

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES ODORÍFEROS EN EL PURÍN:
COMPARACIÓN DE MODELOS DE CONVERSIÓN DE CONCENTRACIÓN
QUÍMICA A UNIDADES DE OLOR.**

SEBASTIÁN IGNACIO FERRADA MELLA

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

CHILLÁN-CHILE

2023

**Análisis de los componentes odoríferos en el purín: Desarrollo de
modelos de conversión de concentración química a concentración de
olor.**

Aprobado por:

Javier Ferrer Valenzuela
Ingeniero Civil Químico, Dr.
Profesor Asociado

Profesor Guía

Johannes De Bruijn
Ingeniero en Alimentos, Dr.
Evaluador interno

Profesor Co-Guía

Carolina Parra Fuentes
Bioquímica, Dra.
Evaluadora externa

Profesor Asesor

José Arumí Ribera
Ingeniero Civil, Dr.
Profesor titular

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesor Asociado

Decana

ÍNDICE DE MATERIAS

RESUMEN.....	8
SUMMARY	10
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. ANTECEDENTES GENERALES.....	14
2.1 El olor	14
2.2 El olor como contaminante	14
2.3 Unidad de olor	16
2.4 Contexto nacional.....	16
2.4.1 Planteles porcinos en Chile	18
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 Objetivo general	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
4. METODOLOGIA	23
4.1 Descripción de los tipos de métodos de determinación de olor.....	23
4.2 Caracterización de los componentes odoríferos del purín.....	24
4.3 Modelos de conversión.....	25
5. RESULTADOS	26
5.1 Tipos de medición de olores.....	26
5.1.1 Cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS)	26
5.1.2 Nariz electrónica.....	29
5.1.3 Identificación de compuestos específicos: Tubos colorimétricos	30
5.1.4 Olfatometría dinámica	31
5.1.5 Inspección de campo.....	34
5.1.5.1 Método pluma.....	34
5.1.5.2 método grilla	36
5.1.6 Olfatometría de campo	38
5.2 caracterización de los componentes odorantes del purín.....	39
5.3 Modelos de conversión de concentraciones odoríferas a olor.....	45
5.3.2 Estimación de concentración de olor (OC) basado en la suma de intensidades de olor (SOI).....	46
5.3.3 Modelo de olor calibrados para el purín de cerdo.	48

5.3.4 Modelo predictivo para la concentración de olor basado en las características fisicoquímicas del purín líquido.	49
5.3.5 Modelo predictivo mixto: concentración de olor basado en las características fisicoquímicas del líquido y las concentraciones de odorantes en fase gas.	50
5.4 Comparación de modelos predictivos de concentración de olor	52
6. CONCLUSIONES	55
7. BIBLIOGRAFÍA.....	56
8.ANEXOS.....	64
8.1 Datos de concentración del purín en fase gaseosa y líquida.....	64
8.2 Características físicas del purín	67
8.3 Intensidad de olor	67

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto	Página
Tabla 1. Normas asociadas a medición de olores en Chile	17
Tabla 2. Fuentes de emisión de olor en planteles porcinos.....	20
Tabla 3. Caracterización de los componentes odoríferos en purín de cerdo.....	42
Tabla 4. Formula empírica para derivar la intensidad de olor, según la Ley de Weber-Fechner.....	47
Tabla 5. Comparación entre concentraciones de olor medido por olfatometría y modelos de conversión para purines frescos y almacenados, de parto, engorde y destetes, además del error cuadrático medio normalizado de cada modelo.....	52
 En el Anexo	 Página
Tabla 6. Concentración de compuestos gaseosos del purín.....	64
Tabla 7. Concentración de compuestos del purín en fase líquida.....	66
Tabla 8. Características físicas del purín en los diferentes procesos y tiempos de medición.....	67
Tabla 9. Intensidad de olor para el sulfuro de hidrógeno y amoníaco...	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribución de cerdos por region.....	19
Figura 2. Representación de análisis cromatográfico.....	28
Figura 3. Funcionamiento general de una nariz electronica.....	29
Figura 4. Esquema general de olfatometría dinámica.....	31
Figura 5. Olfatómetro y panelistas seleccionados.....	33
Figura 6. Métodos de pluma: estática y dinámica.....	35
Figura 7. Ejemplo de cuadro de grilla.....	36
Figura 8. Ejemplo de calculo del porcentaje de HO por cuadrante.....	37
Figura 9. Sistema olfatométrico de campo.....	38
Figura 10. Olfatómetro de campo en uso por el operador.....	39
Figura 11. Transformación anaeróbica biogénica simplificada.....	40
Figura 12. Comparación del error cuadrático medio entre modelos.....	54

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Página
Ecuación 1. Error cuadrático medio normalizado.....	24
Ecuación 2. Concentración de olor por suma de actividades de olor..	44
Ecuación 3. Masa de olor específica.....	45
Ecuación 4. Concentración de olor por suma de intensidad de olor..	45
Ecuación 5. Suma de intensidad de olor.....	45
Ecuación 6 Intensidad de olor.....	45
Ecuación 7 Concentración de olor por concentración de ácido sulfhídrico menores a 1300 ppm.....	47
Ecuación 8 Concentración de olor por concentración de ácido sulfhídrico menores a 657 ppm.....	47
Ecuación 9 Concentración de olor por concentración de ácido sulfhídrico entre 6657 y 1300 ppm.....	47
Ecuación 10 Modelo para purín fresco	47
Ecuación 11 Modelo para purín almacenado	48
Ecuación 12 Modelo para purín de parto y destete.....	48
Ecuación 13 Modelo para purín de engorde.....	48
Ecuación 14 Modelo para purín de parto físico-químico.....	49
Ecuación 15 Modelo para purín de engorde físico-químico	49
Ecuación 16 Modelo para purín de destetados físico-químico.....	49
Ecuación 17 Modelo físico-químico y concentración de odorantes.....	49
Ecuación 18 Modelo purines frescos físico-químico y odorantes.....	50
Ecuación 19 Modelo purines almacenados físico-químico y odorantes.	50
Ecuación 20 Modelo purines engorde físico-químico y odorantes.....	50

**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES ODORÍFEROS EN EL PURÍN:
DESARROLLO DE MODELOS DE CONVERSIÓN DE CONCENTRACIÓN
QUÍMICA A CONCENTRACIÓN DE OLOR.**

ANALYSIS OF ODORIFEROUS COMPONENTS IN SLURRY:
DEVELOPMENT OF CONVERSION MODELS FROM CHEMICAL
CONCENTRATION TO ODOR CONCENTRATION.

Palabras claves: Purín de cerdo, concentración de olor, odorantes

RESUMEN

La emisión de olor en plantales porcinos es la más demandada y la que produce mayor molestia en la población, la forma de cuantificar su efecto es a través de la olfatometría dinámica establecida en la norma EN-13725, la cual puede ser compleja y costosa de realizar de forma continua. Por otra parte, las mediciones de concentración química de los componentes Oloroso del purín son a menudo una forma más fácil para monitorear.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar los métodos de determinación de olor y modelos de conversión que permitan predecir la concentración de olor por métodos analíticos. Mediante la revisión de diferentes estudios, se analizan y comparan, caracterizando los componentes del purín, los tipos de medición y modelos existentes, basados en la fase gaseosa, líquida y la combinación de ambas, equiparándolos con mediciones olfatométricas.

Se observa una buena correlación en modelos predictivos basados en la concentración de odorantes específicos, especialmente para purín almacenado con un 5% de error, basado en la concentración de ácido sulfhídrico, fenoles, indoles y sulfuros orgánicos, así como para purines de parto y destete con un 9% de error, basados en la concentración de ácido sulfhídrico, aldehídos aminas, esterres y cetonas.

Estos modelos se pueden emplear para estimar la concentración de olor, teniendo en cuenta que mientras más información de base mayor precisión tendrá el modelo.

ANALYSIS OF ODORIFEROUS COMPONENTS IN SLURRY:
DEVELOPMENT OF CONVERSION MODELS FROM CHEMICAL
CONCENTRATION TO ODOR CONCENTRATION.

Key words: Pig slurry, odor concentration, odorants.

SUMMARY

The emission of odor in pig farms is the most demanded and the one that causes the greatest discomfort in the population, the way to quantify its effect is through dynamic olfactometry established in the EN-13725 standard, which can be complex and expensive to perform continuously. On the other hand, chemical concentration measurements of the Oloroso components of manure are often an easier way to monitor.

This research aims to evaluate odor determination methods and conversion models that allow the prediction of odor concentration by analytical methods. Through the review of different studies, they are analyzed and compared, characterizing the components of the slurry, the types of measurement and existing models, based on the gaseous, liquid phase and the combination of both, equating them with olfactometric measurements.

A good correlation is observed in predictive models based on the concentration of specific odorants, especially for stored slurry with a 5% error, based on the concentration of hydrogen sulfide, phenols, indoles and organic sulfides, as

well as for farrowing and weaning slurry. with a 9% error, based on the concentration of hydrogen sulfide, aldehydes, amines, esters, and ketones.

These models can be used to estimate odor concentration, taking into account that the more base information the more accurate the model will be.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de vida está estrechamente asociados a nuestros sentidos, ya que ellos nos permiten percibir el entorno que nos rodea, con este enfoque, es imprescindible regular cualquier contaminante que perturbe el medio ambiente y en consecuencia empobrezca la calidad de vida de la población (Fortt, 2012).

Uno de estos alteradores es la contaminación odorífera, percibida por el sistema olfativo, el cual puede discriminar más de 10.000 odorantes, entre un rango de 200 a 400 dalton (Fuentes et al, 2011), esta información llega al sistema límbico y al hipotálamo, regiones cerebrales fundamentales en el procesamiento de la memoria y la información emocional (Power, 2012)

En Chile, a raíz de múltiples denuncias, se desarrolla la “Estrategia para la Gestión de Olores” (2014-2017), la cual tiene como objetivo, fortalecer el marco regulatorio a través de medidas de corto, mediano y largo plazo, permitiendo generar la primera norma de olores, regularizando el sector porcino en primera instancia, aprobada en enero 2022 por decreto supremo n°9, establece entre otros factores, límites de emisión en unidades de olor europeas (OU_E), para pequeños, medianos y grandes planteles. Estas emisiones se calculan mediante olfatometría dinámica, un análisis sensorial establecidas en las normas chilenas NCh3190 y NCh3386.

Las mediciones de olfatometría necesitan muestras de aire y múltiples panelistas, además de un laboratorio inodoro (INN, 2010). Estas mediciones

solo se pueden establecer de forma discontinua y por lo general tienen costos elevado (Chuandong Wu *et al.*, 2016). Una alternativa para obtener un monitoreo de forma continua, que permitan establecer acciones y medidas con el fin de ajustarse a la norma, es utilizando mediciones de concentración de las sustancias químicas, para esto es necesario una conversión de las concentraciones químicas (mg m^{-3}) en concentraciones de olor ($\text{OU} \text{m}^{-3}$).

Este estudio busca comparar diferentes modelos de conversión, caracterizando los componentes odoríferos del purín, describiendo los tipos de mediciones y analizando diferentes datos de concentraciones, con el fin de establecer si es factible una metodología de conversión confiable ya que debido a lo complejo y a veces subjetivo de la medición de olores en base a OUm^{-3} , es que surge la inquietud de analizar otros métodos o técnicas de emisión basadas en parámetros, como cuantificaciones de moléculas, propiedades físicas u otros, que permita analizar y comparar las emisiones odoríferas de formas más eficiente.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 El olor

El olor es el resultado de una mezcla compleja de compuestos en el aire (Blanes-Vidal *et al*, 2009), llamados odorantes, este se describe mediante sus características intrínsecas, que pueden ser medibles por diferentes métodos, siendo los más usados, la percepción sensorial, junto con las medidas analíticas (Izquierdo, 2019). Estas características o dimensiones son: la concentración, intensidad, carácter, ofensividad y persistencia (CICOP), la combinación de estas propiedades responderá al grado de percepción del olor (Nicell, 2009)

2.2 El olor como contaminante

Las regulaciones existentes a nivel internacional no solo toman en cuenta las características intrínsecas de los olores, sino que se guían por los factores que componen el patrón de impactos ambientales, entendido como los olores que afectan negativamente a la población receptora, estos factores son: la frecuencia, intensidad, duración, ofensividad y sensibilidad, el acrónimo que resume los factores mencionados es “FIDOS” (Ramos *et al.*, 2018), el cual toma las características descritas anteriormente del olor y ciertos parámetros, para así, lograr establecer la capacidad de generar molestias. **La frecuencia** se relaciona mediante un percentil (P), que proporciona el número permitido de superaciones de un umbral de concentración de olor específico. **La duración**, se refiere al tiempo transcurrido durante el cual se percibe un olor

(Izquierdo, 2019). **La sensibilidad** está relacionada con el uso de la tierra en el área circundante de una fuente de olor, se refiere al lugar donde se ubica un ciudadano o comunidad (fuera de los límites de la instalación) o receptores sensibles (puntos de interés predeterminados, por ejemplo, escuelas, hospitales, lugares de quejas), el factor de sensibilidad también puede considerar aspectos socioeconómicos, de tolerancia y expectativas (Torres *et al*, 2008).

