contenido de MS superior al 10% de la mezcla agua-estiércol. Sin embargo, para cumplir con los requisitos operativos de un reactor anaerobio, en la mayoría de los casos, el contenido de MS no debe exceder el 10% de la mezcla agua-estiércol. Por esta razón, los residuos de las granjas deben diluirse antes de ser tratados (Varnero, 2011).

El cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH) se obtiene al dividir el volumen del digester entre el volumen de carga diaria, el cual se expresa en días. De esta manera, se establece la cantidad de carga diaria necesaria para alimentar el digester, mediante la relación mencionada (Rodríguez, 2022). Por lo que se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Cálculo Tiempo de retención hidráulica

$$TRH \text{ (día)} = \frac{\text{Volumen del biodigestor (m}^3\text{)}}{\text{Volumen carga diaria (}\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\text{)}}$$

Es importante tener en cuenta que dentro del biodigestor habitan los grupos de bacterias encargados de llevar a cabo el proceso de digestión anaeróbica, y que su tiempo de reproducción puede variar de 5 a 20 días, dependiendo de la temperatura del biodigestor. Si el tiempo de retención hidráulica (TRH) del biodigestor es demasiado bajo, esto puede provocar la eliminación de las bacterias, lo que significa que la población disminuirá, ya que se perderán más bacterias de las que se reemplazan mediante la reproducción. En la práctica, se recomienda asignar un TRH mayor que el mínimo necesario, por ejemplo, entre 20 y 30 días para sistemas mesofílicos (con una temperatura de 37°C) y de 40 a 100 días para sistemas psicofílicos (con temperaturas entre 5 y 25°C) (Martí, Pino, & Viquez, 2017).

Así pues, la rapidez con la que se produce la descomposición está fuertemente influenciada por la temperatura; cuanto más alta sea la temperatura, menor será el tiempo requerido para obtener una cantidad adecuada de biogás a través de la retención. Si tomamos el caso del estiércol de ganado como ejemplo común, los tiempos de retención varían en función de la temperatura según la zona climática (Varnero, 2017).

Tabla 9: Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas zonas climáticas.

TRH	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

Fuente 21: Varnero, 1991

Relación carbono/nitrógeno:

La mayoría de la materia orgánica pueden generar biogás mediante el proceso de fermentación anaeróbica. Sin embargo, la cantidad y calidad del biogás producido dependerán de las características y composición del residuo utilizado (Varnero, 2017). Para que los microorganismos puedan realizar la digestión anaeróbica en el biodigestor, es necesario que los sustratos que se les proporcionen contengan nutrientes específicos como carbono (C) y nitrógeno (N). Estos nutrientes son fundamentales para el desarrollo de los microorganismos durante el proceso (Gajardo, 2013).

En efecto, las bacterias metanogénicas se alimentan principalmente de carbono y nitrógeno. El carbono les proporciona energía, mientras que el nitrógeno es esencial para la formación de nuevas células. Sin embargo, estas bacterias necesitan 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que se recomienda que la proporción óptima entre estos dos elementos en la materia prima oscile entre 30:1 y 20:1. No obstante, Si la proporción de carbono a nitrógeno en los sustratos es mayor a 35:1, la descomposición de la materia será más lenta pero el periodo de producción de biogás se extenderá. Por el contrario, si la relación C/N es menor a 8:1, la actividad bacteriana será afectada debido a la acumulación excesiva de amonio (NH_4^+), lo que puede resultar en la inhibición del proceso de biodigestión ya que el amonio en grandes cantidades puede ser tóxico (Varnero, 2017).

A partir de la información sobre el contenido de carbono y nitrógeno de cada una de las materias primas, se puede determinar la proporción de C/N de la mezcla utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 3: Relación C/N

$$K = \frac{C1 * Q1 + C2 * Q2 + \dots Cn * Qn}{N1 * Q1 + N2 * Q2 + \dots Nn * Qn}$$

K = C/N de la mezcla de materias primas.

C = % de carbono orgánico contenido en cada materia prima.

N = % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima.

Q = Peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas.

A continuación, se presentan valores promedio aproximados de la proporción entre carbono y nitrógeno en el purín producido por cerdos (Varnero, 2017).

Tabla 10: Valor promedio aproximado de la relación carbono/nitrógeno en el purín porcino

Residuo	%C	%N	C/N
Porcinos	25	1.50	16:1

Fuente 22: Varnero, 2017.

Para finalizar, es importante destacar que para que el proceso microbiológico tenga éxito, no sólo es necesario contar con fuentes adecuadas de carbono y nitrógeno, sino que también es necesario mantener un equilibrio adecuado de sales minerales, como el azufre (S), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), zinc (Zn), cobalto (Co), selenio (Se), tungsteno (W), níquel (Ni) y otros elementos menores (Hil (Gajardo, 2013)

Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles:

Toda materia orgánica se compone de dos partes: agua y una porción sólida denominada sólidos totales (ST) (Varnero, 2017). Por eso esencial

considerar el nivel de porcentaje de sólidos totales (ST), ya que un exceso en esta cantidad puede obstaculizar la capacidad de movimiento de los microorganismos metanogénicos, lo que a su vez puede perjudicar la eficacia del reactor y disminuir la cantidad de biogás producido (Rodríguez 2022).

Es indispensable tener conocimiento del porcentaje de sólidos totales presentes en la materia prima para determinar la cantidad de agua que se debe agregar durante la mezcla. Para el purín porcino, este rango oscila entre el 15% y el 49% (Varnero y Arellano, 1991).

La fórmula para calcular el porcentaje de sólidos totales es la siguiente:

Ecuación 4: Cálculo de sólidos totales

$$\%S,T \text{ (carga diluida)} = \frac{1 \text{ Kg de materia prima} * \%S,T \text{ materia fresca prima}}{1 \text{ Kg de materia prima fresca} + \text{agua agregada}}$$

Por otro lado, los Sólidos Volátiles (S.V.) son la fracción de los sólidos totales que se libera de una muestra al someterla a una temperatura de 600°C durante un periodo de dos horas. Los SV incluyen componentes orgánicos que idealmente deberían transformarse en metano (Varnero, 2017).

Tipo de materia prima y composición química:

Las materias primas utilizadas pueden provenir de diversas fuentes, como restos de cultivos vegetales, animales, productos agroindustriales, bosques, residuos domésticos, aguas residuales orgánicas, desechos animales y humanos, y desechos líquidos de ciertas industrias químicas. Se exhibe una variedad de residuos de diferentes orígenes.

Tabla 11: Residuos orgánicos de diversos orígenes.

Residuos de origen animal	estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
----------------------------------	---

Residuos de origen vegetal	malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	salvado de arroz, orujos, coquetas, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivos acuáticos	algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.

Fuente 23: Varnero y Arellano, 1991.

Para que un sistema anaeróbico tenga actividad microbiana, es importante que los residuos que se utilicen tengan características bioquímicas adecuadas. Además de fuentes de carbono y nitrógeno, se requiere un equilibrio de sales minerales como azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores. Normalmente, los estiércoles y lodos cloacales tienen estos elementos en proporciones adecuadas, pero en algunos casos es necesario agregar compuestos o utilizar un post tratamiento aeróbico cuando se digieren ciertos desechos industriales.

La composición química típica del purín porcino, así como la concentración de nutrientes que se encuentra y la capacidad de producción de biogás, se expresan en las tablas:

Tabla 12: Valores medios de composición química del purín porcino.

Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
11,50	10,95	32,39	21,49	23,67

Fuente 24: Varnero, 2011.

Tabla 13: Concentraciones de nutrientes en purín porcino.

Materia prima	C (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
Purín	17,4 – 46,0	1,1 – 2,5	0,4 – 4,6	0,30	0,09	0,10
Purín + paja	20,0 – 22,0	0,3 – 0,5	0,24	0,63	0,20	-

Fuente 25: Varnero, 2011.

Tabla 14: Producción de biogás en purines de cerdo.

Estiércol	Disponibilidad Kg/día	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m ³ / kg húmedo	m ³ / día/año
Porcino (50kg)	2.25	13:1	0.06	0.135

Fuente 26: Varnero y Arellano, 1991.

*El dato se refiere a la cantidad estimada de estiércol que es posible recolectar de todo el producto.

Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis:

La mayoría de los compuestos dañinos en el proceso provienen de la materia prima que se introduce en el digestor o pueden ser producidos por la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos. Si los niveles de estos compuestos son muy altos, pueden impedir el crecimiento bacteriano. Los compuestos más importantes que pueden tener un efecto inhibitor en el proceso anaeróbico son los siguientes:

1. Ácidos grasos volátiles (AGV): La presencia de ácidos grasos volátiles en concentraciones elevadas es un indicador altamente eficaz para evaluar el progreso del proceso anaeróbico. Por esta razón, se utiliza ampliamente en sistemas de control, ya que los niveles de AGV son muy sensibles a cualquier cambio en el sistema y pueden responder rápidamente a las variaciones del proceso.

En un sistema anaeróbico ideal, los niveles de ácidos grasos volátiles en el efluente son generalmente bajos y oscilan entre 50 y 250 mg HAc/l. Sin embargo, cuando se produce un desequilibrio

en la relación simbiótica entre los microorganismos acidogénicos y metanogénicos, se produce una acumulación en el sistema.

La inhibición de los microorganismos llamados metanogénicos puede ocurrir por diversas razones, como por ejemplo la toxicidad, cambios en las condiciones del medio ambiente o falta de nutrientes. Esto puede resultar en una acumulación de ciertas sustancias como el acetato y el hidrógeno. Si hay demasiado hidrógeno, las bacterias que degradan el ácido propiónico pueden verse fuertemente afectadas y esto puede causar una acumulación de ese ácido. Además, algunas sustancias como el sulfuro y el amoníaco pueden inhibir a los microorganismos metanogénicos cuando se encuentran en concentraciones de 30-60 mg/L. Si la concentración de ácidos volátiles en el sistema aumenta, esto puede causar una desestabilización del proceso y, como consecuencia, una disminución en la producción de biogás (Varnero, 2011).

2. Hidrógeno: Durante el proceso anaeróbico, el hidrógeno es un compuesto intermedio esencial. Sin embargo, si se acumula demasiado en el medio ambiente, puede inhibir el proceso de acetogénesis, lo que puede conducir a una acumulación de ácidos grasos volátiles que contienen más de dos átomos de carbono (Varnero et al. 1990).
3. Nitrógeno amoniacal: Nutriente esencial para que las bacterias crezcan adecuadamente, pero si su concentración es demasiado alta, puede ser perjudicial para el proceso. Es necesario mantener los niveles de este compuesto por debajo de los 2000 mg/l dentro del sistema para evitar problemas. En la siguiente tabla ilustra cómo la concentración de amoníaco puede afectar el proceso de fermentación (Varnero, 2011).

Tabla 15: Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica

Amoníaco (mg/l)	Efectos
50 – 100	Beneficiosos
200 -1000	Sin efectos adversos
1500 -3000	Efectos inhibidores a niveles de ph altos
3000 o superior	Tóxico

Fuente 27: Mc Carty, 1964.

4. Sulfatos y sulfuros: Un exceso de sulfato puede ocasionar la detención del procedimiento, en especial del proceso de metanogénesis. Asimismo, el sulfuro puede actuar como un agente inhibidor para numerosas cepas bacterianas, siendo perjudicial a partir de una cantidad de 50 mg/l (Varnero, 2011).
5. Otros inhibidores: Hay otros elementos contaminantes (como metales pesados, antibióticos y detergentes) que tienen la capacidad de perturbar e incluso interrumpir el proceso. En la tabla se pueden observar las concentraciones de algunas sustancias inhibidoras frecuentes (Mota, 2020; Lomborg, 2010).

Tabla 16: Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico.

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO_4	5 000 ppm
$NaCl$	40 000 ppm
NO_3	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN^-	25 mg/l
Na	3500-5500 mg/l
K	2500-4500 mg/l

Ca	2500-4500 mg/l
Mg	1000-1500 mg/l

Fuente 28:Fuente: Hilbert, 2003.

3.6.2.3. Área de disposición de purines

Compostaje

Para una adecuada evolución del proceso de compostaje se deben dar una serie de condiciones para que el proceso ocurra de forma correcta en el caso de la relación C/N, humedad, tamaño de partículas, así mismo en el proceso se debe controlar las variables de temperatura, la aeración y el Ph (García A. , 2019).

Estos parámetros se deben seguir durante todas las fases del compostaje las cuales son la etapa mesófila, termófila, enfriamiento y maduración.

- Etapa mesófila: se produce a 40°C, es la degradación de fracciones débiles de carbono, se eleva la temperatura a la actividad metabólica y se reduce el pH, existe una decadencia de hongos y generación de calor y CO₂ (García, 2019).

El material de partida del compostaje comienza a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días aproximadamente). (Martínez, Pantoja, & Roman, 2013)

- Etapa termófila: se produce a 60-70°C, se degradan productos de carbono resistentes, se destruyen los microorganismos, patógenos y disminuye la actividad respiratoria. (García A. , 2019).

- Etapa enfriamiento: vuelve a su estado inicial, quiere decir que se repite la etapa mesófila.
- Etapa de maduración: última etapa en la cual hay una proliferación de vectores, se degradan los polímeros complejos, baja actividad bacteriana (Carlo, y otros, 2001).

-

Temperatura

Puede operarse en tres rangos diferentes: psicrófilo (T^a ambiente, por debajo de los 20°C), mesófilo (T^a entre 30 y 40°C) o termófilo (T^a mayor de 40°C). Con el aumento de la temperatura, se aumenta la velocidad de crecimiento de las bacterias (REDONDO, 2015).

Aeración

Es un factor importante en el proceso de compostaje y, por tanto, un parámetro a controlar. Al ser un proceso aerobio, se necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos. La aireación tiene un doble objetivo, aportar por una parte el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación del CO_2 producido. Las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso, siendo bajas en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso (Dirección General de Tecnología Agraria, 2000).

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia

de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H₂S) o metano (CH₄) en exceso (Roman et al., 2013).

Humedad:

Los microorganismos necesitan agua como vehículo para transportar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima se puede situar alrededor del 55% aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad disminuye por debajo del 30% (Ruiz, 2018), disminuye la actividad microbiana con lo cual el producto obtenido será biológicamente inestable. Si la humedad se encuentre sobre el 70%, el agua saturará los poros e interferirá con la distribución del aire a través del compost. (Negro et al., 2000).

pH

Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro. Al principio y como consecuencia del metabolismo fundamentalmente bacteriano que transforma los complejos carbonados fácilmente descomponibles, en ácidos orgánicos, el pH desciende; seguidamente, el pH aumenta como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando el valor más alto, alrededor de 8,5, coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila. Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica. (Negro et al., 2000).

Si el pH desciende por debajo de 6 los procesos de descomposición microbianos especialmente de las bacterias se detienen (Ruiz,2018).

Relación C/N

La relación C/N de la masa a compostar es un factor importante para controlar y obtener una fermentación correcta y, por tanto, un producto final, de características adecuadas.

A medida que transcurre el compostaje, esta relación se hace cada vez menor, la relación óptima C/N inicial está comprendida entre 25:1-35:1. Si es superior a 35, el proceso de fermentación se alarga considerablemente hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores adecuados para el metabolismo. Si es inferior a 25 se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoniaco. Cuando la relación C/N es elevada se podrá hacer descender artificialmente, ya sea quitando celulosa, es decir, reduciendo el carbono o aumentando el contenido de nitrógeno, por ejemplo, con adición de alguna fuente nitrogenada como productos o subproductos de origen animal (Negro et al.,2000).

Tamaño de partículas

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, ya que se relaciona con la facilidad de acceso al sustrato. Las partículas pequeñas tienen mayor superficie por unidad de masa o volumen que las partículas grandes. Por lo cual si la aireación es adecuada y hay suficiente cantidad de agua las partículas pequeñas se degradan más rápido, además al tener menor tamaño facilita la homogenización y la mezcla de materiales y favorece para mantener las temperaturas (Ruiz, 2018).

Densidad

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 -250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y, por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m³ (Romero, 2019).

Tabla 15: Parámetros del compostaje.

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal para compost en la fase termofílica (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
------------------	---	--	--

C/N	25:1 - 35:1	15/20	10:1 -15:1
Humedad	50% - 60%	45%-55%	30%-40%
Concentración de Oxígeno	-10%	-10%	-10%
Tamaño de partícula	<25mm	-15 mm	<1,6mm
pH	6,5 - 8,0	6,0-8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	25 - 60°C	45°C-T° ambiente	T° ambiente
Densidad aparente	250-400 Kg/m ³	<700 Kg/m ³	<700 Kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	-1%

Fuente 22: (Roman, Martinez , & Pantoja, 2013)

3.6.3. Monitoreo en línea

El control de los parámetros de forma continua o vía remota se ve facilitado por las tecnologías de hoy en día, estas tecnologías poseen funciones especiales que permiten la medición de los parámetros operacionales para la mayoría de los procesos industriales (Ojeda & Sandoval, 2013)

El avance en la monitorización y control de los procesos de gestión de purines no ha alcanzado un nivel significativo desde el punto de vista tecnológico. Es crucial contar con parámetros del proceso disponibles en tiempo real, evitando depender únicamente de la intuición o la intervención humana. La clave para lograr un control efectivo de este tipo de procesos radica en la implementación de sistemas automatizados de supervisión e interpretación de datos. De esta manera, se podrían optimizar las operaciones y mejorar el rendimiento, aprovechando al máximo las ventajas que la tecnología puede ofrecer en este ámbito (Pind et al., 2003).

Un sistema de monitoreo remoto debe contar con 3 elementos indispensables, el dispositivo de recolección de datos, el cual recibe los datos de los diferentes sensores del objeto y los envía al servicio de host, encargado de almacenar la información o un sistema de adquisición de datos (Nunez Dominguez, Lopez , Equihua, Linan , & Pascacio de los Santos, 2000) por

último, el dispositivo de visualización y control permite a un usuario acceder a la información almacenada, y hacer tareas de manipulación de la información para propósitos de visualización o de control (Chaparro & Zorro, 2017).

El proceso de transmisión de datos es muy parecido a un codificador de información, los datos que se requieran enviar a través del medio de transmisión deben cumplir con ciertas características para que puedan utilizar el canal de transmisión; si se envía de en forma de paquetes puede ser requerida información adicional, también puede ser cuando la cantidad de información enviada excede la capacidad del ancho de banda, por lo cual se usan algoritmos de compresión de información (Vital, 2009). El medio de transmisión de datos puede realizarse a través de cables o inalámbricamente. Esto se adapta a cada caso de acuerdo con las características presentadas por el ambiente que rodea al medio de transmisión. A través de un medio cableado, se añade a los datos mayor seguridad, integridad en comparación con los medios inalámbricos, además deben cumplir con requerimientos de velocidad, acceso y otras características; los medios cableados ofrecen al diseñador una rápida implementación y además sencilla (Miniguez D., 2009).

Actualmente en el mercado se encuentran aparatos para el monitoreo en línea de parámetros como la temperatura y la humedad como el AP9520TH – APC Schneider Sensor A-Link de APC que monitorea la temperatura y la humedad en el centro de datos o sala de gestión de redes. El cual presenta un informe visual de niveles de temperatura, cuenta con comunicación Ethernet (Rincon & Sanabria).

