



UNIVERSIDAD DE CONCEPCION



CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES  
EULA-CHILE

# **Generación y detección de olores provenientes del almacenamiento de purines porcinos en un plantel de engorda de la Región del Bío-Bío**

Habilitación presentada para optar al título de

**Ingeniero Ambiental**

**GERARDO FELIPE ORTIZ BURGOS**

CONCEPCION (Chile), 2012



UNIVERSIDAD DE CONCEPCION



CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES  
EULA-CHILE

# **Generación y detección de olores provenientes del almacenamiento de purines porcinos en un plantel de engorda de la Región del Bío-Bío**

Habilitación presentada para optar al título de

**Ingeniero Ambiental**

**Alumno: Gerardo Felipe Ortiz Burgos**

**Profesor guía: Dra. Gladys Cecilia Vidal Sáez**

CONCEPCION (Chile), 2012

“El último ser humano vivo  
lanzó la última paletada de  
tierra sobre el último muerto.  
En ese instante mismo supo  
que era inmortal, porque la  
muerte sólo existe en la  
mirada del otro”

*Alejandro Jodorowsky*

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	9
RESUMEN .....	10
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
1.1 Introducción .....	11
1.1.1 Antecedentes económicos del sector pecuario .....	11
1.1.2 Proceso productivo .....	12
1.1.3 Digestión anaeróbica .....	14
1.2 Antecedentes bibliográficos.....	17
1.2.1 Concepto de olor .....	17
1.2.2 Generación de olores en la industria porcina .....	23
1.2.3 Detección de olores .....	29
1.2.4 Normativas aplicables a la olfatometría .....	32
2 HIPÓTESIS .....	34
3 OBJETIVOS .....	34
3.1 Objetivo General.....	34
3.2 Objetivos Específicos .....	34
4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
4.1 Generación de una metodología de medición de olores en la industria porcina, utilizando olfatometría.....	35
4.2 Identificación del factor (temperatura y pH) que mayor influencia tiene con la generación de olor y su relación las variables físico-químicas.....	37
4.2.1 Diseño experimental .....	37
4.2.2 Análisis analítico .....	38
4.2.3 Análisis estadístico .....	39

5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	40
5.1	Caracterización general.....	40
5.2	Generación de una metodología de medición de olores en la industria porcina, utilizando olfatometría.....	41
5.2.1	Test de sensibilidad de olor .....	41
5.2.2	Dilución de la muestra de purín para la determinación del umbral de detección e identificación.....	41
5.2.3	Determinación de las características físico-químicas y la generación de olor .....	44
5.2.4	Velocidades de disminución del olor.....	47
5.3	Identificación del factor (temperatura y pH) que mayor influencia tiene en la generación de olor .....	53
5.4	Establecer la relación entre variables físico-químicas y la generación del olor.....	54
6	CONCLUSIONES .....	56
7	RECOMENDACIONES.....	57
8	REFERENCIAS .....	58
	ANEXOS .....	63
	Anexo 1. Normalidad.....	64
	Anexo 2. Análisis de varianza .....	67
	Anexo 3. Análisis de varianza .....	70
	Anexo 4. Matrices de correlación .....	73
	Anexo 5. Procedimiento del test de sensibilidad olfativa .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la producción porcina para el período 2000-2010.....	11
Figura 2. Distribución de cabezas de cerdo en Chile para el año 2007 .....	12
Figura 3. Descripción del proceso productivo para la obtención de carne de cerdo.....	14
Figura 4. Esquema de digestión anaeróbica .....	15
Figura 5. Cavidad nasal y sistema olfativo. ....	22
Figura 6. Epitelio y bulbo olfativo.....	22
Figura 7. Proceso de generación de olores.....	23
Figura 9. Determinación del umbral de detección mediante olfatometría dinámica .....	31
Figura 10. Determinación del umbral de detección mediante olfatometría de campo.....	31
Figura 11. Lápices de olor con $\eta$ -butanol .....	35
Figura 12. Presentación del lápiz de olor al panelista .....	36
Figura 13. Olfatómetro de campo Nasal Ranger <sup>®</sup> .....	36
Figura 14. Equipo multiparamétrico Oakton PC 650 .....	37
Figura 15. Reactores batch con control de temperatura y pH .....	38
Figura 16. Comportamiento del olor en el tiempo.....	43
Figura 17. Comportamiento de las características físico-químicas y la generación del olor, para los factores de almacenamiento del purín .....	46
Figura 18. Velocidad de generación de olor (VGO) en el tiempo .....	50
Figura 19. Velocidad de generación de olor (VGO) en el tiempo .....	52
Figura 20. Velocidad de generación de olor (VGO) en el tiempo .....	48
Figura 21. Relación entre la generación del olor y la temperatura de almacenamiento .....	53
Figura 22. Relación entre la generación del olor y el pH de almacenamiento .....	54
Figura 23. Relación entre el cociente $A_I/A_T$ y la generación de olor. ....	54

Figura 24. Relación entre la concentración de  $\text{N-NH}_4^+$  y la generación  
de olor ..... 55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del alimento, según la etapa de desarrollo .....	13
Tabla 2. Umbral de detección y descriptores para distintos compuestos odorantes.....	19
Tabla 3. Descriptores de olores para la evaluación del carácter .....	20
Tabla 4. Concentración de olor y odorantes según sistema de producción ..	24
Tabla 5. Caracterización físico-química de purines según sistema productivo .....	25
Tabla 6. Microbiota normal presente en el estiércol porcino y sus compuestos odorantes .....	27
Tabla 7. Rangos de temperatura y pH para el crecimiento bacteriano.....	28
Tabla 8. Carácter, fórmula química y peso molecular de distintos compuestos olorosos.....	29
Tabla 10. Diseño experimental aplicado a la evaluación de la generación del olor.....	37
Tabla 11. Caracterización general del purín.....	40
Tabla 12. Rangos de generación de olor según temperatura y pH de almacenamiento .....	44

## AGRADECIMIENTOS

Con estas palabras quiero agradecer profundamente a mi familia por su apoyo durante este largo camino. A mi papá, con sus consejos y la constante preocupación de que siguiera con el camino correcto; a mi mamá, por su preocupación, cariño y motivación para seguir adelante. A mi hermano, por ser mi norte académico, siempre aconsejándome, sobre cómo llegar a ser un buen ingeniero. Este logro no es sólo mío, si no nuestro.

También agradezco al Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA) del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, por todo su apoyo. A la profe Gladys, por enseñarme a entregar mucho más de lo que se espera. A Alejandra Villamar, por ayudarme, orientarme y apoyarme; ya que sin su indispensable ayuda, esta tesis, no sería la misma. A Catalina, por sus interminables conversaciones académicas, que me motivaron a saber más. A la Fran y Rocío, por ser muy buenas amigas y compartir conmigo su alegría en esas extenuantes jornadas. A cada uno de los integrantes, por compartir y ayudarme durante el desarrollo de esta tesis.

También quiero agradecer a Daniela, por ser una buena compañera y darme su apoyo, cuando el camino parecía ponerse difícil.

Finalmente, quiero agradecer al Consejo Nacional de Producción Limpia y a CORFO Innova Bío-Bío, por confiar en el proyecto.

## RESUMEN

En el presente estudio se evalúa la generación de olores, debido al almacenamiento de purines de un plantel porcino en la Región del Bío-Bío y relacionarlo con las características físico-químicas ( $\text{N-NH}_4^+$  y  $A_I/A_T$ ), debido a cambios en la temperatura (20 a 55°C) y pH (6,0 a 8,0), durante el almacenamiento; con el objetivo de generar una metodología de medición de olores en la industria porcina, la influencia de la temperatura, pH,  $\text{N-NH}_4^+$  y la relación de  $A_I/A_T$  con la generación del olor.

Para la realización de esta tesis se estudiaron los procesos de generación del olor durante el almacenamiento del purín y las técnicas de detección de olor, mediante una intensa revisión bibliográfica. Se realizó una metodología de detección de olores provenientes del almacenamiento del purín, en la industria porcina, utilizando un olfatómetro de campo. A partir de ello, se generó un diseño experimental, con el objetivo de evaluar los factores y características físico-químicas del purín, asociados a la generación del olor. Finalmente, se generaron una serie de recomendaciones asociadas a la mitigación del olor en la industria porcina, a partir de los resultados obtenidos.

De los resultados se concluye que la temperatura tiene una relación directa con la generación del olor. Por otro lado, el pH tiene relación con la producción de compuestos odorantes, provenientes de la digestión anaeróbica incompleta del purín, mientras que la temperatura incrementa la producción del olor. La concentración del  $\text{N-NH}_4^+$ , influye en la generación del olor, una disminución en la concentración, se traduce en una mayor generación de olor. Finalmente, un aumento en el cociente  $A_I/A_T$ , se traduce en un aumento en la generación de olor.

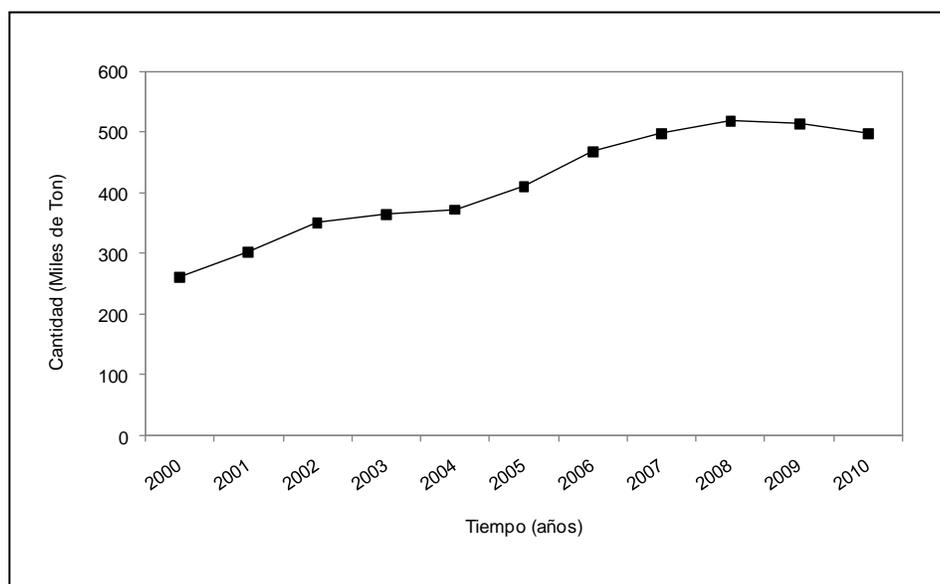
*Palabras Claves: Generación y detección de olores, almacenamiento, purín, olfatometría, industria porcina.*

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 Introducción

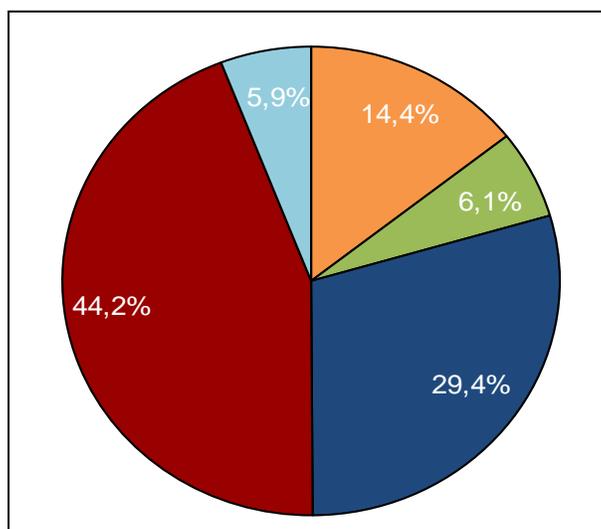
### 1.1.1 Antecedentes económicos del sector pecuario

El sector porcino a nivel nacional, ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos años (8,6 % por año), registrándose para el año 2010 una producción de 498324 toneladas (ASPROCER, 2011). La razón de este crecimiento, se debe fundamentalmente al consumo interno y al aumento de la exportación (INIA, 2005). El incremento a lo largo del tiempo en los niveles de producción, y el uso de técnicas para la optimización del producto cárnico, han significado la tecnificación de los sistemas de producción en el país, pasando progresivamente de sistemas de tipo extensivo a intensivo (Censo Agropecuario 2007).



**Figura 1.** Evolución de la producción porcina para el período 2000-2010.  
Fuente: ASPROCER (2011)

En Chile, la concentración de la producción intensiva, se encuentra distribuida principalmente en la Región Metropolitana y O'Higgins, existiendo un menor porcentaje (6,1% del total nacional, en el 2007) de esta distribución en la Región del Bio-Bio (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución de cabezas de cerdo en Chile para el año 2007. ■ Resto del País ■ Región del Bío-Bío ■ Región de O'Higgins ■ Región Metropolitana de Santiago ■ Región de Valparaíso. Fuente: Censo Agropecuario (2007).

### 1.1.2 Proceso productivo

A continuación se describe el proceso productivo para la obtención de carne de cerdo.

#### **Descripción del proceso**

El sistema de producción intensiva, supone una forma de explotación animal altamente tecnificada, dirigida a situar al ganado en condiciones tales, que permitan obtener de él altos rendimientos productivos en el menor tiempo posible (Espejo, 1996). En este sistema, las distintas etapas, se encuentran completamente diferenciadas y se describen a continuación.

- Reproducción y maternidad

En el sector de monta, ingresan hembras antiguas, provenientes de maternidad y las chanchillas de reemplazo. Las hembras, son puestas en corrales individuales, donde van a ser preñadas por monta natural o inseminación artificial (CPL, 1999). Una vez que la hembra, ha quedado preñada es llevada a la sala de gestación, permaneciendo en este sector alrededor de 114 días, hasta dos o tres días antes del parto (CPL, 1999). En este sector, la hembra permanece en corrales individuales y recibe una alimentación restringida, debido a que gana peso, durante la gestación (CPL, 1999; Devilat & Felmer 1976). Al momento del parto, la hembra no recibe alimento. Al segundo día la alimentación y el agua son ad libitum (sin restricción) (CPL, 1999). En la Tabla 1, se describe la composición del alimento para la etapa de gestación, en donde existe un menor contenido de proteína digerible, en comparación de la lactancia, cría y engorda (Germán et al., 2005).

Las hembras de reemplazo, son aquellas que ocuparán el lugar de las hembras reproductoras, y que serán eliminadas por término de la vida productiva, problemas reproductivos, sanitarios, entre otros (CPL, 1999).

- Cría

En esta etapa, los cerditos recién destetados, ingresan a jaulas calefaccionadas (25°C) (CPL, 1999). Cumplidos los 45 días de vida, son trasladados a jaulas en el piso, sin control de temperatura y con una ración sólida, durante 15 días hasta cumplir el día 60, alcanzan un peso entre 25 a 30 kg (CPL, 1999). Esta ración sólida, está compuesta por alrededor de un 16,0 % de proteína digestible y 7,5 % de fibra cruda por kg de materia seca de alimento (Tabla 1).

- Engorda

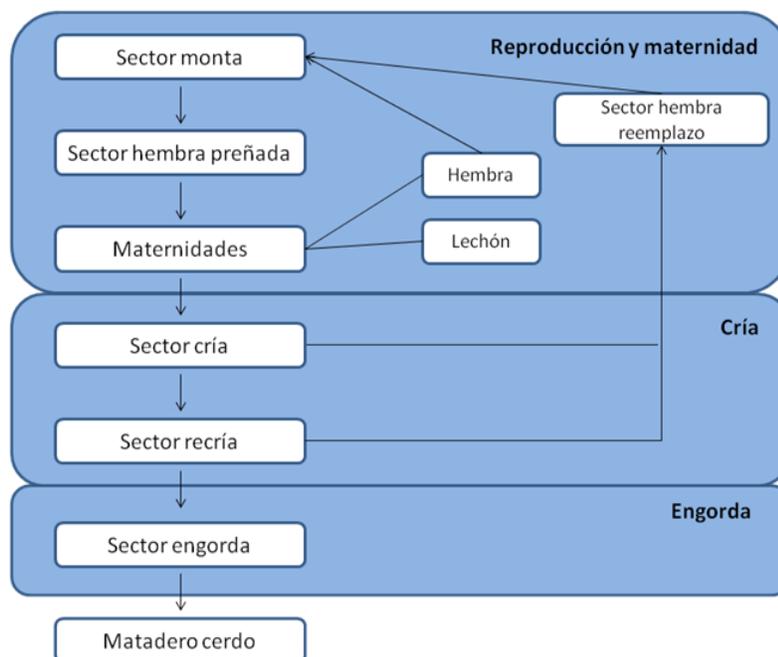
En este periodo de alrededor de 90 días, se obtienen porcinos de aproximadamente 95 kg de peso. En este sector, generalmente están animales de un mismo corral en la etapa anterior, esto para evitar peleas y daños entre ellos (CPL, 1999). En la etapa de engorda, durante la iniciación, existe un mayor contenido de proteína digestible en el alimento, de alrededor de un 20% en comparación a las etapas de cría, gestación y lactancia (Tabla 1); disminuyendo hasta un 12,5%.