A partir de estos factores, la comunidad científica ha trabajado en cómo medir y cuantificar las emisiones de olor, logrando establecer la metodología para determinar la concentración de olor de fuentes puntuales y difusas mediante olfatometría dinámica, establecida en la norma europea EN 13725:2003 (Gatica, 2019). No obstante, la primera dificultad surgida fue el cómo proceder para la obtención de la muestra en forma válida y representativa, naciendo así un importante respaldo metodológico como lo es la Norma Alemana VDI 3880:2011, la cual establece las metodologías de muestreo para la olfatometría (Vergara, 2013). Estas dos normas han servido de base para diferentes legislaciones y se encuentran transposicionadas en normativas de diferentes países como Panamá, Colombia, Chile, entre otros.

2.3 Unidad de olor

La unidad de olor europea (OU_E), es la unidad establecida para cuantificar olores por medio de olfatometría y se define como, la cantidad de sustancias olorosas que cuando se evapora en 1 m^3 de gas neutro en condiciones normales, origina una respuesta fisiológica de un panel (umbral de detención) equivalente a la originada por una masa de olor de referencia (MORE), evaporada en 1 m^3 de gas neutro en condiciones normales (INN, 2015)

$1 \text{ MORE} = 123 \text{ } \mu\text{g n-butanol} = 1 \text{ } OU_E$, para la mezcla de sustancias olorosas

Esta equivalencia es la base de la trazabilidad de las unidades de olor para cualquier sustancia olorosa a la de la sustancia olorosa de referencia. La suposición establecida es que la sensibilidad para la referencia será un pronosticador de la sensibilidad a otras sustancias. La dosis de otras sustancias y mezclas se expresa entonces en múltiplos de la dosis que origina una reacción fisiológica equivalente a la de referencia (INN, 2010)

2.4 Contexto nacional

La legislación sobre contaminación atmosférica en Chile es diversa; sin embargo, específicamente en materia de olores existen escasas disposiciones. En cuanto a normas de monitoreo y medición de olores, existen diferentes normativas descritas por el instituto nacional de normalización (INN). Dichas normas son: la primera norma de olores NCh 3190:2010 relacionada con los métodos de olfatometría dinámica para determinación de

olor, homologada norma europea EN-13725:2004; norma de muestreo estático para olfatometría NCh 3386:2015, homologada norma Alemana VDI 3880, norma de evaluación de molestias de olores (encuesta) NCh 3387:2016, homologada norma Alemana VDI 3883:2015; norma de evaluación de campo de olores, método de pluma y de grilla, NCh3533:2017, homologada norma Alemana VDI 3940:2016. En la Tabla 1 se presenta las normas relacionadas con la medición de olor de forma cronológica y el enfoque de cada una.

Tabla 1. Normas asociadas a medición de olores en Chile.

norma	nombre	resumen
NCh 3190:2010	Calidad del Aire Determinación de la concentración de olor por Olfatometría dinámica	Requisitos de calidad, Muestreo, Calculo de concentración
NCh 3387:2016	Calidad del Aire Muestreo Estático para Olfatometría	Tipos de fuente, equipo de muestreo, traslado de muestras.
NCh 3387:2016	Evaluación de la molestia por olores, encuesta	Evaluación en terreno, evalúa la presencia y dimensión de molestia.
NCh 3533:2017	Evaluación de Campo. Método Pluma y Grilla	Medición del impacto de olor mediante inspección de campo, medición de la frecuencia del impacto de olores reconocibles.

Fuente. Elaboración propia a partir de INN.

Estas normas son la base de la actual norma de olores en planteles porcinos, la cual será aplicable a nivel nacional a planteles de crianza, engorda y/o reproducción de animales que alcancen o superen los 750 ejemplares de más de 25 kilos, estableciendo límites de emisión de olor por eficiencia, considerando una reducción del 70% para los planteles existentes pequeños y de al menos 75% para los medianos y grandes. También propone límites en fuentes emisoras de 5 (OU_e/m^3) y 3 (OU_e/m^3) para fuentes nuevas, con percentiles de 95 y 98 respectivamente. Además, establece prácticas operacionales para el control de emisión, plan de prevención de contingencia de olor, sistemas de reportes y plazos y procedimientos de medición y verificación de cumplimiento, determinando las autoridades competentes para el control y fiscalización (D.S. n 9, 2022).

2.4.1 Planteles porcinos en Chile

En Chile la industria porcina está caracterizada por ser fuertemente intensiva, con altos niveles de tecnología, integrada verticalmente en los distintos eslabones de la cadena y concentrada en pocos actores (Acuña, 2019). La industria porcina nacional está habilitada para exportar a 64 países en el mundo, siendo los principales Japón, Corea del Sur, Rusia y China. El año 2019 la carne de cerdo representó el 35% del total de carnes producidas en el país con 530 mil toneladas vara, con un consumo de 308 toneladas vara, equivale al 21% del consumo total de carnes, después del consumo bovino

(31%) y aves (47%), alcanzando una cifra per cápita de 16,1 kg por persona al año (ASPROCER, 2020).

En Chile Existen aproximadamente 2.608.205 cabezas de ganado porcino (ASPROCER). En la Figura 1 se muestra la distribución de cerdos por región, siendo O'Higgins la localidad con más cerdos representando un 84%.

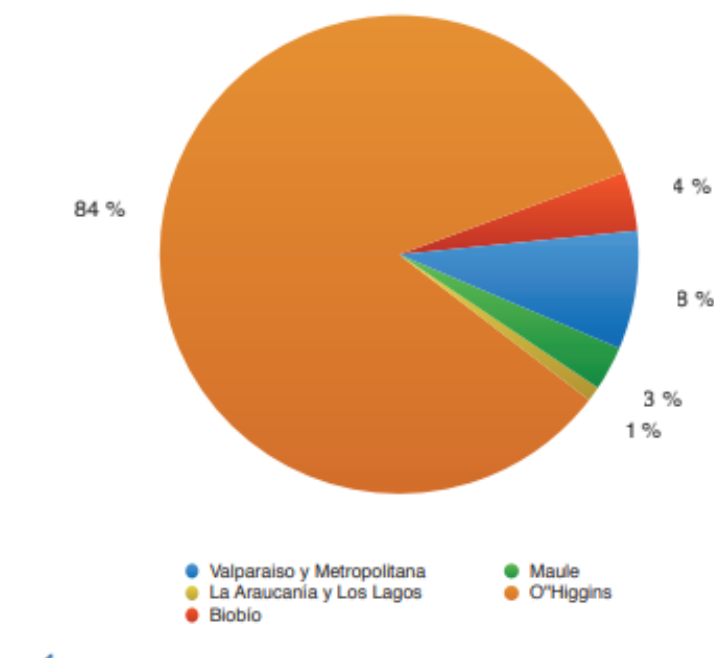


Figura 1. Distribución de cerdos por región.
Fuente: (SAG, 2019)

Estos planteles están conformados en tres etapas, maternidades, cría y engorda. En cada etapa se generan residuos de excreta y orina formando el purín que es el principal causante del mal olor y en general de las problemáticas ambientales (ECOTEC, 2013). Su cantidad está determinada por el sistema de manejo y del estado fisiológico del animal, siendo una mezcla de agua de lavado y excreta, la cual contiene un 90% de humedad,

presentando solidos que flotan y solidos que sedimentan (INIA, 2005). En la Tabla 2 se muestra la procedencia de emisiones de olor de un estudio piloto realizado a dos planteles porcinos de Chile presentado por Envirometrika (2018), donde su disposición final representa un 60.8% de las emisiones, siendo los tanques de acumulación y/o laguna el más representativo con 62.5%.

Tabla 2. Fuentes de emisión de olor en planteles porcinos.

Area	Unidad de proceso	La Islita	Santa Francisca	promedio	total
Pabellones	Gestación	6.1%	6.9%	6.5%	32.7%
	Maternidad	1.2%	0.9%	1.1%	
	Recría	2.5%	6.3%	4.4%	
	Engorda	22.5%	19.3%	20.7%	
Tratamiento	Estanques	4.9%	1.5%	3.2%	6.6%
	Filtros	4.2%	2.6%	3.4%	
Disposición	Acopio	0.2%	0.1%	0.2%	60.8%
	Laguna	32.2%	62.5%	47.4%	
	Zona de riego, o hrs	19.2%	0.0%	9.6%	
	Zona de riego, 20 días.	7.3%	0.0%	3.7%	

Fuente (Envirometrika, 2018)

El olor molesto del purín, se produce principalmente como resultado de la transformación biogénica anaeróbica de la materia orgánica y nutrientes de la biomasa bacteriana (EPA, 2001), por lo que el tipo de alimentación, las condiciones ambientales, principalmente temperatura, y sus características fisicoquímicas se relacionan con las emisiones de olor (INIA, 2005) (Kim *et al.*, 2022).

La implementación de la norma posiciona a la industria porcina nacional, en un foco de preocupación importante, debido a que deberá cumplir los nuevos estándares impuestos por la norma indicada, la cual espera llenar vacíos legales y aspectos técnicos involucrados en la problemática del olor que han imposibilitado solucionar o prevenir en forma efectiva los conflictos socio-ambientales que involucran a la actividad productiva, a la población afectada, las autoridades y a los organismos fiscalizadores.

Los olores en planteles porcinos pueden ser muy variables debido a factores como alimentación, el manejo de los desechos, factores ambientales, como temperatura y humedad, la salud de los animales, entre otros. Esto dificulta la evaluación precisa y confiable de los olores, ya que es necesario tener en cuenta múltiples variables y realizar mediciones en diferentes momentos, es por esto, que evaluar métodos de determinación de olores y modelos de cálculo de olor a partir de parámetros cuantificables, facilitara la gestión, mejora las medidas preventivas y correctivas, los procesos ambientales y tiempos de reacción.

Las concentraciones químicas de los compuestos del purín porcinos y las unidades de olor generadas, están relacionadas, debido a que los odorantes químicos son los precursores del olor, permitiendo asociar un modelo de conversión.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Analizar métodos de determinación de olores y modelos odoríferos a partir de parámetros cuantificables en purines de cerdo.

3.2 Objetivos específicos

- I. Describir los tipos de mediciones de olor aplicados a la industria porcina.
- II. Analizar y comparar modelos odoríferos para purines de cerdo.

4. METODOLOGIA

Se realizó una búsqueda bibliográfica a partir de las principales bases de datos como, Springer Link, Taylor and Francis, Science Direct, SciELO, entre otras, además de organizaciones públicas y privada como ASPROCER, EPA, expedientes electrónicos, planes y normas del Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

Los criterios para cada uno de los objetivos se describen a continuación.

4.1 Descripción de los tipos de métodos de determinación de olor.

Se presento a través de un análisis de la literatura publicada, una revisión general de las técnicas y modelos más utilizados para medir olores molestos en planteles porcinos. Esta revisión busco responder las siguientes preguntas.

- ¿Cuáles son las técnicas que existen para medir olor en los planteles porcinos?
- ¿Qué diferencias hay entre las técnicas de medición?
- ¿Qué técnicas son más confiables midiendo el olor como contaminante?