Para la mayoría de los monitoreos en línea de los datos capturados por el dispositivo de recolección de datos estos se almacenan en un archivo de texto de nombre Servidor.txt, con el fin de procesarlos posteriormente, cuando se realicen los cálculos para obtener la medición de los parámetros en la banda ancha (Suarez et al., 2013).

4. METODOLOGÍA

4.1. Enfoque y alcance

El presente proyecto se desarrollará bajo un enfoque metodológico de carácter cualitativo, esto quiere decir, que se hacen “registros narrativos de los fenómenos que son estudiados, mediante técnicas como la observación participante y las entrevistas no estructuradas” (Fernández y Pértegas Díaz, 2002).

Esto con el fin de generar propuestas de mejoras en los parámetros operacionales de funcionamiento y monitoreos en línea de los planteles de porcinos.

A partir de lo anterior, y en base a reconocimiento y revisión bibliográfica, la investigación del proyecto tiene alcance exploratorio, lo que tiene por objetivo “examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes” (Hernández Sampieri, 1991), por lo tanto, se realizarán distintas acciones para abordar la problemática, con el fin de realizar un análisis con mayor profundidad.

4.2. Plan de trabajo

De acuerdo con lo anterior, a continuación, se plantea el plan de trabajo que se pretende desarrollar:

4.2.1. Revisión de la literatura para la recopilación de información

El análisis de emisión y medidas de abatimiento en materia de olores es un tema de estudio relevante en diferentes disciplinas, como la ingeniería ambiental, la química, la biología y la salud pública. La revisión de la literatura existente y la recopilación de información significativa en diversas plataformas

académicas, oficiales, papers técnicos y recintos bibliotecarios pueden proporcionar una visión integral de este campo de estudio.

En las plataformas académicas, como bases de datos especializadas y revistas científicas, se encuentran numerosos estudios que abordan el análisis de emisión y medidas de abatimiento en materia de olores. Estos estudios pueden incluir investigaciones sobre la identificación de compuestos químicos responsables de los olores, la caracterización de la emisión de olores en diferentes fuentes, como industrias, plantas de tratamiento de aguas residuales, vertederos y explotaciones agrícolas, y la evaluación de técnicas y tecnologías de abatimiento de olores, como filtros, biofiltros, oxidación química y tratamientos biológicos.

En las plataformas oficiales, como sitios web gubernamentales y de agencias reguladoras, se pueden encontrar normativas y regulaciones relacionadas con la emisión y medidas de abatimiento de olores. Estas normativas pueden establecer límites de emisión de olores, requerimientos de monitoreo y reporte de emisiones, y lineamientos para la implementación de medidas de abatimiento de olores.

Los papers técnicos presentados en conferencias y congresos especializados también son una fuente importante de información en este tema. Estos papers pueden abordar estudios de casos, investigaciones de campo y resultados de experimentos en laboratorio, proporcionando datos y análisis detallados sobre la emisión y abatimiento de olores en diferentes contextos y condiciones.

Además, los recintos bibliotecarios, tanto físicos como digitales, también pueden ser una fuente valiosa de información para la revisión de la literatura en este campo. Los libros, informes técnicos y tesis doctorales relacionados con la emisión y medidas de abatimiento de olores pueden proporcionar una

visión más amplia y profunda de los conceptos teóricos, métodos de investigación, tecnologías y prácticas de gestión en este campo.

En resumen, la revisión de la literatura e información significativa en las distintas plataformas académicas, oficiales, papers técnicos y recintos bibliotecarios puede brindar una comprensión integral del análisis de emisión y medidas de abatimiento en materia de olores, y servir como base para el desarrollo de investigaciones y la implementación de políticas y medidas de gestión ambiental efectivas en este campo.

4.2.2. Análisis las medidas de abatimiento, prácticas operacionales y posibles monitoreos

La situación actual de los planteles porcinos medianos y grandes es un tema relevante en el estudio de la emisión y medidas de abatimiento en materia de olores. Estos planteles, debido a su tamaño y escala de producción, pueden tener un impacto significativo en la emisión de olores y, por lo tanto, se analizarán las medidas de abatimiento, prácticas operacionales y posibles monitoreos que se implementan en ellos.

En primer lugar, se examinarán las medidas de abatimiento que se aplican en los planteles porcinos medianos y grandes. Estas medidas pueden incluir diversos sistemas de tratamiento, los cuales buscan reducir la concentración de compuestos químicos volátiles y malos olores antes de su liberación a la atmósfera. Además, se pueden implementar prácticas de gestión del estiércol, como el compostaje, el almacenamiento adecuado y la aplicación controlada en tierras agrícolas, con el objetivo de minimizar la emisión de olores al ambiente.

En segundo lugar, se estudiarán las prácticas operacionales que se llevan a cabo en estos planteles. Esto implica examinar los procedimientos y

protocolos utilizados en la alimentación, manejo y limpieza de los animales, así como en la gestión del estiércol y otros residuos generados en la producción porcina. Las prácticas operacionales adecuadas pueden tener un impacto significativo en la emisión de olores, y es importante evaluar su efectividad en la reducción de la emisión de olores en los planteles porcinos medianos y grandes.

Por último, es necesario considerar los posibles monitoreos que se realizan en estos planteles para evaluar la emisión de olores. Esto puede incluir la medición de la concentración de compuestos químicos volátiles en el aire, la evaluación del impacto de los olores en la calidad del aire y la evaluación de la efectividad de las medidas de abatimiento implementadas. El monitoreo puede ser una herramienta valiosa para evaluar la eficacia de las medidas de abatimiento y para identificar posibles áreas de mejora en la gestión de olores en los planteles porcinos.

En conclusión, es esencial analizar la situación actual de los planteles porcinos medianos y grandes en relación con la emisión y medidas de abatimiento en materia de olores. Esto implica examinar las medidas de abatimiento implementadas, las prácticas operacionales utilizadas y los posibles monitoreos realizados. Un enfoque integral en estos aspectos puede contribuir a una gestión ambiental más efectiva en la producción porcina, minimizando la emisión de olores y su impacto en el ambiente y en la comunidad circundante.

4.2.3. Observación participante de planteles porcinos

Como parte de la metodología de investigación, se tiene previsto realizar visitas de observación participante cuidadosamente planificadas a una variedad de planteles porcinos de tamaño mediano y grande. Estas visitas se llevarán a cabo con el propósito de recopilar información específica y detallada

sobre las medidas de abatimiento y los sistemas de monitoreo que se aplican en estos establecimientos. Durante estas visitas, se llevará a cabo una observación activa y participante, lo que permitirá una comprensión completa de las prácticas operacionales, los procesos de gestión de los purines, la implementación de tecnologías de abatimiento de olores y cualquier otro enfoque utilizado para mitigar la emisión de olores en los planteles porcinos. Este enfoque de observación participante garantizará la obtención de datos precisos y contextualizados que contribuirán a un análisis exhaustivo de las medidas de abatimiento y monitoreo en el contexto de los planteles porcinos medianos y grandes.

4.2.4. Entrevistas semiestructuradas a profesionales

Como parte del enfoque metodológico de esta investigación, se tiene previsto realizar entrevistas semiestructuradas a profesionales altamente competentes en el ámbito de la gestión de olores. Estas entrevistas se llevarán a cabo con el fin de obtener perspectivas expertas y conocimientos especializados sobre las medidas de abatimiento de olores en planteles porcinos. Para asegurar la calidad y la precisión de los datos obtenidos, se utilizarán tanto reuniones presenciales como plataformas de videoconferencia, como Google Meet, según la disponibilidad y preferencia de los entrevistados.

El proceso de formulación de las entrevistas se llevará a cabo de manera rigurosa, considerando la experiencia y conocimientos de los profesionales entrevistados, así como la relevancia de los temas a tratar. Se prepararán preguntas pertinentes y bien estructuradas que aborden aspectos clave relacionados con las medidas de abatimiento de olores en planteles porcinos, como las tecnologías utilizadas, las prácticas operacionales, los desafíos y las mejores prácticas en la mitigación de olores.

La selección de los entrevistados se realizará con el apoyo de las profesionales del departamento de Ruido, Lumínica y olores del MMA, quienes manejan la información de profesionales con experiencia comprobada en la gestión de olores en la industria porcina. Se procurará obtener una muestra diversificada de expertos, que incluya a académicos, profesionales de la industria y representantes de la Superintendencia de Medio Ambiente, con el fin de obtener una amplia gama de perspectivas y enfoques en el tema.

4.2.5 Búsqueda en el mercado de proveedores para monitoreo en línea

Se llevará a cabo una búsqueda de proveedores en el mercado que ofrezcan soluciones tecnológicas para el monitoreo en tiempo real de los parámetros operativos de dispositivos que generarán emisiones odoríferas. Se buscará identificar, para cada equipo, qué parámetros podrán ser monitoreados de manera continua, con el propósito de proponer medidas medibles tanto a los titulares, como al ente fiscalizador.

4.3. Análisis de resultados

Durante las entrevistas, se seguirán las normas éticas y de confidencialidad pertinentes para garantizar la protección de la información y la privacidad de los entrevistados. Además, se registrará y analizará minuciosamente el contenido de las entrevistas para obtener datos confiables y verificables que respalden el análisis de la investigación.

Las entrevistas a profesionales competentes en materia de olores constituirán una valiosa fuente de información para enriquecer el análisis de la situación actual de las medidas de abatimiento de olores en planteles porcinos medianos y grandes, y proporcionarán perspectivas significativas

que contribuirán a una comprensión más profunda y completa de este tema en el contexto de la investigación.

4.4. Listado completo de parámetros operacionales propuestos

Una vez analizados los resultados obtenidos del exhaustivo análisis diagnóstico llevado a cabo, se procederá a la formulación y desarrollo de un listado completo de parámetros operacionales propuestos para las tecnologías utilizadas en las áreas de alojamiento, tratamiento y disposición de purines en aquellas zonas que presenten niveles significativos de emisiones odoríferas en los planteles porcinos medianos y grandes.

4.5 Resumen de metodología



Fuente 29: Elaboración propia

5. RESULTADOS

En el marco de la presente investigación, se emplearon cuatro instrumentos principales de recolección de datos: entrevistas, focus group, visitas a terreno y uso de bibliografía y papers científicos. Mediante las entrevistas, se obtuvo la colaboración de tres de los cinco perfiles propuestos, específicamente, académicos con experiencia en el campo de olores, diversos proveedores de tecnologías y representantes de ASPROCER. No obstante, el cuarto perfil, correspondiente a la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), no respondió a pesar de los esfuerzos realizados a través de vías electrónicas y telefónicas.

En cuanto al quinto perfil, constituido por los titulares, se adaptó la metodología y se abordó mediante la realización de un focus group. En dicho focus group, se contó con la participación de los titulares de los planteles más representativos de la industria, quienes proporcionaron información relevante relacionada con las tecnologías de abatimiento de olores utilizadas en las áreas de alojamiento, tratamiento y disposición de purines. Asimismo, se identificaron los parámetros operacionales por tecnología, la frecuencia de medición y si dichas tecnologías eran monitoreadas en línea.

Respecto a la visita a terreno, esta se llevó a cabo en compañía de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Durante dicha visita, se efectuó una detallada descripción del alojamiento de los cerdos, el proceso de tratamiento y disposición de purines, así como de las tecnologías empleadas en el plantel más grande de la Región de O'Higgins.

La visita proporcionó una oportunidad única para obtener información de primera mano sobre las prácticas y procedimientos utilizados en el manejo de purines en un establecimiento representativo de la industria porcina. La presencia de la SMA durante la visita agregó un enfoque regulatorio y de control en la evaluación de las prácticas ambientales del plantel.

Durante la visita, se pudo apreciar in situ el funcionamiento de las tecnologías empleadas para el abatimiento de olores y la gestión de los purines, lo que permitió una observación directa de su operatividad y eficacia. Asimismo, se recopilaron datos sobre los procedimientos de monitoreo y medición de las tecnologías utilizadas por el plantel.

Además de los instrumentos de recolección de datos mencionados previamente, se enriqueció la investigación mediante el uso de bibliografía y papers científicos. Estas fuentes proporcionaron una base sólida de conocimiento teórico y empírico sobre el tema de estudio, permitiendo contextualizar adecuadamente los resultados obtenidos de las entrevistas y el focus group.

La bibliografía consultada abarcó diversas temáticas relacionadas con el abatimiento de olores en la industria porcina, incluyendo investigaciones previas sobre tecnologías disponibles, métodos de monitoreo, estudios de impacto ambiental y regulaciones gubernamentales relacionadas con la gestión de olores en esta industria. Al utilizar papers científicos, se garantizó la utilización de información respaldada por investigaciones rigurosas y revisadas por expertos en el campo.

La integración de la bibliografía y papers científicos permitió enriquecer y respaldar los resultados obtenidos a través de los instrumentos de recolección de información, aportando una perspectiva más amplia y objetiva. La combinación de información cualitativa de las entrevistas y focus group con el respaldo de la literatura científica, fortalece la fundamentación de las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Cabe destacar que todas las fuentes utilizadas fueron debidamente citadas y referenciadas según las normas académicas y éticas pertinentes, asegurando la transparencia y credibilidad de la investigación.

5.1. Resultado entrevistas por perfil.

5.1.1. Académicos

En lo que refiere a los académicos se entrevistó a dos expertos en el área de tratamiento de residuos a Cesar Huiliñir Doctor en Ingeniería Química su ámbito de investigación es la aplicación de procesos biológicos al tratamiento y re-uso de residuos industriales.

En su área se especializa en el uso de Biodigestores en donde se menciona el uso de esta tecnología de abatimiento de olor como plantas de recuperación de agua y de otros elementos valiosos, dentro de los cuales está esta recuperación de energía en forma de metano como biogás.

Entonces los biodigestores funcionan para el tipo de residuo que se genera en un plantel porcino los cuales reciben mucha carga de materia orgánica, por ende, pueden generar malos olores y también vectores. La tecnología permite remover la materia orgánica, disminuyendo los nutrientes, para estabilizar el residuo bajando la carga de patógenos y además poder recuperar parte del potencial de ese residuo en forma de Biogas.

También se menciona la complejidad del implementar biodigestores en plantas pequeños ya que aprovechar la energía les cuesta más ya que no producen los suficientes residuos para un di gestión anaeróbica, provocando que no sea viable económicamente, por otra parte, para plantas medianos y grandes se les puede obtener mayor provecho al uso de biodigestores.

En cuanto a parámetros operacionales de los Biodigestores se menciona la velocidad de carga orgánica debido a que la cantidad de materia orgánica agregada al biodigestor es crucial para el funcionamiento de este, además menciona el parámetro de alcalinidad es una relación que hay entre los productos intermedios que se llaman ácidos grasos volátiles y el medio, es la

capacidad que tiene un biorreactor de aguantar una posible sobrecarga de materia orgánica, es importante medir el pH, temperatura, nitrógeno amoniacal, sulfuro estos 2 últimos son los factores que producen los malos olores.

Sobre monitoreo en línea se menciona la medición de parámetros como pH, temperatura, cantidad de gas generado, nitrógeno, por otra parte, para las concentraciones de sólidos, concentraciones de materia orgánica.

Por otra parte, se entrevistó a Marcel Zsanto, Doctor Ingeniero en Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid y Master en Contaminación Ambiental de la Universidad Politécnica de Madrid.

Durante la entrevista realizada al académico se trataron temas de la situación en Chile con respecto a emisiones de olores las cuales van en la producción de guías y metodologías de olores y su sobre la prevención de emisiones de olores en las industrias, sin embargo, en Chile aún no se avanza lo suficiente en el tema de la investigación para el monitoreo en línea de parámetros.

Para ciertos países de Europa, las industrias para estar monitoreando la emisión de olores, se realiza un monitoreo en línea midiendo la emisión de olores utilizando una nariz electrónica en línea, en Chile todavía no está la instrumentación de una nariz en electrónica en línea.

Al mencionar la situación de Chile se realiza una comparación con países de Europa como Italia, España, Portugal los cuales cuentan con narices electrónicas para realizar monitoreo de emisión de olores como las que se utilizan en esos países de Europa, en Chile es frecuente el uso de panel de expertos en terreno para la medición de olores.

Sobre las tecnologías de abatimiento se menciona los biodigestores los cuales tienen condiciones básicas de funcionamiento y para la correcta homogenización de los residuos, con el fin de obtener el digestato.

Estos parámetros son la temperatura, pH, volumen de la masa introducido al biodigestor también para aguas residuales se mide la demanda bioquímica de oxígeno.

5.1.2. Proveedores de tecnologías

Por lo que se refiere a los proveedores, se llevaron a cabo entrevistas con aquellos que ofrecen tecnologías para el tratamiento de purines. Siguiendo el enfoque del nuevo decreto, el cual busca fomentar el uso de tecnologías, se seleccionaron proveedores de biodigestores y lombrifiltro. Durante estas entrevistas, se indagó principalmente sobre los parámetros operacionales de sus tecnologías y el soporte que brindan a sus clientes en el funcionamiento de dichas tecnologías.

5.1.2.1. Biodigestor

Dentro del marco de investigación, se procedió a realizar entrevistas con dos proveedores que ofrecen tecnologías de biodigestores. Estos proveedores fueron seleccionados con el propósito de obtener información detallada y actualizada sobre las características y funcionamiento de sus biodigestores.

La primera persona entrevistada es Estephanie González, una Ingeniera Química con una trayectoria profesional de más de 10 años en la gestión del ciclo del agua y residuos. Cuenta con postgrados en áreas relacionadas con la sostenibilidad, gestión de residuos y economía verde. En la actualidad, se desempeña como Subgerente de Desarrollo de Productos en Volta Chile. Su experiencia y conocimientos en estos campos la convierten en una experta en

el tratamiento y gestión de purines, aportando una perspectiva valiosa durante la entrevista.

La entrevistada, quien trabajó en el área de desarrollo y tratamientos de biodigestores, compartió su experiencia relacionada con la biodigestión de residuos. Su trabajo involucró un biodigestor de múltiples residuos, lo que resultó en una complejidad adicional debido a las diferentes características de los desechos que podrían afectar la producción de biogás y generar amoníaco. Además, menciona que trabajó junto al profesor Orlando Chami de la Universidad Católica de Valparaíso, un experto en el campo de la biodigestión en Chile.

El enfoque inicial fue tratar residuos más simples, como los de la industria alimentaria, ya que no contenían altas cargas de tóxicos, pero también un cliente porcino proporcionó residuos orgánicos y aguas de lavado de sus instalaciones para el tratamiento. Sin embargo, enfrentaron desafíos, como la presencia de sólidos orgánicos como restos de comida de los cerdos que requerían un prolongado proceso de retención hidráulica. Además, la alta concentración de nitrógeno, proveniente principalmente de la orina y heces de los cerdos, generó amoníaco, lo que inhibió la biodigestión y afectó la producción de metano.

El uso de antibióticos en los animales también planteó un riesgo, ya que estos compuestos podrían inhibir el tratamiento tanto en biodigestores como en sistemas aeróbicos. A pesar de los controles diarios del biodigestor, el problema del amoníaco persistió.