**Tabla 1.** Composición del alimento, según la etapa de desarrollo

Etapa de desarrollo	Proteína digestible		Fibra cruda (g)	
	g/kg	%	g/kg	%
Engorda-iniciación	200,0	20,0%	40,0	4,0%
Engorda-crecimiento	150,0	15,0%	60,0	6,0%
Engorda-finalización	125,0	12,5%	60,0	6,0%
Cría	160,0	16,0%	75,0	7,5%
Gestación	127,0	12,7%	100,0	10,0%
Marranas en lactancia	160,0	16,0%	75,0	7,5%

Fuente: Germán *et al.*, (2005).

La Figura 3, resume la descripción del proceso productivo, para la obtención de carne de cerdo.



**Figura 3.** Descripción del proceso productivo para la obtención de carne de cerdo.  
Fuente: CPL (1999).

### **Generación de purines**

Los purines corresponden a una mezcla de heces (45%), orina (55%), y agua de lavado, caracterizados por un alto contenido de materia orgánica (14,2–26,3 g DBO<sub>5</sub>/L), nutrientes (2,4–6,0 g/L de N<sub>T</sub> y 0,6–1,4 g/L de P<sub>T</sub>), iones (2,3–5,1 g Cl<sup>-</sup>/L, 1,5–3,8 g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/L y 0,03–0,07 g NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L), entre otros compuestos (Villamar *et al.*, 2011).

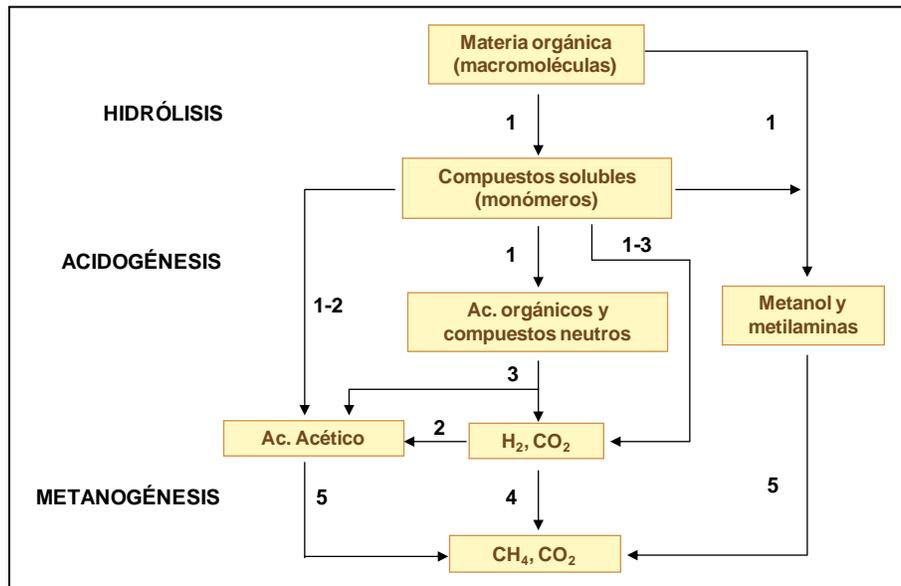
El manejo de purines porcinos en Chile, ha tomado gran relevancia debido a la intensificación de la producción animal, que ha generado una cantidad importante de purines (23.000 m<sup>3</sup>/día) (INIA, 2005). La cantidad producida de purín, puede verse afectada por factores como el número y estado fisiológico del animal, calidad y cantidad de alimento ingerido, y volumen de agua consumida (Torrallardona, 2008).

#### **1.1.3 Digestión anaeróbica**

En el proceso anaerobio, se efectúa la degradación de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno molecular como aceptor de electrones (Montalvo & Guerrero, 2004). La digestión anaerobia, consiste en la degradación y la estabilización de la materia orgánica, por la biodegradación de microorganismos anaerobios, generando biogás (mezcla de dióxido de carbono y metano) como producto final (80%) y biomasa microbiana (10%) (Chen *et al.*, 2008). Este proceso, sucede en etapas sucesivas, realizadas por diferentes grupos bacterianos (Montalvo & Guerrero, 2004; Campos, 2001). En la Figura 4, se muestra el esquema de las diferentes fases de la digestión anaeróbica.

La primera fase, es la hidrólisis de macromoléculas, en la cual las moléculas complejas son hidrolizadas por enzimas extracelulares, excretadas por bacterias hidrolíticas (Montalvo & Guerrero, 2004). Como resultado, se obtienen compuestos solubles como azúcares, alcoholes, dióxido de carbono, ácidos grasos de cadena larga y oligosacáridos. La hidrólisis es por tanto, la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros (Montalvo & Guerrero, 2004; Campos, 2001).

La segunda etapa, corresponde a la acidogénesis, en la cual los productos generados en la etapa hidrolítica, son convertidos en ácidos grasos de cadena corta (ácido acético, propiónico y butírico principalmente), alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno (Montalvo & Guerrero, 2004; Campos, 2001). Los ácidos grasos de cadena corta, son transformados en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de microorganismos acetogénicos (Campos, 2001). Finalmente, se produce la metanogénesis, que produce metano, hidrógeno y dióxido de carbono a partir del ácido acético (Montalvo & Guerrero, 2004; Campos, 2001).



**Figura 4.** Esquema de digestión anaeróbica. 1 Bacterias hidrolíticas-acidogénicas, 2 bacterias homoacetogénicas, 3 bacterias acetogénicas, 4 bacterias metanogénicas hidrogenófilas, 5 bacterias metanogénicas acetoclásticas. Fuente: Montalvo & Guerrero (2004)

### **Generación de olores a partir de la digestión anaeróbica incompleta**

La generación de olores en el purín, proviene de una digestión anaeróbica incompleta (Blanes-Vidal *et al.*, 2009; Iowa State University, 2004b; Zhu, 1999). En la digestión anaeróbica, los microorganismos acidogénicos y metanogénicos difieren ampliamente en términos de necesidades fisiológicas, nutricionales, cinética de crecimiento y sensibilidad a condiciones ambientales (Tabla 7). El desbalance entre estos dos grupos de microorganismos, es la causa principal de inestabilidad en la digestión anaeróbica (Chen *et al.*, 2008).

La presencia de sustancias inhibitoras, pueden ser en gran medida causantes del desequilibrio en la digestión anaeróbica (Chen *et al.*, 2008). Dicha inhibición, durante la digestión anaerobia, es a menudo causada por una alta concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el purín (Sawayama *et al.*, 2004).

La composición de los purines, depende de algunos factores, en gran medida relacionados con la dieta porcina (Tabla 1). En cuanto al alimento, las proteínas son los precursores de compuestos sulfurosos, indólicos y fenólicos, ácidos grasos volátiles (AGVs), aminas volátiles y amoniaco en el estiércol (Mackie *et al.*, 1998; Blanes-Vidal *et al.*, 2009); mientras que los carbohidratos son los precursores de ácidos grasos volátiles de cadena corta (Blanes-Vidal *et al.*, 2009). La importancia de la generación de purín, con respecto a la producción de olores, está influenciada por la presencia de sustancias como amoniaco, ácido sulfhídrico, alcoholes, aldehídos, aminas, ácidos grasos volátiles y compuestos aromáticos que producen olor (Zhan & Zhu, 2005; Blanes-Vidal *et al.*, 2009). La determinación de los compuestos químicos y variables físico-químicas responsables de la producción y emisión de olores en el aire, es un paso importante hacia el desarrollo de técnicas eficientes de mitigación, en la fuente de la producción (Blanes-Vidal *et al.*, 2009).

En las instalaciones de alojamiento porcino, la producción de  $\text{NH}_3$  se inicia, por excreción en forma de urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) presente en la orina. Cuando la urea presente en la orina, entra en contacto con la enzima ureasa, se forman dos moléculas de  $\text{NH}_3$  (Hemelin *et al.*, 2010). Durante el almacenamiento de purín, los aminoácidos pueden experimentar una descarboxilación, para producir putrescina, cadaverina, y amoniaco (Zhu, 1999). La relación entre la concentración de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4^+$  está dada por la siguiente ecuación (Hansen *et al.*, 1998):

$$\frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = \left( 1 + \frac{10^{-pH}}{10^{-(0,09018 + \frac{2729,92}{T(K)})}} \right) \quad \text{Ec (1)}$$

Los ácidos grasos volátiles (AGVs), pueden ser producidos a partir de la desaminación de los aminoácidos, producidos durante el proceso de degradación de las proteínas y la descomposición de los hidratos de carbono (Zhu, 1999). Para la determinación indirecta de la acumulación de AGVs en los purines, se utiliza la relación  $A_I/A_T$  (Campos, 2001). La alcalinidad total ( $A_T$ ) es la suma de dos parámetros: Alcalinidad parcial ( $A_P$ ) más la alcalinidad intermedia ( $A_I$ ), siendo  $A_P$  la alcalinidad debida a la presencia del bicarbonato y  $A_I$  la debida a la presencia de ácidos grasos volátiles (Mosquera, 1998). Si se sobrepasa el valor de 0,3-0,4 para la relación  $A_I/A_T$ , implica una acumulación de AGVs en el sistema (WPCF, 1966; Mosquera, 1998; Campos, 2001).

En el tracto gastrointestinal, un pH neutro (6-7) prevalece normalmente. Bajo esta condición, la desaminación es la principal vía de metabolismo de los aminoácidos, lo que resulta en la producción de AGVs,  $CO_2$ ,  $H_2$ , así como amoníaco (Zhu, 1999).

El ácido sulfhídrico es generado a partir de la reducción de  $SO_4^{2-}$ , por medio de las bacterias sulfato-reductoras (BSR), como el género *Megasphaera* (Tabla 6) (Montalvo & Guerrero, 2004; Zhu, 1999).

Las BSR, pueden usar ácido acético como fuente de energía y  $SO_4^{2-}$ , ser aceptor final de electrones (Montalvo & Guerrero, 2004). La reducción de sulfato puede expresarse de la siguiente forma:



## 1.2 Antecedentes bibliográficos

A continuación, se describen los antecedentes relacionados, con la evaluación y gestión de olores provenientes del almacenamiento, tratamiento y disposición de purines en la producción porcina.

### 1.2.1 Concepto de olor

El olor, es una sensación asociada a uno o más compuestos que, cuando están presentes en concentraciones suficientemente altas ( $>2,42$  mg/L  $NH_3$ ;  $>0,073$  mg/L  $CH_3CH_2COOH$ ), puede desencadenar respuestas olfativas, en los individuos expuestos (Frechen, 2010). Esta respuesta olfativa, es una sensación que ocurre, cuando un compuesto odorífero (compuesto químico que produce olor), impacta sobre los receptores sensoriales, en la cavidad nasal (Schiffman *et al.*, 2001; Wayne *et al.*, 2000). Debido a que la percepción del olor, es una respuesta humana, muchas veces las respuestas a los olores, son variables y resultan con efectos como irritación de ojos, nariz y garganta, dolores de cabeza, náuseas, tos, dolor de garganta, estrés, somnolencia y alteraciones en el estado de ánimo (Schiffman *et al.*, 2009; Wing & Wolf, 2000; O'Neill and Phillips, 1991).

Para la evaluación de olores, se utilizan ciertas características denominadas propiedades sensoriales, que influyen en los tipos de respuestas humanas e incluyen la intensidad del olor, detectabilidad, carácter, tono hedónico, y adaptación (Wayne *et al.*, 2000).

### **Intensidad**

La intensidad de un olor, se define como la fuerza de la sensación de olor percibido. Se refiere, a la percepción de un individuo, fuerza o concentración del olor (Wayne *et al.*, 2000; Nicell, 2008).

En la siguiente ecuación, se define la relación entre la intensidad del olor (I) y la concentración (C), donde k es una constante y n es el exponente.

$$I (\text{percibido}) = k \cdot C^n \quad \text{Ec (3)}$$

Esto, se conoce como la ley de Stevens o ley de la Potencia. Para el olor, n va desde 0,2 a 0,8, dependiendo de la sustancia odorífera (Wayne *et al.*, 2000).

### **Detectabilidad**

La detectabilidad, es el número de diluciones necesarias, para reducir un olor a su mínimo nivel de detección. La detectabilidad del umbral de olor, es una propiedad sensorial relacionada con la concentración mínima, que produce una respuesta olfativa (Wayne *et al.*, 2000). Este umbral de olor, está determinado por un panel (grupo de personas), y se expresa como la ocurrencia cuando el 50% del panel, detecta correctamente el olor. El umbral de olor, depende de la sensibilidad de los panelistas, incluyendo el caudal y la pureza de la sustancia de ensayo. (Wayne *et al.*, 2000; Metcalf, 2003; Nicell, 2008).

Para determinar el grado de detectabilidad, se aplican dos conceptos “Umbral de Detección o UD” y “Umbral de Identificación o UI”. El umbral de detección de olor, se refiere a la concentración mínima de un odorante, necesaria para percibir la existencia del estímulo o número de diluciones, que permiten diferenciar entre una muestra de aire limpio y aire oloroso (Wayne *et al.*, 2000). Por otro lado, el umbral de identificación, se refiere a la concentración mínima de un odorante, necesaria para identificar el estímulo. El umbral de detección, se produce a una concentración inferior al umbral de identificación (Wayne *et al.*, 2000).

En la Tabla 2, se observan los valores correspondientes al umbral de detección de compuestos odorantes, provenientes del purín.

**Tabla 2.** Umbral de detección y descriptores para distintos compuestos odorantes

<b>Compuesto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Umbral de detección</b>	<b>Descriptor</b>
Amoniaco	mg/L	2,42 ± 1,03	Penetrante
Acido acético	mg/L	0,073 ± 0,0011	Vinagre
Acido butanoico	mg/L	0,00019 ± 0,00010	Acido
Acido propanoico	mg/L	0,017 ± 0,016	Rancio, penetrante

Fuente: Hanajima *et al.*, (2010); Mun *et al.*, (2010); Yao *et al.*, (2011); Schiffman, (2001)

### **Carácter**

El carácter de un olor, es la propiedad que identifica a un olor y lo diferencia de otro de igual intensidad. Para evaluarlo, se utilizan descriptores calificativos, con respecto a la percepción del olor (Wayne *et al.*, 2000). En la Tabla 3, se describen algunos descriptores para la evaluación del olor.

**Tabla 3.** Descriptores de olores para la evaluación del carácter

Descriptor principal	Descriptor Secundario	Descriptor principal	Descriptor Secundario	Descriptor principal	Descriptor Secundario	Descriptor principal	Descriptor Secundario	Descriptor principal	Descriptor Secundario
<b>Floral</b>	Almendra	<b>Vegetales</b>	Apio	<b>Ofensivo</b>	Sangre	<b>Químico</b>	Plástico quemado	<b>Medicinal</b>	Alcohol
	Regaliz		Maiz		Rancio		Pintura		Desinfectante
	Canela		Pepino		Huevos podridos		Escape de automovil		Amonio
	Maravilla		Eneldo		Carne cruda		Petróleo		Mentol
	Coco		Ajo		Descomposición		Líquido de limpieza		Anestesia
	Perfumado		Pimienta		Alcantarillado		Plástico		Jabón
	Eucalipto		Nuez		Septico		Carbón		Alcanfor
	Rosas		Papa		Fecal		Resina de creosota		Vinagre
	Aromático		Tomate		Basura		Caucho		Cloro
	Picante		Cebolla		Agrio		Diesel		
	Herbal				Lixiviado de vertedero		Gasolina		
	Vainilla				Leche en mal estado		Disolvente		
	Lavanda				Estiércol		Estireno		
					Vómito		Grasa de Fundición		
		Orina	Alquitrán						
		Mercaptano	Asfalto						
		Pútrido	Keroseno						
<b>Frutal</b>	Manzana	<b>Terroso</b>	Ceniza	<b>Pescado</b>	Amina	Melaza			
	Maple		Almizcle		Peces muertos	Naftalina			
	Cereza		Madera quemada		Pescado	Aguarrás			
	Melón		Humedad			Barniz			
	Citrico		Yeso			Aceite			
	Menta		Turba			Vinagre			
	Clavo de olor		Café			Vinilo			
	Naranja		Pino						
	Uva		Granos						
	Fresa		Ahumado						
	Limón		Hierbas						
	Dulce		Añejo						
			Moho						
			Pantanosos						
	Hongos								

Fuente: Saint Croix Sensory, Inc., (2004)

### ***Tono hedónico***

El tono hedónico, es una propiedad subjetiva del olor, relacionada a su nivel de agrado o desagrado. Para evaluar el tono hedónico, se utiliza una escala de agrado o desagrado, mediante la cual los panelistas califican el tono hedónico del olor (Wayne *et al.*, 2000; Metcalf *et al.*, 2003). El concepto de agrado o desagrado, se determina por la experiencia de cada panelista y sus asociaciones emocionales. Las respuestas de los panelistas, pueden variar dependiendo del tono hedónico de un olor (Wayne *et al.*, 2000).