De acuerdo con estas preguntas, se utilizó el siguiente criterio de búsqueda

- Técnicas de medición de olor.
- Medición de olores molestos en el sector porcino.
- Predicción de olor basado en odorantes.
- Métodos para la medición de olores.

- Modelos analíticos para la medición de olor.

Los estudios encontrados se analizaron y filtraron en función de las preguntas planteadas, tomando en consideración solo el sector ganadero y la caracterización cuantitativa del olor.

4.2 Caracterización de los componentes odoríferos del purín

La búsqueda se realizó de manera sistemática, utilizando los siguientes criterios:

- Caracterización de olor.
- Purines porcinos.
- Cuantificación de odorantes.
- Umbrales de olor.
- Control de olores molestos.

La información encontrada se filtró por estudios realizados con relación a producción animal y fuentes de mal olor derivados de sus procesos, observando el tipo de medición y el tipo de fuente emisora, considerando solo a purines de cerdos como tal.

A partir de los artículos seleccionados se describió el proceso de generación de purín en planteles porcinos, donde se identifican los principales compuestos químicos del olor, sus concentraciones en ppm y mg m^{-3} , umbrales de olor (ODT) en partes por millón (ppm) y g m^{-3} , su carácter, además de su masa

molar, formula química y numero CAS, realizando una comparación con los diferentes datos encontrados.

4.3 Modelos de conversión

Para los modelos de conversión se filtró la búsqueda bibliográfica en relación con estudios realizados en plantas industriales y ganaderas, con el fin de mostrar los modelos más significativos de forma gradual desde lo general hasta lo específico, de tal forma poder comparar y analizar la metodología más idónea que relacione los componentes químicos del purín con la concentración odorífica.

Para su análisis se compararon los modelos con los resultados de concentración de olor de purín mediante olfatometría en diferentes etapas de proceso (parto, destete y engorde) y con diferentes tiempos de almacenamiento, dividiendo estos en purines frescos y almacenados. A los resultados de los modelos se les estableció el error cuadrático medio normalizado según la ecuación 1.

$$NRMSD = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - M_i)^2}{n}}}{M_{max} - M_{min}} \quad [1]$$

O_i = valor esperado

M_i = Valor medido

n = numero de datos

5. RESULTADOS

5.1 Tipos de medición de olores

En general para cuantificar las emisiones de olor, se utilizan técnicas analíticas o sensoriales (Wu *et al.*, 2017), estas técnicas se diferencian en que la primera se basa en equipos instrumentales de medición, mientras la segunda en examinadores humanos, ocupando el sistema olfativo como instrumento sensorial (Muñoz *et al.*, 2010). Entre las técnicas analíticas se encuentran; cromatografía de gases, identificación de compuestos específicos y nariz electrónica, en las técnicas sensoriales se incluyen: olfatometría dinámica, inspección de campo, método pluma y grilla, y olfatometría de campo (AMIGO, 2019), las cuales están implementadas en las normas NCh 3190:2010 determinación de olor por olfatometría dinámica, NCh 3387:2016 muestreo estático para olfatometría y NCh 3533:2017 evaluación de campo método pluma y grilla.

5.1.1 Cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS)

El análisis mediante GC-MS permite identificar y cuantificar odorantes, incluso si la fuente no puede caracterizarse y no es posible saber si la sensación olfativa se debe a un constituyente individual o a toda la mezcla (Conti *et al.*, 2020), esta técnica se considera la herramienta más precisa y potente para la determinación de odorantes en una muestra olorosa, no obstante, su rendimiento se puede ver afectado por el tratamiento de la información post-

análisis, que puede dar lugar a identificaciones y conclusiones sesgadas si no se generan señales claras y definidas (Vera, 2019),

El principio del método consiste en la inyección de una muestra mediante jeringas y bucles tendiendo a preconcentrar la muestra para obtener un número suficiente de odorantes y mejorar los límites de detección (Vera, 2019), esta muestra es empujada mediante un flujo de un gas inerte en condiciones determinadas de tiempo, velocidad, temperatura y presión (Dewulf *et al.*, 2002), luego pasa al cromatógrafo donde ocurre la separación de los componentes volátiles de la muestra, el cual está compuesto por un horno y columnas tubulares (Vera, 2019), estas columnas están hechas a base de diferentes materiales, como silicona (WCOT) o alúmina (PLOT) (Muñoz *et al.*, 2010), al finalizar el recorrido por la columna tubular, los componentes llegan al detector químico donde se reconocen los componentes de la muestra, existen diferentes tipos de detector como la detección de ionización de llama (FID), captura de electrones (ECD), conductividad electrolítica (ELCD), fotoionización (PID), nitrógeno – fósforo (NPD) y espectrometría de masa (MSD), teniendo en cuenta su selectividad, sensibilidad y su capacidad de proporcionar información específica, finalmente se analizan los datos mediante un cromatograma (Dewulf *et al.*, 2002). En la Figura 2 se presenta el esquema de un cromatógrafo donde se aprecia las diferentes etapas del equipo de medición.

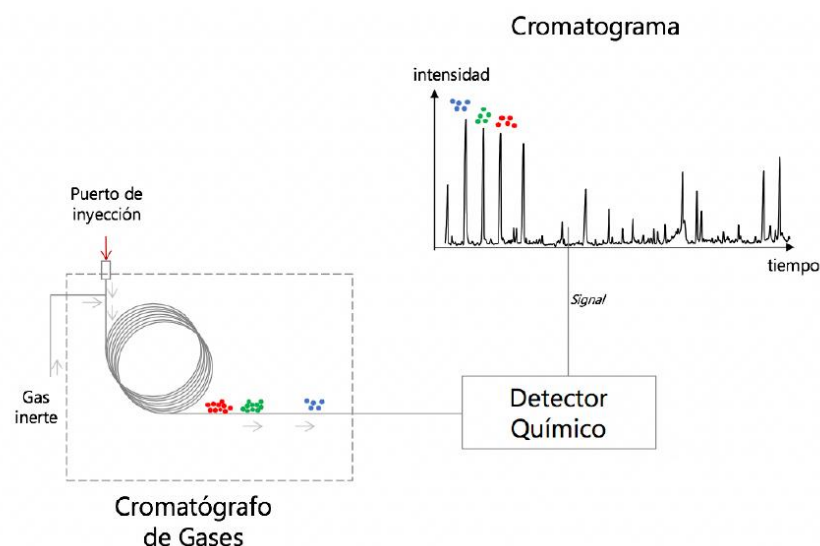


Figura 2. Representación de análisis cromatográfico.
Fuente (Vera, 2019)

Puesto que la cromatografía no detecta si un compuesto huele o no, existe un riesgo de asignar como responsables de olores a compuestos que generan señales intensas sin considerar su cualidad olfativa generando resultados sesgados, por lo cual un enfoque alternativo es la GC-MS junto con un análisis olfativo (GC.MS/O), este incluye un puerto para evaluar olores por panelistas humanos capacitados para registrar odorantes (Conti *et al.*, 2020).

Con la aplicación generalizada del análisis GC, ha habido cierta estandarización de los protocolos para muestras de compuestos orgánicos volátiles y azufres volátiles por parte de agencias reguladoras como el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de EE.UU. (NIOSH) y la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) (Muñoz *et al.*, 2010), teniendo

énfasis en la reproductividad, repetibilidad, precisión, calibración, especificidad y el rango de la aplicación (Dewulf et al., 2002).

5.1.2 Nariz electrónica

La nariz electrónica o E-Noses, permite una clasificación cualitativa del aire analizado, atribuyendo la muestra de aire a una clase olfativa específica (Conti et al., 2020). Este método se basa en una serie de sensores combinados y un software que simula la respuesta del cerebro reconociendo patrones, algunos de estos sensores pueden ser electroquímicos, semiconductores de óxido de metal (MOS), detector fotoionizado (PID), biosensores, nanotecnología, entre otros (Meza, 2019). Se compone del sistema de sensores, procesador de datos y la traducción de la respuesta, replicando así el sistema olfativo (receptores nasales, bulbo olfativo y cerebro). La muestra interactúa con los sensores provocando un cambio en las propiedades físicas y/o químicas, convirtiéndola en una señal electrónica donde produce un patrón característico (Capelli et al., 2014). En la Figura 3 se presenta el funcionamiento de una nariz electrónica de forma esquemática

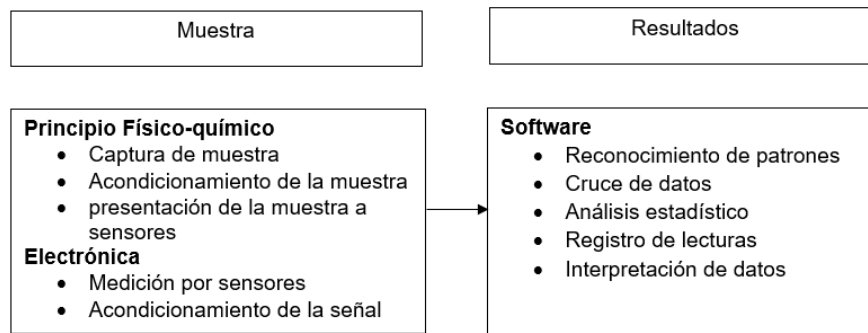


Figura 3. Funcionamiento general de una nariz electrónica
Fuente: (Meza, 2019).

La nariz electrónica no reconoce los compuestos individuales que generan el olor, sino que proporciona una firma olfativa (huella digital) del aire analizado. Para ello, antes de las mediciones, el instrumento debe entrenarse, para contar con una base de datos de huellas olfativas. Esta base de datos se elabora analizando muestras de aire con cualidades olfativas conocidas en diferentes concentraciones de olor, definiendo así las clases olfativas a reconocer. (Capelli *et al.*, 2014).

5.1.3 Identificación de compuestos específicos: Tubos colorimétricos

Estos son tubos de vidrios con ambos extremos cerrados, cuando se rompen los extremos se acopla una bomba de mano, esta hace pasar un volumen de gas conocido reaccionando con el medio cambiando su color según el tipo de gas que haya en la muestra. Este método identifica de manera cuantitativa la presencia de un gas y se usa una escala indicando la concentración del gas detectado (Barrera, 2010). El análisis de un solo gas es útil cuando el odorante es representativo de una fuente específica no así en una mezcla compleja ni relacionar las concentraciones con las propiedades de olor (Conti *et al.*, 2020).

5.1.4 Olfatometría dinámica

Este análisis consiste en una metodología estandarizada por la norma europea EN 13725:2003 y homologada por el INN de Chile como NCh 3190:2010, haciendo de este método un análisis confiable y consolidado a nivel global.

Consiste en un análisis sensorial de un olor, donde se utiliza la nariz humana como sensor principal para la determinación de la concentración de una muestra gaseosa presentada a un panel (Gatica, 2019), expresadas en unidades de olor europeas por metro cubico ($OU_E m^{-3}$), la cual representa el número de diluciones con aire neutro que son necesarias para llevar la muestra a su concentración de umbral de detección (Sironi *et al.*, 2010). En la Figura 4 se muestra el diagrama general del procedimiento.