Según la entrevistada, el tratamiento de los riles (residuos industriales líquidos) en sistemas biológicos es complejo. Algunas empresas optan por lagunas sobredimensionadas cubiertas con lonas para tratar los residuos sin aplicar calor, lo que ha resultado ser una solución efectiva para reducir la carga orgánica. Sin embargo, también ha observado lagunas de tratamiento

con un enfoque diferente, utilizando sistemas de ventilación en lugar de antorchas controladas para quemar el gas generado. Estas lagunas, aunque están cubiertas, cuentan con fosos de ventilación hacia la atmósfera. Según su experiencia, ha notado que algunas lagunas funcionan con antorchas, las cuales son encendidas y apagadas para tratar el metano producido. Aunque se necesita precaución para mantener la durabilidad de la antorcha, en general, este método ha demostrado ser efectivo en el tratamiento de los residuos.

Por otro lado, la entrevistada destacó que el tratamiento de los riles en sistemas biológicos presenta diversos parámetros de control para asegurar un buen funcionamiento y detectar posibles crisis en el biodigestor. Los parámetros esenciales incluyen la alimentación diaria, la velocidad de carga orgánica y la temperatura, que deben mantenerse constantes para equilibrar el proceso. La agitación dentro del biodigestor también es clave para lograr una mezcla completa y favorecer la generación de metano.

Además, mencionó que se deben realizar análisis diarios para controlar el pH, los ácidos grasos volátiles y la alcalinidad, ya que estos parámetros indican si el biodigestor está alejándose de su funcionamiento óptimo o si el ambiente se está volviendo tóxico. También describe que estos parámetros se pueden medir en línea, tanto la concentración de ácidos grasos volátiles, alcalinidad y temperatura, y mencionó que existen medidores de DQO (Demanda Química de Oxígeno) en línea para obtener un registro más detallado del proceso.

En cuanto a la medición de biogás, es importante evaluar la cantidad y calidad del metano producido, ya que una disminución inesperada puede indicar problemas en la degradación. Se mencionó que el oxígeno debe mantenerse cercano a cero, ya que su presencia podría indicar una fuga externa o problemas en la mezcla.

Aunque los sensores en línea son útiles y generan datos gráficos, se destacó que la medición manual en laboratorio sigue siendo fundamental, ya que los sensores pueden ensuciarse o taponearse, afectando la precisión de las mediciones. Además, aludió que los sistemas biológicos, incluyendo el compostaje, requieren cálculos diarios y cierto grado de control, aunque este último puede variar según el tipo de sistema y las condiciones ambientales.

El segundo entrevistado es el Sr. Jean-François Bradfer, propietario y gerente de AS&D, una empresa especializada en Procesos Industriales, el Tratamiento de Aguas Servidas y la Generación y Manejo del Biogás.

En la entrevista, se resaltó que el objetivo del biodigestor no es eliminar los malos olores, ya que existen sistemas alternativos para tratar el aire y reducir el olor mediante ventilación y lavado. El propósito principal del biodigestor es resolver el problema de los purines y visión al fermentarlos anaeróbicamente.

Para estabilizar los riles, hay dos enfoques: el tratamiento aeróbico con inyección de aire y el tratamiento anaeróbico sin aire, que genera biogás con malos olores, especialmente H₂S y amoníaco. Para eliminar estos olores, se pueden utilizar incineradores de biogás, que destruyen el 99% de los compuestos con mal olor, aunque algunos compuestos orgánicos pueden quedar.

Los parámetros clave para el correcto funcionamiento del biodigestor son el pH, que debe mantenerse constante entre 6.5 y 7.5 para no alterar las bacterias, y la temperatura, que también debe mantenerse estable para favorecer el proceso de fermentación. La carga del biodigestor debe ser controlada para evitar sobrecargarlo, al igual que uno debe cuidar su alimentación para mantenerse saludable.

En el caso de los purines de porcino, es importante controlar el exceso de nitrógeno, ya que puede generar amoníaco y ser inhibidor para las bacterias. Un equilibrio adecuado entre carbono, nitrógeno y fósforo es esencial, y se puede agregar materia orgánica rica en carbono, como el metanol, para balancear el proceso.

Algunos parámetros clásicos se miden en línea, como la temperatura, la presión y el pH, lo que facilita el monitoreo. Sin embargo, otros parámetros más complejos, como la carga orgánica (DBO, DQO, carbono orgánico total), requieren mediciones diarias en el laboratorio, ya que los medidores en línea pueden ser costosos y difíciles de mantener. El pH y la temperatura se consideran como alarmas para detectar problemas en el biodigestor y se busca mantener un efecto buffer para amortiguar variaciones en el pH que puedan afectar las reacciones en cadena de las bacterias en el proceso.

En resumen, las entrevistas con los dos proveedores de tecnologías de biodigestores han revelado la importancia de controlar parámetros clave como la alimentación diaria, la velocidad de carga orgánica, el pH y la temperatura para asegurar el buen funcionamiento del sistema. Además, se destaca la necesidad de tratar los purines y generar biogás de manera eficiente para eliminar los malos olores asociados con los residuos. El uso de incineradores de biogás se presenta como una solución efectiva para eliminar los compuestos con mal olor. En general, la tecnología y el monitoreo adecuado son esenciales para lograr un proceso de biodigestión exitoso y sostenible.

5.1.2.2. Lombrifiltro

La entrevista fue realizada a Daniel Blando, Ingeniero Agrónomo y fundador de Biobriz, una empresa especializada en tecnologías limpias y soluciones ambientales. Además, es el creador de "Punto Lombriz", una

empresa dedicada al criadero de lombrices y valorización de residuos orgánicos.

Durante la entrevista, el entrevistado mencionó algunos de sus primeros ensayos en los que trabajó fue con efluentes porcinos, explorando el uso de tecnologías como el lombrifiltro. A lo largo de varios años de experiencia, pudo obtener resultados concluyentes sobre la efectividad de esta tecnología en el tratamiento de los efluentes.

El entrevistado enfatizó que, al incluir cualquier tecnología en un lugar determinado, es crucial considerar cómo se integra con todo el proceso y la industria circundante. Se destacó la importancia de tener en cuenta no solo la operación de la tecnología, sino también el sistema de manejo, otras prácticas y quién será el responsable de operarla.

Respecto al tratamiento de efluentes porcinos específicamente, se hizo hincapié en que el olor no proviene exclusivamente del agua, sino que depende del sistema productivo en su totalidad, incluyendo la existencia de una laguna de purines. Se destacó la relevancia de tratar el agua lo antes posible para minimizar la liberación de amoníaco.

En cuanto a parámetros operacionales, se mencionó la medición de amoníaco y la conductividad en el lombrifiltro, y se sugirió el uso de medidores en línea para monitorear estos valores de manera continua. También se habló de la importancia del pH para el correcto funcionamiento de la tecnología y cómo este puede variar dependiendo del tipo de efluente.

El entrevistado destacó que el lombrifiltro tiene solo una desventaja significativa, requiere una mayor superficie en comparación con otras plantas compactas. Sin embargo, defendió la versatilidad del lombrifiltro frente a las variaciones en los efluentes y explicó cómo se puede ajustar para diferentes situaciones.

Finalmente, mencionó la necesidad de realizar ensayos previos para dimensionar correctamente el lombrifiltro y adaptarlo a cada industria. Con el uso de ensayos y análisis periódicos, se asegura el correcto funcionamiento del sistema y se pueden realizar mejoras continuas.

Cabe destacar que el entrevistado subrayó la importancia de considerar todas estas variables al trabajar con efluentes de cerdos y enfatizó la necesidad de establecer un manual de buenas prácticas para asegurar un manejo adecuado y sostenible en la producción de carne de cerdo.

5.1.3. Asociación gremial de productores de cerdos de Chile (ASPROCER)

El resultado de la entrevista reveló la relación entre la Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile (ASPROCER) y el manejo de los olores en la producción porcina sustentable. Durante la entrevista realizada a una de las titulares de la Asociación, se obtuvo información significativa sobre las tecnologías utilizadas, los parámetros operacionales, los eventos de olor percibidos por la población cercana a los planteles porcinos y las experiencias de monitoreo en línea.

Según los datos recopilados en uno de los seminarios organizados por la Asociación, se mencionó que el 54.8% de los titulares de los planteles porcinos prefieren emplear la tecnología de lodos activados para el manejo de olores. Esta elección se fundamenta en su capacidad para depurar altas cargas de nitrógeno presentes en los purines de cerdo, un parámetro crítico que exigen los acuerdos de producción limpia suscritos a partir de 2005. Esta tecnología permite realizar aplicaciones de fertirriego en un número de hectáreas manejable, evitando la necesidad de aumentar significativamente las áreas de fertirriego actuales.

Respecto a los parámetros operacionales de los lodos activados, se pudo constatar que estos están definidos en las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), incluyendo DBO, DQO y nitrógeno total en el efluente. Aunque no se cuenta con certeza acerca de mediciones minuto a minuto, se sugiere que se efectúan con una frecuencia adecuada para permitir un manejo operativo, y algunos de estos datos pueden ser reportados en línea por un operador, en función de los requerimientos establecidos en cada RCA.

En relación con los eventos de olor percibidos por la población cercana a los planteles porcinos, se reconoce que la percepción del olor se ve afectada por múltiples variables, tales como las condiciones meteorológicas, los manejos operacionales, la distancia y ubicación de los receptores con relación a la dirección del viento y las fuentes de olor cercanas, así como la existencia de medidas de mitigación de olores. Aunque se espera que una operación bien gestionada y sin fallas operacionales reduzca al mínimo las molestias por olores en la comunidad, cualquier problema en la operación normal o en las tecnologías utilizadas podría dar lugar a eventos de olor ocasionales.

En cuanto a experiencias internacionales, no se conocen ejemplos específicos de monitoreo en línea de parámetros operacionales de equipos de abatimiento de olor en la producción animal. Sin embargo, se menciona que este tipo de monitoreo se emplea en industrias petroquímicas y otros rubros industriales (en las cuales se instalan varios puntos de monitoreo continuo alrededor de la planta).

Por tanto, la entrevista arrojó información relevante sobre la relación entre ASPROCER y el manejo de los olores en la producción porcina. Los resultados sugieren la preferencia por la tecnología de lodos activados, destacando su capacidad para depurar altas cargas de nitrógeno y facilitar la aplicación de fertirriego en granjas de alta concentración animal. Asimismo, se enfatiza la importancia de mantener un ordenamiento del territorio a nivel rural y la necesidad de informar y educar a las comunidades y empresas sobre

el tema de los olores molestos, buscando colaborar en busca del bien común y un desarrollo sostenible.

5.1.4. Superintendencia Del Medio Ambiente (SMA)

En el contexto de la institucionalidad ambiental actual en Chile, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) desempeña un papel crucial como entidad fiscalizadora y sancionadora de los instrumentos de gestión ambiental establecidos por la Ley 19.300. Esto incluye la supervisión de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), Normas de Emisión, Normas de Calidad y Planes de Prevención y/o Descontaminación Ambiental, entre otros.

En el marco de la investigación, se buscó obtener información y conocimientos sobre cómo la SMA recibe información en línea desde los regulados en distintos ámbitos, y cómo visualiza la implementación de lo exigido en el Decreto Supremo N°9/22 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) en relación con esta temática, en particular lo establecido en el artículo 13 sobre Control y Fiscalización. Dicho artículo establece que la Superintendencia del Medio Ambiente es la responsable del control y fiscalización de la norma, de acuerdo con su ley orgánica contenida en el artículo segundo de la ley N°20.417.

A pesar de los reiterados intentos realizados a través de correos electrónicos y llamadas telefónicas, no fue posible concretar la entrevista con la autoridad competente en esta materia. Se hizo todo lo posible para establecer contacto, pero no se obtuvo respuesta o confirmación de disponibilidad por parte de la SMA.

5.2. Focus group

En el marco de esta investigación, se utilizó como herramienta el focus group, el cual permitió recopilar información valiosa de los titulares de los planteles porcinos más representativos de la industria. Este focus group se llevó a cabo en las instalaciones de la Asociación de Productores de Cerdos (Asprocer) y contó con la participación de cinco representantes de distintos planteles porcinos. Además, para enriquecer las discusiones y aportar una visión complementaria, tres miembros de Asprocer estuvieron presentes y participaron activamente en el focus group.

Con el fin de organizar y sistematizar la información obtenida, se estructuraron cuatro secciones temáticas, las tres primeras enfocadas en las áreas críticas en cuanto a la emisión de olores durante el proceso productivo: alojamiento, tratamiento de purines y disposición de estos, mientras que la cuarta temática es en relación con el monitoreo en línea de los parámetros operacionales. Cada titular fue consultado sobre la tecnología específica que utilizaban en cada área, los parámetros operacionales asociados a dicha tecnología, la frecuencia con la que se realizaba el control de estos parámetros y si contaban con algún sistema de monitoreo en línea para evaluar en tiempo real el funcionamiento de la tecnología implementada.

A través de esta metodología, fue posible obtener un panorama detallado y completo de las prácticas actuales de abatimiento de olores en la industria porcina, identificando las tecnologías más utilizadas, su nivel de control y seguimiento, y las percepciones de los titulares en cuanto a su efectividad.

5.2.1. Área de alojamiento

Se menciona que, en la producción porcina, se emplean principalmente dos tecnologías de ventilación en los planteles, ventilación natural y la ventilación forzada. Los planteles más antiguos generalmente cuentan con

ventilación natural, mientras que los más modernos disponen de sistemas de ventilación forzada. Esta última modalidad permite un mayor control sobre la temperatura y humedad dentro de los pabellones, favoreciendo así el bienestar y desarrollo adecuado de los animales. Además, la ventilación forzada se ha demostrado más efectiva en la reducción de la concentración de olores en comparación con la ventilación natural.

Se destaca que la ventilación utilizada en los pabellones no está diseñada específicamente como una tecnología para el control de olores. Sin embargo, se han realizado pruebas de medición de olores comparando la ventilación natural y la forzada, y esta última ha demostrado una disminución de aproximadamente el 40% en la concentración de olores. Es importante resaltar que los parámetros operacionales se enfocan principalmente en el bienestar animal y no necesariamente en el tema del olor. La reducción en la tasa de olor se debe a la disminución en la concentración, lo cual no significa que esté siempre en disminución, sino que se reduce respecto a la tasa referencial, disminuyendo los picos de intensidad.

Dentro de los pabellones, también se implementan prácticas como la adición de químicos en las fosas para facilitar la disolución de la materia orgánica, lo que favorece un flujo más rápido, el mantenimiento frecuente de la limpieza de las instalaciones, así como la incorporación de ciertos alimentos en la dieta de los animales. Además, el tipo de piso utilizado también influye en la concentración de olores en los pabellones.

Los parámetros operacionales esenciales, como temperatura y humedad, se miden habitualmente a diario, mediante sistemas automatizados en el caso particular de un plantel, y mediante mediciones manuales en los demás, teniendo en cuenta la ubicación geográfica y las condiciones climáticas para seleccionar la tecnología de ventilación más adecuada.

Para el caso de uno de los planteles presentes en el focus group, realiza la medición de dos variables principales: la temperatura y el dióxido de carbono (CO₂). Estas mediciones se consideran fundamentales debido a la implementación de un sistema de ventilación natural, el cual no permite un control preciso de la humedad en el ambiente. Por otra parte, la calefacción de los pabellones se lleva a cabo mediante el uso de biogás, lo que motiva la monitorización constante del CO₂.

Ambos parámetros, es decir, la temperatura y el CO₂, son sometidos a mediciones continuas, con un intervalo de registro generalmente establecido cada 15 minutos.

Tabla 17: Resumen de los parámetros operacionales en el área de pabellón

Área de alojamiento		
Parámetros operacionales	Sistema de ventilación	
	Túnel	Natural
Temperatura	x	x
Humedad	x	
Caudal de renovación de aire	x	x

Fuente 30: Elaboración propia

En cuanto a los principales parámetros operacionales, es fundamental controlar la temperatura, humedad y caudal de renovación de aire en los planteles porcinos. Mantener una temperatura adecuada es crucial para el bienestar y el óptimo crecimiento de los cerdos, mientras que niveles inadecuados de humedad pueden ocasionar problemas respiratorios y aumentar la concentración de olores desagradables. Por otro lado, un caudal de renovación de aire apropiado resulta esencial para reducir la concentración de olores y mantener la calidad del aire interior en el plantel. Estos parámetros están estrechamente vinculados con los sistemas de ventilación utilizados en cada caso.

5.2.2. Área de tratamiento

Para recopilar la información acerca de los tratamientos de purines, se llevó a cabo una consulta a los titulares acerca de las tecnologías utilizadas principalmente para el tratamiento secundario, así como los parámetros operacionales asociados a estas tecnologías y la frecuencia con la que se realizan las mediciones. Con el objetivo de ofrecer una mayor comprensión de los resultados, se han organizado las respuestas según el titular de cada planta.

El titular de los Planteles A: Destacó que, en los cinco planteles representados, el tratamiento primario se lleva a cabo en el 100% de las plantas mediante un sistema de separación de sólidos por sedimentación, seguido de la extracción de los sólidos mediante una prensa. Estos sólidos son destinados al consumo del ganado bovino o para mejorar el suelo. Por otra parte, la fracción líquida, correspondiente al tratamiento secundario, se dirige también en un 100% a biodigestores mesófilos operados a una temperatura de 35°C. Posteriormente, pasa por una laguna de post fermentación, algunas de las cuales están cubiertas y otras no, y finalmente es utilizada en un sistema de riego.

En relación con los parámetros de monitoreo, se mencionó que se realiza un seguimiento exhaustivo, incluyendo mediciones de metales cada seis meses, abarcando todas las fases del proceso. Se lleva a cabo un flujo de masa para evaluar parámetros como DQO, DBO, metales, sólidos, nitrógeno y potasio de manera global. Además, en los biodigestores, se realiza un monitoreo diario de pH, alcalinidad, temperatura y tiempo de residencia hidráulica, en función del caudal. También se realizan monitoreos semanales de DQO, nitrógeno, fósforo, potasio y sólidos.

El titular de los Planteles B: Mencionó que algunos planteles emplean la cama caliente para llevar a cabo el compostaje internamente, mientras que

otros envían los residuos a una cancha de estabilizado. En cuanto a la tecnología utilizada, se destacó que, entre los cuatro planteles, uno cuenta con un biodigestor, otro con un lombrifiltro y los dos restantes vierten los residuos directamente a una laguna. En general, los sólidos resultantes se utilizan en el campo o se destinan a la posición final.

En términos de parámetros de monitoreo, se hizo hincapié en la importancia de mantener una constante remoción y revolvimiento de los residuos, así como en la medición de la temperatura, la composición del biogás y la remoción de sólidos. En el caso del biodigestor, se realiza una medición de los parámetros a nivel computacional, por lo tanto, se efectúa una medición minuto a minuto.

El titular de los Planteles C: Describió la situación de la empresa en cuanto a las tecnologías de tratamiento utilizadas. Se destacó que cuentan con biodigestores en la mayoría de sus planteles, mientras que los planteles más pequeños utilizan prensas. Estas dos realidades se reflejan en los diferentes parámetros operacionales considerados para el control del tratamiento.

En cuanto a los parámetros de tratamiento relacionados con el control de olores, se mencionó que se focalizan en garantizar que el sistema de tratamiento esté cubierto para evitar la generación de olores al ambiente. En el caso de las prensas, se verifica que el proceso esté cerrado y no genere emisiones olorosas. Del mismo modo, para el biodigestor, la preocupación radica en mantener el sistema cerrado para evitar olores desagradables. Además, se destacó que el biogás producido por los biodigestores se aprovecha como combustible en una caldera o se quema en una antorcha, evitando así la dispersión de olores.