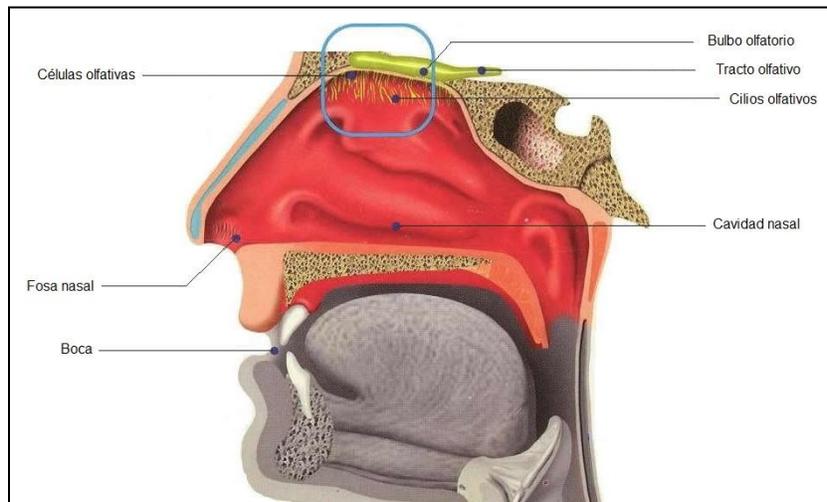
### ***Adaptación***

La adaptación o fatiga olfativa, ocurre cuando un panelista con sentido normal de experiencia del olor, experimenta una disminución de la intensidad percibida, si el estímulo se recibe continuamente. Dependiendo de la intensidad del estímulo, aparece la auto-adaptación y recuperación sensorial, que tienen lugar, durante un tiempo relativamente corto (Wayne *et al.*, 2000). Otro fenómeno, conocido como la habituación o anosmia ocupacional, se produce cuando un trabajador en una situación industrial, experimenta una exposición a largo plazo, desarrollando tolerancia umbral más alta para el olor (Wayne *et al.*, 2000).

### ***Percepción de olores***

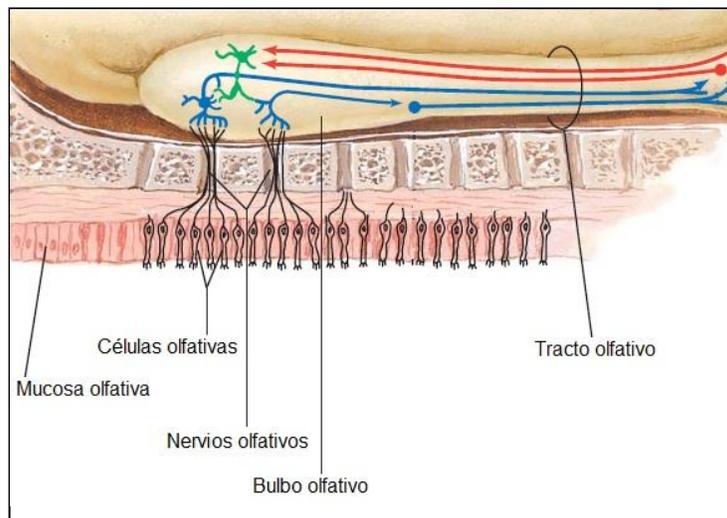
El olfato, está influenciado por la interacción entre el estímulo de los odorantes y los receptores, ubicados en el epitelio olfativo. Los odorantes ingresan a la cavidad nasal por las fosas, en donde se encuentra la membrana olfatoria (Iowa State University, 2004a). La membrana olfatoria, es una zona sensible de 4 a 6 cm<sup>2</sup>, en la cual se encuentran las células olfativas, recubiertas por una capa de mucosidad (Figura 5).

Los cilios del epitelio, se extienden desde las células nerviosas en la capa mucosa, aumentando considerablemente el área de los receptores potenciales (Purves *et al.*, 2007). Los cilios, contienen los últimos receptores olfativos (proteínas especializadas). La anosmia específica, puede ser consecuencia de la incapacidad para sintetizar la proteína correspondiente (Turín *et al.*, 2010).



**Figura 5.** Cavidad nasal y sistema olfativo. Fuente: Purves *et al.*, (2007).

Las células receptoras, transmiten los impulsos al bulbo olfativo, ubicado en la base del cerebro frontal (Figura 6). En el bulbo, las fibras de la nariz entran en contacto con otros nervios, viajando a diferentes partes del cerebro. Unos 100 millones de células receptoras, están presentes en los seres humanos.



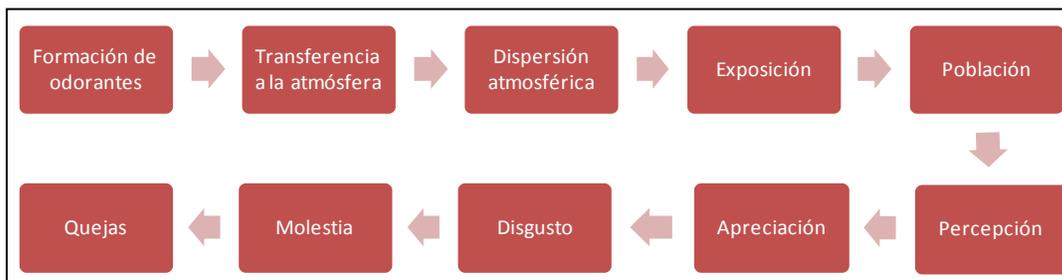
**Figura 6.** Epitelio y bulbo olfativo. Fuente: Hansen & Koeppen, (2002).

### **Efecto del olor**

Dentro de los efectos a la salud, se encuentra la irritación de ojos, nariz, garganta, dolor de cabeza, náuseas, diarrea, dolor de garganta, tos, opresión en el pecho, congestión nasal, palpitaciones, falta de aire, estrés, somnolencia y alteraciones en el estado de ánimo (Schiffman, 1998; Wing & Wolf, 2000).

### 1.2.2 Generación de olores en la industria porcina

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 que se percibe, es el resultado de una mezcla compleja de compuestos en el aire (e.g. alcoholes, aldehídos, aminas, ácidos carboxílicos, ésteres, cetonas, sulfuros orgánicos, terpenos, compuestos aromáticos, ácido sulfhídrico o H<sub>2</sub>S, amoníaco o NH<sub>3</sub>, entre otros) (Blanes-Vidal *et al.*, 2009). La producción de olores en el purín animal, es el resultado de una incompleta descomposición anaeróbica de sustratos orgánicos, principalmente proteínas e hidratos de carbono fermentables, provenientes del alimento (Mackie *et al.*, 1998). La importancia de la composición del alimento en la generación de olor, radica debido a que a partir de este tipo de alimentación rica en nutrientes como nitrógeno y azufre, se generan gases amoniacales y sulfurados, principalmente, como productos de la descomposición de excretas y purines (INIA, 2005). Las proteínas, son los precursores de los compuestos sulfurados, indólicos, fenólicos, ácidos grasos volátiles (AGVs), amoníaco (NH<sub>3</sub>) y aminas volátiles en el estiércol (Mackie *et al.*, 1998; Aarnik *et al.*, 2007). La Figura 7, resume el proceso de generación de olores en la industria porcina, que se inicia en la formación de odorantes y termina en el proceso de quejas, por parte de la comunidad.



**Figura 7.** Proceso de generación de olores. Fuente: EPA, (2001).

Los compuestos olorosos, se generan en el purín y posteriormente se emiten al aire, por mecanismos de transferencia de masa. La Tabla 4, presenta información relacionada, sobre las concentraciones de olor (CO) y odorantes, según distintos sistemas de producción porcina. Blanes-Vidal *et al.*, (2009), encontraron compuestos amoniacales, azufrados, orgánicos volátiles y aromáticos asociados a umbrales de detección entre 120.9 – 792.3 OU/m<sup>3</sup>.

En este trabajo, se observaron diferencias entre la concentración del olor (CO), para las distintas fases de crecimiento (maternidad, destete y engorda) y tipo de purín (fresco o almacenado), no siendo estas significativas ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, se puede observar que a pesar que el amonio está a concentraciones mayores (4.9 – 79.0 mg/L), respecto a los AGVs (11.3 – 151.8 ug/m<sup>3</sup>), los umbrales de detección, también son mayores a los requeridos por los AGVs (Ver Tabla 2).

**Tabla 4.** Concentración de olor y odorantes en purines, según sistema de producción

Tipo	Compuesto	Unidad	Maternidad		Destetados		Engorda	
			Fresco	Almacenado	Fresco	Almacenado	Fresco	Almacenado
Concentración de olor	CO	OU/m <sup>3</sup>	376,5	244,9	792,3	146,7	120,9	140,3
Compuestos Nitrogenados	Amonio	mg/L	23,4	44,0	34,2	79,0	4,9	14,0
Compuestos Azufrados	Acido sulfhidrico	mg/L	205,4	83,9	148,7	23,9	24,7	24,1
	Dimetiltrisulfuro	µg/m <sup>3</sup>	4,0	2,2	8,4	3,8	9,9	2,5
	Dimetildisulfuro	µg/m <sup>3</sup>	7,7	6,2	16,6	8,1	25,5	10,3
	Dimetilsulfuro	µg/m <sup>3</sup>	2,2	2,4	3,6	2,2	27,3	2,0
Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	1-Butanol	µg/m <sup>3</sup>	8,4	2,3	3,9	2,9	18,2	5,1
	3-Metil butanal	µg/m <sup>3</sup>	2,7	4,7	2,5	7,6	1,9	5,5
	Hexanal	µg/m <sup>3</sup>	2,2	2,0	1,9	2,0	2,2	2,4
	Heptanal	µg/m <sup>3</sup>	2,2	2,0	1,9	2,0	2,1	2,0
	Octanal	µg/m <sup>3</sup>	2,2	2,0	1,9	2,0	2,1	2,6
	Nonanal	µg/m <sup>3</sup>	6,6	5,0	4,8	5,0	4,9	5,0
	Trimetilamina	µg/m <sup>3</sup>	5,6	5,0	4,8	5,0	4,9	5,0
	Acido acetico	µg/m <sup>3</sup>	108,3	75,7	90,4	92,9	146,7	151,8
	Acido propanoico	µg/m <sup>3</sup>	73,5	55,5	53,6	50,0	87,9	59,4
	Acido 2-metil propanoico	µg/m <sup>3</sup>	5,1	4,7	2,1	5,4	4,0	13,1
	Acido butanoico	µg/m <sup>3</sup>	25,4	19,2	11,4	11,3	83,4	66,4
	Acido 3-metil butanoico	µg/m <sup>3</sup>	4,7	3,9	1,9	2,4	8,6	13,2
	Acido pentanoico	µg/m <sup>3</sup>	17,1	12,8	10,3	10,0	40,6	28,1
	Acido 4-metil pentanoico	µg/m <sup>3</sup>	2,2	2,0	1,9	2,0	2,7	2,2
	Acido hexanoico	µg/m <sup>3</sup>	12,8	9,4	4,8	5,0	71,6	39,6
	Acido heptanoico	µg/m <sup>3</sup>	3,2	2,0	2,1	2,0	6,5	2,3
	Butilacetato	µg/m <sup>3</sup>	2,2	2,0	1,9	2,0	2,1	2,0
	Compuestos aromáticos	2,3-Butanodiona	µg/m <sup>3</sup>	2,2	2,0	1,9	3,4	1,9
3-Hidroxi-2-butanona		µg/m <sup>3</sup>	5,6	5,0	5,3	5,0	5,4	5,0
Acetofenona		µg/m <sup>3</sup>	2,8	2,0	2,2	2,7	2,9	2,3
Alfa-pineno		µg/m <sup>3</sup>	3,8	2,0	2,8	3,1	6,5	5,0
D-3-Careno		µg/m <sup>3</sup>	3,4	2,0	2,4	2,3	5,2	3,3
D-Limoneno		µg/m <sup>3</sup>	3,8	3,0	4,6	5,0	4,1	3,4
Tolueno		µg/m <sup>3</sup>	81,3	36,6	54,0	77,3	140,6	239,8
Fenol		µg/m <sup>3</sup>	20,8	11,7	91,7	35,1	42,4	44,2
4-Etil fenol		µg/m <sup>3</sup>	30,7	7,4	124,4	60,0	63,2	31,2
Indol		µg/m <sup>3</sup>	3,7	1,7	11,6	5,7	13,2	3,4
Piridina		µg/m <sup>3</sup>	2,2	2,0	2,1	2,0	2,5	2,0

Fuente: Blanes *et al.*, (2009).

## Características físico-químicas de purines porcinos

Muchas técnicas de control de olor, tienen por objeto, alterar las características físico-químicas; como la concentración de compuestos químicos específicos en la mezcla, el pH, la temperatura, la materia seca o sólidos volátiles por la manipulación nutricional de la dieta o mediante la aplicación de aditivos microbianos o químicos (EPA, 2001; Lyngbye *et al.*, 2006). Los vínculos entre la composición de la mezcla, las emisiones de olor en el aire, no han sido bien establecidos (Miller & Varel, 2003). La determinación de los compuestos químicos y las variables físicas en la mezcla, es un paso importante hacia el desarrollo de técnicas eficaces en la reducción de olores. Sin embargo, Blanes-Vidal *et al.*, (2009), encontraron que las características físico-químicas no pueden ser utilizadas como únicos indicadores en la CO; si no que deben ser empleadas junto a técnicas, que permitan la determinación de olores individuales específicos en el aire. La Tabla 5, muestra un resumen sobre las características físico-químicas de purines provenientes de distintos sistemas productivos.

**Tabla 5.** Caracterización físico-química de purines según sistema productivo

Sistema Productivo		PCC	Maternidad	Gestacion	Destetados	Engorda	Referencias
Parámetro	Unidad	Promedio					
pH		7,46	7,31 ± 0,22	n/d	6,45 ± 0,21	7,32 ± 0,21	1,2, 5, 6 y 7
CE	mS / cm	16,18 ± 1,49	14,57 ± 1,54	15,60	13,2	19,85 ± 9,51	2, 3, 5 y 6
DBO <sub>5</sub>	g O <sub>2</sub> / L	14,20	9,00	11,70	25,00	21,60	3
DQO	g O <sub>2</sub> / L	31,60	24,00	30,80	65,20	41,03 ± 21,74	3 y 7
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	kg / m <sup>3</sup>	2,51 ± 0,11	2,05 ± 0,35	2,35	2,30	3,67 ± 1,01	2, 3 y 7
Nitrógeno Amoniacal Total (NAT)	kg / m <sup>3</sup>	1,92	1,63 ± 0,22	1,92 ± 0,13	1,53	2,70 ± 0,93	2, 3, 4 y 5
Fósforo Total	kg / m <sup>3</sup>	1,25	1,37	n/d	n/d	1,39	2
Alcalinidad Total	g CaCo <sub>3</sub> / L	n/d	n/d	n/d	n/d	12,06 ± 0,79	6 y 7
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	g / L	n/d	2,30 ± 0,14	n/d	2,3 ± 0,00	2,69 ± 0,98	1 y 6
Sólidos Volátiles	g / L	n/d	n/d	n/d	n/d	12,49	7
Sólidos Totales	g / L	n/d	n/d	n/d	n/d	22,20	7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	g / L	n/d	n/d	n/d	2,30	0,40	6

1) Blanes-Vidal *et al.*, (2009); 2) Martínez-Suller, (2008); 3) Moral *et al.*, (2008); 4) Parera *et al.*, (2008); 5) Provolo & Martínez-Suller., (2007). 6) Villamar *et al.*, (2011). 7) Massé *et al.*, (2003). PCC: Producción combinada de cerdos, CE: Conductividad eléctrica, DQO: Demanda química de Oxígeno. DBO: Demanda biológica de Oxígeno. n/d: No determinado

Blanes-Vidal *et al.*, (2009), encontraron que la mayor relación con la CO, fue correlacionada ( $r^2 = 0.81 \pm 0.16$ ), con los compuestos azufrados (Acido Sulhídrico, Sulfuro de Dimetilo, Dimetil Disulfuro y el Dimetil Trisulfuro), presentes en purines de las primeras etapas de crecimiento, variando y compitiendo con el NH<sub>3</sub> en las últimas fases de crecimiento porcino. En esta investigación, también se determinó, que la concentración de H<sub>2</sub>S, representa el 68% de la variación, de la concentración de olor.