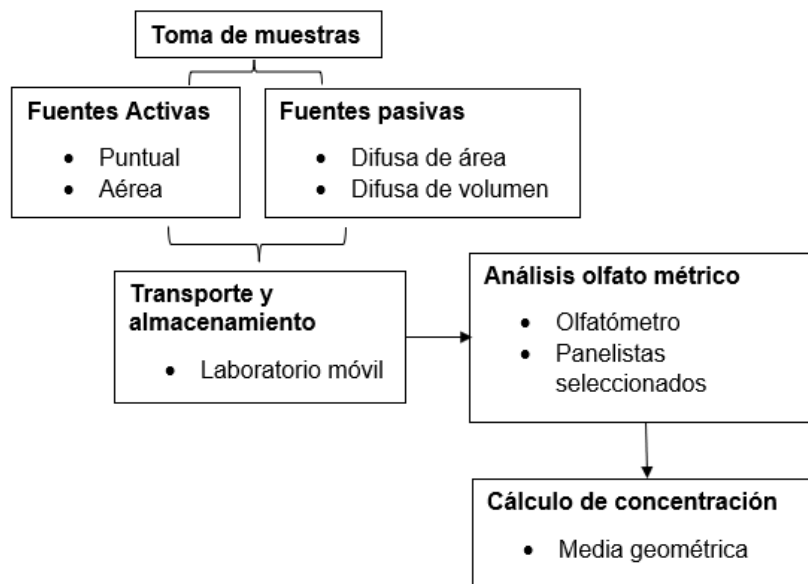


Figura 4. Esquema general de olfatometría dinámica
Fuente: Elaboración propia basado en NCh 3190

La toma de muestra es realizada en terreno y según el tipo de fuente, ya sea activa o pasiva se elige el método de muestreo, estas pueden ser dinámico o retardada, esta fase es crucial ya que influye directamente en el análisis posterior. La muestra se debe analizar tan pronto como sea posible después del muestreo, según la norma NCh 3190, el intervalo entre el muestreo y la medición no debe ser mayor que 24 horas. El análisis se realiza presentando la muestra al panel, el cual debe ser conformado por mínimo 4 personas calificadas, teniendo una sensibilidad olfativa en un rango de 20ppb a 80ppb para el gas de referencia n-butanol. (INN, 2010), las concentraciones de la muestra se exponen de forma creciente por medio de un aparato de dilución llamado olfatómetro, hasta que perciben un olor diferente al del aire neutro, de acuerdo a la norma existen dos métodos de presentación de olores , el método Sí/No y de elección forzada, el objetivo es encontrar la concentración mínima percibida por el 50% del panel, luego se calcula la concentración del olor (Cod) como la media geométrica de al menos 12 valores de umbral de olor de cada panelista (Sironi *et al.*, 2010). En la Figura 5 se muestra un olfatómetro con sus panelistas y el modo de uso.



Figura 5. Olfatómetro y panelistas seleccionados.
Fuente. (Proterm, 2020)

Cabe destacar que, al usar una nariz humana, las condiciones ambientales del laboratorio deben ser las adecuadas debiendo monitorear los siguientes parámetros durante el análisis: temperatura, concentración de CO₂ y código de conducta del panel, no fumar, no tener perfume, no tener frío, etc. Y no deben ser influenciados por la respuesta de otros panelistas o por el operador del panel (Conti *et al.*, 2020).

5.1.5 Inspección de campo

Este método se encuentra estandarizado por la norma EN 16841:2016 y homologada por el INN como la NCh 3533:2017, estableciendo las metodologías de mediciones de impacto de olor mediante la inspección de campo la cual se divide en dos partes, el EN 16841-2:2016 que describe el método de pluma para determinar la extensión de la pluma de una fuente emisora de olor en la dirección del viento y el EN 16841-1:2016 que describe el método de malla que consiste en una valoración directa del aire ambiente por unos miembros de un panel para caracterizar la exposición a los olores en un área predefinida.

5.1.5.1 Método pluma

Este método determina la extensión, a sotavento, que describe la pluma de un recinto determinando, dependiendo de las condiciones de funcionamiento de la fuente emisora y la dispersión del olor, utilizando los porcentajes de tiempo de olor como variable de medida (Valenzuela, 2019).

La medición de la pluma consiste en medidas de olor individuales dentro de una situación definida de dispersión por medio de panelistas calificados, donde van avanzando en línea hacia el foco de la fuente emisora (SEIA, 2017). Existen dos métodos para obtener la pluma como se muestra en la Figura 6, estos son: dinámica, donde los evaluadores realizan un zig-zag en dirección hacia la fuente de olor y la estática donde deben permanecer un tiempo de 10

minutos en el mismo lugar para registrar una respuesta positiva al olor y posteriormente avanzar (Valenzuela, 2019).

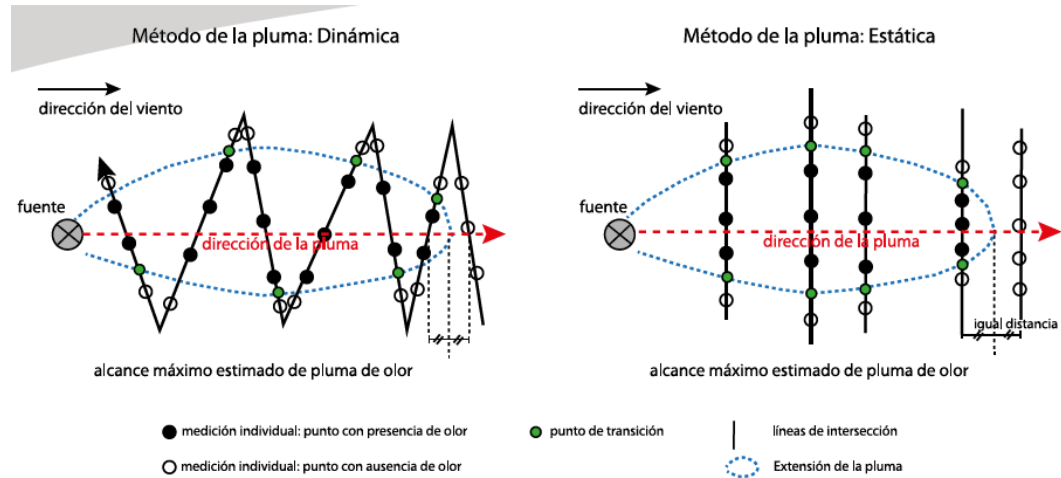


Figura 6. Métodos de pluma: estática y dinámica.
Fuente. (Valenzuela, 2019).

Con este método es posible obtener una estimación de la emisión donde el borde de la pluma equivale a $1 \text{ OU}_E \text{ m}^{-3}$, obteniendo información geográfica del impacto en determinadas situaciones temporales y meteorológicas, además de evaluar su intensidad y tono hedónico (SEIA, 2017) (Vergara, 2013).

5.1.5.2 método grilla

Este es un método estático donde durante un periodo de tiempo, panelistas calificados detectan olores en un punto determinado, correspondiente a la intersección de una grilla dibujada en el área de estudio (SEIA, 2017). En la Figura 7 se muestra un ejemplo de grilla la cual se puede modificar según el grado de alcance de la fuente emisora. Los resultados son usados para calcular el impacto de olor como horas de olor (HO) por año de los cuadrados analizados. (Ramírez, 2019).



Figura 7. Ejemplo de cuadro de grilla.
Fuente. (Valenzuela, 2019).

Los periodos de evaluación son de 6 meses correspondientes a 52 evaluaciones o un año, correspondiente a 104, donde cada evaluación tiene un tiempo de 10 minutos por punto cada 10 segundo (60 mediciones por punto)

por evaluador. Cada cuadrícula da como resultado un porcentaje de horas de olor, el cual se calcula como la suma de HO de cada punto dividido el número de mediciones. En la Figura 8 se muestra un ejemplo del cálculo.

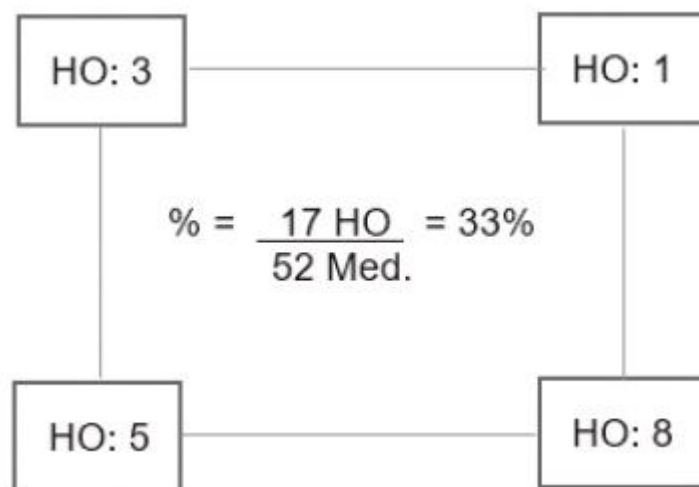


Figura 8. Ejemplo de cálculo del porcentaje de HO por cuadrante.
Fuente (Ramírez, 2019)

Esto permite determinar tanto la frecuencia de olor como la carga de olor en el ambiente que son reconocibles inmediatamente bajo condiciones reales, determinando el grado de molestia por olor (SEIA, 2017;Ramírez, 2019).

5.1.6 Olfatometría de campo

Consiste en inspecciones en terreno que estiman el grado de molestia en una determinada área, mediante un operador calificado y el instrumento llamado olfatómetro, el cual se basa en la dilución del aire en gas neutro (CENMA, 2010). En la Figura 9 se presenta el equipo olfatómetro.



Figura 9. Sistema olfatómetro de campo.
Fuente: (Muñoz, 2019).

El operador, mediante una válvula regulable, controla la relación entre el aire inodoro y el aire ambiente, la mezcla se envía por medio de un tubo a una mascarilla de inhalación, el operador aumenta las diluciones gradualmente hasta detectar un olor distinto al gas neutro y por medio de una escala de diluciones en la válvula regulable se calcula la concentración de olor (Muñoz Z. , 2019). En la Figura 10 se observa el operador en terreno.



Figura 10. Olfatometro de campo en uso por el operador.
Fuente: Odour Observatory, 2023.

La técnica permite evaluar de forma continua si una actividad provoca puntualmente algún episodio de olor, pudiendo estimar la frecuencia, la intensidad, la duración y el carácter, cabe mencionar que no proporciona concentraciones en $OU_E m^{-3}$ ya que esta unidad se obtiene solo por la metodología según la norma EN 13725.

Cada uno de los métodos de medición, se ocuparán en función de los resultados buscados, la infraestructura y lo que se quiere medir. Por ende, el tipo de crianza del plantel, las características geográficas y climáticas donde se encuentra emplazado y los componentes del purín a evaluar, son la línea de base para determinar la forma de medición odorífera.

5.2 caracterización de los componentes odorantes del purín

En los planteles porcinos, los olores molestos se originan en los alimentos, olor corporal de los animales, orina y heces (EPA, 2001). Los odorantes se producen producto del metabolismo anaeróbico que ocurre cuando todo el

oxígeno disuelto se ha agotado por respiración bacteriana (Envirometrika, 2019), su complejidad es la causa de la gran variedad de compuestos presentes en el olor. En la Figura 11 se puede observar el diagrama de flujo de esta transformación.

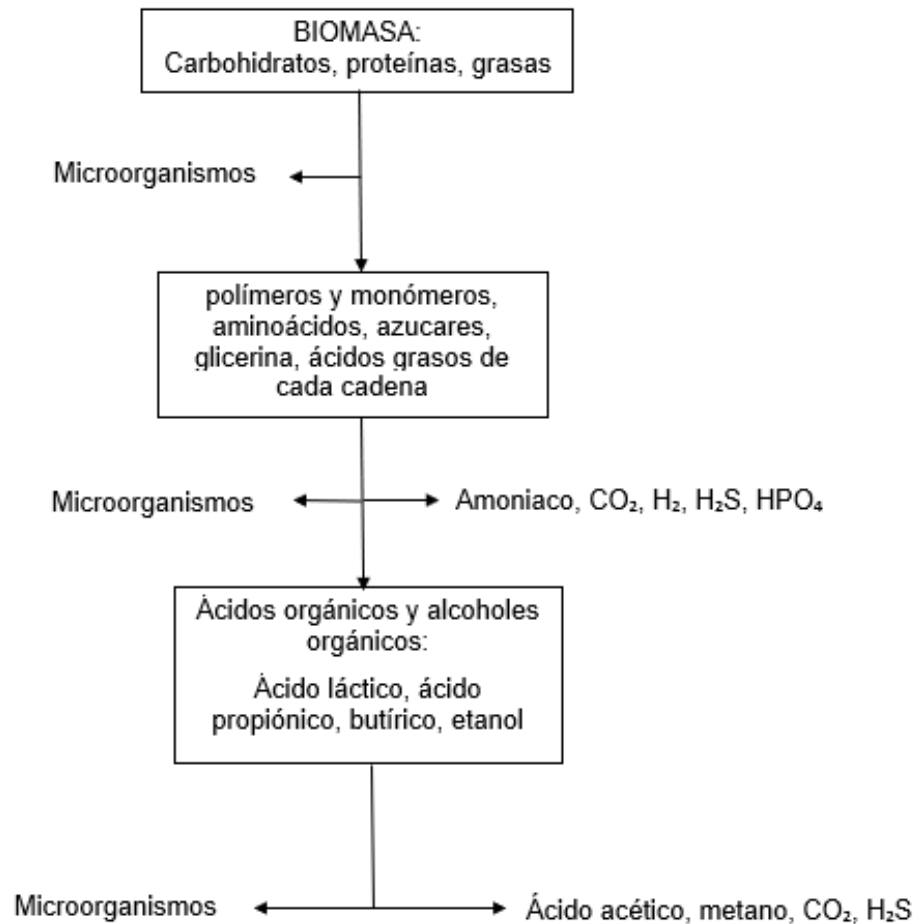


Figura 11. Transformación anaeróbica biogénica simplificada.
Fuente: (EPA, 2001).