En relación con los porcentajes de reducción, se mencionó que estos varían dependiendo de las temperaturas manejadas en el proceso y otros

factores. Los porcentajes de abatimiento de sólidos y materia orgánica son considerados como indicadores clave del rendimiento de los biodigestores.

Titular de los Planteles D: Se mencionó que no hay una sola tecnología de tratamiento secundario, ya que esto depende del grado de evolución de la industria y el tamaño de las instalaciones.

En planteles más tradicionales, se suelen utilizar sistemas de tratamiento facultativo con lagunas de almacenamiento que permiten regar los purines durante la época estival o cuando hay escasez de lluvia. Sin embargo, en la actualidad se ha avanzado hacia sistemas de tratamiento más tecnificados que incluyen digestores anaeróbicos, plantas de lodos activados y lombrifiltros para los planteles de menor tamaño. Estas tecnologías pueden funcionar de manera independiente o complementaria para lograr una adecuada separación de la fracción sólida y líquida de los purines.

En algunos planteles, se ha optado por un sistema de tratamiento básico como las lagunas, mientras que otros han decidido implementar tecnologías más avanzadas que implican una mayor remoción de sólidos tanto en el tratamiento primario como en el secundario. La implementación de estas tecnologías ha demostrado una reducción significativa en la emisión de olores, lo que ha mejorado los indicadores ambientales y ha generado una disminución en las quejas relacionadas con malos olores.

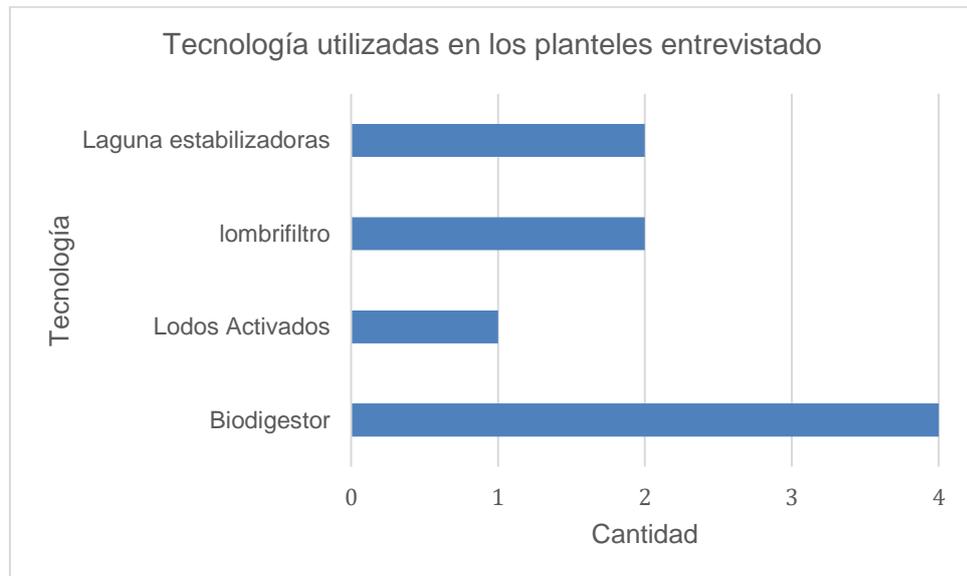
Durante la entrevista, se discutieron detalladamente los parámetros operacionales de las tecnologías utilizadas en el tratamiento de purines. Se enfatizó la importancia de considerar los parámetros relacionados con el diseño de la planta para lograr la remoción adecuada de lodo sólido suspendido, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) esperados. Estos parámetros son fundamentales para evaluar el correcto funcionamiento de las tecnologías implementadas en cada planta.

En relación con el seguimiento y monitoreo de los tratamientos, se mencionó que los parámetros operacionales se basan en la medida en que cada planta logre cumplir con las expectativas de remoción de los elementos mencionados anteriormente. Si se observa una reducción de DBO o de sólidos menor a lo esperado, es probable que el sistema de tratamiento no esté funcionando de manera óptima y pueda acumular más sólidos de lo debido.

Respecto a la medición de olores, se explicó que debido a que las fuentes de olores son abiertas o difusas, no resulta efectivo colocar medidores de olores directamente en las lagunas. En cambio, el parámetro más adecuado para evaluar el control de olores es medir la remoción de elementos en el agua, ya que esto indica el rendimiento del tratamiento y, por ende, la reducción de olores en el efluente de la planta.

En resumen, los titulares de los diferentes planteles han destacado la diversidad de tecnologías utilizadas en el tratamiento de purines, desde sistemas más tradicionales hasta tecnologías más avanzadas. Además, se ha subrayado la importancia del monitoreo exhaustivo de los parámetros operacionales para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de tratamiento y la efectiva reducción de olores en las plantas de tratamiento de purines.

Gráfico 4: Resumen tecnologías utilizadas en planteles porcinos



Fuente 31: Elaboración propia

A partir del gráfico presentado, se puede observar que la tecnología mayormente empleada por la industria porcina, representada por los cuatro titulares que participan en el focus group, es la de biodigestores. Esta tecnología es mencionada por los titulares y es importante destacar que ellos representan no solo a un plantel específico, sino a varios dentro de la misma empresa.

En contraste, solo uno de los titulares menciona el uso de la tecnología de lodos activados como tratamiento secundario. Por otro lado, dos de los titulares reportan que utilizan tanto el lombrifiltro como las lagunas estabilizadoras como parte de sus sistemas de tratamiento.

Estos datos objetivos revelan la predominancia de los biodigestores como tecnología principal en la industria porcina, mientras que otras opciones, como los lodos activados, el lombrifiltro y las lagunas estabilizadoras, son mencionadas por un número más reducido de titulares.

5.2.3. Área de disposición

En relación con la disposición de purines, se indagó a los cuatro titulares presentes acerca de la tecnología que empleaban, constatando que la mayoría utilizaba el método del compostaje para la degradación de la materia orgánica. Asimismo, los resultados obtenidos se han clasificado siguiendo la categoría correspondiente a cada titular representante de las respectivas plantas o instalaciones.

Titular de los planteles A: informó que todas las plantas de tratamiento bajo su supervisión cuentan con un sistema de tratamiento primario que incluye la separación de sólidos. Esta extracción de sólidos se lleva a cabo mediante el uso de prensas, y posteriormente, dichos sólidos son destinados para ser utilizados como alimento para el ganado bovino o como mejorador de suelo.

En lo que respecta a la fracción líquida de los residuos, ésta es tratada de manera integral a través de biodigestores en todas las plantas. Después del proceso de biodigestión, los efluentes se dirigen a una laguna de post fermentación, donde algunos de estos depósitos se encuentran tapados, mientras que otros permanecen sin cubrir. A continuación, el líquido resultante se emplea en un sistema de fertirriego.

Titular de los planteles B: proporcionó detalles sobre las distintas estrategias de disposición de purines implementadas en sus instalaciones. En algunos de los planteles, optan por enviar los purines a un proceso de compostaje externo, mientras que en otros se realiza el compostaje internamente utilizando una cancha estabilizadora. Asimismo, existe una tercera opción donde los purines son enviados directamente a las lagunas de tratamiento. En cuanto a los parámetros operacionales del compostaje, el titular mencionó que se llevan a cabo a través de análisis de laboratorio, estos se realizan cada tres meses durante un período de un año.

Titular de los planteles C: Destacó que en su establecimiento no se hace uso del compostaje como método de disposición de los purines generados. En lugar de utilizar el compostaje, el titular explicó que los purines son gestionados mediante otras alternativas. En primer lugar, mencionó que estos residuos se destinan a lagunas de almacenamiento, donde se lleva a cabo un proceso de retención y estabilización. También señaló que, en algunos casos, los purines son enviados a lagunas de almacenamiento a riego, lo que constituye una práctica de disposición diferente.

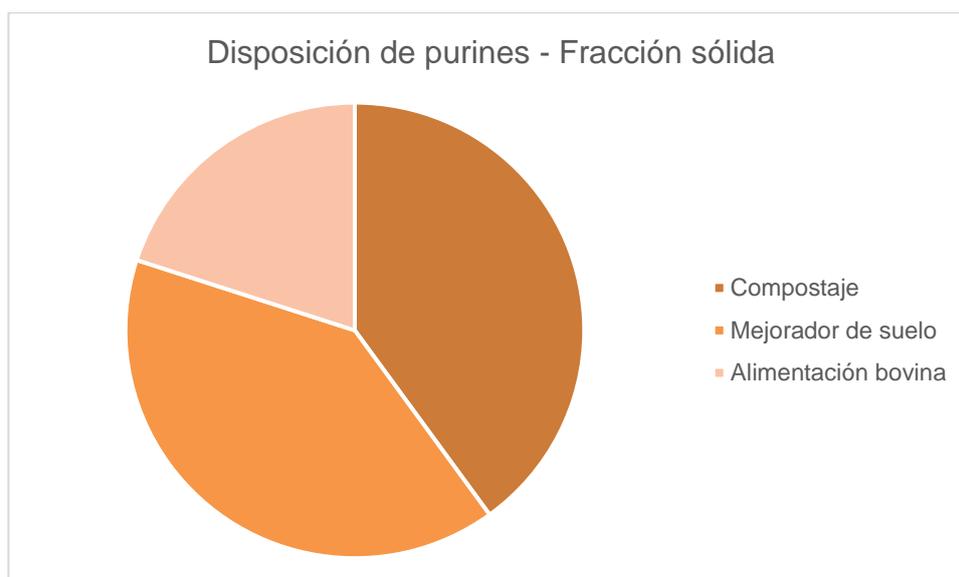
Además, se destacó que en situaciones particulares en las que existen prensas y equipos para la separación de sólidos, estos últimos son aprovechados, utilizándolos como mejoradores de suelo.

Titular de los planteles D: Mencionó que el compostaje tiene como objetivo lograr la degradación de la materia orgánica y mantener una temperatura adecuada en las pilas como indicador del funcionamiento del sistema de compostaje. La actividad biológica, impulsada por las bacterias encargadas de degradar la materia, es crucial para el proceso. La cancha destinada al compostaje no busca reducir olores, sino verificar que el sistema funcione correctamente. Sin embargo, en un ambiente abierto no es posible medir los olores, por lo que el parámetro para determinar el funcionamiento adecuado es la ausencia de olores ofensivos en las filas de compostaje. Esto indica que se ha producido una degradación exitosa de la materia orgánica y los descriptores ya no representan una molestia.

En relación con uno de los planteles vinculados al titular, se destaca un proceso de compostaje que se caracteriza por contar con una etapa inicial de fermentación confinada. Esta etapa se presenta como la única tecnología utilizada para mitigar los olores asociados al proceso. Dicha etapa emplea un filtro biológico que se somete a un monitoreo constante de parámetros, especialmente en lo que respecta a la conductividad del agua y la frecuencia de lavado del filtro.

El mantenimiento de este filtro biológico sigue las especificaciones establecidas por el proveedor del filtro, una empresa danesa, que indica la necesidad de mantener condiciones particulares del agua para garantizar la supervivencia de las bacterias responsables de la descomposición. Asimismo, se indica una frecuencia específica de lavado, en línea con el diseño y las recomendaciones proporcionadas por el proveedor.

Gráfico 5: Resumen de la fracción sólida en el área de disposición



Fuente 32: Elaboración propia

El gráfico muestra las acciones llevadas a cabo con la fracción sólida de los purines durante su disposición. De los cuatro titulares que participaron en el focus group, se observa que dos de ellos utilizan el compostaje como método para tratar la materia orgánica de esta fracción. Además, dos de los titulares mencionan que emplean la fracción sólida como mejoradores de suelo. En contraste, únicamente uno de los titulares reporta utilizar los purines sólidos para la alimentación de ganado bovino.

Gráfico 6: Resumen de la fracción líquida en el área de

Fuente 33: Elaboración propia.

A través del gráfico, se presenta una visualización de las acciones llevadas a cabo por los titulares de los planteles porcinos participantes. De estos titulares, tres mencionan que realizan el proceso de fertirriego utilizando la fracción líquida de los purines. Es importante destacar que esta fracción ya ha pasado por los tratamientos secundarios específicos implementados en cada plantel.

Por otro lado, un titular informa que, después de pasar por el biodigestor, la fracción líquida se dirige directamente a las lagunas estabilizadoras. Sin embargo, en este caso particular, no se proporciona información adicional acerca de si se lleva a cabo alguna última acción específica referente a la fracción líquida en las lagunas estabilizadoras.

Estos resultados objetivos revelan las distintas prácticas adoptadas por los titulares de los planteles porcinos en lo que respecta a la disposición tanto de la fracción sólida como de la fracción líquida de los purines. La prevalencia del fertirriego como método y la falta de detalles en un caso específico resaltan la diversidad de enfoques utilizados por los titulares en la gestión de esta fracción de residuos.

5.2.4. Monitoreo en línea

En cuanto al monitoreo en línea de los parámetros operacionales y las tecnologías empleadas en los planteles, los titulares proporcionaron las siguientes respuestas:

Titular de los planteles A: comenta que actualmente no cuentan con una parametrización en línea, excepto en el caso de los biodigestores que están conectados a generadores eléctricos en una de las plantas. En esta planta en particular, es necesario realizar una medición constante, pero enfocada en el biogás.

El titular enfatiza que, desde su perspectiva, los monitoreos en línea no son esenciales para este tipo de tecnología, ya que considera que los monitoreos diarios de los parámetros operacionales que se llevan a cabo en los planteles son suficientes. Sin embargo, señala que estas mediciones diarias pueden estar sujetas a errores muestrales que podrían afectar la precisión de los datos recopilados. A pesar de esto, la medición constante del biogás en la planta con generadores eléctricos es considerada una práctica relevante y necesaria para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

Titular de los planteles B: comenta que hasta el momento no han implementado un sistema de monitoreo en línea de manera directa con alguna autoridad. En el pasado, se les solicitó realizar monitoreo en línea, y en esa ocasión estaban enviando datos directamente relacionados con la temperatura, conductividad eléctrica, caudal, presión y peacks antes de llevar a cabo el riego. A pesar de haber realizado estos reportes durante toda la temporada de riego, nunca recibieron información en respuesta ni retroalimentación al respecto. Aunque se realizaron análisis y envío de información, no se obtuvo ningún tipo de confirmación o seguimiento de los datos proporcionados.

El titular también relata otra experiencia en la que llevan a cabo un monitoreo en línea, conforme a una solicitud de la SMA. Sin embargo, este monitoreo no está directamente conectado a la autoridad, sino que son ellos quienes establecen los límites para los gases y, en caso de que alguno de esos valores salga del rango establecido, se tomen las acciones correspondientes. Este proceso se realiza mediante un sistema de alarmas que se encuentra vinculado a dispositivos de monitoreo conocidos como "narices electrónicas", los cuales miden gases como ácido sulfhídrico, metano, metilmercaptano y compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). Estas alarmas se activan cuando se detectan ciertas concentraciones inusuales de gases en el ambiente.

El titular destaca que, aunque estas alarmas no han sido directamente asociadas con denuncias recibidas en el plantel, han demostrado su utilidad al detectar posibles problemas en el funcionamiento del sistema antes de que puedan surgir denuncias. Sin embargo, aún están probando y evaluando diferentes enfoques para cumplir con los requisitos y mejorar la gestión de los purines en sus plantas.

Titular de los planteles C: describe su situación respecto a los parámetros en línea, expresando que enfrenta dificultades en relación con la conectividad y funcionamiento del internet. Enfatiza que actualmente se maneja principalmente el tema de los biodigestores, y se llevan a cabo distintas mediciones y análisis en laboratorios, específicamente en cada uno de los biodigestores, pero no tienen una completa implementación de monitoreo en línea.

El titular menciona que, en cuanto a los informes, solo se realizan reportes semestrales, pero no hay parámetros reportados de forma inmediata o diaria en línea por su parte. También señala que, en términos de los reportes en línea, no están seguros si lo que hacen podría ser considerado un reporte en línea o no, ya que ellos elaboran informes sobre la calidad del agua o el efluente, que son luego cargados en la página de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) siguiendo la frecuencia establecida por las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de cada planta, lo cual puede ser semestral u otro periodo determinado.

Titular de los planteles D: señala la importancia de comprender correctamente el término "monitoreo en línea", ya que su interpretación puede variar según el contexto. En su explicación, destaca que todos los sistemas utilizados, los cuales implican inversiones y tecnologías, requieren una parametrización y un monitoreo constante. Es relevante tener en cuenta que la mayoría de sus planteles no se encuentran en la Región Metropolitana, donde la conectividad de WIFI o señal de teléfono es más accesible para

todos. Sin embargo, dentro de cada plantel, todos los sistemas están interconectados y cuentan con trabajadores que realizan un seguimiento interno y constante de los parámetros.

Se menciona la existencia de un laboratorio interno en uno de los planteles, lo que demuestra un enfoque dedicado a la evaluación y control de los parámetros relevantes. A pesar de que no existe una conexión en línea hacia una plataforma central debido a limitaciones estructurales y ubicación geográfica, esto no implica que no haya una adecuada gestión y seguimiento de los parámetros. Se enfatiza que nadie invertiría en una tecnología de tratamiento sin un seguimiento adecuado, dado que existe la obligación de cumplir con ciertas frecuencias de monitoreo.

El titular destaca que existe una gestión centralizada en la oficina principal de la empresa, donde se realiza un seguimiento y determinación de los parámetros, incluyendo la identificación de desviaciones y cómo abordarlas. A pesar de no contar con una conexión en línea hacia una plataforma externa, el adecuado sistema de seguimiento y monitoreo en cada etapa es evidente y asegura una operación permanente y responsable en la industria porcina.

En resumen, cada titular ha adoptado enfoques diferentes respecto al monitoreo en línea, con variaciones en la implementación de tecnologías y la forma en que reportan los datos. Cada titular adopta enfoques particulares, lo que refleja la diversidad de abordajes en cuanto a la gestión y control de los parámetros operacionales en sus respectivos planteles.

5.3. Visita a plantel

En relación con la visita realizada a la planta de tratamiento La Estrella, ubicada en la región de O'Higgins, se efectuó una completa observación del

proceso de tratamiento del purín. Dicha visita fue llevada a cabo en compañía de representantes de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), autoridades de la planta y un delegado de la Asociación de Productores de Cerdos (ASPROCER).

El recorrido se inició con la visita de los pabellones de alojamiento de los animales, donde se pudo constatar que algunos de ellos cuentan con un sistema de ventilación por túnel, el cual se caracteriza por tener un sistema de ventilación que emplea extractores y ventiladores para garantizar la circulación del aire. Cabe mencionar que, durante esta visita, el acceso a los pabellones se limitó únicamente al perímetro, no permitiéndose el ingreso para una observación interna de las instalaciones.