### ***Relación de la digestión anaeróbica incompleta: con la generación de olor***

La producción de olores en el purín, se relaciona con la descomposición anaeróbica incompleta de distintos sustratos orgánicos (proteínas e hidratos de carbono), provenientes del alimento (Mackie *et al.*, 1998).

La generación de olores, es un proceso complejo que involucra muchas especies bacterianas presentes en la digestión anaeróbica incompleta, las que producen una amplia gama de compuestos orgánicos volátiles, durante el almacenamiento. La población bacteriana autóctona en purines porcinos, durante el almacenamiento, genera compuestos intermediarios (ácidos grasos volátiles y amoníaco) procedentes de la digestión anaerobia (Mackie, 1994; Zhu, 1999). Dentro de la microbiota normal presente en el estiércol porcino, se encuentran principalmente los géneros *Streptococcus sp.*, *Streptococcus sp.*, *Peptostreptococcus sp.*, *Staphylococcus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Escherichia sp.* y *Bacillus sp.* (Zhu, 1999).

En la Tabla 6, se resumen los compuestos odoríferos potenciales de cada género bacteriano. Los géneros bacterianos, involucrados en la producción de ácidos grasos volátiles, corresponden a *Peptostreptococcus sp.*, *Eubacteria sp.*, *Bacteroides sp.*, *Streptococcus sp.*, *Escherichia sp.*, *Megasphaera sp.*, *Propionibacterium sp.*, *Lactobacillus sp.* y *Clostridium sp.*, para el caso de la producción de Indoles y Fenoles, se pueden tener *Propionibacterium*, *Escherichia*, *Eubacteria*, y *Clostridium*; mientras que para la producción de amoníaco y aminas volátiles *Streptococcus sp.*, *Peptostreptococcus sp.* y *Bacteroides sp.* Finalmente, en compuestos volátiles azufrados, el género bacteriano involucrado, corresponde a *Megasphaera sp.*.

**Tabla 6.** Microbiota normal presente en el estiércol porcino y sus compuestos odorantes

Género bacteriano	Compuestos odoríferos potenciales
<i>Streptococcus</i>	Acido Fórmico, Acético, Propiónico, Butírico, Amoniaco y Aminas volátiles
<i>Peptostreptococcus</i>	Acido Fórmico, Acético, Propiónico, Butírico, Iso-Butírico, Valérico, Caproico, Formico, Iso-Valérico, amoniaco, Aminas volátiles y ácidos Iso-Caproico
<i>Eubacterium</i>	Acido Fórmico, Acético, Propiónico, Butírico, Iso-Butírico, Valérico, Caproico, Iso-Valérico, Iso-Caproico, Indoles y Fenoles
<i>Lactobacilli</i>	Acido Fórmico, Acético, Propiónico y Butírico
<i>Escherichia</i>	Acido Fórmico, Acético, Propiónico y Butírico
<i>Clostridium</i>	Acido fórmico, Acético, Propiónico, Butírico, Iso-Butírico, Valérico, Caproico, Iso-Valérico, Iso-Caproico, Indoles y Fenoles
<i>Propionibacterium</i>	Acido fórmico, Acético, Propiónico, Butírico, Iso-Butírico, Valérico, Caproico, Iso-Valérico, Iso-Caproico, Indoles y Fenoles
<i>Bacteroides</i>	Acido Fórmico, Acético, Propiónico, Butírico, Iso-Butírico, Valérico, Caproico, Iso-Valérico, Iso-Caproico, Amoniaco y Aminas volátiles
<i>Megasphaera</i>	Acido Fórmico, Acético, Propiónico, Butírico, Iso-Butírico, Valérico, Caproico, Iso-Valérico, Iso-Caproico, Compuestos Azufrados volátiles

Fuente: Zhu, (1999).

De acuerdo a la Tabla 7, el género *Clostridium sp.*, tiene la gama más amplia de temperatura (15-60 °C) y pH (6,5-7,0). Por lo tanto, en comparación con otros géneros bacterianos, *Clostridium sp.*, podría ser más activa en la producción de ácidos grasos, en el entorno del almacenamiento de estiércol real, especialmente a bajas temperaturas (Zhu, 1999). A 20 °C, los géneros bacterianos predominantes corresponden a *Eubacteria sp.* y *Clostridium sp.* A 35 °C, los géneros bacterianos predominantes corresponden a *Peptostreptococcus sp.*, *Eubacteria sp.*, *Clostridium sp.*, *Propionibacterium sp.*, *Bacteroides sp.* y *Megasphaera sp.*; siendo óptima para *Peptostreptococcus sp.*, *Clostridium sp.* y *Propionibacterium sp.* Finalmente, a 55 °C, el género bacteriano predominante corresponde a *Clostridium sp.* Para pH 6,0; los géneros bacterianos predominantes corresponden a *Peptostreptococcus sp.* y *Bacteroides sp.* En el caso del pH 7,0 los géneros bacterianos predominantes corresponden a *Peptostreptococcus sp.*, *Eubacteria sp.*, *Clostridium sp.*, *Propionibacterium sp.*, *Bacteroides sp.* y *Megasphaera sp.* Finalmente, para el caso del pH 8,0 los géneros bacterianos predominantes corresponden a *Peptostreptococcus sp.*, *Bacteroides sp.* y *Megasphaera sp.*

**Tabla 7.** Rangos de temperatura y pH para el crecimiento bacteriano

Género bacteriano	pH	Temperatura (°C) <sup>a</sup>
<i>Peptostreptococcus</i>	6,0-8,0	25-45 (35-37)
<i>Eubacteria</i>	6,5-7,5	20-45 (37)
<i>Clostridium</i>	6,5-7,0	15-69 (30-37)
<i>Propionibacterium</i>	6,5-7,5	30-37 (35)
<i>Bacterioides</i>	5,0-8,5	25-45 (37)
<i>Megasphaera</i>	7,4-8,0	25-40 (30)

<sup>a</sup> Numeros en parentesis corresponden a condiciones óptimas

Fuente: Zhu, (1999).

### **Relación de la estructura química con la percepción del olor**

El sentido del olfato, sigue siendo uno de los órganos del cuerpo menos conocido, debido a la forma en la que percibe y describe olores. La complejidad de las relaciones estructura-olor, y el hecho de que la estructura tridimensional del sitio receptor, en las células olfativas es desconocida, hacen que sea muy difícil de aplicar relaciones cuantitativas convencionales, de estructura-actividad (Turín *et al.*, 2009). Algunos estudios, han intentado calcular, tanto la estructura tridimensional del receptor y su interacción con el olor (Singer, 2000, Floriano *et al.*, 2000).

Dentro de los requisitos generales para un odorante, se encuentra la volatilidad, hidrofobicidad, peso molecular (<300 Dalton) (Turín *et al.*, 2009; Iowa State University, 2004b) y número mínimo de partículas olorosas, que deben estar en contacto con los receptores (Iowa State University, 2004b). Estos requisitos tienen sentido físico, ya que la molécula, debe llegar a la nariz y atravesar las membranas olfativas. El tamaño, se relaciona con una limitación biológica (Turín *et al.*, 2009).

La presión de vapor (volatilidad), desciende rápidamente con el tamaño molecular; sin que esto sea la razón por la que las moléculas más grandes no tengan olor, debido a que algunos olores más fuertes (*e.g.* esteroides), son producidos por moléculas de gran tamaño (4000 Dalton) (Turín *et al.*, 2010). Los compuestos olorosos, son responsables de producir estrés psicológico, pero el mecanismo exacto, no se ha comprendido en su totalidad. Una de las dificultades en el desarrollo de una teoría universal, ha sido la explicación adecuada, de por qué compuestos con estructuras similares, pueden tener olores diferentes, y por qué compuestos con estructuras muy diferentes, pueden tener olores similares (Metcalf *et al.*, 2003).

En la actualidad, existe una teoría ampliamente aceptada, sobre la relación estructura-olor, basándose en fragmentos de forma molecular u odótopos (Turín *et al.*, 2009).

- Teoría basada en la forma: Odótopos

Según investigaciones, los receptores olfativos, responden a más de un olor, lo que sugiere que no se detecta la presencia de toda la molécula, sino de una parcial de su función estructural, conocido como odótopo. Según la teoría del odótopo, el olor de una molécula es entonces debido al patrón, es decir, la excitación relativa de un número N de receptores a los que se une (Turín *et al.*, 2010).

En la Tabla 8, se observan compuestos con distinta estructura y peso molecular, que tienen descriptores de olor similares. Por ejemplo, el Cloro (Cl<sub>2</sub>) y Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), que presentan un carácter similar, muestran estructuras químicas distintas.

**Tabla 8.** Carácter, fórmula química y peso molecular de distintos compuestos olorosos

Compuesto oloroso	Formula Química	Peso Molecular (g/mol)	Descriptor
Amonio	NH <sub>3</sub>	17,00	Amoniacal, penetrante
Cloro	Cl <sub>2</sub>	71,00	Penetrante, sofocante
Mercaptano Crotílico	CH <sub>3</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -SH	90,19	Mofeta
Dimetil Sulfato	CH <sub>3</sub> -S-CH <sub>3</sub>	62,00	Vegetales en descomposición
Difenil Sulfato	(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> S	186,00	Desagradable
Etil Mercaptano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -SH	62,00	Vegetales en descomposición
Acido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	34,00	Huevos podridos
Indol	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> NH	117,00	Fecal, nauseabundo
Metil Amina	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31,00	Pútrido, pescado
Metil Mercaptano	CH <sub>3</sub> SH	48,00	Vegetales en descomposición
Escatol	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N	131,00	Fecal, nauseabundo
Dióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	64,07	Penetrante, irritante
Tiocresol	CH <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> -SH	124,00	Mofeta, Rancio

Fuente: Metcalf *et al.*, (2003).

### 1.2.3 Detección de olores

Para la estimación del olor, existen 2 enfoques generales: técnicas analíticas (relacionadas a los compuestos) y técnicas sensoriales (relacionadas al olor) (Blanes-Vidal, 2008). En las técnicas analíticas, las concentraciones de los compuestos odoríferos, se miden de manera individual, a través de cromatografía de gas por desorción térmica, acoplado a masa (TD-GC/MS), siendo la más usada para identificar y cuantificar odorantes en la industria ganadera (Hobbs *et al.*, 1995).

### **Dilución hasta el umbral**

La olfatometría de dilución por umbral, es una técnica sensorial utilizada, para evaluar la concentración de olores, en la cual el olor, se mide determinando el factor de dilución con aire puro y requerido para alcanzar el umbral de detección (Metcalf *et al.*, 2003; Wayne *et al.*, 2000). Los resultados de la dilución de olores hasta el umbral, se expresan como una proporción sin dimensiones llamada Z. Si  $v$ , el volumen de una muestra de olor, se diluye hasta un volumen total de  $V$  ( $V$  es el volumen de olor diluido a nivel de umbral), la relación es  $Z = V/v$ .  $Z$  es independiente de las unidades volumétricas. (Metcalf *et al.*, 2003). De esta forma, la ecuación que considera el factor de dilución, hasta el umbral es la siguiente:

$$Z = \frac{\text{Volumen de aire puro}}{\text{Volumen de aire oloroso}}, \quad [D-T, \frac{OU}{m^3}, \frac{OU_E}{m^3}] \quad \text{Ec (3)}$$

De acuerdo a los estándares europeos, la concentración de olor (OC, en OU/m<sup>3</sup>) de una muestra gaseosa, es el número de diluciones con un gas neutral, a la cual el 50% de los panelistas no pueden detectar olor en la muestra de aire (Blanes-Vidal, 2008).

- Olfatometría dinámica

Un olfatómetro dinámico, es un instrumento que determina los umbrales de olor, y consiste en un sistema de control electrónico de válvulas, ayudado de un software. Este equipo, divide un flujo de aire entre cuatro voluntarios (panelistas). La muestra de olor, se diluye según la concentración indicada por el software. Cada flujo de muestra que llega a los panelistas, se duplica respecto al anterior. Además, los flujos se alternan con el aire sin olor (Benzo *et al.*, 2007).

Los panelistas, indican la presencia de olor pulsando un botón. Cuando cada panelista, ha acertado dos flujos olorosos consecutivos, el análisis se detiene y el umbral de olor se calcula, como la media geométrica. En la Figura 8, se observa la aplicación de la determinación del umbral de detección, mediante olfatometría dinámica.



**Figura 8.** Determinación del umbral de detección mediante olfatometría dinámica

- Olfatometría de campo

La olfatometría de campo, es una herramienta que permite evaluar *in situ* el umbral de detección de olores ambientales, mediante la técnica de “Dilución hasta el Umbral” (D-T). Estos instrumentos portátiles de tipo nasal organoléptico, permite cuantificar olores ambientales, mezclando volúmenes discretos del olor ambiental, con aire limpio (filtrado) en proporciones (cocientes) predeterminadas (Saint Croix Sensory, Inc., 2004).



**Figura 9.** Determinación del umbral de detección mediante olfatometría de campo

#### 1.2.4 Normativas aplicables a la olfatometría

##### ***Norma Chilena NCh 3190. Calidad del aire - Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica***

Esta norma, define un método para la determinación objetiva de la concentración de olor de una muestra gaseosa, usando olfatometría dinámica con panelistas humanos. Es aplicable, para determinar la velocidad de emisión de olores de fuentes puntuales, superficiales con flujo hacia el exterior y fuentes superficiales sin flujo hacia el exterior.

- Esta norma especifica:

- La medida de la concentración másica del umbral de detección, de las sustancias olorosas puras en  $g/m^3$ .

- La medida de la concentración de olor de mezclas de sustancias olorosas en  $OU_E/m^3$  ( $OU_E$ : Unidad de olor europeo).

- La medida de la velocidad de emisión de emisiones olorosas, de fuentes puntuales y fuentes superficiales (con y sin flujo hacia el exterior), incluyendo pre-dilución durante el muestreo.

- El muestreo de sustancias olorosas de emisiones de alta humedad y temperatura (hasta 200 °C).

- La determinación de la eficiencia en la remoción de olores, del sistema instalado para ello.

- Esta norma no aplica a:

- La medida de olores, potencialmente relacionados con partículas de sólidos olorosos suspendidos en las emisiones.

- La estrategia de medida, ha aplicar en caso de velocidades variables de emisión.

- La medida de la relación, entre el estímulo de olor y la respuesta del panelista por encima del umbral de detección.

- La medida del tono hedónico (agrado-desagrado) o evaluación directa de molestia potencial.

- Método de paneles de campo.

- Medida de umbrales de reconocimiento.

- Medida de umbrales de identificación.

***Norma ASTM E 544 Standard Practices for Referencing Suprathreshold Odor Intensity***

Esta norma, define la intensidad del olor, utilizando un olor de referencia ( $\eta$ -butanol). Se utiliza el  $\eta$ -butanol, como estándar debido a que es un químico común, alta pureza (disponible en >99,9% de pureza molar), no-tóxico (excepto en dosis multi-gramos), estabilidad en presencia de aire y agua y olor no relacionado.

***Norma ASTM E 679 Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds By a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits***

Esta norma, define la metodología de determinación de los umbrales de olor y gusto, mediante el método de elección forzada, con concentración ascendente. Esta norma, define que durante la evaluación del olor, la escala de concentración de las muestras de olor, debe aumentar en incrementos geométricos. En cada etapa de concentración, se deben presentar dos muestras en blanco (sin olor) y una muestra olorosa. La elección forzada, se refiere a que una vez que se presentan las muestras (blanco y olor), el panelista identifica necesariamente una de las tres muestras presentadas como olorosa.