La formación de estos compuestos depende principalmente de los contenidos de sólidos secos, disponibilidad de nutrientes, disponibilidad de oxígeno y la temperatura (Envirometrika, 2019). Estos son múltiples y se han encontrados más de 300 compuestos orgánicos volátiles (VOC) (Schiffman *et al.*, 2001),

incluidos alcoholes, aldehídos , aminas, ácidos carboxílicos , ésteres, cetonas , sulfuros orgánicos , terpenos, compuestos aromáticos, sulfuro de hidrógeno (H_2S) y amoníaco (NH_3) (Blanes-Vidal *et al.*, 2009). En la Tabla 3 se presentan los principales compuestos odorantes del purín, su peso molecular, concentración, umbral de olor, tipo de medición y carácter, mostrando una comparación de datos de diferentes estudios.

Los umbrales de detención de olor para compuestos químicos únicos informados en la literatura son muy variables y difieren en varios ordenes de magnitud (Capelli *et al.*, 2013). Esto producto del tipo de medición que se emplea, los cuales poseen diferentes sensibilidades de detención (Nagata, 2003), entre estos, los valores de mayor calidad son aquellos obtenidos siguiendo la metodología de la norma EN13725:2022. El grupo internacional de expertos sensoriales y consultores de gestión de olores ambientales de la consultora internacional Odournet, clasifica los datos según categorías, donde la mayor calidad se denomina AAA hasta valores C de la siguiente forma:

- AAA: medido según norma EN13725:2022.
- AA: Medido según norma EN13725:2003.
- AyB: Valores bibliográficos con referencia a EN13725.
- C: Valores bibliográficos sin trazabilidad.

Tabla 3. Caracterización de los componentes odoríferos en purín de cerdo.

Tipo	Compuestos	Formula	CAS	Concentración				Umbral de Olor				Carácter	
				mg m ⁻³	GC/MS ppm	mg m ⁻³	mg m ⁻³	mg m ⁻³		ppm			
Nitrogenado	amoniaco	NH ₃	7664-41-7	10.2965 - 388.7731 ^b	25.7 ^a			1.45 ^b	4.07 ^e	46.8 ^p	5.75 ^e	Picante e irritante ^o	
Sulfurados	Ácido sulfhídrico	H ₂ S	7783-06-4	0.0954-2.6036 ^b	61.1 ^a			0.00053 ^b	0,0257 ^e	0.00047 ^p	0.0178 ^e	Huevo podrido ^o	
COVs	Metanotiol	CH ₄ S	74-93-1	0.6638-15,0155 ^b				0.00031 ^b	0.00209 ^e		0.00105 ^e	Descompuesto ^o	
Alcohol	1-Butanol	C4H9OH	71-36-3	0.0008-0-0.336 ^b		0.0051 ^a	0.158-42 ^a	0.45 ^b	1.51 ^e		0.490 ^e	Rancio	
Aldehído	3-metilbutanal	(CH3)2CHC H2CHO	590-86-3		0.0002 ^e	0.00072 ^e	0.0036 ^a	0.0016-0.0081 ^a		0.00813 ^e	0.00224 ^e	Acre	
	Hexanal	C5H11CHO	66-25-1				0.0021 ^a	0.028–0.067 ^a		0.0575 ^e	0.0138 ^e	Herbal	
	Heptanal	C6H13CHO	111-71-7				0.002 ^a	0.006–0.026 ^a		0.0229 ^e	0.00479 ^e	frutal	
	Octanal	C7H15CHO	124-13-0				0.0021 ^a	0.0078 ^a		0.007224 ^e	0.00135 ^e	frutal	
Amina	Trimetilamina	(CH3)3N	75-50-3	0.0010-0.6834 ^b	0.0002 ^e	0.00049 ^e	0.005 ^a	0.00026–2.1 ^a	0.00006 ^b	0.00240 ^e	0.00021 ^p	0.005889 ^e	Pescado
Acido carboxílico	Ácido acético	CH3COOH	64-19-7	0.0003-0.0152 ^b	0.03 ^e	0.075 ^e	0.11 ^a	0.02525–10 ^a	0.016 ^b	0.363 ^e	1.0 ^p	0.145 ^e	Vinagre ^o
	ácido propanoico	C2H5COO H	79-09-4	0.0006-0.1548 ^b	0.013 ^e	0.040 ^e	0.062 ^a	2.5–890 ^a	0.017 ^b	0.110 ^e		0.0355 ^e	Acre
	Ácido 2- metilpropanoico	(CH3)2CHC OOH	2052-01-9				0.0049 ^a	5–330 ^a					Rancio
	ácido butanoico	C3H7COO H	107-92-6		0.00006 ^e	0.220 ^e	0.025 ^a	0.0025–42 ^a		0.0145 ^e		0.00389 ^e	Mantequilla desc.º
	Ácido 3- metilbutanoico	(CH3)2C2H 3COOH	503-74-2		0.00001.5 ^e	0.064 ^e	0.0044 ^a	0.000017–0.0069 ^a		0.0105 ^e		0.00246 ^e	Sudorº
	ácido pentanoico	C4H9COO H	109-52-4		0.0013 ^e	0.006 ^e	0.017 ^a	0.00026–0.12 ^a		0.0204 ^e		0.00479 ^e	Sudorº
	Ácido 4- metilpentanoico	(CH3)2CHC 2H4COOH	646-07-1		0.00006 ^e	0.00029 ^e	0.0022 ^a	0.037 ^a		0.0759 ^e		0.0155 ^e	carne de cordero
	ácido hexanoico	C5H11COO H	142-62-1		0.0009 ^e	0.004 ^e	0.013 ^a	0.02–0.52 ^a	0.0048 ^b	0.0603 ^e		0.0126 ^e	carne de cordero
	ácido heptanoico	C6H13COO H	111-14-8				0.0027 ^a	0.0028–0.033 ^a		0.148 ^e		0.0275 ^e	Rancio
	Ester	Acetato de butilo	CH3COO(C H2)3CH3	123-86-4			0.0020 ^a	0.933 ^a		0.933 ^e		0.195 ^e	Manzana
Sulfurado	sulfuro de dimetilo	CH3SCH3	75-18-3	0.0006-0.1780 ^b			0.0037 ^a	0.0003–0.16 ^a	0.0076 ^b	0.005889 ^e	0.0010 ^p	0.00224 ^e	Legumbre descompuestaº
	dimetildisulfuro	CH3SSCH3	624-92-0	2.5408-18.59.19 ^b	0.0009 ^e	0.0035 ^e	0.011 ^a	0.0011–0.61 ^a	0.0085 ^b	0.0479 ^e		0.0123 ^e	Pútridoº
	trisulfuro de dimetilo	CH3SSSC H3	3658-80-8	0.001-0.8122 ^b			0.0045 ^a	0.0073 ^a	0.0087 ^b	0.00871 ^e		0.00166 ^e	Pútrido
Aromatico	Fenol	C6H5OH	108-95-2	0.0004-0.0079 ^b	0.002 ^e	0.0078 ^e	0.033 ^a	0.022–4 ^a	0.035 ^b	0.427 ^e	0.047 ^p	0.110 ^e	Alquitranado
	4-Metilfenol (p - cresol)	CH3C6H4O H	106-44-5		0.009 ^e	0.041 ^e	0.260 ^a	0.00005–0.024 ^a		0.008332 ^e	0.001 ^p	0.00186 ^e	Medicamento
	4-etilfenol	C2H5C6H4 OH	123-07-9		0.002 ^e	0.010 ^e	0.040 ^a	0.0035–0.01 ^a					Sudor de caballo
	indol	C8H7N	120-72-9		0.0001 ^e	0.00049 ^e	0.005 ^a	0.0006–0.0071 ^a				0.0000316 ^e	Fecal
	3-metil-indol (escatol)	C9H9N	83-34-1				0.044 ^a	0.00000005– 0.0064 ^a		0.00309 ^e		0.000562 ^e	Fecal

acetofenona	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COC}$ H_3	98-86-2	0.0008 ^e	0.0040 ^e	0.0025 ^a	0.01–1.5 ^a	0.0175 ^b	1.82 ^e	0.363 ^e	Dulce
2,3-butanodiona	CH_3COCO CH_3	431-03-8			0.0023 ^a	0.000007–0.005 ^a		0.0159 ^e	0.00437 ^e	Acre
3-hidroxi-2-butanona	CH_3COCH $(\text{OH})\text{CH}_3$	513-86-0	0.001 ^e	0.0037 ^e	0.0052 ^a					Mantequilla

Las concentraciones presentadas son de referencia ya que dependen del tipo de purín y el método de medición. GC/MS es un cromatógrafo de gases-espectrometría de masas.

Fuente. Elaboración propia a partir de (Blandes-vidal *et al.*, 2009)^a, (Schiffman *et al.*, 2001)^e, (blazy *et al.*, 2015)^b, (Barrera, 2010)^o, (Leonardos, 2012)^p.

La Tabla 3 muestra 30 compuestos precursores de olor, mostrando una variabilidad de compuestos como nitrogenados, sulfurados, alcoholes aldehídos, aminas, ácidos carboxílicos, ésteres, sulfurados y aromáticos, encontrados en muestras de purín de cerdo. Las concentraciones que sobrepasan los umbrales de olor fueron: amoníaco, ácido sulfhídrico, metanotiol, trimetilamina, ácido butanoico, Ácido 3-metilbutanoico, ácido heptanoico, sulfuro de dimetilo, dimetildisulfuro, p-cresol, 4-etilfenol, indol escatol y 2,3-butanodiona. Los diez compuestos con los umbrales de olor más bajos encontrados fueron, indol (0,0000316 ppm), 3-metil-indol (0,000562 ppm), Metanotiol (0.00105), octanal (0.00135 ppm), trisulfuro de dimetilo (0,00166 ppm), p-cresol (0.00186 ppm), 3-metilbutanal (0.00224 ppm), sulfuro de dimetilo (0.00224 ppm) ácido 3-metilbutanoico (0.00246 ppm), ácido butanoico (0.00389 ppm). De estos diez compuestos, dos son de carácter fecal (índol, escatol), cinco con olor a descompuesto, pútrido o acre (metanotiol, 3-metilbutanal, ácido propanoico, dimetildisulfuro, trisulfuro de dimetilo) , uno a sudor (ácido 3-metilbutanoico), uno medicamento (p-cresol) y uno frutal (octanal). De la totalidad de compuestos, no presentan una correlación clara entre la masa molar y sus valores de umbral, aunque (Nagata, 2003) muestra una tendencia a la disminución de los umbrales frente al aumento de la masa molar. Los valores de concentración mostrados están estrechamente relacionados con las características fisicoquímicas de la muestra y la metodología empleada en (Blanes-Vidal et al, 2009), (Schiffman et al., 2001) y (blazy et al., 2015), esto explica la diferencia de los valores encontrados para

cada molécula. Además, cabe destacar que los compuestos más representativos en los purines son el sulfuro de hidrogeno, 4-metilfenos, ácido acético, amoniaco, p-cresol, escatol (Blanes-Vidal *et al*, 2009). Aunque no hay estudios concluyentes, la acción sinérgica de los odorantes será más determinante respecto al grado de molestia del olor que las concentraciones de los componentes individuales.