Fotografía 1: Área de alojamiento - Pabellones



Fuente 34: Fotografía tomada en terreno

El proceso de tratamiento de los purines comienza desde el área de los pabellones, donde se acumula la mezcla de orina, estiércol y agua proveniente de la crianza de los cerdos. Posteriormente, se pudo observar el estanque ecualizador, el cual recibe el flujo de algunos pabellones en su estado crudo, así como el afluente previamente tratado por un biodigestor. A partir del

ecualizador, el purín es sometido a una etapa de separación física de los sólidos más gruesos mediante el uso de filtros y prensas. La fracción líquida resultante es conducida hacia una cámara de aguas, donde pasa por un desarenador y un sistema de flotación de aire disuelto (DAF), con dos unidades disponibles para este propósito.

El efluente posteriormente es dirigido hacia un pozo trickling filter, el cual constituye un sistema crudo de tratamiento en el que el efluente es goteado sobre una superficie de piedras u otros materiales recubiertos con bacterias encargadas de la descomposición de los residuos orgánicos. A continuación, el proceso continúa con el reactor anóxico, con un volumen aproximado de 8.000 m^3 , para luego dividirse en dos reactores aeróbicos con una capacidad de 20.000 m^3 cada uno. Posteriormente, el efluente es conducido hacia la cámara desgasificadora, los sedimentadores y la cámara ras-was. El lodo mixto es dirigido hacia el pozo de lodos mixtos, mientras que el ras es recirculado nuevamente hacia el reactor anóxico. De ambos sedimentadores se obtiene el efluente final, el cual es dirigido hacia una laguna. Una porción del agua tratada es destinada para la limpieza de los pabellones donde residen los animales, mientras que el resto es empleado para fertiriego en predios agrícolas.

Fotografía 2: Sistema de Lodos Activados



Fuente 35: Fotografía tomada en terreno

En cuanto a los sólidos obtenidos durante el proceso de tratamiento, estos son sometidos a un deshidratador de lodos mediante centrifugación con equipos decantadores, para luego dar paso a su tratamiento en el sistema de compostaje. La planta cuenta con una nave cerrada donde se lleva a cabo la primera etapa del compostaje, conocida como etapa de fermentación, durante la cual se generan los olores característicos. En la nave se disponen pilas de residuos dispuestas en forma de pasajes, y se cuenta con un sistema automatizado que realiza el volteo de las pilas durante el primer mes. Además, la nave cuenta con un sistema de ventilación forzada, a través del cual el aire es conducido hacia un sistema de biofiltro que utiliza bacterias para eliminar eficazmente los malos olores y el amoníaco presentes en el aire de la nave de producción, con el propósito de lograr el máximo nivel de limpieza. Se destaca algunas ventajas de este biofiltro, tales como la limpieza biológica del aire sin la necesidad de emplear ácidos, la reducción de olores, amoníaco y polvo, y la capacidad de limpieza automática de los filtros, lo que implica un menor trabajo manual. Adicionalmente, en las tuberías de salida del aire filtrado se

realizan mediciones de gases mediante un laboratorio especializado en el análisis de olores.

Fotografía 3: Nave de compostaje



Fuente 36: Fotografía tomada en terreno

Fotografía 4: Sistema de Biofiltro Skov



Fuente 37: Fotografía tomada en terreno

Fotografía 5: Tuberías de la nave de compostaje



Fuente 39: Fotografía tomada en terreno

Una vez transcurrido el mes de compostaje en la nave, el compost resultante es trasladado a las canchas de compostaje para completar su proceso de maduración. Se destaca que una parte del compost obtenido es entregada a los agricultores vecinos de la planta.

En resumen, se presenta la siguiente imagen que muestra el diagrama de flujo de la planta de tratamiento "La Estrella".

cuenta con un sistema de ventilación tipo túnel, llamada Combi-túnel es un sistema plenamente automatizado y adaptable a todas las condiciones climáticas que ofrece a los cerdos las condiciones de producción más óptimas cuando la temperatura exterior varía drásticamente, desde temperaturas muy frías hasta extremadamente cálidas.

Este sistema ajusta automáticamente la ventilación dependiendo de la temperatura externa, el tipo de producción y la etapa de crecimiento de los animales. Cuando la temperatura exterior es baja, el sistema mantiene la temperatura y humedad del aire dentro de niveles ideales, eliminando el exceso de humedad y calor generados internamente en la instalación. Así mismo, cuando la temperatura exterior es elevada, el sistema renueva el aire dentro de la nave para mantener a los cerdos frescos, utilizando sistemas de enfriamiento y ajustando la velocidad del aire.

El controlador climático supervisa eficientemente la temperatura, humedad, velocidad y calidad del aire, asegurando una producción uniforme, un aspecto fundamental para alcanzar los mejores resultados de producción posibles.

Beneficios:

- Adaptación automática de la ventilación a distintas condiciones climáticas.
- Entorno de producción cerrado.
- Control de temperatura, humedad, velocidad y calidad del aire.
- Uniformidad climática en toda la nave durante épocas frías.
- Utilización de la velocidad del aire como un medio de enfriamiento en momentos de calor.

5.4.2. Área de tratamiento

5.4.2.1. Biodigestores

En el ámbito del monitoreo y control de plantas de biogás, es fundamental supervisar y regular una serie de parámetros clave en los procesos. Entre estos factores destacan la temperatura, pH, conductividad, presión y nivel, que desempeñan un papel crucial en la digestión anaerobia y la generación de biogás.

Además de estos indicadores, es de suma importancia monitorear otros componentes que contribuyen al funcionamiento integral de las plantas de biogás, como equipos de bombeo, soplantes, compresores, caudalímetros, válvulas y motores. Por lo tanto, la implementación de una automatización básica puede volverse esencial y necesaria.

ProCycla ha diseñado un Sistema de Control funcional y patentado que posibilita la monitorización tanto de los procesos mecánicos como biológicos en las plantas de biogás. Esto se logra mediante algoritmos avanzados de inteligencia artificial, adaptados a las características y necesidades de cada planta. Incluso es capaz de anticipar posibles fallas o producciones futuras, otorgando un margen considerable para la toma de medidas.

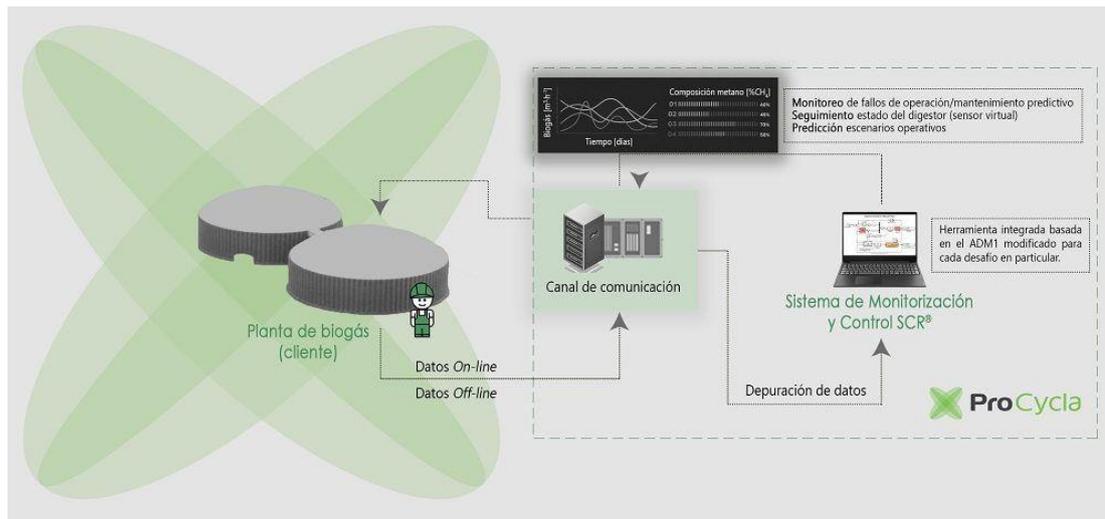
La utilidad de un sistema de control radica en su capacidad para ajustarse al tipo y tamaño de la planta de biogás en cuestión. Esto implica evaluar aspectos como el tipo de sustrato a tratar, los volúmenes y otros factores, así como seleccionar la instrumentación apropiada, como sensores y transmisores de presión, nivel, temperatura, entre otros. Además, se debe tomar la decisión de optar por un sistema de automatización eléctrico o neumático (ProCycla, 2023).

El Sistema de Control (SCR®) desarrollado por ProCycla se destaca por su versatilidad y eficiencia. Puede ser aplicado en diversos tipos de digestores anaerobios, ya sea en configuraciones de Flujo Pistón (FP) o Mezcla

Completa (MC). Este sistema integra el modelo ADM1 (Modelo de Digestión Anaerobia 1), el cual ha sido ajustado para optimizar diversos aspectos del proceso:

- Mejora el control del proceso biológico, lo que se traduce en un aumento en la generación de biogás.
- Proporciona un análisis periódico completo del proceso en términos de poblaciones y compuestos intermedios no medidos experimentalmente.
- Anticipa posibles fallos en el proceso, lo que resulta en la reducción de costos operativos y de mantenimiento.
- Permite evaluar diferentes escenarios, como la introducción de nuevos sustratos o cambios en las condiciones operativas.

Mapa conceptual 5: Esquema de funcionamiento sistema ProCycla



Fuente 41: Empresa ProCycla

5.4.2.2. Lodos activados

Este procedimiento se enfoca en la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales por medio de la actividad de microorganismos, lo que conlleva a la producción de dióxido de carbono. Además, durante este proceso, los microorganismos transforman el

amoníaco/amonio en nitratos, siendo el nitrito un compuesto de nitrógeno intermedio, en un proceso conocido como nitrificación.

Para asegurar un control preciso y mejorar la eficiencia del proceso, es esencial monitorear de manera continua las variables como por ejemplo los sólidos suspendidos, el nivel de lodos y la concentración de oxígeno disuelto. Estos parámetros permiten optimizar el funcionamiento del proceso de lodo activado y garantizar un tratamiento altamente efectivo de las aguas residuales (Construcción y vivienda, 2021).

Estos parámetros comprenden: pH, niveles de componentes orgánicos, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos, Turbidez, Oxígeno Disuelto, Amoníaco y Amonio.

Para la medición precisa y confiable de los mencionados parámetros, se dispone de una variedad de instrumentación especializada. Entre los equipos utilizados para este fin se encuentran los muestreadores automáticos AS950, sensores de pH diferencial, sistemas de medición de carga orgánica mediante tecnologías como UVAS o Biotector TOC, sondas para la medición de Sólidos Suspendidos totales, específicamente del tipo Solitax, así como sondas de Oxígeno Disuelto LDO2. Asimismo, se emplean analizadores de amonio AMTAX SC o sondas que permiten la medición de amonio y nitratos con tecnología AN-ISE (Construcción y vivienda, 2021).

Tabla 18: Sensores disponibles para el monitoreo de lodos activados

Equipo	Función	Imagen
AS950	Sensor digital de pH	

Sensor UVAS	Se utiliza para medir los parámetros, como DQO o carbono orgánico total (TOC)	
Biotector TOC	Medición de carbono orgánico total (TOC)	
Solitax	Sólidos en suspensión de rango alto, Turbidez	
LDO2	Medición de niveles de oxígeno disuelto en el agua	
Tecnología AN-ISE	Sensor combinado para amonio y nitrato	

Fuente 42: Proveedor Hach. En Chile distribuido por empresa Termodinámica.

La utilización de esta instrumentación especializada y la supervisión constante de los parámetros mencionados son fundamentales para asegurar

un control efectivo del proceso de tratamiento de aguas residuales y garantizar que los efluentes cumplan con los estándares de calidad requeridos.

Por otra parte, nos encontramos con la entidad conocida como Simtech. Su fundación en 1996 establece su presencia en el campo. Su enfoque se dirige hacia la atención de todas las compañías que requieren vigilar, tratar y/o mejorar la calidad de sus aguas, independientemente de si son aguas sanitarias, agrícolas o industriales. Para abordar este aspecto, Simtech se dedica a proporcionar soluciones sostenibles que abarcan diversas áreas sustanciales:

- Procesos de potabilización.
- Reutilización de aguas.
- Técnicas de desalinización.
- Tratamiento de aguas residuales.
- Manejo de Residuos Industriales Líquidos (RILES).
- Supervisión y control de procesos.

En relación con los servicios que la entidad pone a disposición, destaca la implementación de telemetría. Basándose en su experiencia extensa y su colaboración con reconocidas entidades como CCU, Esval, Aguas del Valle, Econssa y CDH, Simtech se dedica a la continua vigilancia de parámetros específicos. Estos elementos cruciales para el monitoreo constante son el pH, el caudal y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Simtech, 2023).

5.4.2.3. Lombrifiltro

BioFiltro es una empresa chilena que acumula más de una década de experiencia y más de dos décadas de investigación y desarrollo en áreas como vermifiltración, reutilización de agua, reducción de residuos y regeneración del suelo. Su influencia se extiende a siete naciones, destacándose por su valioso aporte al entorno ambiental.

El sistema patentado de BioFiltro, conocido como BIDA®, ha sido registrado en varios países, incluyendo Chile, Estados Unidos y Perú, entre otros. Esta tecnología tuvo su origen en las aulas de la Universidad de Chile, inspirada en el Sistema Tohá, y fue posteriormente perfeccionada y sometida a investigaciones propias, lo que le permite contar con un diseño distintivo y diferenciador.

Cuentan con un sistema de Telemetría y Automatización implementado por la entidad ofrece una supervisión en tiempo real de las instalaciones a través de un equipo de ingenieros. Este monitoreo abarca variables críticas del proceso, tales como presión, caudal, sólidos suspendidos y nivel de pH. La administración se lleva a cabo mediante el empleo de controladores de la marca Automation Direct y la plataforma IXON Cloud, brindando acceso tanto a través de la versión web como de la aplicación móvil. Los usuarios tienen la capacidad de supervisar indicadores, recibir alertas y evaluar el rendimiento de los equipos.

La fase de Data y Conectividad se inicia con el control informático de la planta de tratamiento, utilizando PLC, sensores y pantallas HMI, los cuales se encuentran conectados a internet. La implementación de VPN seguras y la plataforma StrideLinx optimiza el control a distancia y el mantenimiento de las instalaciones.

En términos de Capacidad Predictiva, el análisis avanzado conduce a la identificación de patrones de buenas prácticas y se emplea para notificar al equipo de monitoreo y operaciones acerca de tareas de mantenimiento inminentes o posibles fallos en el funcionamiento.

Los datos recopilados por los sensores son almacenados de manera segura en la nube industrial IXON. Esta plataforma permite la visualización y análisis de los datos, facilitando el acceso remoto tanto para el equipo interno como para el cliente.

La Trazabilidad se logra mediante el modelado de información, ofreciendo una perspectiva integral del funcionamiento de las instalaciones. Esto posibilita la comparación con periodos previos y la estimación de la reducción del impacto ambiental. No solo se trata de seguir el desempeño de una instalación en particular, sino de todas aquellas que han adoptado esta innovadora forma de tratamiento de agua residual (Biofiltro, 2023).

5.4.3. Área de descomposición

Compostaje

Procompost es una empresa chilena que ha desarrollado una Red de monitoreo y control remoto, optimizando el proceso de descomposición de residuos orgánicos en plantas de compostaje industrial. El sistema se basa en el análisis del comportamiento térmico del material orgánico, con la capacidad de controlar equipos de aireación forzada ante condiciones anómalas, enviar alertas por operaciones inseguras y analizar tendencias en función de la estrategia de compostaje.

El sistema ofrece una solución para la problemática de los olores fuertes en las plantas de compostaje industrial, especialmente de lodos industriales. Utiliza tecnología de recubrimiento de pilas de compost con membranas de microporo, como el politetrafluoroetileno expandido (ePTFE). El recubrimiento se aplica durante momentos de alta actividad bacteriana para evitar la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV), amoníaco y polvo, que causan malos olores.

La operación eficiente de esta tecnología requiere la aireación forzada de la pila de compost y un monitoreo constante de la temperatura, ya que aumentos por encima de 70°C resultan en descomposición anaeróbica y malos olores. El producto COMPOFAST, diseñado por el innovador textil

chileno Reinaldo Lippi, cumple con la futura normativa chilena sobre olores en plantas industriales de residuos orgánicos.

Fotografía 7: Cubierta Compofast



Fuente 43: Sitio Web empresa Procompost

La eficiencia de COMPOFAST se evaluó mediante campañas de monitoreo de calidad del aire realizadas por ENVIOROSUITE.

Tabla 19: Concentraciones de olor ensayo sobre y bajo cubierta

Fuente	Tipo de muestreo	Fecha/Hora muestreo	Fecha/hora Análisis	Concentración de olor* [u. o./Nm ³]	Tasa de emisión [u. o./Nm ³]
Ensayo sobre cubierta	Superficial	24-02-2021 11:34	24-02-2021 16:31	60	0,503
Ensayo bajo cubierta	Superficial	24-02-2021 11:48	24-02-2021 17:08	4813	40,105

Fuente 44: Sitio web empresa Procompost

Los resultados demostraron que el uso de COMPOFAST redujo la tasa de emisión de olores desde 40,105 uo/m²-s a 0,503 uo/m²-s, representando una disminución del 98,7% en la emisión total de olores.

6. ANÁLISIS

Luego de evaluar tanto los fundamentos presentados en el marco teórico como los hallazgos derivados de las distintas herramientas metodológicas empleadas en esta investigación, se puede afirmar que:

6.1. Área de alojamiento

En el área del alojamiento, se pudo constatar que la elección de la tecnología de ventilación estaba directamente vinculada al tamaño, ubicación y antigüedad de los planteles. Se observó que aquellos establecimientos más antiguos y con menor población de animales se inclinaban principalmente hacia el empleo de sistemas de ventilación natural mediante el uso de cortinas. Por otra parte, en los planteles más modernos y de mayor tamaño, se implementaba una combinación de diferentes sistemas de ventilación, tales como la ventilación natural con cortinas y la ventilación forzada tipo túnel, la cual se empleaba en algunos pabellones.

En adición a lo anterior, se identificó que ciertos planteles habían optado por incorporar la tecnología de ventilación forzada con el objetivo de mejorar el bienestar animal y reducir las emisiones de olores, fundamentando su decisión en estudios previos y la observación de la dirección de la pluma proyectada.

Los parámetros operacionales de mayor relevancia se centraban en el caudal de remoción de aire, la temperatura y la humedad. Se enfatizó la importancia de mantener dichos parámetros dentro de los límites establecidos, ya que cualquier desviación podría tener un impacto negativo en el proceso productivo y afectar el bienestar de los animales. No obstante, se constató la ausencia de un sistema de monitoreo en línea específico para el área de alojamiento.

6.2. Área de tratamiento

En el área de tratamiento de purines, se pudo observar que los titulares entrevistados utilizan principalmente la tecnología de biodigestores, seguida de cerca por el uso de lombrifiltros y lagunas estabilizadoras, mientras que los lodos activados se utilizan en menor medida. Algunos planteles combinan estas tecnologías, implementando, por ejemplo, biodigestores, lodos activados y lagunas estabilizadoras en conjunto.

Tanto los proveedores como los titulares mencionaron que estas tecnologías de tratamiento no están diseñadas específicamente para abatir olores, sino que su objetivo principal es el tratamiento de la materia orgánica. Sin embargo, debido a este tratamiento efectivo, estas tecnologías contribuyen a reducir el olor, siempre y cuando funcionen adecuadamente.