## **2 HIPÓTESIS**

Existe relación entre la variación de las características físico-químicas de los purines porcinos, debido a cambios en la temperatura y pH, durante el almacenamiento, que se asocian con la generación de olor en la producción porcina.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo General**

Evaluar la generación de olores, debido al almacenamiento de purines de un plantel porcino en la Región del Bío-Bío y relacionarlo con las características físico-químicas (Nitrógeno amoniacal y relación de alcalinidad  $A_I/A_T$ ), debido a cambios en la temperatura (20 a 55 °C) y pH (6,0; a 8,0) durante el almacenamiento.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- i. Generar una metodología de medición de olores en la industria porcina, utilizando olfatometría.
- ii. Identificar el factor (temperatura y pH) que mayor influencia tiene en la generación de olor.
- iii. Establecer la relación entre variables físico-químicas ( $N-NH_4^+$  y  $A_I/A_T$ ) y la generación del olor.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se describe la metodología aplicada, durante el desarrollo de esta investigación, la cual se llevó a cabo como se indica a continuación.

### 4.1 Generación de una metodología de medición de olores en la industria porcina, utilizando olfatometría

Para que un panelista, se considere apto para la evaluación del umbral de detección e identificación, fue necesario aplicar, el test de sensibilidad olfativa. Este test, se encuentra incluido dentro del olfatómetro de campo Nasal Ranger® (Saint Croix Sensory Inc., 2004). El objetivo de este procedimiento estándar, fue determinar el umbral olfativo (sensibilidad de olor), de un individuo, a un olor estándar. El olor estándar utilizado, correspondió al  $\eta$ -butanol (estándar ASTM E 544). El olor del  $\eta$ -butanol, se encuentra en una serie de diluciones (15), dentro de los lápices de olor (Sniffin Stick's) (Figura 10), existentes dentro del equipo. La presentación de los lápices de olor, se realizó según el estándar ASTM E 679.



**Figura 10.** Lápices de olor con  $\eta$ -butanol

Estos lápices de olor, son presentados al panelista en un orden predeterminado (3 tipologías de orden) y se compara un lápiz con olor vs. un lápiz en blanco, presentado dos veces. El panelista, quien se encuentra con los ojos vendados, debe elegir necesariamente entre los lápices presentados y determinar, cuál de ellos presenta olor (elección forzada), con suposición (si no diferencia olor) o detección (si diferencia olor). Los lápices son presentados al panelista, por 3 segundos, a 1,27 cm por debajo de cada fosa nasal, como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11.** Presentación del lápiz de olor al panelista

La metodología de medición de olores, consistió en el almacenamiento de 1 L de purín, en reactores batch a temperatura constante (20 °C), monitoreados durante 7 días. Para mantener la temperatura de almacenamiento constante, se utilizó un termostato Memmert modelo D-91126. La determinación del umbral de detección (UD) e identificación (UI), consistió en la toma de muestras de purín, siendo diluidas al 50, 25, 12,5 y 6,25% con agua destilada, en matraces aforados de 50 y 100 mL. Preparadas las diluciones, se realizó la determinación del umbral de detección, utilizando un olfatómetro de campo Nasal Ranger® Package NR001, el cual determina los resultados en unidades de D-T.

Las diluciones, se expresan en unidades de D-T, según la siguiente expresión:

$$D - T = \frac{\text{Vol. aire. filtrado}}{\text{Vol. aire. oloroso}} \quad \text{Ec (6)}$$



**Figura 12.** Olfatómetro de campo Nasal Ranger® (Saint Croix Sensory)

Para el control de la temperatura, fue utilizado un equipo multiparamétrico Oakton modelo PC 650 y un termostato Memmert modelo D-91126 (Figura 13); utilizando frascos de polietileno de 1000 mL, como sistema de almacenamiento.



**Figura 13.** Equipo multiparamétrico Oakton PC 650 (Rice Engineering & Operating Ltd.)

Para la estimación del umbral de detección, se efectuó la medición de este parámetro, utilizando el olfatómetro de campo Nasal Ranger. Este dispositivo, realiza una serie de diluciones de la muestra olorosa (2, 4, 7, 15, 30 o 60 veces).

El umbral de detección (UD), corresponde al número de diluciones necesarias, para poder diferenciar una muestra de aire puro, de una olorosa; pero sin llegar a identificar la muestra. Por otro lado, el umbral de identificación (UI); corresponde al número de diluciones necesarias, para poder identificar la muestra olorosa.

## 4.2 Identificación del factor (temperatura y pH) que mayor influencia tiene con la generación de olor y su relación las variables físico-químicas

### 4.2.1 Diseño experimental

Las muestras de purín, se obtuvieron de un plantel de engorda de la Región del Bío-Bío. Las muestras, fueron tomadas después del tratamiento primario (sedimentador) y almacenadas en contenedores de polietileno a 4°C, para evitar la degradación. El diseño experimental, consistió en el almacenamiento del purín en sistemas batch a tres temperaturas ( $T_1$ : 35,  $T_2$ : 55 y  $T_3$ : 20 °C) y cuatro valores de pH ( $pH_1$ : 6,0;  $pH_2$ : 6,5;  $pH_3$ : 7,0 y  $pH_4$ : 8,0).

**Tabla 9.** Diseño experimental aplicado a la evaluación de la generación del olor

Variable	pH <sub>1</sub> (6,0)	pH <sub>2</sub> (6,5)	pH <sub>3</sub> (7,0)	pH <sub>4</sub> (8,0)
T <sub>1</sub> (20 °C)	T <sub>1</sub> pH <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> pH <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> pH <sub>3</sub>	T <sub>1</sub> pH <sub>4</sub>
T <sub>2</sub> (35 °C)	T <sub>2</sub> pH <sub>1</sub>	T <sub>2</sub> pH <sub>3</sub>	T <sub>2</sub> pH <sub>3</sub>	T <sub>2</sub> pH <sub>4</sub>
T <sub>3</sub> (55 °C)	T <sub>3</sub> pH <sub>1</sub>	T <sub>3</sub> pH <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> pH <sub>3</sub>	T <sub>4</sub> pH <sub>4</sub>

La simulación de la temperatura de almacenamiento del purín, consideró condiciones psicrófila (20,0 °C), mesófila (35 °C) (Montalvo & Guerrero, 2004) y termófila (55,0 °C) (Hafnet *et al.*, 2009; Espinoza-Escalante *et al.*, 2009; Ugwanyi *et al.*, 2005). La producción de compuestos olorosos ( $\text{NH}_3$  y AGVs), presentes en purines porcinos, se encuentran presentes en todas las temperaturas; sin embargo, el incremento de la temperatura suele aumentar su concentración (Espinoza-Escalante *et al.*, 2009; Ugwanyi *et al.*, 2005).

El pH fue modificado, con el objetivo de optimizar la producción de  $\text{NH}_3$  (8,0) (Hafnet *et al.*, 2009; Espinoza-Escalante *et al.*, 2009) y AGVs (6,0) (Espinoza-Escalante *et al.*, 2009; Ugwanyi *et al.*, 2005). Para el control del pH de las muestras de purín, se utilizaron soluciones de 1,5 y 10 N de HCl y NaOH. El monitoreo de los valores de pH, se realizó mediante un equipo multiparamétrico Oakton PC 650.



**Figura 14.** Reactores batch con control de temperatura y pH

#### **4.2.2 Análisis analítico**

La evaluación en el tiempo, de las características físico-químicas de los purines, se realizó mediante la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Sólidos Suspendidos Totales/Volátiles (SST/SSV) mediante lo descrito por el Standard Methods EPA-APHA-AWWA-WPCF (1985). La evaluación de Nitrógeno Total ( $\text{N}_T$ ), Fósforo Total ( $\text{P}_T$ ), mediante kits específicos de spectroquant NOVA 60. La Alcalinidad total ( $\text{A}_T$ ), parcial ( $\text{A}_P$ ) e intermedia ( $\text{A}_I$ ), son evaluadas mediante lo descrito por Ripley *et al.* (1985). Las muestras se filtraron a través de una membrada de borosilicato con un tamaño de poro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Es importante mencionar, que la relación  $\text{A}_I/\text{A}_T$  es utilizada para determinar la acumulación de AGVs. Valores superiores al rango entre 0,3-0,4, implican una acumulación de AGVs en el sistema (WPCF, 1966; Mosquera, 1998; Campos, 2001). Finalmente, se evaluaron parámetros potenciométricos (pH, temperatura, potencial redox), mediante un equipo multiparamétrico Oakton PC 650.

### 4.2.3 Análisis estadístico

Para la identificación del factor (temperatura y pH), que mayor influencia, tuvo en la generación de olor, se realizó un análisis de varianzas. Previamente, se evaluó normalidad (Test Shapiro Wilks) y homogeneidad de varianzas (Test de Levene). La independencia, fue asumida considerando sistemas Batch, independientes uno de otro. Para los datos que no cumplieron los supuestos distribucionales, se aplicó un test no-paramétrico (Kruskal-Wallis).

Por otro lado, para el establecimiento de la relación entre las variables físico-químicas y la generación del olor, se construyeron matrices de correlación, relacionándose las distintas variables fisicoquímicas ( $\text{N-NH}_4^+$ ,  $A_I/A_T$  y Potencial Redox) con la generación del olor. Previamente, se comprobó normalidad en los datos (Shapiro Wilks). Si los conjuntos de datos no cumplen con los supuestos de normalidad, se aplicó el test de Pearson; en caso contrario el test de Spearman. La aplicación de estos test permitió, determinar el coeficiente de correlación (R).

El análisis estadístico, se realizó mediante el software Infostat 2011p (Di Rienzo *et al.*, 2009).

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se presentan los resultados y la discusión a partir de los objetivos específicos planteados en el Capítulo 3.

### 5.1 Caracterización general

La Tabla 10, muestra los resultados obtenidos de la caracterización físico-química del purín. Esta caracterización general se realizó al inicio de las experiencias, una vez obtenido el purín del plantel porcino estudio. Se encontraron altos valores de conductividad eléctrica (17,79 mS/cm), alcalinidad ( $A_T$ ,  $A_I$ ,  $A_P$ ; 12,06, 5,67 Y 2,75 g  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), materia orgánica ( $\text{DBO}_5$ , DQO; 9,9 y 22,57 g  $\text{O}_2/\text{L}$ ), nutrientes ( $N_T$ , 5,40 g/L) y sólidos (SSV, SST,  $S_T$ ; 1,45, 5,96, 15,6 g/L). Estos valores, son característicos para purines, provenientes desde la etapa de engorda (Blanes-Vidal *et al.*, 2009; Moral *et al.*, 2008; Provoló & Martínez-Suller, 2007). El pH, se encontró dentro del rango 6,57-6,61. Moral *et al.* (2008), encontraron que valores de  $\text{pH} > 7.9$ , favorecen la formación de  $\text{NH}_3$ . Según Martínez-Suller *et al.* (2008), la alta conductividad eléctrica (17,74-17,84 mS), se relaciona con el contenido de sal (e.g.  $\text{Cl}^-$ ) y proteico en la dieta animal (e.g.  $\text{NH}_4^+$ ). Para el caso del  $N_T$ , la mayor parte (>70%), corresponde a formas amoniacaes ( $\text{N-NH}_4^+$ ) (Parera *et al.*, 2010). Por otro lado, la materia orgánica ( $\text{DBO}_5$  y DQO), también se encuentra representada, principalmente por el contenido de proteínas e hidratos de carbono, provenientes del alimento (Mackie *et al.*, 1998).

Tabla 10. Caracterización general del purín

Parámetro	Unidad	Promedio	Referencia	
pH	-	6,59 ± 0,03	7,32 ± 0,21	1,2,4,5 y 6
CE	mS / cm	17,79 ± 0,07	19,85 ± 9,51	2,3,4 y 5
PR	mV	-304,05 ± 8,98	-319,00	6
DQO	g $\text{O}_2$ / L	22,57 ± 0,70	41,03 ± 21,74	3 y 6
$\text{DBO}_5$	g $\text{O}_2$ / L	19,9 ± 0,42	21,6	3
$A_T$	g $\text{CaCO}_3$ / L	9,25 ± 0,49	12,06 ± 0,79	5 y 6
$A_I$	g $\text{CaCO}_3$ / L	4,77 ± 0,36	5,67	3
$A_P$	g $\text{CaCO}_3$ / L	4,47 ± 0,13	2,75	3 y 6
$N_T$	g / L	5,40 ± 0,14	3,8	6
$\text{N-NH}_4^+$	g / L	4,47 ± 0,32	2,69 ± 0,98	1 y 5
$P_T$	g / L	0,35 ± 0,04	1,39	2
SSV	g / L	1,45 ± 0,45	5,7	6
SST	g / L	5,96 ± 1,58	5,8	3
$S_T$	g / L	15,6 ± 0,02	22,2	6
$\text{DQO}/N_T$	-	4,18 ± 0,24	6,43	3 y 6
$\text{DBO}_5/N_T$	-	1,83 ± 0,03	3,74	3 y 6
$A_I/A_T$	-	0,52 ± 0,01	0,57	6

1) Blanes-Vidal *et al.*, (2009); 2) Martínez-Suller *et al.*, (2008); 3) Moral *et al.*, (2008); 4) Provoló & Martínez-Suller., (2007); 5) Villamar *et al.*, (2011); 6) Massé *et al.*, (2003)

## **5.2 Generación de una metodología de medición de olores en la industria porcina, utilizando olfatometría**

### **5.2.1 Test de sensibilidad de olor**

El test de sensibilidad de olor, se realizó por una ocasión, en el cual se evaluó la sensibilidad odorífera de dos panelistas (Gerardo Ortiz y Alejandra Villamar). Del “Tested individual’s olfactory (odor) threshold estimate”, se obtuvo en la ronda 1 y 2 un valor de 8,5, para cada panelista evaluado. Este resultado, permitió definir que los panelistas, se encontraban aptos para determinar los umbrales de detección e identificación (ASTM E 679). El procedimiento del test, se encuentra en el Anexo 5.

### **5.2.2 Dilución de la muestra de purín para la determinación del umbral de detección e identificación**

Para la determinación del umbral de detección e identificación, las muestras de purín, fueron diluidas al 50, 25, 12,5 y 6,25%. Los criterios de dilución del purín, se generaron debido a que el olfatómetro, no consta con diluciones suficientes para la determinación del umbral de detección e identificación con la muestra de purín al 100%. El proceso de determinación del umbral de detección e identificación, se realizó en un ambiente cerrado, que no se encontraba influenciado por el olor del purín. Para evitar la fatiga nasal, se consideró un intervalo de 30 segundos durante la presentación de cada muestra (ASTM E 544). Los matraces, con las diluciones correspondientes, fueron presentados directamente en el selector de diluciones del olfatómetro, evitando la influencia del ambiente externo.

La Figura 15 a), muestra el comportamiento del olor en el tiempo, para la dilución al 50% del purín. Para el primer día de almacenamiento, el umbral de detección, alcanzó un rango máximo de 120-60 D-T, disminuyendo en el tiempo, hasta alcanzar un rango de 15-7 D-T, para el séptimo día de almacenamiento. Para el umbral de identificación, en el primer día de almacenamiento, se registró un rango de 60-30 D-T, disminuyendo en el tiempo hasta registrar un valor de 7-4 D-T al séptimo día de almacenamiento. Al quinto día de almacenamiento, existió una disminución en un 75% de la generación del olor.

La Figura 15 b) muestra el comportamiento del olor en el tiempo, para la dilución al 25% del purín. Para el primer día de almacenamiento, el umbral de detección alcanzó un rango máximo de 240-120 D-T, disminuyendo en el tiempo, hasta alcanzar un rango de 15-7 D-T, para el séptimo día de almacenamiento. Para el umbral de identificación, al primer día de almacenamiento, se registró un rango de 120-60 D-T, disminuyendo en el tiempo hasta registrar un valor de 7-4 D-T al séptimo día de almacenamiento. Al quinto día de almacenamiento, existió una disminución en un 87,5% de la generación del olor.