5.3 Modelos de conversión de concentraciones odoríferas a olor.

5.3.1 Modelo predictivo basado en la Suma de actividad de olor (SOAV)

El modelo de estimación de concentración de olor, basado en la suma de las actividades de olor de cada uno de los compuestos individuales presentes en la matriz gaseosa, tal como se establece en la ecuación 2. En dicha ecuación la concentración química de un compuesto oloroso (C_i) se divide con la masa de olor específica (m_{OD}), la cual representa el cociente entre el umbral de olor ($C_{OT,i}$) y la concentración de olor (C_{OD}), obteniendo así la unidad de medida de olor. Esta operación indica la actividad de olor (OAV) del compuesto en unidades de concentración de olor, siendo la suma de todas las OAV la concentración de olor (OC) de la mezcla en unidades de olor ($OU_E m^{-3}$) (Chuangdong Wu *et al.*, 2016). El cálculo se realiza mediante la ecuación 2.

$$OC = SOAV = \sum \frac{C_i}{m_{OD,i}} \quad [2]$$

Donde m_{OD} está representado por la ecuación 3.

$$m_{OD,i} = \frac{C_{OT,i}}{C_{OD}} ; C_{OD} = 1 OU_E m^{-3} \quad [3]$$

C_i = Concentración del compuesto en el aire en $mg m^{-3}$

$C_{OT,i}$ = Umbral de olor del compuesto en $mg m^{-3}$

C_{OD} = Concentración de olor en $OU_E m^{-3}$

5.3.2 Estimación de concentración de olor (OC) basado en la suma de intensidades de olor (SOI)

Este segundo método de estimación de unidades odoríferas se basa en la suma intensidades de olor (SOI) de cada compuesto y una constante k de una sustancia de referencia j, según la ecuación 4.

$$OC = 10^{\frac{SOI-0,5}{k_j}} \quad [4]$$

Donde la suma de las intensidades de olor (OI) se calcula según la ecuación 5.

$$SOI = \sum 10^{OI_i} \quad [5]$$

El cálculo de las intensidades de olor se determina en función de la Ley de Weber-Fechner ajustada a partir de las concentraciones químicas (C) y la masa de olor específica (m_{OD}) según la ecuación 6 (Chuangdong Wu *et al.*, 2016).

$$OI_i = k_i \log \frac{C_i}{m_{OD,i}} + 0.5 \quad [6]$$

K-Hyun Kim, Sfin – Young Park, 2008 presentan las siguientes fórmulas para calcular la intensidad de olor de cada sustancia, según la Tabla 4

Tabla 4. Formula empírica para derivar la intensidad de olor, según la Ley de Weber-Fechner.

tipo	compuesto	Intensidad de olor ppm
Compuestos de azufre	H_2S	$IO = 0.950 \log c + 4.14$
	CH_3SH	$IO = 0.1250 \log c + 5.99$
	DMS	$IO = 0.784 \log c + 4.06$
	$DMDS$	$IO = 0.99 \log c + 4.51$
Compuesto de carbonilo	CH_3COOH	$IO = 1.010 \log c + 3.85$
	C_2H_5COOH	$IO = 1.010 \log c + 3.86$
	C_3H_7COOH	$IO = 1.030 \log c + 4.61$
	C_4H_9COOH	$IO = 1.360 \log c + 5.28$
	$(CH_3)_2C_2H_3COOH$	$IO = 1.350 \log c + 6.01$
nitrogenado	NH_3	$IO = 0.90 \log c + 4.56$
VOC	$(CH_3)_3N$	$IO = 1.420 \log c + 4.56$

Fuente: (Ki-Hyun Kim, 2008)

5.3.3 Modelo de olor calibrados para el purín de cerdo.

Este modelo establece determinados parámetros y coeficiente según los niveles de concentración del ácido sulfhídrico (H_2S), los tipos de lodos según su almacenamiento (Fresco o almacenado) y su unidad de producción (parto, engorde o destetados) (Blanes-Vidal *et al.*, 2009). Los modelos están determinados de la siguiente forma:

En función a su concentración de H_2S , el modelo queda establecido como se muestra en las ecuaciones 7, 8 y 9.

$$0 \leq C_{H_2S} \leq 1300 \text{ ppm}$$

$$\ln OC = 9.319 + 1.464 \cdot sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [7]$$

$$0 < C_{H_2S} < 657 \text{ ppm}$$

$$\ln OC = 8.628 + 0.146 \sum sc_i \ln C_{SO_i} + 1.464 \cdot sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [8]$$

$$657 < C_{H_2S} < 1300 \text{ ppm}$$

$$\ln OC = -4.248 - 2.021 \sum sc_i \ln C_{AC_i} + 6.795 \cdot sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [9]$$

OC= Concentración de olor $OU_E m^{-3}$

C_{H_2S} = Concentración ácido sulfhídrico en ppm

Sc= Coeficiente de puntuación para cada compuesto (anexo 1)

C_{SO} = Sulfuros orgánicos en $\mu g m^{-3}$

C_{AC} =Ácidos carboxílicos en $\mu g m^{-3}$

Y = Constante de Noble, 5.35 (adimensional)

Para **purines frescos** el modelo queda determinado por la ecuación 10.

$$\ln OC = 8.755 + 0.241 \sum sc_i \ln C_{FI_i} + 1.294 \cdot sc_{H_2S} \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [10]$$

C_{FI} = Concentraciones de fenoles e indoles en ppm.

En el caso de que estén **almacenados**, el modelo para estimar el olor en los purines se expresa según la ecuación 11.:

$$\ln OC = 8.755 - 0.053 \sum sc_i \ln C_{FI_i} + 0.705 \sum sc_i \ln C_{SO_i} + 1.294 \cdot sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [11]$$

Dependiendo la unidad de producción se establecen los siguientes modelos:

Para cerdas en **parto y destetados**, según ecuación 12.

$$\ln OC = 9.858 - 1.091 \sum sc_i \ln C_{AAEC_i} + 1.702 \cdot sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [12]$$

C_{AAEC} = Concentración de aldehídos, aminas, ésteres y cetonas en $\mu\text{g m}^{-3}$

Para cerdos de **engorde**, según ecuación 13.

$$\ln OC = 9.858 + 1.212 \sum sc_i \ln C_{AAEC_i} - 1.472 \sum sc_i \ln C_{AA_i} + 0.790 \cdot sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [13]$$

C_{AA} = Concentraciones de alcoholes y aldehídos en $\mu\text{g m}^{-3}$.

5.3.4 Modelo predictivo para la concentración de olor basado en las características fisicoquímicas del purín líquido.

Puesto que las características fisicoquímicas del purín son precursores de los odorantes, presentan una relación con la concentración de olor y existen modelos que correlacionan el olor con las propiedades del líquido. Estas características están determinadas por la temperatura (T), PH, materia seca (DM), sólidos volátiles (V_s) y concentraciones químicas del purín (C_s). En función del tipo de producción (cerdas en parto, engorde y destetados), los modelos se describen según las ecuaciones 14, 15 y 16.

Cerdas en parto

$$\ln OC = 6.266 + 0.236PH + 0.227 \sum sc_i \ln(C_{AAC_i} + 1) + 1.496 \sum sc_i \ln(C_{NSA_i} + 1) \quad [14]$$

C_{AAC} = Concentración compuestos aromáticos y ácidos carboxílicos en mg kg^{-1}

C_{NSA} = concentración compuestos nitrogenados, sulfurosos y aromáticos en mg kg^{-1}

sc= Coeficiente de puntuación para cada compuesto

OC= Concentración de olor $OU_E \text{ m}^{-3}$

Cerdos de engorde.

$$\ln OC = 28,264 - 0.629T - 1.628 \sum sc_i \ln(C_{AAC_i} + 1) + 1.496 \sum sc_i \ln(C_{NSA_i} + 1) \quad [15]$$

Cerdos destetados

$$\ln OC = 6.266 + 0.227 \sum sc_i \ln(C_{AAC_i} + 1) + 1.496 \sum sc_i \ln(C_{NSA_i} + 1) \quad [16]$$

5.3.5 Modelo predictivo mixto: concentración de olor basado en las características fisicoquímicas del líquido y las concentraciones de odorantes en fase gas.

Para obtener una mayor precisión en la predicción de la concentración de olor se pueden tomar en cuenta las características fisicoquímicas del purín líquido y las concentraciones de odorantes en el purín en la fase gaseosa, tal como se muestra en la ecuación 17.

$$\ln OC = 4.241 + 0.590PH - 0.204 \sum sc_i \ln(C_{AAC_i} + 1) + 1.445 sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [17]$$

También se diferencian modelos según el almacenado y tipo del purín según las ecuaciones 18, 19 y 20.

Purines frescos

$$\ln OC = 4.718 - 0.256DM - 0.684 \sum sc_i \ln(C_{AAC_i} + 1) + 0.218 \sum sc_i \ln(C_{AAC_i} + 1) + 2.330 \sum sc_i \ln C_{FI_i} - 0.159 \sum sc_i \ln C_{SO_i} + 1.587 sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [18]$$

DM= Contenido de materia seca en %

Purines almacenados

$$\ln OC = 4.718 + 1.307DM - 0.171VS + 0.375 \sum sc_i \ln(C_{AAC_i} + 1) + 1.367 \sum sc_i \ln(C_{NSA_i} + 1) + 0.218 \sum sc_i \ln(C_{AAC_i} + 1) + 0.373 \sum sc_i \ln C_{AC_i} - 0.664 \sum sc_i \ln C_{FI_i} - 0.159 \sum sc_i \ln C_{SO_i} + 1.587 sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [19]$$

Cerdos de engorde

$$\ln OC = 8.390 + 0.846PH - 1.741 \sum sc_i \ln(C_{NSA_i} + 1) + 1.699 sc \ln(C_{H_2S} + Y) \quad [20]$$

A continuación, se realiza un análisis comparativo de los modelos, ocupando la concentración de olor de diferentes purines medidos por olfatometría como datos de referencia. Se calculará el error cuadrático medio, diferenciando la precisión entre cada modelo.

5.4 Comparación de modelos predictivos de concentración de olor

Se compararon los modelos con concentraciones reales de olor de purín (en $OU_E m^{-3}$), medidos por olfatometría en diferentes procesos (partos, engorde y destetados) y tiempos, subdividiéndolo entre purines frescos y almacenados. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación entre concentraciones de olor medido por olfatometría y modelos de conversión para purines frescos y almacenados, de parto, engorde y destetes, además del error cuadrático medio normalizado (NRMSE) de cada modelo.

	Parto		Engorde		Destete		NRMSE
	Fresco	Alm.	Fresco	Alm.	Fresco	Alm.	
	$OU m^{-3}$	$OU m^{-3}$	$OU m^{-3}$	$OU m^{-3}$	$OU m^{-3}$	$OU m^{-3}$	
Olfatometría	376500.00	244900.00	792300.00	146700.00	120900.00	140300.00	
Modelos Fase gaseosa							
$0 < C_{H_2S} < 657$ ppm [Ec.8]	354575.67	188708.50	281708.84	83206.52	84871.02	83623.77	0.321
$657 < C_{H_2S} < 1300$ ppm [Ec.7]	566175.33	301323.82	449823.85	132861.57	135519.39	133527.82	0.152
SOAV [Ec.2].	558940.03	359927.09	404690.67	64415.36	67273.59	64946.25	0.155
SOI [Ec.5]	378081.11	330211.33	384419.35	239894.52	73340.23	114098.85	0.235
Parto y Dest.[Ec.12]	406706.57	182157.20	-	-	43948.61	58267.48	0.091
Engorde [Ec.13]	-	-	469662.70	188931.29	-	-	0.580
Fresco [Ec.10]	479964.56	-	524839.15	-	171828.03	-	0.275
Almacenado [Ec.11]	-	254348.30	-	133875.46	-	127998.86	0.053
Modelos fase líquida							
Parto [Ec.14]	37009689.83	12012415.00	-	-	-	-	0.770
Engorde [Ec.15]	-	-	38157820.43	16316408.94	-	-	0.932
Destetados [Ec.16]	-	-	-	-	151720829.66	65047792.34	0.951
Modelos mixto							
fresco [Ec.18]	117812.93	-	274943.15	-	30202.94	-	0.797
almacenado [Ec.19]	-	2799157.21	-	181759303.35	-	16069520.30	0.338
General [Ec.17]	750271.19	328358.56	840452.28	247316.66	210601.27	146321.25	0.098

Los datos de concentración de olor que se presentan como referencia, fueron obtenidos del estudio “Caracterización del olor liberado durante la

manipulación de purines de cerdos” (Blanes-Vidal V. , 2009), estos valores, en comparación con otros estudios (Chuandong Wu et al., 2016), son elevados, debido a la metodología ocupada, ya que obtienen la muestra desde purines agitados.