En relación con los parámetros operacionales de las tecnologías, los entrevistados y la información recopilada coinciden en que los principales para el biodigestor son:

Tabla 20: Resumen de parámetros operacionales de los Biodigestores

Tecnología	Parámetro
Biodigestor	- pH
	- Temperatura
	- THR
	- VCO
	- Relación C/N
	- Niveles de ST
	- Niveles de SV

Fuente 45: Elaboración propia

Los dos proveedores entrevistados enfatizaron la existencia de compuestos tóxicos e inhibidores de la metanogénesis, subrayando la importancia de no solo controlar los parámetros operacionales clásicos, sino también los niveles de ácidos grasos volátiles (AGV) y nitrógeno amoniacal, este último en estrecha relación con la composición química de los purines. Estas observaciones concuerdan con las referencias proporcionadas por

Varnero (2011) y Hilbert (2010) en el marco teórico. Los AGV, al ser indicadores sensibles a los cambios en el sistema anaeróbico, juegan un papel crucial en la evaluación del progreso del proceso de fermentación. Cualquier desequilibrio en la relación simbiótica entre los microorganismos acidogénicos y metanogénicos puede resultar en la acumulación de AGV, lo cual afecta negativamente el proceso y disminuye la producción de biogás.

El nitrógeno amoniacal, por otro lado, representa un nutriente esencial para el crecimiento bacteriano, pero altas concentraciones pueden ocasionar problemas en el proceso. Por ende, mantener los niveles por debajo de 2000 mg/l se vuelve imperativo para preservar una fermentación adecuada.

De manera interesante, los proveedores mencionaron un parámetro, no previamente resaltado por los titulares ni abordado en el marco teórico, que es la alcalinidad. Ambos proveedores consideran que, junto con la temperatura y el pH, la alcalinidad asume una posición relevante como parámetro de alerta en el seguimiento del biodigestor. Estos aspectos adicionales, aportados por expertos en la tecnología de biodigestores, contribuyen a una visión más profunda y precisa del análisis de la información recopilada en la presente investigación.

Además, uno de los proveedores consultados resaltó el tema del uso de antibióticos en los planteles porcinos, manifestando la preocupación por los posibles riesgos asociados. En particular, hizo hincapié en que el uso de antibióticos en los animales puede generar un efecto inhibitor sobre la actividad bacteriana, tanto en el proceso de tratamiento en biodigestores como en sistemas aeróbicos.

Con relación a los lombrifiltros, tanto el marco teórico como la información proporcionada por el proveedor de la tecnología, ofrecen datos sobre los parámetros operacionales de este sistema. Sin embargo, cabe mencionar que los titulares entrevistados no profundizaron en los detalles de

los parámetros a evaluar, a pesar de que mencionaron el uso de esta tecnología en sus planteles.

En consecuencia, tomando en consideración la revisión teórica y los datos brindados por el proveedor, se pueden identificar los siguientes parámetros operacionales:

Tabla 21: Resumen de los parámetros operacionales de los lombrifiltros

Tecnología	Parámetro
Lombrifiltro	- pH
	- Temperatura
	- DBO
	- DQO
	- Oxígeno disuelto
	- Niveles de SST
	- Niveles de SSV

Fuente 46: Elaboración propia

En el marco teórico, Castillo et al. (2015) abordan exhaustivamente todos los parámetros presentados en la tabla N°19. Sin embargo, al entrevistar al proveedor, este destaca principalmente la importancia del pH, la medición de amoníaco y la conductividad como parámetros principales a considerar en el funcionamiento de la tecnología. Además, el proveedor enfatiza la necesidad de diseñar soluciones personalizadas según el rubro industrial, destacando la importancia de realizar estudios de laboratorio previos para conocer con precisión la composición química del efluente a tratar.

Por otro lado, el proveedor resalta la versatilidad de las lombrices y su capacidad de adaptación, pero también menciona que una de las desventajas de esta tecnología es la necesidad de contar con una superficie considerable para su instalación. Esta información coincide con lo manifestado por los titulares entrevistados, quienes señalaron que solo en los planteles de menor tamaño se implementan lombrifiltros.

En el contexto de la tecnología de lodos activados, se ha realizado una identificación de los parámetros operacionales tanto en el marco teórico como

por parte del titular en particular. Estos parámetros operacionales de la tecnología fueron mencionados de manera general. Por ende, es factible exponer que:

Tabla 22: Resumen de los parámetros operacionales de los Lodos Activados

Tecnología:	Lodos Activados
Indicadores:	<ul style="list-style-type: none"> - Color - Espuma - Algas - Materia flotante - Burbujeo - Acumulación de solidos - Turbulencia - Trayectoria del flujo - Claridad del efluente - Aspecto del lodo - olor
Parámetro de operación del sistema:	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal - THR - Tiempo de retención celular - Carga orgánica volumétrica
Parámetros biocinéticos:	<ul style="list-style-type: none"> - Oxígeno disuelto - pH - Temperatura - SSV - Sólidos volátiles del lodo sedimentado - Relación alimento microorganismo
Parámetros de la calidad del efluente:	<ul style="list-style-type: none"> - DBO - DQO - AyG - SST

Fuente 47: Elaboración propia

Sin embargo, el titular en cuestión, cuya planta de tratamiento emplea el método de lodos activados, solamente hace referencia a tres parámetros operacionales específicos: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la remoción de sólidos suspendidos y el nitrógeno total. Es importante destacar que estos parámetros se mencionan de manera general, aplicados a todas las tecnologías utilizadas en la instalación, sin especificar que se refieren exclusivamente a la tecnología de lodos activados.

En relación con las lagunas estabilizadoras, tanto el marco teórico como los titulares señalaron que generalmente se utilizan después de aplicar otra tecnología previa, como los biodigestores, que según los entrevistados es la tecnología más comúnmente utilizada. Sin embargo, al profundizar en el tema a través de entrevistas y visitas a terreno en un plantel, se comprendió que las lagunas estabilizadoras, a pesar de clasificarse inicialmente como una tecnología, en realidad funcionan como una técnica de acumulación del efluente.

Beyli et al. (2012) describen que el propósito de estas lagunas es actuar como grandes reactores subterráneos con impermeabilización, destinados a eliminar principalmente compuestos orgánicos y patógenos. Por otra parte, Herrera menciona que el objetivo explícito de las lagunas de estabilización es lograr que las aguas acumuladas en ellas cumplan con un conjunto de parámetros cuantitativos establecidos por la ley, para permitir su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales posteriores. Estos parámetros incluyen aspectos relacionados con el riesgo potencial para la salud pública, contenido de compuestos orgánicos disueltos, sólidos suspendidos, materias grasas, contenido de nitrógeno orgánico, contenido de fosfatos, así como la ausencia de olor y color.

Cada país regula estos parámetros de manera soberana, generalmente tomando en cuenta el sistema receptor y/o la región de aplicación de la regulación, por ejemplo, mediante regulaciones específicas para ríos o cuencas. En el caso de nuestro país, se aplica la norma chilena de reúso de aguas para diversos usos, NCh1333, establecida por el Instituto Nacional de Normalización.

Se concluye que las lagunas estabilizadoras, más que ser una tecnología de tratamiento secundario, son una forma de acumular el efluente que previamente ha sido tratado con otra tecnología, la cual ha disminuido la carga orgánica. Cuando el efluente llega a la laguna, ya se encuentra en una

condición mucho más estable. Sin embargo, todavía existen casos en los que se envía directamente al tratamiento primario, donde la carga orgánica es considerablemente mayor, lo que resulta en una mayor emisión de olores.

6.3. Área de disposición

En relación con el área de disposición de purines en planteles porcinos, se pudo constatar que, además del compostaje utilizado para tratar la fracción sólida de los residuos, se empleaban diversas estrategias según la información recopilada de los titulares. Algunos de ellos mencionaron que dicha fracción se destinaba como alimento para bovinos o como mejorador de suelo, tanto dentro de los planteles como externamente en ciertos casos.

Un aspecto destacado en la investigación fue el proceso de compostaje en uno de los planteles vinculados al titular D. Este proceso incluye una etapa inicial de fermentación confinada en una nave con un sistema de ventilación forzada que canaliza el aire hacia un filtro biológico. Este filtro es objeto de monitoreo constante, especialmente en términos de conductividad del agua y frecuencia de lavado, siguiendo las especificaciones proporcionadas por el proveedor del filtro.

Respecto a la fracción líquida de los purines, los titulares mencionaron que, en algunos casos, se dirigía hacia lagunas de post fermentación, lagunas estabilizadoras o lagunas de almacenamiento, siendo denominadas de diferentes maneras. Además, se señaló que estos efluentes se utilizaban para fertiriego, dependiendo de la temporada correspondiente.

Es relevante destacar que la variedad de estrategias empleadas en la disposición de purines refleja la diversidad de enfoques y consideraciones adoptadas por los titulares para gestionar adecuadamente los residuos generados en los planteles porcinos. El monitoreo y cumplimiento de parámetros operacionales en cada proceso de tratamiento resulta

fundamental para garantizar una gestión efectiva y sostenible de los purines y minimizar el impacto ambiental asociado con su disposición.

En relación con los parámetros operacionales del proceso de compostaje, los titulares no proporcionan detalles específicos al respecto en la información recopilada. Sin embargo, de acuerdo con lo establecido en el marco teórico y la tabla N°15 mencionada por Roman (2013), se puede inferir que existen parámetros clave a considerar en dicho proceso. Aunque estos detalles precisos no están incluidos en los datos recopilados de los titulares, la literatura científica y referencias proporcionadas en el marco teórico pueden brindar una base para entender la importancia y relevancia de tales parámetros en el contexto del compostaje.

6.4. Monitoreo en línea

Por otra parte, en relación con el monitoreo en línea de los parámetros operacionales, la mayoría de los titulares expresó que actualmente no cuentan con un sistema de monitoreo en línea y que los reportes generados no son enviados a una fuente externa de sus empresas. En particular, los titulares A y B mencionaron que carecen de un sistema de monitoreo en línea, aunque el titular A resaltó la importancia de realizar mediciones constantes del biogás en una de las plantas equipadas con generadores eléctricos. Por su parte, el titular B indicó la implementación de un sistema de alarmas vinculado a dispositivos de monitoreo de gases para detectar posibles problemas en el funcionamiento del sistema. En contraste, el titular C enfrenta dificultades de conectividad y no ha logrado implementar un monitoreo en línea, optando por generar informes semestrales. El titular D subraya la importancia de un seguimiento interno y constante de los parámetros, aunque carece de una conexión en línea hacia una plataforma central debido a limitaciones estructurales y ubicación geográfica.

En resumen, los titulares de los planteles presentan diferentes enfoques y niveles de implementación en cuanto al monitoreo en línea de los parámetros operacionales y tecnologías. Mientras algunos planteles han adoptado sistemas más avanzados con dispositivos de monitoreo en tiempo real y alarmas para detectar problemas, otros enfrentan limitaciones de conectividad y optan por realizar informes periódicos. A pesar de las diferencias, es evidente que todos los titulares reconocen la importancia de llevar a cabo un seguimiento adecuado de los parámetros para garantizar el correcto funcionamiento de sus sistemas y cumplir con las regulaciones ambientales. La variedad de enfoques refleja la diversidad de la industria porcina en cuanto a la gestión y control de sus procesos operacionales.

En cuanto a los proveedores, se menciona que consideran factible y beneficioso mantener un monitoreo en línea de los parámetros operacionales de las tecnologías. No obstante, destacan dos puntos importantes: en primer lugar, señalan que los sistemas de monitoreo en línea son costosos tanto en la implementación como en el mantenimiento. En segundo lugar, enfatizan que el monitoreo en línea no debe reemplazar el control manual y de laboratorio de los parámetros operacionales, ya que los sensores utilizados pueden presentar dificultades o bloquearse debido a reacciones químicas que ocurren en los tratamientos biológicos.

Por otro lado, se describe que uno de los titulares realiza reportes semestrales, aunque no reporta los parámetros en línea de forma inmediata o diaria. Existe incertidumbre acerca de si lo que hacen podría considerarse un reporte en línea, ya que elaboran informes sobre la calidad del agua o el efluente, que luego son cargados en la página de la SMA según la frecuencia establecida por las RCA de cada planta. Otro titular destaca la importancia de comprender correctamente el término "monitoreo en línea", ya que su interpretación puede variar según el contexto. Es relevante tener en cuenta que la mayoría de sus planteles se encuentran fuera de la Región Metropolitana, donde la conectividad de WIFI o señal de teléfono es más

accesible para todos. Sin embargo, dentro de cada plantel, todos los sistemas están interconectados, y se realiza un seguimiento interno y constante de los parámetros.

Respecto a lo mencionado anteriormente, se resalta la importancia de cumplir con el DS N°9/2022 emitido por el Ministerio del Medio Ambiente, específicamente en el título 3 que trata sobre las Prácticas operacionales para el control de emisiones, artículo 8, letra c. Según este documento, los titulares están obligados a proporcionar información sobre las condiciones de operación de las tecnologías relacionadas con las emisiones de olores. Esto incluye seguir las instrucciones del proveedor de los equipos y los procedimientos especificados en el plan de mantenimiento.

Para las fuentes emisoras medianas y grandes, se requiere informar el programa de inspecciones que involucre observaciones de la apariencia de los equipos, además de un monitoreo en línea de los parámetros operacionales de funcionamiento. La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) puede exigir el monitoreo en línea de gases trazadores de dichos equipos, como amoníaco, sulfhídrico y/o compuestos orgánicos volátiles totales, u otros similares.

La SMA cuenta con un protocolo general que establece los lineamientos técnicos para la comunicación en línea con la institución (Resolución Exenta N° 252/2020 – Resolución Exenta N° 680/2021). Estos lineamientos incluyen la captura y el monitoreo en tiempo real de variables y parámetros de interés registrados tanto por los Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS) como por otros instrumentos utilizados para el monitoreo ambiental. Estos requerimientos están estipulados en diversos instrumentos ambientales como Normas de Emisión, Planes de Descontaminación Ambiental, Resoluciones de Calificación Ambiental, Programas de Cumplimiento, entre otros.

Asimismo, se menciona que, según la resolución exenta 1574/2019, existen Unidades Fiscalizables que deben instalar un sistema de monitoreo continuo de emisiones (CEMS) y reportar los datos según lo establecido en los correspondientes instrumentos de carácter ambiental (ICA). Los periodos de reporte varían según el tipo de ICA que aplique, pudiendo ser anual, mensual, en línea o incluso sin reporte establecido.

En ese sentido, para facilitar el análisis de los reportes enviados por los titulares de acuerdo con los ICA aplicables, la SMA ha considerado necesario que todos los CEMS estén conectados en línea con el servicio de la institución. Esto permitirá recibir en tiempo real los datos generados por estos sistemas, lo que a su vez facilitará la adopción de medidas y el ejercicio de otras competencias legales que correspondan, así como la detección temprana de posibles desviaciones o irregularidades. La información oportuna obtenida mediante esta conexión en línea también contribuirá a la priorización de futuras fiscalizaciones y la resolución de procedimientos de competencia de la SMA.

6.5 Opciones del mercado para monitoreo continuo de equipos emisores de olor

En lo que respecta al sistema de monitoreo automatizado ofrecido por la empresa Skov, se enfoca la atención en la supervisión de varios parámetros esenciales para el entorno de producción. Entre estos parámetros se incluyen la temperatura, la humedad y la calidad, así como la velocidad del aire. Estos elementos son cuidadosamente ajustados en función de las condiciones climáticas externas a la nave.

Este sistema de monitoreo automático representa un componente crucial en la gestión eficiente de las instalaciones avícolas y porcinas. La adaptación continua de los parámetros mencionados, de acuerdo con las variaciones en

el clima exterior, garantiza que los animales dentro de la nave mantengan un entorno óptimo para su desarrollo y bienestar.

La temperatura y la humedad son factores fundamentales en la calidad del aire y la comodidad de los animales. El sistema se encarga de mantener estos dos aspectos en rangos ideales, tanto en condiciones de clima frío como en momentos de calor. Esto asegura que los cerdos se mantengan libres de estrés térmico y disfruten de un entorno adecuado para su crecimiento y rendimiento.

Además, la calidad y velocidad del aire también son cuidadosamente reguladas por este sistema automatizado. La calidad del aire es esencial para prevenir la acumulación de gases nocivos y mantener un ambiente saludable. La velocidad del aire, por su parte, contribuye a la distribución uniforme de las condiciones climáticas en toda la nave, evitando puntos calientes o áreas mal ventiladas.

El controlador climático, central en este sistema, supervisa y ajusta de manera eficiente estos parámetros. La combinación de la tecnología automatizada y la adaptación constante a las condiciones climáticas cambiantes garantiza una producción uniforme y óptima, lo que a su vez conduce a los mejores resultados posibles en términos de desarrollo y rendimiento de los animales.

En definitiva, el sistema de monitoreo automático de Skov, al considerar la temperatura, humedad, calidad y velocidad del aire, se erige como una solución integral que contribuye significativamente al bienestar de los animales y a la eficiencia de las operaciones en instalaciones avícolas y porcinas.

En el ámbito del tratamiento de biodigestores, la empresa Procycla emerge como una figura destacada gracias a su enfoque en el monitoreo y

control de las plantas de biogás. Dentro de este contexto, se subrayan los parámetros esenciales que ejercen un rol fundamental en el funcionamiento eficiente del equipo, como la temperatura, pH, conductividad y presión.

Junto a estos indicadores, se reconoce la relevancia de vigilar otros elementos interconectados que contribuyen a la operación integral de las plantas de biogás. Estos componentes engloban equipos como bombas, soplantes, compresores, caudalímetros, válvulas y motores. De ahí que la adopción de un nivel básico de automatización se convierta en una necesidad crucial.

En este escenario, la automatización brinda un valor añadido al proceso al permitir una gestión más precisa y eficaz de los diversos aspectos involucrados en la operación de las plantas de biogás.

En lo que respecta a los parámetros operacionales para los lodos activados se consideran esenciales para llevar a cabo un monitoreo en línea efectivo, se incluyen el pH, los niveles de componentes orgánicos, la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos, la turbidez, el oxígeno disuelto, el amoníaco y el amonio. La compañía Hach proporciona los instrumentos necesarios para llevar a cabo la medición en línea de estos parámetros mencionados anteriormente.

Además, la empresa Simtech resalta la importancia de monitorear constantemente los parámetros como el pH, el caudal y la DQO (Demanda Química de Oxígeno), reconociendo su relevancia en la gestión y control efectivo de procesos.

Dentro del sistema de tratamiento mediante lombrifiltro, la empresa BioFiltro provee un sistema de monitoreo para parámetros operativos cruciales como presión, caudal, sólidos suspendidos y pH. Este sistema

garantiza un funcionamiento eficiente y oportuno, permitiendo correcciones en tiempo real y contribuyendo al éxito del proceso de tratamiento.

En el ámbito de la disposición de purines, la compañía Procompost resalta la temperatura como el parámetro operativo primordial. A través de la regulación de los rangos de temperatura, se controla la introducción de aire en las pilas. Además, se destaca la implementación de un revestimiento textil que, según sus investigaciones, reduce los olores en un 98%.