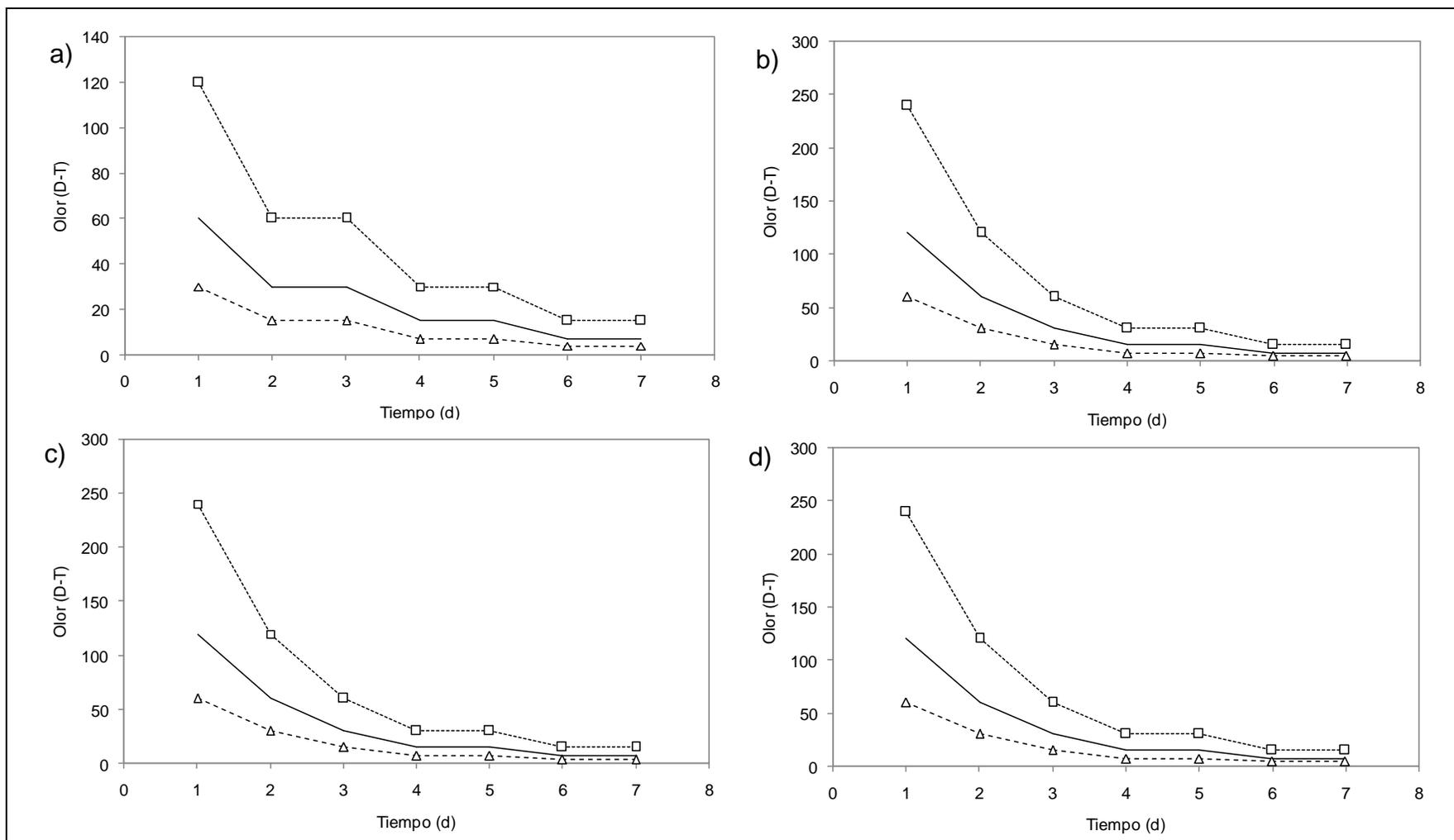
La Figura 15 c), muestra el comportamiento del olor en el tiempo, para la dilución al 12,5% del purín. Para el primer día de almacenamiento, el umbral de detección alcanzó un rango máximo de 240-120 D-T, disminuyendo en el tiempo hasta alcanzar un rango de 15-7 D-T para el séptimo día de almacenamiento. Para el umbral de identificación, al primer día de almacenamiento, se registró un rango de

120-60 D-T, disminuyendo en el tiempo hasta registrar un valor de 7-4 D-T al séptimo día de almacenamiento. Al quinto día de almacenamiento, existió una disminución en un 87,5% de la generación del olor.

La Figura 15 d), muestra el comportamiento del olor en el tiempo para la dilución al 6,25% del purín. Para el primer día de almacenamiento, el umbral de detección alcanzó un rango máximo de 240-120 D-T, disminuyendo en el tiempo, hasta alcanzar un rango de 15-7 D-T para el séptimo día de almacenamiento.

Para el umbral de identificación, al primer día de almacenamiento se registró un rango de 120-60 D-T, disminuyendo en el tiempo hasta registrar un valor de 7-4 D-T al séptimo día de almacenamiento. Al quinto día de almacenamiento, existió una disminución en un 87,5% de la generación del olor.

De acuerdo a las figuras presentadas anteriormente (Figura 15 b) y c)), las diluciones al 25, 12,5 y 6,25% presentaron los mismos valores y tendencias para el umbral de detección e identificación. Debido a que la dilución del purín al 50%, no presenta el mismo comportamiento que para las diluciones al 25, 12,5 y 6,25%, al determinar el umbral de detección e identificación. Las diluciones recomendadas para poder establecer el umbral de identificación y detección, en purines porcinos están en el 25, 12,5 y 6,25%.



**Figura 15.** Comportamiento del olor en el tiempo para a) 50%, b) 25%, c) 12,5%, d) 6,25% de dilución de la muestra.  $\cdots\square\cdots$  Umbral de detección,  $\text{—}$  Límite umbral de identificación-detección,  $\text{-}\triangle\text{-}$  Umbral de identificación.

### 5.2.3 Determinación de las características físico-químicas y la generación de olor

La Tabla 11, describe los mayores rangos de olor, tanto para el umbral de detección y el umbral de identificación, que se obtuvieron para los distintos pHs y temperaturas de almacenamiento. Para  $T_2$  (35 °C), en función de los distintos pH, los rangos de UD detección fueron entre 960-7D-T y UD identificación entre 339-4 D-T. Para  $T_3$  (55 °C), en función de los pHs, los UD detección fueron entre 1920-5 D-T y UD identificación entre 960-3 D-T. Finalmente, para  $T_1$  (20 °C) y los distintos pH, los rangos de UD detección estuvieron entre 240-5 D-T y UD identificación entre 112-3 D-T.

Por otro lado, se pudo observar, que para el  $pH_2$  (6.5) y las distintas temperaturas, el rango de UD detección fue entre 960-5 D-T y UD identificación entre 480-3 D-T. Para  $pH_1$  (6.0) y las temperaturas, el UD detección estuvo entre 1920-6 D-T y UD identificación entre 960-4 D-T. Para  $pH_3$  (7.0) y las temperaturas, el UD detección fue entre 960-4 D-T y UD identificación entre 480-4 D-T. Finalmente, para  $pH_4$  (8.0) y las temperaturas, el UD detección estuvo entre 960-3 D-T y UD identificación entre 480-3 D-T.

En definitiva, se pudo observar que el incremento de la temperatura, significó un aumento en los rangos de generación de olor, encontrándose los mayores valores de UD y UI (1920-3 D-T), para la temperatura  $T_3$  (55 °C), independiente del pH de almacenamiento (6,0; 6,5; 7,0 y 8,0). Es importante mencionar, que una relación directa entre, la temperatura y la generación de olor (INIA, 2005). Este efecto, puede tener relación, con la solubilidad de los gases y su relación indirecta con la temperatura (Chang & College, 2002).

**Tabla 11.** Rangos de generación de olor según temperatura y pH de almacenamiento

Variable	$T_1$ (20 °C)		$T_2$ (35 °C)		$T_3$ (55 °C)	
	UD (D-T)	UI (D-T)	UD (D-T)	UI (D-T)	UD (D-T)	UI (D-T)
$pH_1$ (6,0)	240-11	112-6	960-21	339-11	1920-8	960-4
$pH_2$ (6,5)	112-5	64-3	480-7	240-4	960-7	480-4
$pH_3$ (7,0)	120-5	24-3	480-11	240-7	960-5	480-3
$pH_4$ (8,0)	120-8	56-4	480-15	240-7	960-8	480-3

UD: Umbral de Detección, UI: Umbral de Identificación

En la Figura 16, se describen las variables físico-químicas, con respecto a la temperatura y pH de almacenamiento. En el literal a), se observa el comportamiento de la concentración de  $N-NH_4^+$  y la temperatura de almacenamiento. Los mayores valores en la generación del olor (1960-10 D-T), se registraron en las menores concentraciones de  $N-NH_4^+$  (5650-2688 mg/L) y a la mayor temperatura de almacenamiento  $T_3$  (55 °C). La relación entre la disminución de la concentración de  $N-NH_4^+$  y el aumento en la generación del olor, al aumentar la temperatura de almacenamiento, puede tener relación con el incremento en la generación de  $NH_3$ , según descrito por Hansen *et al.*, 1998.

En el literal c), se observó que las mayores relaciones  $A_i/A_T$  se encuentran a  $T_3$  (55 °C); lo cual tiene relación con el pH y temperatura óptimos, para la generación de AGVs, en donde el incremento del pH significó un aumento en la relación  $A_i/A_T$  a valores entre 0,83-0,43; lo que repercute en la acumulación de AGV.

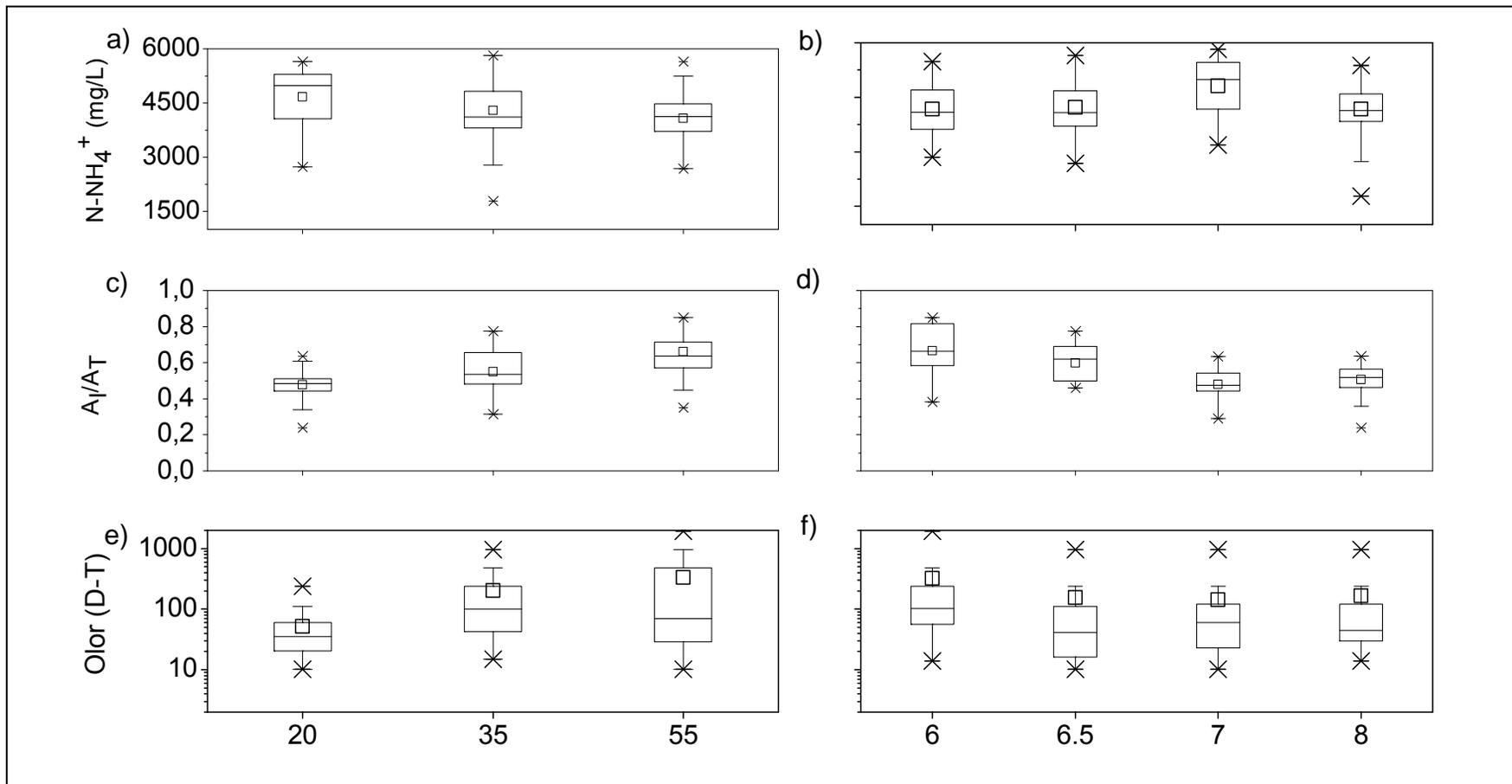
En el literal e), se observó que las mayores generaciones de olor se encuentran al aumentar la temperatura (240-3; 960-4; 1920-3 D-T, para  $T_1$  (20 °C),  $T_2$  (35 °C) y  $T_3$  (55 °C), respectivamente). El aumento en la generación del olor, al aumentar la temperatura de almacenamiento, puede tener relación con la disminución de la solubilidad de odorantes (AGVs y  $NH_3$ ), presentes en la fase acuosa.

En el literal d), se observó que a  $pH_1$  (6,0), existió la mayor relación  $A_i/A_T$  (0,83-0,38). Esto se debe a que a este pH de almacenamiento, se optimizó la producción de AGVs (Espinoza-Escalante *et al.*, 2009; Ugwanyi *et al.*, 2005).

En el literal f), se observó que los mayores rangos de generación de olor (1920-3 D-T), se registraron al  $pH_1$  (6,0) de almacenamiento. El aumento en la generación de olor, a este pH de almacenamiento, se puede relacionar con la mayor producción de AGVs, según lo descrito en el literal d).

La disminución en la concentración de  $N-NH_4^+$ , significó un aumento en la generación del olor (Figura 16 a) y e)). Los mayores valores en la generación de olor (1920-3 D-T), se encontraron relacionados con valores de la relación  $A_i/A_T$  (0,83-0,43) mayores; mientras que menores valores de  $N-NH_4^+$  (5650-2688 mg/L) y a la mayor temperatura  $T_3$  (55 °C) (Figura 16 a), b) y e). Para el pH 6,0, se encontró la mayor generación de olor (1920-3 D-T) y relación  $A_i/A_T$  (0,83-0,38) (Figura 16 d) y f). Según Hobbs *et al.* (1999), no se ha encontrado una correlación, entre la concentración de olor y la concentración de odorantes ( $NH_3$ , AGVs, fenoles e Indoles). Sin embargo, Blanes-Vidal *et al.* (2008), encontraron que la contribución del amoniaco a la concentración del olor, es significativa ( $p < 0,05$ ), solamente en ausencia de ácido sulfhídrico. En otras investigaciones, se ha encontrado, que las tasas de emisiones de  $H_2S$ , AGVs, y los fenoles del purín, disminuyen a partir de un período de 112 días de almacenamiento (Hobbs *et al.*, 1999); mientras que las emisiones de  $NH_3$  aumentan, pero no en forma significativa ( $p < 0,05$ ) (Blanes-Vidal *et al.*, 2008).

Se obtiene como conclusión que la mayor generación de olor (1920-3 D-T) en el experimento, corresponde al  $pH_1$  (6,0) y  $T_3$  (55 °C) de almacenamiento. Bajo estas condiciones, se encontró que la relación  $A_i/A_T$  registró valores entre 0,83-0,43; la concentración de  $N-NH_4^+$  valores de 5650-2688 mg/L y potencial Redox entre -195,1-322,1 mV.