El modelo predictivo **general** [Ec.17] que toma en consideración la parte gaseosa (sulfuro de hidrogeno) y liquida (ácidos carboxílicos y aromáticos) de la muestra junto con los modelos de purines de **parto y destete** [Ec.12] y purines **almacenados** [Ec.11] que consideran la fase gaseosa (sulfurados, alcoholes, aldehídos, amina, ésteres, cetonas, fenoles terpenos y sulfuros orgánicos) son los que muestran un menor error cuadrático medio, con valores de 0.098, 0.091 y 0.053 respectivamente, mientras que los modelos que consideran solo la fase líquida [Ec.14,15 y 16] (ácido carboxílicos, aromáticos, contenidos de nitrógeno y contenido de sulfuro) presentan un error entre 0.777 y 0.951, siendo los menos precisos. De forma general, los modelos que consideran la concentración química en la fase gaseosa obtuvieron un error entre 0.053 y 0.58, presentando una mayor precisión, de estos modelos el que considera mayor número de datos está basado en la suma de actividad de olor (Sulfurados, Amoníaco, Alcoholes, aldehídos, Amina, Ésteres, Cetonas, Aromáticos, Ácido carboxílicos, Fenoles e indoles, Terpenos), con un error de 0.137 y el con menor datos es el modelo basado en la concentración de sulfuro de hidrógeno (entre 0 y 1300 ppm), con un error de 0.152. En la Figura 12 se muestra los valores de error de cada modelo.

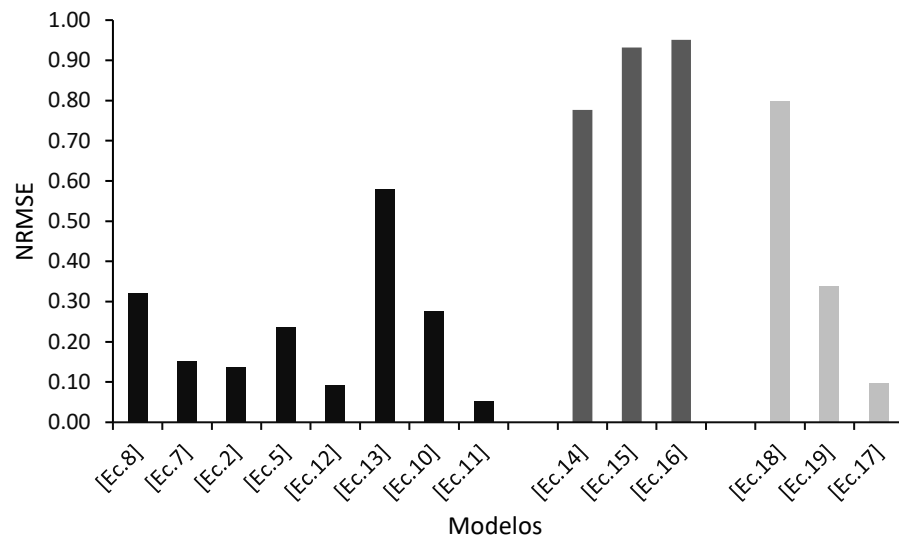


Figura 12. Comparación del error cuadrático medio (NRMSE) entre los diferentes modelos. Color negro representan los modelos en fase gaseosa, grises, fase líquida y grises claros, fases mixtas.

6. CONCLUSIONES

De los tipos de medición analítica la más aceptada y confiable es la cromatografía de gases que responde a las concentraciones químicas volátiles de una muestra, mientras que la olfatometría es la metodología sensorial estandarizada para evaluar el impacto oloroso de una muestra determinada.

Los modelos analizados en base a la fase gaseosas del purín se pueden utilizar de forma predictiva y estimada como métodos de conversión tomando en cuenta que entre más antecedentes del purín, si es almacenado o fresco o de que proceso procede, será más efectiva la predicción, el modelo basado en la suma de actividad de olor mostro un buena correlación aunque no toma en cuenta los procesos sinérgicos de los compuestos y está sujeto a los umbrales de olor de cada componente como datos de entrada lo que genera cierta incertidumbre debido a la poca exactitud de los datos en literatura, también se correlaciona de buena forma la suma de intensidad de olor tomando en cuenta las intensidades del sulfuro de hidrogeno y amoniaco basadas en la ley de Weber-Fechner. Por otro lado, los modelos que solo toman en cuenta la fase líquida no presentan una buena correlación, haciendo falta una calibración.

Estos modelos no reemplazan las mediciones olfatometrías, pero presentan ciertas ventajas, como el monitoreo continuo en la emisión de olor estableciendo fácilmente tasas de emisiones.

7. BIBLIOGRAFÍA.

Acuña, Pizarro. 2019. La Industria Porcina En Chile: Oportunidades Y Desafíos Para Si Sustentabilidad. Oficina De Estudios Y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile.

Amigo. 2019. Guía Básica De Gestión Del Olor. Asociación Medioambiental Internacional de Gestores del Olor. Santiago De Chile.

Baena. 2017. Modelización De Dispersión De Olores Alrededor De Planta De Tratamiento De Residuos. Tesis. Depto. Ingeniería Química Y Ambiental Etsi-Universidad De Sevilla. Escuela Técnica Superior De Ingenieros.

Barrera. 2010. Aplicación Del Modelo Isc- AERMOD Para La Estimación De Dispersión De Olores. Caso Estudio: Planta De Tratamiento De Aguas Servidas La Farfana. Tesis. Universidad De Chile. Facultad De Ciencias Agronómicas. Escuela De Agronomía. <<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112443>> [Consulta: 25 Marzo 2023].

Blanes-Vidal Et Al. 2009. Characterization Of Odor Released During Handling Of Swine Slurry: Part I. Relationship Between Odorants And Perceived Odor Concentrations. En Atmospheric Environment (Págs. 2997-3005).

Blanes-Vidal, V. 2009. Characterization Of Odor Released During Handling Of Swine Slurry: Part II. Effect Of Production Type, Storage And

Physicochemical Characteristics Of The Slurry,. En Atmospheric Environment, Volume 4 (Págs. 3006-3014).

Blazy, G. 2015. Correlation Of Chemical Composition And Odor Concentration For. En V.2. Chemical Engineering Journal.

Capelli, L. S. 2014. Electronic Noses For Environmental Monitoring Applications. En Sensors 14, No. 11: 19979-20007.
<<https://doi.org/10.3390/S141119979>> [Consulta: 8 Mayo 2023]

Capelli, S. D. 2013. Measuring Odours In The Environment Vs. Dispersion Modelling: A Review. En Atmospheric Environment, Volume 79 (Págs. 731-743).

Cenma. 2010. Actualización De La Información Para La Gestión De Olores A Nivel Nacional. Centro Nacional Del Medio Ambiente. Unidad De Modelacion Y Gestión De La Calidad Del Aire. Universidad De Chile.
<<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Gestion-De-Olores-A-Nivel-Nacional.Pdf>> [Consulta: 15 Junio 2023]

Chuandong Wu, J. L. 2016. Conversion Of The Chemical Concentration Of Odorous Mixtures Into Odour Concentration And Odour Intensity: A Comparison Of Methods. En Atmospheric Environment, Volume 127 (Págs. 283-292).

Cifuentes, C. A. 2019. Apoyo En El Proceso De Levantamiento De Antecedentes Técnicos Para El Proceso De Elaboración De Norma De

Emisión De Olores De Planteles Porcinos En Chile. Realizado Por Dictuc Greenlab.Santiago De Chile, 15 Febrero 2019.

Conti, M. G. 2020. Measurements Techniques And Models To Assess Odor Annoyance: A Review. Environment International,.

D.S. N 9. 2022. Norma De Emisión De Contaminantes En Planteles Porcinos Que, En Función De Sus Olores, Generan Molestia Y Constituyen Un Riesgo a la Calidad de Vida de la Población Chile: Ministerio Del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.

Dewulf, H. V. 2002. Analysis Of Volatile Organic Compounds Using Gas Chromatography. En Trac Trends In Analytical Chemistry Volume 21 (Págs. 637-646).

Ecotec. 2013. Estudio: Antecedentes para la Regulación.de Olores en Chile.ECOTEC INGENIERÍA LTDA. Santiago de Chile.

Engewald, J. T. 1999. Programmed Temperature Vaporisers-Based Large Volume Injection In Capillary Gas Chromatography. En Journal Of Chromatography A, Volume 842 (Págs. 143-161).

EPA. 2001. Odour Impacts And Odour Emission Control Measures For Intensive Agriculture. Environmental Protection Agency.

Evirometrika. 2019. Generación De Antecedentes Técnicos para la Elaboracion de la Norma de Emisión de Olores para la Crianza Intensiva de Animales. Santiago De Chile: The Synergy Group Spa.

Fortt. 2012. Olores Molestos y sus Efectos en la Población. Revisión bibliográfica para el Ministerio de Salud. <<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Olores-molestos-y-sus-efectos-en-la-Salud-de-la-poblacion.pdf>>. [Consulta: 12 abril 2023].

Fuentes *et al*, F. M. 2011. Sensopercepción Olfatoria Una Revision. En Revista Médica De Chile (Págs. 362-367). Santiago.

Gatica. 2019. Medición Del Olor A Través De Olfatometría Dinámica. En Guía Básica De Gestión Del Olor. AMIGO. (Págs. 47-53).Santiago, Chile.

INIA. 2005. Recomendaciones Técnicas Para La Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina. Santiago de Chile: Ministerio de Agricultura.

INN. 2010. Calidad del Aire-Determinación de la Concentracion de Olor por Olfatometría Dinámica. Chile: Instituto Nacional De Normalización .

INN. 2015. Calidad Del Aire- Muestreo Estático Para Olfatometría. Chile: Instituto Nacional De Normalizacion.

Izquierdo. 2019. Introducción a la Gestión del Olor y Teoría del Olor. En Guía Básica de Gestión de Olor (Págs. 8-17). AMIGO. Santiago, Chile.

Jo Dewulf, H. V. (2002). Analysis Of Volatile Organic Compounds Using Gas Chromatography. En Trac Trends In Analytical Chemistry, (Págs. 637-646).

- Ki-Hyun Kim, S.-Y. P. 2008. A Comparative Analysis Of Malodor Samples Between Direct (Olfactometry) And Indirect (Instrumental) Methods. En Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 20 (Págs. 5061-5070).
- Kim. 2022. Arazyme In Combination With Dietary Carbohydrolases Influences Odor Emission And Gut Microbiome In Growing-Finishing Pigs. Science of the Total Environment,.
- Meza, V. 2019. Evaluación Del Olor-loms (E-Noses). En Guía Básica De Gestión De Olor. AMIGO. Santiago, Chile. (Págs. 83-93).
- Muñoz, E. C. 2010. Monitoring Techniques For Odour Abatement Assessment. En Water Research, Volume 44 (Págs. 5129-5149).
- Muñoz, Z. 2019. Olfatómetría De Campo. En Guía Básica De Gestión De Olor. AMIGO. Santiago, Chile. (Págs. 77-80).
- Nagata. 2003. Measurement Of Odor Threshold By Triangle Odor Bag Method . <<https://www.semanticscholar.org/paper/Measurement-of-Odor-Threshold-by-Triangular-Odor-Yoshio-Nagata/f7137e4c565068b998fd6cf4277ca73ca965a2f7>>.[Consulta: 25 julio 2023].
- Nicell, J. A. 2009. Assessment And Regulation Of Odour Impacts. En Atmospheric Environment (Págs. 196-206). Volume 43, Issue 1. Obtenido De

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008008996>>. [Consulta: 2 mayo 2023].