7. CONCLUSIONES

La investigación realizada permitió llegar a conclusiones importantes tanto sobre el proceso de investigación como sobre los resultados obtenidos. En relación con la situación actual de los planteles porcinos del país, específicamente en lo que respecta al monitoreo continuo de los parámetros operacionales de las tecnologías utilizadas en el tratamiento secundario, se pudo observar lo siguiente:

En su mayoría, los titulares de los planteles porcinos no cuentan con sistemas de monitoreo continuo en las tecnologías que emplean. Algunos de ellos justifican esta falta de monitoreo argumentando que las condiciones geográficas dificultan la conectividad. Otros mencionan que realizan mediciones frecuentes de sus parámetros operacionales de manera interna y llevan a cabo ensayos en sus laboratorios, por lo que consideran que un sistema de monitoreo continuo externo no es necesario.

Sin embargo, se encontró que al menos un titular cuenta con un monitoreo continuo y ha implementado un sistema de alarma interna que les avisa cuando algún parámetro está fuera del rango establecido, siendo estos rangos proporcionados por la SMA.

Un aspecto relevante que surgió durante la investigación fue la noción de "monitoreo en línea", la cual resultó ser confusa para algunos titulares de los planteles. No obstante, se constató que la SMA brindó una explicación detallada de este concepto, lo que indica una relación de comunicación y asesoramiento entre la entidad reguladora y los titulares de los planteles porcinos.

En consecuencia, se pudo determinar que la mayoría de los planteles porcinos carecen de sistemas de monitoreo continuo en las tecnologías utilizadas, aunque existen algunas excepciones. La implementación de un sistema de monitoreo en línea parece ser aún poco comprendida, pero se vislumbra como una herramienta potencial para mejorar la eficiencia y el control ambiental en estos planteles. Es fundamental fomentar la conciencia sobre la importancia del monitoreo continuo para asegurar el cumplimiento de las regulaciones ambientales y la reducción efectiva de las emisiones de olor en el proceso de tratamiento secundario.

En el contexto de los planteles porcinos, se evidencia el empleo predominante de tecnologías como biodigestores, lombrifiltro y lodos activados, aunque aún persiste la utilización de lagunas estabilizadoras como opción de tratamiento secundario. No obstante, en la presente investigación, se advierte que las lagunas estabilizadoras, más que funcionar como una tecnología de tratamiento secundario de purines, cumplen principalmente la función de acumular el efluente.

Es relevante destacar que algunos planteles optan por una estrategia de implementar múltiples tecnologías en sus instalaciones, lo cual puede conllevar a una disminución de la carga orgánica que llega a las lagunas estabilizadoras en estos casos específicos.

Respecto a los parámetros operacionales utilizados en estas tecnologías, resulta notable que, debido a su objetivo común de tratar materia

orgánica, presentan similitudes sustanciales. Entre los parámetros más recurrentes se encuentran el seguimiento del pH, la temperatura y el contenido de nitrógeno total. Esta última variable adquiere particular importancia debido a que los residuos de purines de cerdos conllevan elevados niveles de amoníaco, lo que impone un desafío significativo en el proceso de tratamiento.

En favor de un abordaje más conciso y claro, se presenta a continuación una tabla resumen que detalla los parámetros operacionales utilizados, organizados por área y tecnología empleada:

Tabla 23: Resumen de parámetros operacionales de las tecnologías utilizadas en los planteles porcinos

Tecnología	Parámetros	Parámetros de monitoreo en línea
Área de alojamiento		
Ventilación tipo túnel	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal - Temperatura - Humedad 	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal - Temperatura - Humedad - Velocidad de aire
Área de tratamiento		
Biodigestor	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Temperatura - THR - VCO - Relación C/N - Niveles de ST - Niveles de SV - Alcalinidad - Calidad del biogás - AyG - Nitrógeno amoniacal 	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Temperatura - Presión - Conductividad
Lodos Activados	<ul style="list-style-type: none"> - Caudal - THR - Tiempo de retención celular - Carga orgánica volumétrica - DBO - DQO - SST 	<ul style="list-style-type: none"> - pH - DBO - SST - Caudal - DQO
Lombrifiltro	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Temperatura - DBO - DQO 	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Temperatura - Caudal - Niveles SST

	<ul style="list-style-type: none"> - Oxígeno disuelto - Niveles de SST - Niveles de SSV 	
Área de disposición		
Compostaje	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura - pH - Relación C/N - Concentración de oxígeno - Tamaño de partícula - Humedad - Densidad - Nitrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura

Fuente 48: Elaboración propia

Es imperativo subrayar que el monitoreo constante y preciso de estos parámetros operacionales es esencial para asegurar la eficiencia y efectividad de las tecnologías empleadas en el tratamiento secundario de purines porcinos. De este modo, se garantiza una gestión adecuada de la materia orgánica contenida en los efluentes, en cumplimiento con los estándares ambientales establecidos por las normativas pertinentes. La toma de decisiones informadas basadas en el monitoreo riguroso permitirá a los planteles porcinos mitigar los impactos ambientales y optimizar sus procesos de tratamiento de manera sostenible.

En última instancia, resulta de suma importancia subrayar la relevancia de la regularización territorial en el contexto de los planteles porcinos. Como pudo observarse durante la visita a terreno, la ausencia de una regulación adecuada tiene un impacto directo tanto en los residentes que comparten proximidad con estos establecimientos como en los propios titulares. A pesar de los esfuerzos realizados por los titulares para implementar tecnologías, optimizar procesos y reducir emisiones, es inevitable que persista un cierto nivel de olor que pueda afectar a los vecinos circundantes. Este aspecto se vio claramente evidenciado durante la visita a terreno, especialmente en

relación con las viviendas ubicadas a menos de 500 metros de uno de los pabellones del plantel.

Es imprescindible considerar que la carencia de una normativa o fiscalización adecuada según corresponda en el territorio puede generar conflictos y repercutir negativamente en la calidad de vida de las comunidades cercanas a los planteles porcinos. Por tanto, se destaca la necesidad de establecer regulaciones que tomen en cuenta la cercanía de estas instalaciones con zonas habitadas y promuevan una coexistencia armónica entre las actividades porcinas y las comunidades vecinas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, D. P. (2019). *La industria porcina en Chile: oportunidades y desafíos para su sustentabilidad*. Obtenido de Oficina de Estudios y Políticas Agrarias-ODEPA.: https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/04/articulo-industria_porcina.pdf
- Alexander, R., León, A., & Castillo, N. (2015). *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia Foetida*.
- Andrade, P. (2016). *Definición de los parámetros operacionales para aplicar la tecnología de separación de agua*. Quito.
- Arango, J. (2003). *Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas*. Obtenido de Repositorio Universidad de Chile:
<http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Arango%20Jessica.pdf>
- ASPROCER. (2022). *Análisis sectorial*. Obtenido de Asociación gremial de productores de cerdos en Chile: <http://www.asprocer.cl/industria/analisis-sectorial/>
- Baeza, E. (2018). *Técnicas y métodos de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales*. Obtenido de
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25552/2/Informe_Tratamiento_Aguas_Residuales.pdf
- Bertsh, G. (2021). *Ventilación en granjas porcinas*. Obtenido de Artículo revista veterinaria: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/ventilacion-en-granjas-porcinas/>

- Beyli, M. E., & al, e. (2012). *Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar*. Obtenido de FAO:
<https://www.fao.org/3/i2094s/i2094s.pdf>
- Biofiltro. (2023). *Telemetría y automatización*. Obtenido de Biofiltro:
<https://www.biofiltro.cl/telemetria-y-automatizacion/>
- Blanes-Vidal V., H. M. (2009). *Characterization of odor released during handling of swine slurry: Part II. Effect of production type, storage and physicochemical characteristics of the slurry*. Obtenido de ScienceDirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231009000855>
- BMZ. (2010). *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)*. Obtenido de Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección al Consumidor (BMELV): <http://stsproyectos.com/UT2/BIOGASPORTAL.pdf>
- Bravo, M. (2019). *Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina*. Obtenido de Repositorio Universidad del Bio-Bio:
http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3456/3/Bravo_Marinni_Marcelo_Andr%C3%A9s.pdf
- Buitrón, G., Reino, C., & Carrera, J. (s.f). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales*. Obtenido de CYTED:
https://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf
- Bureau of Water Supply and Wastewater Management, Department of. (2009). *Wastewater Treatment Plant Operator Training*.
- Bustos, S. G. (2007). *Evaluación territorial del peligro ambiental y la vulnerabilidad en una comuna rural con actividad agroindustrial porcina intensiva. Estudio*

- de caso: *Comuna de San Pedro, Región Metropolitana*. Obtenido de Repositorio Universidad de Chile:
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/101858>
- Calderón, C. (2004). *Operación de plantas de lodos activos*. Obtenido de Memorias2004:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/Capitulo11/7OperaciondeplantasdelodosactivadosCesarCalderon.pdf>
- Cardoso, L., Escalante, V., Ramírez, M., & Tomasini, A. (2021). *Guía para el tratamiento de las aguas residuales porcinas*. Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua:
http://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2021/manual_tratamiento_aguas_residuales_porcinas_IMTA.pdf
- Carlo, E., Rosa, A., Benintende, S., Cariello, M., Castañeda, L., Figgoni, E., . . . Mascheroni, F. (2001). *ESTUDIO DE LA POBLACION MICROBIANA EN LA ETAPAS INICIALES DEL COMPOSTAJE*.
- Carvalho, L. (2004). *Utilização da nebulização e ventilação forçada sobre o desempenho e a temperatura da pele de suínos na fase de terminação*. Obtenido de Revista Brasileña de Zootecnia:
<https://www.scielo.br/j/rbz/a/cfnmmcxy3Tt3JNYnncWSmSF/?lang=pt>
- Cavalini, P. (1992). *It's an ill wind that brings no good. Studies on odour annoyance and the dispersion of odorant concentrations from industries*. Obtenido de University of Groningen: <https://research.rug.nl/en/publications/its-an-ill-wind-that-brings-no-good-studies-on-odour-annoyance-an>
- Cerda, R. (2022). CONFLICTO FREIRINA VS AGROSUPER: A 10 AÑOS DE LA BATALLA DE TATARA. *Radio JGM*.

- Chamorro, S. (2015). *Tecnologías de tratamiento de agua mediante lodos activados. Observación microscópica de organismos indicadores*. Obtenido de Universidad de Concepción:
https://www.researchgate.net/publication/322851806_Tecnologias_de_tratamiento_de_agua_mediante_lodos_activados_Observacion_microscopica_de_organismos_indicadores
- Chaparro, D., & Zorro, J. (2017). *PROTOTIPO DE BIORREACTOR AERÓBICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DEL PROCESO DE CO-COMPOSTAJE, A PARTIR DE LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE PLAZA DE MERCADO*.
- Chile Origen Consciente. (s.f). *Estandar de Sustentabilidad para el Sector Porcino*.
- cifelli, R. (2020). Freirina: el conflicto que evidenció el problema de olores industriales en Chile. *Codexverde*.
- Cifuentes, L. C. (2019). *Antecedentes para la elaboración de análisis económico de la norma de emisión de olores para sector porcino*. Obtenido de Estudios y publicaciones, Ministerio Del Medio Ambiente:
[http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=5e961dc4-e848-4994-9b5f-f9c5845a6e17&fname=Normol-Informe%20final%20\(vf\).pdf&access=public](http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=5e961dc4-e848-4994-9b5f-f9c5845a6e17&fname=Normol-Informe%20final%20(vf).pdf&access=public)
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización*. Obtenido de Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento:
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015b.%20Manual%20Lagunas%20de%20Estabilizaci%C3%B3n%2047.pdf

Construcción y vivienda. (2021). *Ecociencia: Tratamiento secundario por lodos activados y parámetros más importantes de monitoreo en una PTAR.*

Obtenido de Construcción y vivienda:

<https://www.construccionyvivienda.com/2021/06/16/ecociencia-tratamiento-secundario-por-lodos-activados-y-parametros-mas-importantes-de-monitoreo-en-una-ptar/>

Correa, G. (2008). *Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia.* Obtenido de Universidad de Antioquia:

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/50/1/EvalMonitStmaLagunasStfeAnt.pdf>

Dictuc. (2019). *Antecedentes para la elaboración de análisis económico de la norma de emisión de olores para sector porcino.*

Dirección General de Tecnología Agraria. (2000). *Producción y gestión de compost.*

Durán, V. (2021). *Nueva Constitución: el debate sobre los impactos sociambientales de la industria ganadera en Chile.* Obtenido de

<https://derecho.uchile.cl/centro-de-derecho-ambiental/columnas-de-opinion/cdaenlosmedios-v-duran-y-los-alcances-del-acuerdo-de-escazu>

ECOTEC. (2013). *Antecedentes para la regulación de olores en Chile.* Obtenido de

Ecotec ingeniería: <https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/ECOTEC-Ingenieria.pdf>

Envirometrika. (2019). *Generación de antecedentes técnicos para la elaboración de la norma de emisión de olores para la crianza intensiva de animales.*

Obtenido de Estudios y publicaciones Ministerio Del Medio Ambiente:

<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/05/P5605-MMA-RF10-28mar19-Publicado.pdf>

- EPA. (2001). *Odour Impacts and Odour Emission Control Measures for Intensive Agriculture*. Obtenido de Environmental Research:
<https://www.epa.ie/publications/research/air/Odour-Impacts-Final.pdf>
- Euroinnova. (2023). *¿Qué es la porcicultura?* Obtenido de *¿Qué es la porcicultura?*:
<https://www.euroinnova.edu.es/que-es-la-porcicultura>
- FAO. (2010). *Good practices for biosecurity in the pig sector*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:
<https://www.fao.org/3/i1435e/i1435e00.pdf>
- FAO. (2018). *Environmental performance of pig supply chains: Guidelines for assessment*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/3/l8686EN/i8686en.pdf>
- FAO. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:
http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuideBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf
- FAO. (2023). *Producción animal*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/animal-production/es#:~:text=La%20FAO%20trabaja%20para%20mejorar,vista%20econ%C3%B3mico%2C%20social%20y%20ambiental>
- FAO. (2023). *Producción pecuaria en América Latina y el Caribe*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:
<https://www.fao.org/americas/prioridades/produccion-pecuaria/es/>
- Fernandez, M. (2016). *Primer Informe de Avance Corregido “Análisis Jurídico Ambiental de Olores y Ondas Electromagnéticas en*. Obtenido de Olores, MMA: <https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/04/Estudio-Nacional-Analisis-Juridico-Ano-2016.pdf>

- Flores, H. (2012). *Herramientas de gestión ambiental para la utilización de purines como bio-fertilizantes*. Obtenido de Repositorio Universidad de Concepción: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/752>
- Fraser, D. (2008). *Understanding animal welfare*. Obtenido de Acta Veterinaria Scandinavica: <https://actavetscand.biomedcentral.com/articles/10.1186/1751-0147-50-S1-S1>
- Fundación Chile. (2011). *Ming Jiao Tong: Alianza para la innovación en torno al desarrollo y optimización de tecnologías de tratamientos de aguas residuales*. .
- Fundación para la transferencia tecnológica. (2005). *Acuerdo de producción limpia sector productores de cerdo*.
- Gajardo, N. L. (2013). *Estudio de la producción de biogás en función de la temperatura, en un biodigestor tipo chino*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/114944/Memoria%20de%20T%C3%ADtulo.pdf?sequence=1>
- García, A. (2019). *Manejo de residuos sólidos orgánicos (purines) procedentes de acorralados granja ovino-caprina, mediante la implementación de una compostera*.
- García, A. I. (2012). *Colaboraciones en Química: Contaminación odorífera. Estrategias de análisis de olores*.
- Holmes, B. &. (1990). *Mechanical ventilating systems for live housing*.
- INIA. (s.f). *Caracterización de los purines de cerdos*. Obtenido de Biblioteca Inia : <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8463/NR33212.pdf?sequence=9&isAllowed=y>

- INIA. (s.f). *Nuevo sistema de crianza de ganado porcino*. Obtenido de Biblioteca INIA:
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/5735/NR24940.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional de Normalizacion. (2010). *NCh 3190.Of2010 Calidad del Aire Determinación de la Concentración de Olor por Olfatometría Dinámica*.
- Jones, D. (2015). *Natural ventilation for livestock Housing*. Obtenido de Purdue University:
<https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2043&context=agext>
- Lassen, J. S. (2006). *Happy pigs are dirty! – conflicting perspectives on animal welfare*. Obtenido de Livestock Science:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141306001879#preview-section-abstract>
- Lay-Son, M. (2002). La Lombrifiltration comme technologie d'épuration des eaux usées. *Universidad de Montpellier II*.
- Lomborg, C., Thomsen, E., & Esbensen, H. (2010). Power plant intake quantification of wheat straw composition for 2nd generation bioethanol optimization - A Near Infrared Spectroscopy (NIRS) feasibility study. *Bioresource Technology*.
- López, S., & Martín, S. (2017). *Depuración de aguas residuales (Quinta ed.)*. . Obtenido de Editorial Elearning:
<https://books.google.com.pe/books?id=9cJWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=#v=onepage&q&f=false>
- Loro, A. (2018). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con eisenia foetida y un biofiltro convencional*. Obtenido de Respotorio Universidad científica del sur:

https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/567/TL-Loro_Ocampos.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Lozano, W. (2012). *Fundamentos de Diseño de Deuradoras de Aguas Residuales*.

Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenio_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales

Mackie, R. S. (1998). *Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste*. Obtenido de National library of medicine:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9621939/>

Maisonnave, R., Millares, P., & Lamelas, K. (2017). *Buenas Practicas de Manejo y*

Utilización de Efluentes Porcinos. Ministerio de Agroindustria. Obtenido de

Subsecretaría de Ganadería, Dirección Nacional de Producción Ganadera,

Dirección de Porcinos, Aves de Granja y no Tradicionales, Área Porcinos.:

<https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/porcinos/informacion/interes>

Malla, R. A. (2012). Identifican cuatro fuentes de malos olores en planta de

Agrosuper de Freirina. *El Mercurio*.

Manual práctico de ventilación. (s.f). Obtenido de Salvador Escoda:

[https://mantenimientoplanificado.com/salvadorescoda.net/Manual-](https://mantenimientoplanificado.com/salvadorescoda.net/Manual-Ventilacion.pdf)

[Ventilacion.pdf](https://mantenimientoplanificado.com/salvadorescoda.net/Manual-Ventilacion.pdf)

Martí, J., Pino, M., & Viquez, J. (2017). *Guía para el diseño, construcción,*

operación, mantenimiento, seguimiento y control de plantas de biogás de

pequeña y mediana escala enfocadas al sector lechero en Chile. Obtenido

de Ministerio de energía: [https://biogaslechero.minenergia.cl/wp-](https://biogaslechero.minenergia.cl/wp-content/uploads/2018/06/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf)

[content/uploads/2018/06/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf](https://biogaslechero.minenergia.cl/wp-content/uploads/2018/06/Guia-Biogas-sector-lechero-2018.pdf)

Martínez, B. (2019). *Evaluación de impactos ambientales en la industria porcina y*

propuesta de mejora en el manejo de purines. Estudio de caso. Obtenido de

Repositorio Universidad de Chile:

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/175505/Evaluacion-de-impactos-ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martinez, M., Pantoja, A., & Roman, P. (2013). *MANUAL DEL COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR, EXPERCIENCIAS EN AMERICLATINA*. Santiago .