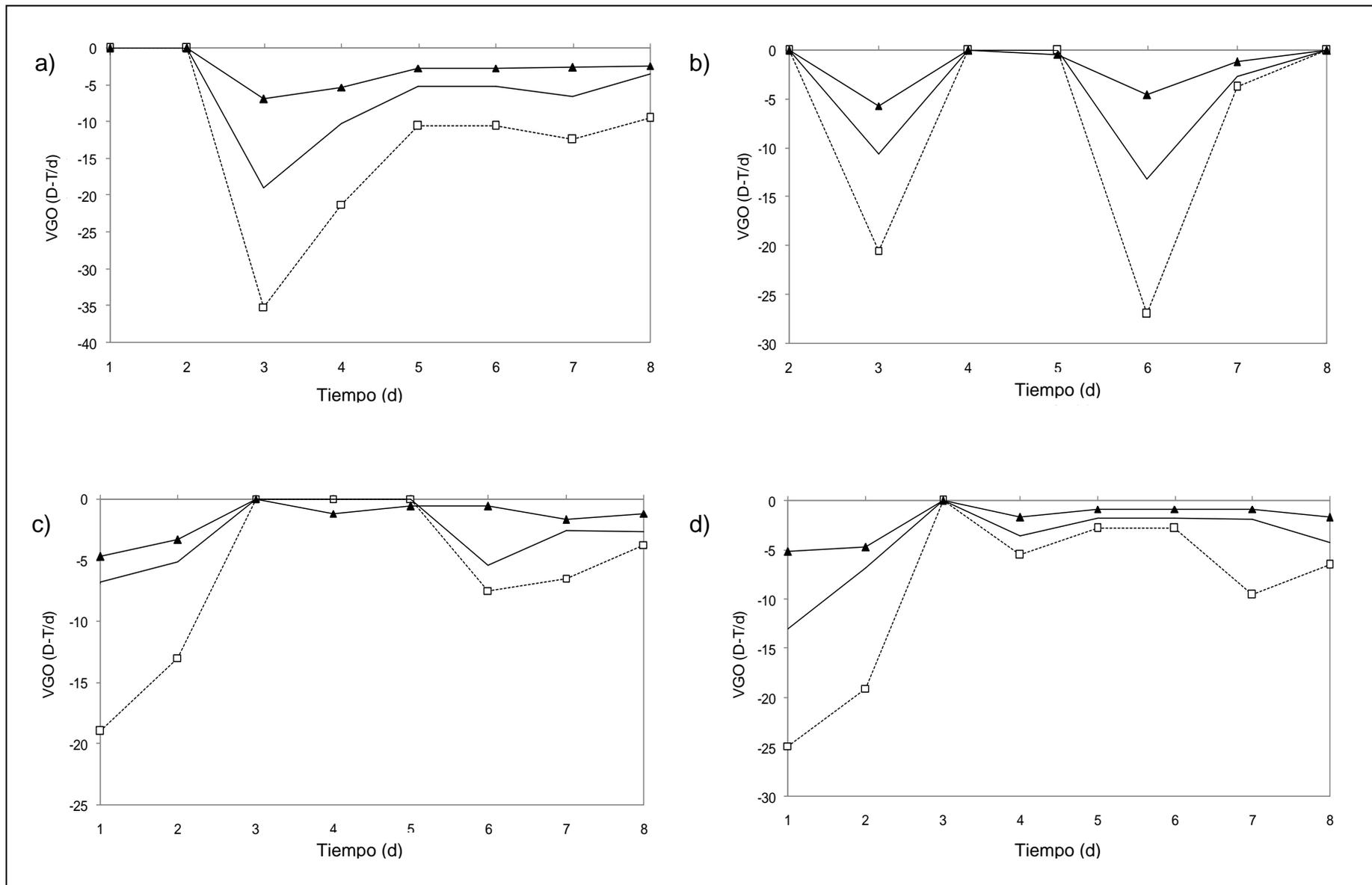


**Figura 16.** Comportamiento de las características físico-químicas y la generación del olor, para los factores de almacenamiento del purín  
a) N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y la temperatura, b) N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y el pH, c) relación A<sub>I</sub>/A<sub>T</sub> y la temperatura, d) relación A<sub>I</sub>/A<sub>T</sub> y el pH, e) generación de olor y la temperatura, f) generación de olor y el pH.

#### 5.2.4 Velocidades de disminución del olor

Para evaluar el comportamiento del olor en el tiempo, a partir del diseño experimental, se utilizó la velocidad de generación de olor (VGO). La VGO correspondió, al cálculo de la pendiente entre el comportamiento del olor y el tiempo. Un valor negativo en la VGO, indica que el olor disminuyó en el tiempo. La Figura 17, describe el comportamiento de la VGO para la temperatura psicrófila ( $T_1$ : 20 °C) y los distintos pHs. En la Figura 17 a), se pudo observar una disminución del olor en el tiempo, para cada temperatura y pH de almacenamiento; encontrándose valores de la VGO negativos de  $-52$ ;  $-26$ ;  $-20$ ;  $-19$ ;  $-8$  y  $-4$  D-T/día; de igual forma para la Figura 17 b), con valores de la VGO de  $-120$ ;  $-35$ ;  $-21$ ;  $-12$ ;  $-10$  y  $-9$  D-T/día. En la Figura 17 c), con valores de la VGO de  $-35$ ;  $-24$ ;  $-19$ ;  $-10$ ;  $-7$ ;  $-5$  y  $-3$  D-T/día; y finalmente, la Figura 17 d), encontrándose valores de la VGO de  $-60$ ;  $-19$ ;  $-13$ ;  $-8$ ;  $-7$  y  $-4$  D-T/día).

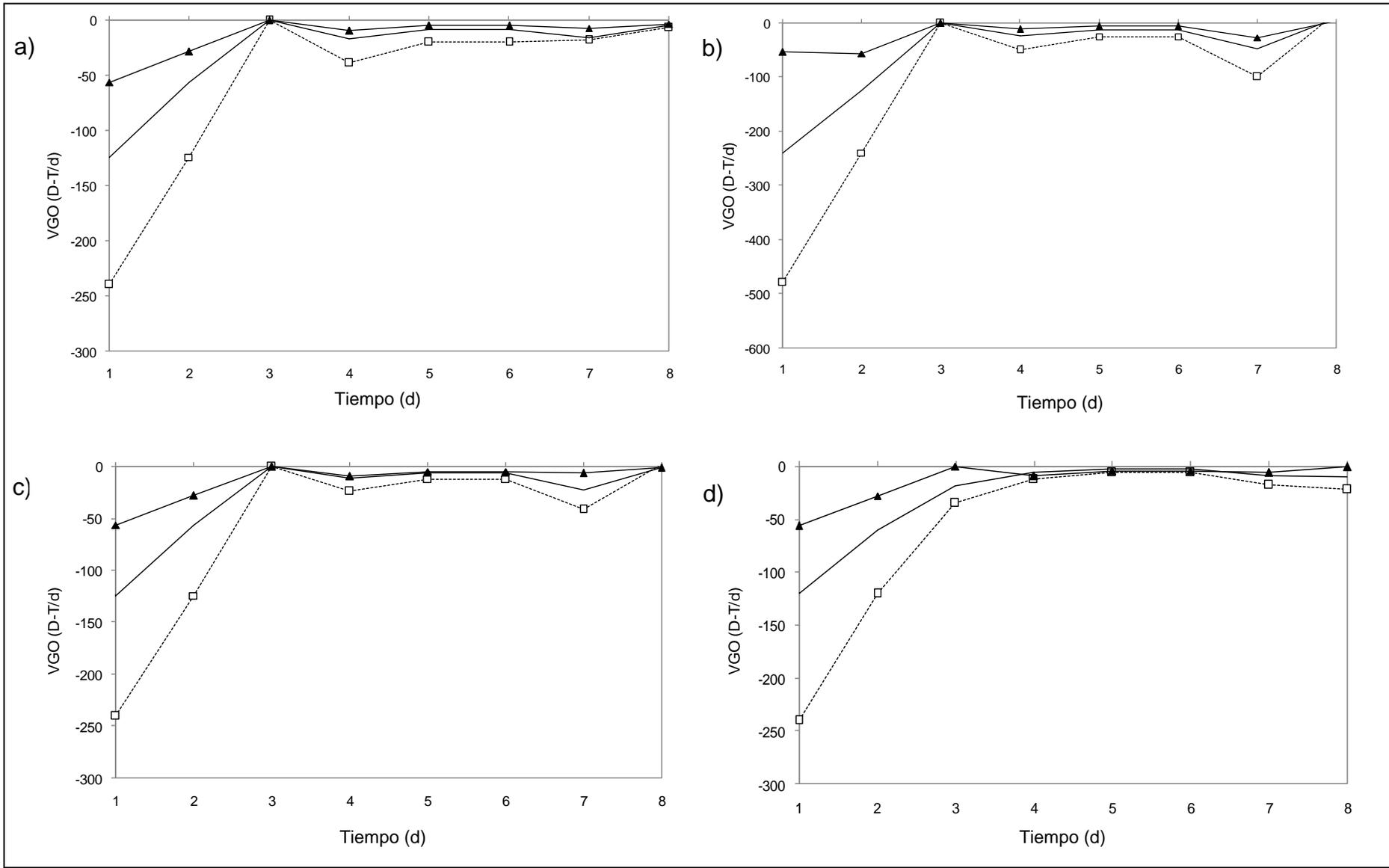
Por otro lado, para la temperatura de almacenamiento  $T_1$  (20 °C) (Figura 17), no se encontró una tendencia clara con respecto a la disminución del olor y los primeros días de almacenamiento. Para el pH<sub>1</sub> el menor valor de la VGO ( $-35$  D-T/día), se determinó al tercer día de almacenamiento (Figura 17 a). Para el caso del pH<sub>2</sub> (6,5) (Figura 17 b), el menor valor de VGO ( $-52$  DT/día), se registró para el sexto día de almacenamiento. Para el caso del pH<sub>4</sub> (8,0) y pH<sub>3</sub> (7,0) de almacenamiento, la tendencia fue similar, registrándose los menores valores de VGO ( $-35$  y  $-60$  D-T/día, respectivamente), durante los primeros tres días de almacenamiento (Figura 17 d) y Figura 17 c)). Al quinto día de almacenamiento, se encontró que el olor disminuyó entre un 50,0 a un 83,5% del olor inicial.



**Figura 17.** Velocidad de generación de olor (VGO) en el tiempo para a)  $T_1$  y  $pH_1$ , b)  $T_1$  y  $pH_2$ , c)  $T_1$  y  $pH_3$ , d)  $T_1$  y  $pH_4$ . □ umbral de detección, — límite umbral de detección-identificación, ▲ umbral de identificación

En la Figura 18, se detalla el comportamiento de la VGO para la temperatura mesofílica ( $T_2$ : 35 °C) y distintos pHs. En la Figura 18 a), se pudo observar una disminución del olor en el tiempo, para cada temperatura y pH de almacenamiento; encontrándose valores de la VGO de  $\bar{480}$ ;  $\bar{240}$ ;  $\bar{100}$ ;  $\bar{50}$ ;  $\bar{24}$  y  $\bar{20}$  D-T/día; de igual forma para la Figura 18 b), con valores de la VGO de  $\bar{240}$ ;  $\bar{124}$ ;  $\bar{38}$ ;  $\bar{19}$ ;  $\bar{18}$ ; y  $\bar{6}$  D-T/día; Figura 18 c), con valores de la VGO de  $\bar{240}$ ;  $\bar{120}$ ;  $\bar{56}$ ;  $\bar{22}$ ;  $\bar{10}$ ; y  $\bar{5}$  D-T/día; y finalmente, la Figura 18 d), encontrándose valores de la VGO de  $\bar{240}$ ;  $\bar{125}$ ;  $\bar{40}$ ;  $\bar{24}$ ;  $\bar{12}$  y  $\bar{2}$  D-T/día.

Para la temperatura de almacenamiento  $T_2$  (Figura 18), la tendencia, fue que para todos los pHs, las mayores velocidades de disminución de olor ( $\bar{480}$ ;  $\bar{240}$ ;  $\bar{240}$ ; y  $\bar{240}$  DT/día, para  $pH_1$  (6,0);  $pH_2$  (6,5);  $pH_3$  (7,0) y  $pH_4$  (8,0), respectivamente), se registraron durante los 5 primeros días de almacenamiento. Sin embargo, los menores valores de VGO ( $\bar{480}$  D-T/día), se encontraron a  $pH_1$  (6,0) (Figura 18 a); esto debido a que a en este pH de almacenamiento, se encontraron los mayores valores de generación de olor (Tabla 11). Al quinto día de almacenamiento, se encontró que el olor disminuyó entre un 64,7 a un 82,9% del olor inicial.



**Figura 18.** Velocidad de generación de olor (VGO) en el tiempo para a)  $T_2$  y  $pH_1$ , b)  $T_2$  y  $pH_2$ , c)  $T_2$  y  $pH_3$ , d)  $T_2$  y  $pH_4$ . □ Umbral de detección, — Límite umbral de detección-identificación, ▲ Umbral de identificación

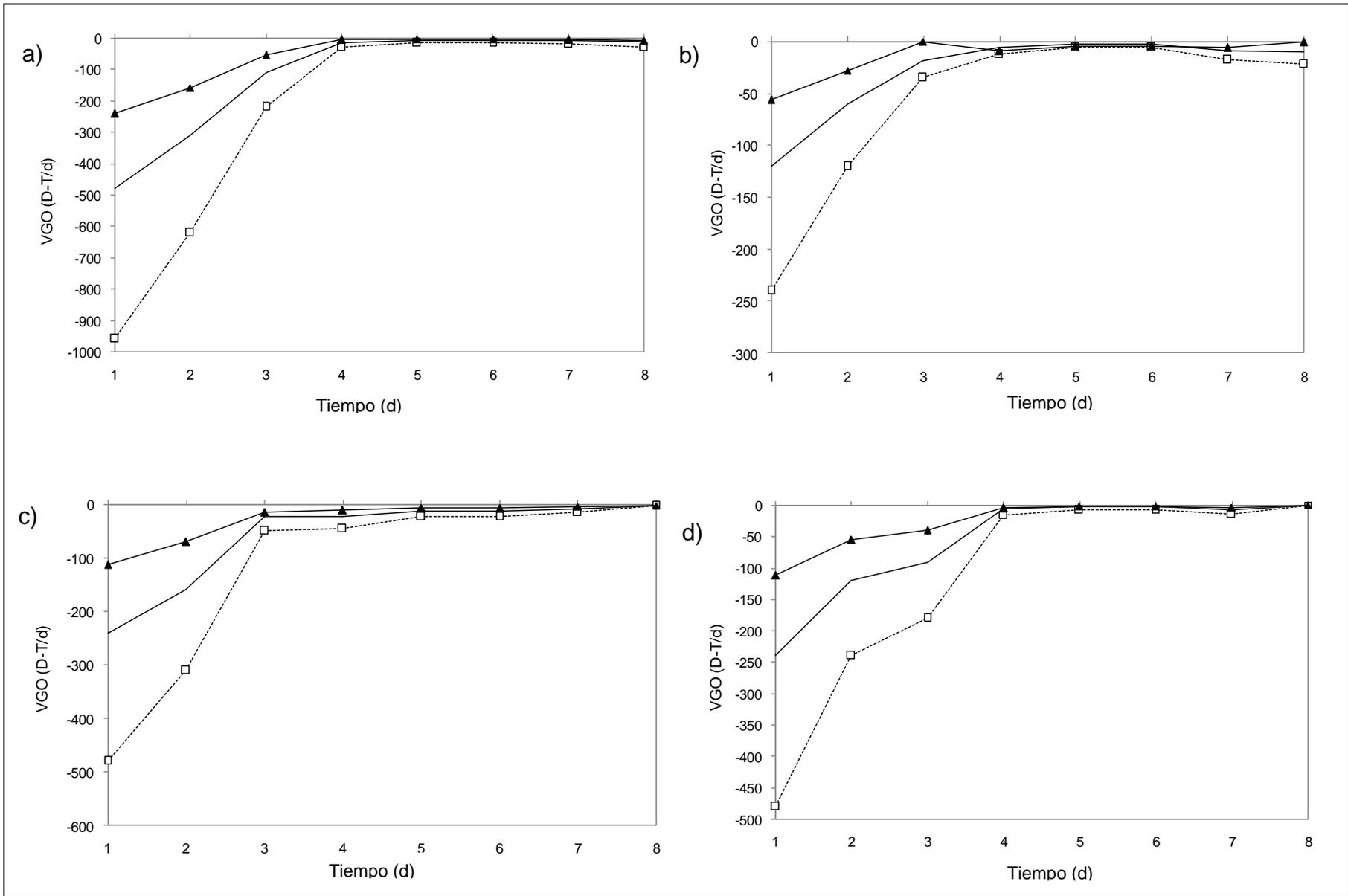
La Figura 19, describe el comportamiento de la VGO para la temperatura termofílica ( $T_3$ : 55 °C) y los distintos pHs. En la Figura 19 a), se pudo observar una disminución del olor en el tiempo, para cada temperatura y pH de almacenamiento; encontrándose valores de la VGO de 960; 620; 220; 30; 29; 18 y 15 D-T/día; de igual forma para la Figura 19 b), con valores de la VGO de 480; 310; 110; 20; 10 y 6 D-T/día. En la Figura 19 c), con valores de la VGO de 480; 310; 50; 45; 23; 14 y 3 D-T/día; y finalmente, la Figura 19 d), encontrándose valores de la VGO de 480; 240; 180; 15 y 8 D-T/día.