Power, W. 2012. Perception And Physiological Responses to Odors. Michigan State University. <<https://www.thepigsite.com/articles/perception-and-physiological-responses-to-odours#:~:text=Detectable%20odours%20can%20have%20a,as%20likable%2C%20dislikable%20or%20indifferent>>. [Consulta: 3 mayo 2023].

Ramírez, Z. 2019. Mediciones de Olor por Medio de Panelistas en Terreno: Método De La Rejilla. En Guía Básica De Gestión De Olor. AMIGO. Santiago, Chile.(Págs. 63-69).

Ramos. 2018. Odoriferous Pollution: Causes, Effects And Possible Solutions For An Imperceptible Pollution. En Revista Innovación Y Ciencia Volumen XXV No 1. <https://innovacionyciencia.com/articulos_cientificos/contaminacion-odorifera-causas-efectos-y-posibles-soluciones-a-una-contaminacion-invisible>.[Consulta:21 julio 2023]

SAG. 2019. . Manual de Buenas Prácticas Sobre Bienestar Animal en Sistemas. Santiago de Chile: 1a Edición. Ministerio De Agricultura.

Schiffman, J. L. 2001. Quantification Of Odors and Odorants From Swine Operations in North Carolina. En Agricultural and Forest Meteorology, Volume 108 (Págs. 213-240).

SEIA. 2017. Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos. Servicio De Evaluación Ambiental. Santiago, Chile.

Sironi, L. C. 2010. Odour Impact Assessment by Means of Dynamic Olfactometry, Dispersion Modelling and Social Participation. En Atmospheric Environment, (Págs. 354-360).

Torres Et Al. 2008. Guía Técnica para la Gestión de las Emisiones Odoríferas Generadas por las Explotaciones Ganaderas Intensivas. Universidad Politecnica De Valencia. España.

Valenzuela, Z. 2019. Medición de Impacto de Olor en la Comunidad mediante método de la Pluma. En Guía Básica De Gestión De Olor. AMIGO. Santiago, Chile.

Vera. 2019. Análisis Físico-Químico De Los Olores. En Guía Básica De Gestión Del Olor. Santiago, Chile. (Págs. 55-61).

Vergara, V. Z. 2013. Olores.Org. Obtenido De Olores.Org: <https://Olores.Org/Index.Php?Option=Com_Content&View=Article&Id=276:Experiencias-En-La-Aplicacion-De-La-Normativa-Alemana-Vdi-38802011-En-Muestreos-De-Olores-En-Chile&Catid=3&Itemid=303&Lang=Es> [Consulta: 2 abril 2023]

Wu, J. L. 2017. Evaluation of the Chemical Composition and Correlation Between the Calculated and Measured Odour Concentration of

Odorous Gases From a Landfill in Beijing, China. En Atmospheric Environment, (Págs. 337-347).

8.ANEXOS

8.1 Datos de concentración del purín en fase gaseosa y líquida.

Tabla 6. Concentración de compuestos gaseosos del purín.

Compuesto	Grupo químico	concentracion (C)																umbral de olor (Cot)	masa de olor especifica	Sc					
		Parto						Engorde						Destetados											
		fresco		almacenado		fresco		almacenado		fresco		almacenado													
		ppm	mg m ⁻³	µg m ⁻³	ppm	mg m ⁻³	µg m ⁻³	ppm	mg m ⁻³	µg m ⁻³	ppm	mg m ⁻³	µg m ⁻³	ppm	mg m ⁻³	µg m ⁻³									
Sulfuro de hidrógeno	Sulfurados	205.4	296.22		83.9	190.75		148.7	214.45		23.9	34.11		24.7	35.62		24.1	34.4		0.00053		0.00053		0.5014	
Amoniaco	Amoniaco	23.4	16.85		44	31.37		34.2	24.63		79	56.32		4.9	3.53		14	9.98		4.07		4.07		0.4821	
1-butanol	Alcoholes		0.0084	8.4		0.0023	2.3		0.0039	3.9		0.0029	2.9		0.0182	18.2		0.0051	5.1		42		42		0.3927
3-metilbutanal	aldehídos		0.0027	2.7		0.0047	4.7		0.0025	2.5		0.0076	7.6		0.0019	1.9		0.0055	5.5		0.0081		0.0081		0.3425
Hexanal			0.0022	2.2		0.002	2		0.0019	1.9		0.002	2		0.0022	2.2		0.0024	2.4		0.067		0.067		0.1317
Heptanal			0.0022	2.2		0.002	2		0.0019	1.9		0.002	2		0.0021	2.1		0.002	2		0.026		0.026		0.1213
Octanal			0.0022	2.2		0.002	2		0.0019	1.9		0.002	2		0.0021	2.1		0.0026	2.6		0.0078		0.0078		0.106
Nonanal			0.0066	6.6		0.005	5		0.0048	4.8		0.005	5		0.0049	4.9		0.005	5		0.045		0.045		0.107
trimetilamina	Amina		0.0056	5.6		0.005	5		0.0048	4.8		0.005	5		0.0049	4.9		0.005	5		2.1		2.1		0.1201
acetato de butilio	Ésteres		0.0022	2.2		0.002	2		0.0019	1.9		0.002	2		0.0021	2.1		0.002	2		0.933		0.933		0.1034
3-hidroxi-2-butanona	Cetonas		0.0056	5.6		0.005	5		0.0053	5.3		0.005	5		0.0054	5.4		0.005	5		0.001		0.001		0.1102
acetodenona			0.0028	2.8		0.002	2		0.0022	2.2		0.0027	2.7		0.0029	2.9		0.0023	2.3		1.5		1.5		0.0768
tolueno	Aromáticos		0.0813	81.3		0.0366	36.6		0.054	54		0.0773	77.3		0.1406	140.6		0.2398	239.8		140		140		0.1842
Piridina			0.0022	2.2		0.002	2		0.0021	2.1		0.002	2		0.0025	2.5		0.002	2		40		40		0.1609
Ácido acético	Ácido carboxílicos		0.1083	108.3		0.0757	75.7		0.0904	90.4		0.0929	92.9		0.1467	146.7		0.1518	151.8		10		10		0.1016
Ácido propanoico			0.0737	73.7		0.0555	55.5		0.0536	53.6		0.05	50		0.0899	89.9		0.0594	59.4		0.89		0.89		0.1456
Acido 2-metilpropanoico			0.0051	5.1		0.0047	4.7		0.0021	2.1		0.0054	5.4		0.004	4		0.0131	13.1		0.33		0.33		0.1857
Ácido butanoico			0.0254	25.4		0.0192	19.2		0.0114	11.4		0.0113	11.3		0.0834	83.4		0.0664	66.4		42		42		0.194

Ácido 3-metilbutanoico		0.0047	4.7	0.0039	3.9	0.0019	1.9	0.0024	2.4	0.0086	8.6	0.0132	13.2	0.0069	0.0069	0.217
Ácido pentanoico		0.0171	17.1	0.0128	12.8	0.0103	10.3	0.01	10	0.04	40	0.0281	28.1	0.12	0.12	0.1707
Ácido 4-metilpentanoico		0.0022	2.2	0.002	2	0.0019	1.9	0.002	2	0.0027	2.7	0.0022	2.2	0.037	0.037	0.0554
Ácido hexanoico		0.0128	12.8	0.0094	9.4	0.0048	4.8	0.005	5	0.0716	71.6	0.0396	39.6	0.52	0.52	0.1704
Ácido heptanoico		0.0032	3.2	0.002	2	0.0021	2.1	0.002	2	0.0065	6.5	0.0023	2.3	0.033	0.033	0.068
Fenol		0.0208	20.8	0.0117	11.7	0.0917	91.7	0.0351	35.1	0.0424	42.4	0.0442	44.2	4	4	0.1929
4-metilfenol (p-cresol)		0.1983	198.3	0.0428	42.8	0.6367	636.7	0.423	423	0.465	465	0.305	305	0.024	0.024	0.2268
4-etilfenol	Fenoles e indoles	0.0307	30.7	0.0074	7.4	0.1244	124.4	0.06	60	0.0632	63.2	0.0312	31.2	0.01	0.01	0.2453
indol		0.0037	3.7	0.0017	1.7	0.0116	11.6	0.0057	5.7	0.0132	13.2	0.0034	3.4	0.0071	0.0071	0.1925
3-metil-indol (escatol)		0.0392	39.2	0.0085	8.5	0.068	68	0.0521	52.1	0.1372	137.2	0.0547	54.7	0.0064	0.0064	0.1827
alfa-pineno	Terpenos	0.0038	3.8	0.002	2	0.0028	2.8	0.0031	3.1	0.0065	6.5	0.005	5	0.00565	0.00565	0.1842
d-3-careno		0.0034	3.4	0.002	2	0.0024	2.4	0.0023	2.3	0.0052	5.2	0.0033	3.3	0.001	0.001	0.389
Sulfuro de dimetilo		0.0022	2.2	0.0024	2.4	0.0036	3.6	0.0022	2.2	0.0273	27.3	0.002	2	0.16	0.16	0.3816
dimetildisulfuro	sulfuros organicos	0.0077	7.7	0.0062	6.2	0.0166	16.6	0.0081	8.1	0.0255	25.5	0.0103	10.3	0.61	0.61	0.3686
trisulfuro de dimetilo		0.004	4	0.0022	2.2	0.0084	8.4	0.0038	3.8	0.0099	9.9	0.0025	2.5	0.0073	0.0073	0.3421

Sc: coeficiente de puntuación

Tabla 7. Concentración de compuestos del purín en fase liquida.

Compuesto	Grupo químico	Fase liquida						
		sc	parto		Engorde		destetados	
			fresco mg kg ⁻¹	alm. mg kg ⁻¹	Fresco mg kg ⁻¹	alm. mg kg ⁻¹	fresco mg kg ⁻¹	alm. mg kg ⁻¹
Ácido acético	Ácido carboxílicos	0.0794	2100	1040	4900	4000	4400	1900
Ácido propanoico		0.0771	590	51	1800	1900	1600	530
Ácido 2-metil propanoico		0.0944	41	12	320	380	350	200
Ácido butanoico		0.1004	130	21	630	391	2600	260
Ácido 3-metilbutanoico		0.0905	36	10	277	320	240	143.8
Ácido pentanoico		0.1083	24	11	160	151	630	230
Ácido hexanoico		0.1114	11	10	52	47	1100	150
Ácido heptanoico		0.0834	0.6	0.7	0	0	34	9.8
Ácido metanoico		0.4172	33	11	30	21	37	9.3
Ácido láctico		0.0909	102	26	2200	1800	4200	910
Acido 4-metil pentanoico	aromáticos	-0.5759	0	0	0.7	0.6	2	2
Ácido indol-3-acético		0.6194	0.8	0	1.3	0.1	3.3	0.1
p-cresol		0.0832	37	10	110	110	110	61
indol		0.0486	2.5	1	8.7	7.3	5.3	4.4
Ácido benzoico		0.093	19	11	370	300	680	190
escatol		0.0645	10	5.5	26	25	28	35
Ácido indol-3-propanóico		0.1578	5.3	5	11	10	5.3	6
Nitrógeno de amonio	Contenido de nitrogeno	0.2123	2400	2200	3300	3200	2300	2300
Nitrógeno total		0.2276	3500	3000	5200	4800	3700	3400
Azufre reducido total	Contenido sulfuroso	0.1728	70	33	61	96	65	72
Azufre total		0.205	380	270	480	405	444	390

8.2 Características físicas del purín

Tabla 8. Características físicas del purín en los diferentes procesos y tiempos de medición.

	parto		Engorde		destetados	
	fresco	alm.	Fresco	alm.	fresco	alm.
PH	7	7.3	7	7.2	6.3	6.6
T C°	15	18	15	18	15	18
DM %	5.1	4.1	7.1	6.5	4.9	4.5
VS %	3.8	3	5.4	4.8	3.8	3.5

8.3 Intensidad de olor

Tabla 9. Intensidad de olor para el sulfuro de hidrogeno y amoniaco.

Compuesto	Grupo	Parto		Engorde		Destetados	
		fresco	alm.	fresco	alm.	fresco	alm.
Sulfuro de hidrógeno	Sulfurados	6.337	5.968	6.204	5.449	5.463	5.453
Amoníaco	Amoníaco	5.792	6.039	5.941	6.268	5.181	5.592