Mena, M. P. (s.f). *Sistemas de tratamiento de residuos ganaderos y eficiencia en la reducción de contaminantes: Sistemas Convencionales*. Obtenido de Universidad de Chile :

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8463/NR33216.pdf?sequence=13&isAllowed=y>

Metcalf & Eddy, I. (2003). *Wastewater Engineering: Tratamiento y reuso*. Obtenido de Instituto tecnológico de Costa Rica:

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3019/Informe_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Millares , P., Lamelas , K., & Maisonnave , R. (2017). *Buenas Practicas de Manejo y Utilización de Efluentes Porcinos*. Ministerio de Agroindustria, Secretaria de Agricultura Ganaderia y.

Ministerio de energía. (2016). *Decreto 119 Aprueba reglamento de seguridad de las plantas de biogás e introduce modificaciones al reglamento de instaladores de gas*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile:

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1099847>

Ministerio de Medio Ambiente. (2019). *INSTRUCTIVO PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE GESTION DE OLORES (PGO)*.

Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Decreto 9 Establece norma de emisión de contaminantes en planteles porcinos que, en función de sus olores, generan molestias y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población*.

Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile:

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1188661>

Moncayo, G. (2017). *Control del proceso en biodigestores*. Obtenido de Aqualimpia:

<https://www.aqualimpia.com/control-biodigestores/>

Monge, M. A. (2017). *Fundamentos básicos de hidráulica*. Obtenido de IAGUA:

<https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/fundamentos-basicos-hidraulica-i>

Montanaro, R. (2006). *Granja Porcina en confinamiento (Sistemas Constructivos con Ventilación Forzada)*. Obtenido de Artículo Porcicultura:

<https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/granja-porcina-confinamiento-sistemas-t26667.htm>

Montanaro, R. (2015). *Granja porcina en confinamiento ventilación forzada*.

Obtenido de Biosuino: <http://www.biosuino.com/wp-content/uploads/2015/06/Granja-Porcina-en-Confinamiento-Ventilacion-Forzada.pdf>

Mota, V. (2020). *Bacterias metanogénicas*. Obtenido de

<https://prezi.com/fbl8wqlipbrx/bacterias-metanogénicas/>

Mueling, J. (1990). *Heating Cooling and tempering air for livestock housing*. .

Navarrete, D., Tinoco, L., Borodulina, T., & Muñoz, C. (2018). *Diseño, construcción y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, PTAR's San Agustín*. Obtenido de

<http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/25/3/libro%20Dioselina%20Nav>

Nch2880. (2004). *Compost - Clasificación y requisitos*. Obtenido de Norma Chilena

oficial: https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificaci%C3%B3n.pdf

- Negro, M., Villa , F., Aibar, J., Alarcon, R., Ciria, P., Cristobal, M., . . . Zaragoza, C. (s.f.).
- Noyola, A., Morgan, J. M., & Guereca, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf
- Nunez Dominguez, A., Lopez , A., Equihua, H., Linan , R., & Pascacio de los Santos, A. (2000). *On-line monitoring for the detection and prevention of faults in the power transformers; Monitoreo en linea para la deteccion y prevencion de fallas en transformadores de potencia*.
- Ojeda , D., & Sandoval, C. (2013). *Diseño de una herramienta para monitoreo y análisis de eficiencia de los enlaces ADSL*.
- Ortiz, G. (2012). *Generación y detección de olores provenientes del almacenamiento de purines porcinos en un plantel de engorda de la Región del Bío-Bío*. Obtenido de Repositorio Universidad de Concepción: <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-gerardo-ortiz-2012.pdf>
- Pedersen, B. K. (2005). *Sistemas de ventilación*. Obtenido de Comunidad profesional porcina: https://www.3tres3.com/latam/articulos/sistemas-de-ventilacion_9970/
- Peralta, J. M. (2005). *Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina [en línea]*. Obtenido de Colección Libros INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/3694>
- Pérez, M., & Pérez, S. (2016). *Proyecto de instalación de una planta de procesamiento de las aguas residuales domesticas del distrito de Motupe*

usando el sistema TOHÁ. Obtenido de Universidad nacional Pedro Ruíz

Gallo:

https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8606/P%C3%A9rez_Alarc%C3%B3n_Mois%C3%A9s_Bladimir_y_P%C3%A9rez_Yahura_Segundo_Ar%C3%ADsteres.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PIC. (2019). *Manual destete venta*. Obtenido de Latam Pic:

<https://latam.pic.com/wp-content/uploads/sites/19/2019/01/Manual-de-Destete-Venta-2019.pdf>

Pind, P., Angelidaki, I., Ahring, B., & Stamatelatou, K. (2003). Monitoring and control of anaerobic reactors. *Advances in biochemical*.

Pinzón, C. (2016). *Implementación de biodigestores para el mejoramiento de la calidad de vida de las familias campesinas*. Obtenido de Revistas Sena:

<https://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/1438/1571>

Procycla. (2023). *Sistemas de monitoreo y control de biogás*. Obtenido de Procycla:

<https://procycla.cl/monitoreo-y-control-de-biogas/>

Quille, L. (2019). *Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera "La Bodeguilla-Valle de Moquegua"*.

Obtenido de Revista de investigación de la escuela de posgrado,

Universidad nacional del Altiplano.:

<http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/1006/2>

62

Ramos, C. (2017). *Evaluación de un sistema de tratamiento de lodos activados para la remoción de carga orgánica en las aguas residuales domésticas*

generadas en el colegio San Viator. Obtenido de Fundación Universidad de

América: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6578>

- Ratto, S. (2017). *Características y manejo del ambiente de producción porcina*.
Obtenido de Repositorio Universidad de la Plata:
<https://core.ac.uk/download/pdf/296426283.pdf>
- Rebolledo, I. (2003). Estudio de alternativas de tratamientos de residuos
provenientes de cría intensiva de cerdos. *Tesis Ingeniero Civil. Universidad
de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*.
- REDONDO, L. B. (2015). *ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE PURINES PARA
LA OBTENCIÓN DE ESTRUVITA Y BIOGÁS*.
- Reina, J. (2015). *Evaluación de la eficiencia y cinética de remoción de materia
orgánica en un reactor biológico aerobio horizontal con medio de soporte
PET (Poloitereftalato de etileno)*. Obtenido de Escuela politécnica nacional:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10550/1/CD-6244.pdf>
- Rincon, E., & Sanabria, G. (s.f.). *Implementación de un sistema inalámbrico
confiable de monitoreo de temperatura y humedad*.
- Rivera, C. (2014). *ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE UNA NUEVA
CONFIGURACION TECNOLOGICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES, LODOS ACTIVADOS PLUS (LA+): Combinación de un
biorreactor de membranas y ozonización, desarrollado para reducir la
producción de purga de lodos y mejoras* . Obtenido de Repositorio
Universidad de Chile:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/149504/Estudio-de-la-efectividad-de-una-nueva-configuracion-tecnologica-de-tratamiento-de-aguas-residuales-lodos-activados.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodriguez, M. (2022). *Propuesta para la mejora de la operación de sistemas de
depuración natural (SDN) de explotaciones ganaderas mediante la
monitorización de variables de operación*. Obtenido de Universidad de las

Palmas de Gran Canaria:

https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/113481/1/memoria_TFT_Melania_Lucia_Rodriguez_Perez.pdf

Rojas, D. (2020). *Estudio de fitros biológicos para aguas grises utilizando lombriz roja californiana*. Obtenido de Repositorio Universidad técnica Federico

Santa María:

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/49675/3560901068977UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Roman, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR, experiencias en América Latina*.

Romero, A. M. (2019). *Manejo de residuos sólidos orgánicos (purines) procedentes de acorralados granja ovino-caprina mediante la implementación de una compostera*.

Roppa, L. (2000). Deep Bedding. *Revista Suinicultura Industrial*.

SAG. (2019). *Planteles animales bajo certificación oficial (PABCO) especie porcina*.

Obtenido de SAG: https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/d-pp-pt-sce-019_v02_porcinos.pdf

SAG. (2019). *Protocolo disposición animales muertos emergencias*. Obtenido de <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/protocolo-disposicion-de-animales-muertos-emergencias.version1.0.08.10.19.pdf>

Salazar, P. (2005). *Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. Obtenido de Repositorio Universidad

Austral:

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>

Sánchez, J., & Villaverde, Y. (2020). *Sistema de lodos activados en la calidad de efluentes del camal municipal de el porvenir*. Obtenido de Repositorio

Universidad privada del Norte:

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23958/S%C3%A1nchez%20S%C3%A1nchez%20Jordy%20Nilson%20-%20Villaverde%20Felix%20Yeison%20Makeck.pdf>

SEA. (2017). *Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA*.

Obtenido de Servicio de evaluación ambiental:

https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/12/21/guia_pye_impactos_por_olor_171221.pdf

Servicio Agrícola Ganadero. (2019). *Manual de las buenas practicas sobre bienestar animal en sistemas de produccion industrial de cerdos*.

Simtech. (2023). *Simtech proyectos telemetría*. Obtenido de Simtech:

<https://simtech.cl/proyectos/telemetria/>

SMA. (2023). *Preguntas frecuentes*. Obtenido de Superintendencia del Medio

Ambiente: <https://portal.sma.gob.cl/index.php/preguntas-frecuentes/>

Superintendencia de Medio Ambiente. (2021). Superintendencia del Medio

Ambiente Ordenó Medidas Urgentes y Transitorias a Agrícola Coexca S.A.

Superintendencia de Medio Ambiente. (2023). *Denuncias olores planteles porcinos*.

Tarrallardona, D. (2008). Medidas alimentarias para reducir el impacto ambiental de las deyecciones. *I congreso español de gestión integral de deyecciones ganaderas*. Barcelona.

Thornton, P. K. (2010). *Livestock production: recent trends, future prospects*.

Obtenido de Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological:

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2010.0134>

Tucker, R. (2010). *National Environmental Guidelines for Piggeries*. Obtenido de

Australian Pork: <https://www.australianpork.com.au/environmental-practices/environmental-guidelines>

- Varnero, M. T. (2011). *Manual de Biogás*. Obtenido de Ministerio de Energía:
https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/manual_de_biogas.pdf
- Vicari, M. (2012). *Efluentes en producción porcina en Argentina: generación, impacto ambiental y posible tratamientos*. Obtenido de Biblioteca digital de la Universidad Católica de Argentina:
<https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/319/1/doc.pdf>
- Villamar, A., Cañuta, T., Belmonte, M., & Vidal, G. (2011). *Characterization of Swine Wastewater by Toxicity Identification Evaluation Methodology (TIE)*. Obtenido de SpringerLink: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-011-0864-z>
- Vital, D. I. (2009). *MONITOREO DE PARÁMETROS A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA*.
- Von Keyserlingk, M. A. (2015). *The Ticking Clock: Addressing Farm Animal Welfare in Emerging Countries*. Obtenido de Journal of Agricultural and:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10806-014-9518-7>
- Williams, S. (2021). *Manual de producción porcina*. Obtenido de Repositorio Universidad de la Plata:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/130187/Documento_completo.pdf?sequence=1#page=23
- Zaror, C. (1998). *Introducción a la ingeniería ambiental*.
- Zimmerman, R. (1999). *Diseño de ventilación en túnel para alojamientos de cerdos*. Obtenido de Comunidad profesional porcina:
https://www.3tres3.com/latam/articulos/disenio-de-ventilacion-en-tunel-para-alojamientos-de-cerdos_9159/

9.GLOSARIO

Afluente: Agua residual u otro líquido que ingrese a algún proceso de tratamiento (Salazar, 2005).

Biodigestor: Contenedor en el que se produce la degradación anaeróbica de la materia orgánica, conocido también como digestor, reactor o fermentador (Ministerio de energía, 2016).

Biogás: Gas obtenido por procesos de digestión anaeróbica de materia orgánica, cuyos componentes principales son metano (CH₄), y dióxido de carbono (CO₂), con presencia de otros componentes tales como nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂), ácido sulfhídrico (H₂S), vapor de agua y otros en menor proporción (Ministerio de energía, 2016).

Compost: producto 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 (Nch2880, 2004).

Compostaje: proceso de tipo físico, químico y microbiológico de transformación de la materia orgánica, produciendo en condiciones aeróbicas, cuyo resultado es generar compost, dióxido de carbono, agua, calor y la higienización del material final. El objetivo es lograr que la actividad de múltiples poblaciones de microorganismos trabaje en condiciones preferentemente aeróbicas mesotérmicas entre 10°C y 40°C y termogénicas entre 40°C y 75°C para asegurar la pasteurización del producto. Este proceso genera finalmente un producto estable, maduro, de color marrón oscuro o negro ceniza, sin olores desagradables, denominado compost. Los procesos deben ser letales para organismos patógenos, parásitos y elementos germinativos como esporas y semillas (Nch2880, 2004).

Efluente: fase líquida, emergente de algún sistema de separación de fases, al que es sometido el purín; en otras palabras, fase líquida del purín, una vez que se han extraído los sólidos en suspensión y/o decantables (INIA, s.f).

Etapas en el proceso de compostaje: hitos del proceso que se identifican por características específicas propias de cada uno de ellos. De acuerdo a la secuencia en que ocurre el proceso, se reconocen las etapas mesofílicas; termofílica; de enfriamiento; y de maduración (Nch2880, 2004).

Fuente emisora: todo plantel porcino cuya cantidad de animales sea un número igual o superior a setecientos cincuenta (750), cuyo espacio físico conste de uno o más sectores de crianza, engorda y/o reproducción de porcinos, operado en forma técnica y administrativamente común, sea que compartan o no un sistema de tratamiento. En caso de que se comparta un sistema de tratamiento por dos o más fuentes emisoras, y que no esté dentro de los sectores que componen dichas fuentes emisoras, las emisiones se imputarán a quien aporta una mayor proporción de purines. Para determinar si un plantel porcino tiene la calidad de fuente emisora, solo deben considerarse aquellos animales porcinos cuyo peso sea superior a 25 kilos (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Fuente emisora pequeña: aquella fuente emisora cuya cantidad de animales porcinos sea un número igual o superior a setecientos cincuenta (750) e inferior o igual a veinticinco mil (25.000) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Fuente emisora mediana: aquella fuente emisora cuya cantidad de animales porcinos sea un número superior a veinticinco mil (25.000) e inferior o igual a cincuenta mil (50.000) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Fuente emisora grande: aquella fuente emisora cuya cantidad de animales porcinos sea un número superior a cincuenta mil (50.000) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Fuente emisora existente: aquella fuente emisora que hubiere obtenido una resolución de calificación ambiental, o esté en operación, con anterioridad a la entrada en vigencia de la presente norma (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Fuente emisora nueva: aquella fuente emisora que no sea fuente emisora existente a la entrada en vigencia del presente decreto (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Laguna: aquel depósito en profundidad, destinado al almacenamiento o retención del purín de porcinos, resultante del proceso de homogenización y/o separación. No se consideran lagunas para efectos de esta norma, las lagunas de tratamiento por biodigestores ni las lagunas de acumulación postratamiento de biodigestión. Asimismo, tampoco se consideran las lagunas de tratamiento y postratamiento por digestión aerobia (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Lodo: sólido, semisólido o líquido generado durante el tratamiento de aguas residuales domésticas y/o industriales (Nch2880, 2004).

Lodos Activados: proceso de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado (Salazar, 2005).

Pabellón: unidad física que aloja un número variable de porcinos contemporáneos y de similar condición sanitaria y productiva (SAG, 2019).

Pila: depósito o espacio en el que se encuentran las materias en compostación (Nch2880, 2004).

Planta de compostaje: instalación autorizada en la que se efectúa el compostaje (Nch2880, 2004).

Purín: caudal acuoso, con alta carga de sólidos suspendido y decantables, predominantemente orgánicos, que emerge de los pabellones de crianza y alimentación de cerdos; para ser llamado purín, este residuo acuoso no debe haber recibido algún tratamiento de separación de fases (INIA, s.f).

Receptor: toda persona que habite, resida o permanezca en un recinto, ya sea en un domicilio particular o en un lugar de trabajo, ubicado fuera del perímetro del predio de la fuente emisora y dentro del área de influencia de la misma, que esté o pueda estar expuesta a olores generados por dicha fuente (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Sector: unidad física delimitada por uno o más pabellones, que alojan animales porcinos, que tienen un manejo sanitario-productivo y medidas de bioseguridad comunes y que pertenecen a un mismo plantel (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Superintendencia o SMA: Superintendencia del Medio Ambiente.

Tasa de emisión de olor (TEO): cantidad de sustancias olorosas que pasan a través de un área definida por unidad de tiempo. Lo anterior, es producto de la concentración de olor, de la velocidad y área de salida; o, el producto de la concentración de olor y la pertinente tasa de volumen de flujo, por ejemplo, en [m³/h]. Esta unidad es [ou E/h] (o [ou E/min] o [ou E/s]) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Unidad de Olor europea (ouE): unidades de olor europeas, que corresponde a la cantidad de sustancia(s) olorosa(s) que, cuando se evapora en un metro cúbico de un gas neutro en condiciones normales, origina una respuesta fisiológica de un panel (umbral de detección) equivalente al que origina una Masa de Olor de Referencia (More) evaporada en un metro cúbico de un gas neutro en condiciones normales 12. La concentración de olor al umbral de detección es por definición 1 [ouE/m³], por consiguiente, esta se expresa como múltiplos del umbral de detección (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

Unidad emisora de olor: aquellas fuentes difusas pasivas, difusas activas, difusas de volumen o puntuales que potencialmente generan emisiones de olor y que son parte de alguna de las áreas que conforman una fuente emisora, ya sea del alojamiento de animales, o del tratamiento y disposición de purín (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

10. ANEXOS

Consentimientos

Nombre: Cesar Huilnir Curio

Enlace: <https://drive.google.com/file/d/1YjTt0ZIMdnLyxAcfmiX5zDiGMFwDbcL1/view?usp=sharing>

Nombre: Daniel Blando

Enlace:

Nombre: Estephanie González Jarpa

Enlace: <https://drive.google.com/file/d/1f6y9yPesLTFedHHCDw5b3ShSswrIUAFW/view?usp=sharing>

Nombre: Jean-François Bradford

Enlace:<https://drive.google.com/file/d/1TYv09DXJ2Nnel3gRZAaf4q4xFFduCBpp/view?usp=sharing>

Nombre: Marcel Szanto Narea

Enlace:

https://drive.google.com/file/d/17b6Wtmo5ic0gGiQIqNGmBkf_9SkiB88k/view?usp=sharing

Respaldo entrevistas

Nombre: Cesar Huilindir Curio

Enlace:<https://drive.google.com/file/d/1R8CEHYzhBIRcobs945kWO3QdYNYQDQg3/view?usp=sharing>

Nombre: Daniel Blando

Enlace:<https://drive.google.com/file/d/1DaGDnZerdk8wBs6G8-RLdHwt1yAoDaVD/view?usp=sharing>

Nombre: Estephanie González Jarpa

Enlace:<https://drive.google.com/file/d/1Gw0ToGRN53f1GTb9ZNwDQn5C4cHxyN8I/view?usp=sharing>

Nombre: Jean-François Bradford

Enlace:https://drive.google.com/file/d/1JkfTEotBI6JvtLvif5UgR13m7hF_JGV/view?usp=sharing

Nombre: Marcel Szanto Narea

Enlace:<https://drive.google.com/file/d/1rig66H1ayFzP4OsMAv8q0XwPZs7JI1MH/view?usp=sharing>