Para el caso de la temperatura de almacenamiento  $T_3$  (55 °C) (Figura 19), la tendencia correspondió, a que durante los primeros días de almacenamiento, se registró la mayor disminución del olor (960; 480; 480; y 480 DT/día, para pH<sub>1</sub> (6,0); pH<sub>2</sub> (6,5); pH<sub>3</sub> (7,0) y pH<sub>4</sub> (8,0), respectivamente). Esta tendencia se observó independiente de los pH de almacenamiento. Al quinto día de almacenamiento, se encontró que el olor disminuyó entre un 87,5 a un 94,2% del olor inicial.

Es importante resaltar, que para las 3 temperaturas, en el primer día de almacenamiento, no se existió variación del olor, por lo que la variación de generación de olor fue cero.

Chae *et al.* (2008), señaló que el aumento en la temperatura de digestión anaeróbica desde 25 a 35 °C, incrementa la velocidad de degradación del purín. Este aumento en la velocidad de degradación, se relaciona con el valor de la VGO, para las temperaturas de almacenamiento  $T_2$  (35 °C) y  $T_1$ . (20 °C) En forma comparativa, el menor valor de la VGO (960-3 D-T/día), se encontró para la temperatura  $T_3$  (55 °C), lo cual indica, que existió una velocidad de degradación mayor (1920-3 D-T/día), con un incremento de la temperatura (Figura 18 y Figura 17).

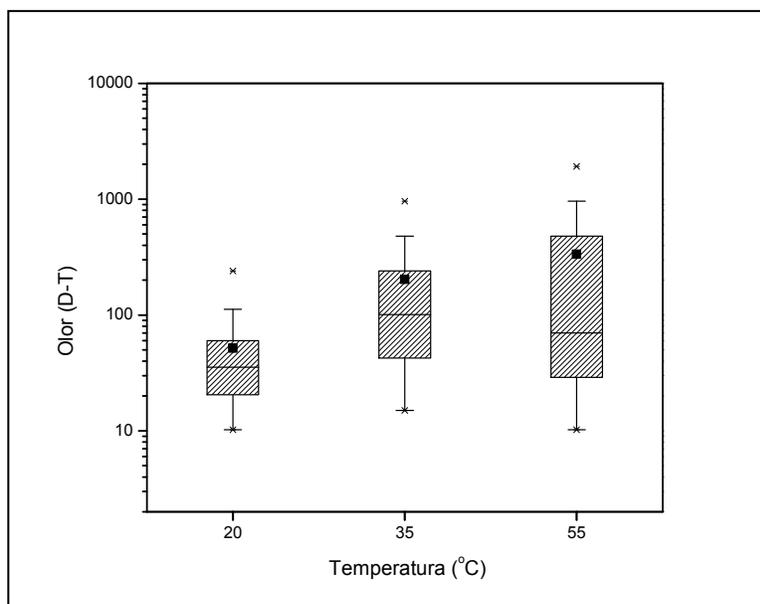
Ugwuanyi *et al.* (2005), encontraron que un aumento en la temperatura de digestión anaeróbica termofílica desde 45 a 65 °C, aumenta la velocidad de degradación de la materia orgánica. Esta relación, se observa, debido a que el aumento de la temperatura de almacenamiento del purín ( $T_3$ : 55 °C), genera una menor velocidad de generación del olor (1920-3 D-T/día) (Figura 18, Figura 19 y Figura 17).



**Figura 19.** Velocidad de generación de olor (VGO) en el tiempo para a)  $T_3$  y  $pH_1$ , b)  $T_3$  y  $pH_2$ , c)  $T_3$  y  $pH_3$ , d)  $T_3$  y  $pH_4$ . ◻◻ Umbral de detección, — Límite umbral de detección-identificación, ▲ Umbral de identificación

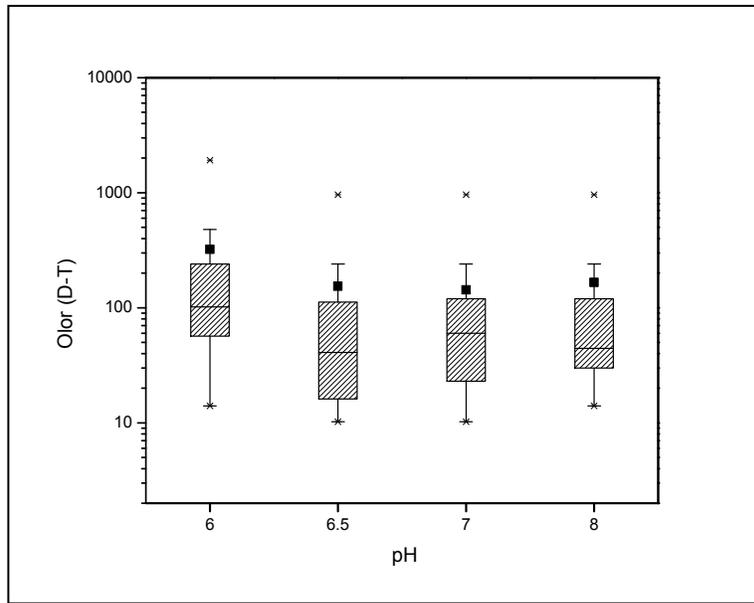
### 5.3 Identificación del factor (temperatura y pH) que mayor influencia tiene en la generación de olor

La Figura 20, resume la generación de olor respecto a la temperatura. Para la identificación del factor (temperatura y pH) que mayor relación tiene en la generación de olor, se aplicó el test de Shapiro-Wilks (Anexo 1.), debido a que algunos resultados, no presentaron una distribución normal, se concluyó que el total del conjunto de datos, no presentó distribución normal. A los resultados obtenidos, se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis (varias muestras independientes). A partir de este test, se encontró que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la generación del olor, entre las distintas temperaturas del diseño experimental (Anexo 2. ), encontrándose p-valores, que van desde 0,0032 a 0,0055. Para el factor de la temperatura, se encontró que tiene una relación directa ( $R=0,992$ ;  $y=7,975x-96,10$ ) con la generación del olor; registrándose los mayores valores de olor, a la temperatura de almacenamiento  $T_2$  ( $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Según Balsari *et al.* (2006), un incremento en la temperatura de almacenamiento del purín ( $0,56\text{ g NH}_3/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ ), tiene una relación directa con la tasa de generación de  $\text{NH}_3$ .



**Figura 20.** Relación entre la generación del olor y la temperatura de almacenamiento

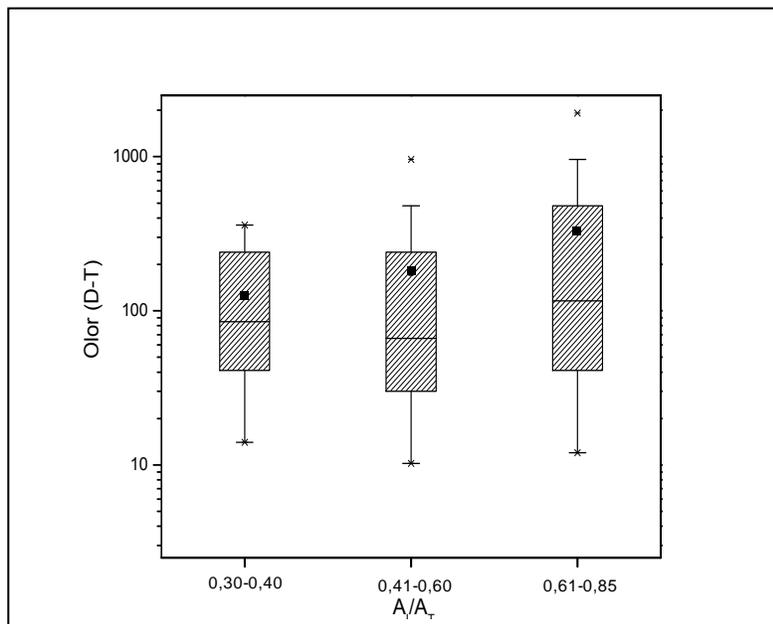
La Figura 21, describe la generación del olor y los valores de pH de almacenamiento. Para el factor pH, se encontró que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la generación del olor, sólo entre el  $\text{pH}_1$  (6,0) y el resto de los pHs de almacenamiento (Anexo 3. y Anexo 2. ), encontrándose p-valores que van desde 0,0002 a 0,089; siendo significativos sólo ( $p < 0,05$ ) para el  $\text{pH}_1$  (6,0). La relación entre el factor del pH, fue indirecta ( $R= -0,623$ ), con la generación del olor; registrándose los mayores valores de olor al  $\text{pH}_1$  (6,0) de almacenamiento.



**Figura 21.** Relación entre la generación del olor y el pH de almacenamiento

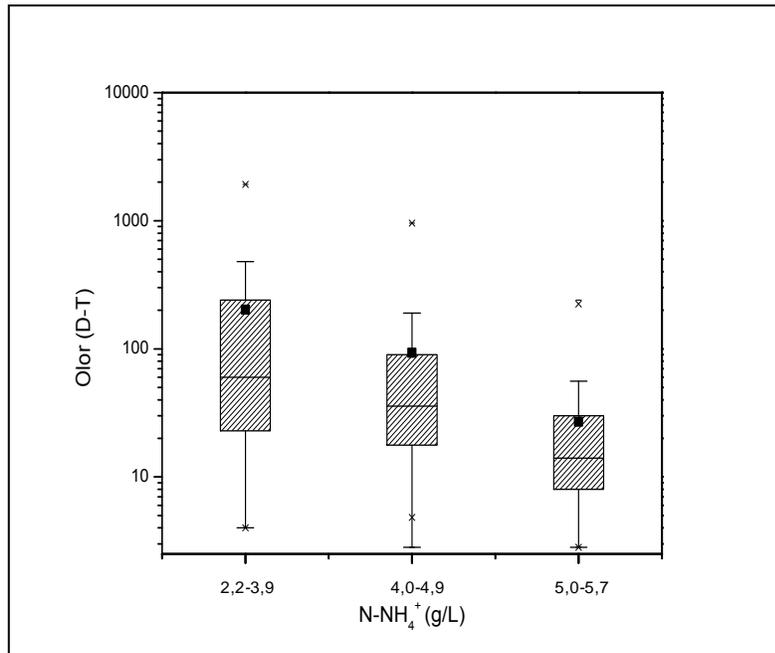
#### 5.4 Establecer la relación entre variables físico-químicas y la generación del olor

La Figura 22, detalla la generación de olor con el cociente  $A_I/A_T$ , debido a que el conjunto de datos, no presentó distribución normal, se aplicó el test de Spearman. Para el caso de la relación  $A_I/A_T$  y la generación del olor, se encontró que existe una relación directa ( $R=0,959$ ;  $y=97,58x+13,66$ ). A medida que el cociente  $A_I/A_T$  incrementó (0,61-0,85), existió una mayor generación de olor (1960-14 D-T) (Figura 22). Esta relación, se explica debido a que, los valores sobrepasaron el rango 0,3-0,4, existiendo una acidificación del sistema (Campos, 2001).



**Figura 22.** Relación entre el cociente  $A_I/A_T$  y la generación de olor.

La Figura 23, describe la generación de olor con la concentración de  $\text{N-NH}_4^+$ . Para el caso, del  $\text{N-NH}_4^+$  y la generación del olor, se encontró que existe una relación indirecta ( $R= -0,989$ ;  $y=-87,77x+282,6$ ). A medida que la concentración de  $\text{N-NH}_4^+$  disminuyó (2,2-3,9 g/L), existió una mayor generación de olor (1920-4 D-T). Esta relación, se explica debido a que al disminuir la concentración de  $\text{N-NH}_4^+$ , existe un aumento en la generación de  $\text{NH}_3$  (Hansen *et al.*, 1998).



**Figura 23.** Relación entre la concentración de  $\text{N-NH}_4^+$  y la generación de olor.

## 6 CONCLUSIONES

La metodología de medición de olores en la industria porcina, utilizando olfatometría de campo, permite una aproximación adecuada para la determinación del UD y UI en muestras fijas.

Los mayores valores de olor (1920-6 D-T) se registraron a pH 6,0; los cuales se fueron incrementando con el aumento de la temperatura. Este fenómeno se puede asociar a la producción de AGVs.

La generación de olor, tiene relación directa con el aumento de la temperatura ( $R=0,992$ ), encontrándose, que existe un aumento aproximado de 7,98 D-T/ $^{\circ}$ C.

Existe una relación directa entre el cociente  $A_I/A_T$  y la generación de olor ( $R=0,959$ ). Por un aumento del cociente  $A_I/A_T$  en 0,1 existe un incremento de 9,76 D-T de olor.

Existe una relación indirecta entre la concentración de  $N-NH_4^+$  y la generación de olor ( $R=-0,996$ ). Por una disminución de la concentración de  $N-NH_4^+$  en 0,1 g/L existe un incremento de 8,78 D-T de olor.

De acuerdo a lo indicado anteriormente, se acepta la hipótesis, ya que existe una relación entre la variación de las características físico-químicas de los purines porcinos, debido a cambios en la temperatura y pH, durante el almacenamiento, que se asocian con la generación de compuestos odoríferos, dentro de la producción porcina.

## **7 RECOMENDACIONES**

En los planteles porcinos de engorda, durante el almacenamiento del purín, se recomienda monitorear el pH, con el objetivo que éste no alcance valores cercanos a 6,0. Cuando corresponda, la corrección del pH con soluciones reguladoras, se presenta como una alternativa viable para la disminución en la generación del olor

Durante los primeros 5 días de almacenamiento del purín existe la mayor generación de olor (93,8-64,6%). Al aplicar medidas de mitigación, si bien estas deben realizar durante todo el período, se recomienda poner mayor énfasis en los primeros días de almacenamiento.

En futuras investigaciones, se recomienda la evaluación del comportamiento del olor y su detección, asociado a variables meteorológicas y fenómenos de transporte, en planteles porcinos, utilizando olfatometría de campo.

## 8 REFERENCIAS

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Pollution Control Federation (WPCF). 1985. Standard methods for examination of water and wastewater 16th ed. Washington.

Asociación Gremial de Productores de Cerdo de Chile, (ASPROCER), 2010. (<http://www.asprocer.cl>) (Consultado en Diciembre del 2010).

Aarnik, A.J.A., Le, D.P., Verstegen, M.W.A., 2007. Nutrition Affects Odor Emission from Pig Manure. *International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture*. ASABE, Broomfield, Colorado. Publication Number 701P0907cd.

Balsari, P., Dinuccio, E., Gioelli, F., 2006. A low solution of ammonia emission abatement from slurry storage. Università degli Studi di Torino, DEIAFA Sez. Meccanica, Italy. *International Congress Series*, 1293, 323-326.

Benzo, M., Gilardoni, G., Gandini, C., Caccialanza, G., Finzi, P. V., Vidari, G., Abdo, S., Layaedra, P., 2007. Determination of the threshold odor concentration of main odorants in essential oils using gas chromatography–olfactometry incremental dilution technique. Dipartimento di Chimica Farmaceutica, Via Taramelli 12, 27100 Pavia, Italy.

Blanes-Vidal, V., Hansen, M.N., Adamsen, A.P., Feilberg, A., Pedersen, S.O., Jensen, B.B., 2008. Characterization of odor released during handling of swine slurry: part I. Relationship between odorants and perceived odor concentrations. *Atmospheric Environment*, 43, 2997-3005.

Blanes-Vidal V., Hansen M.N., Adamsen A.P., Feilberg A., Pedersen S.O., Jensen B.B., 2009. Characterization of odor released during handling of Swine slurry: part II. Effect of production type, storage and physicochemical characteristics of the slurry. *Atmospheric Environment*, 43, 3006-3014.

Bonmati, A., & Flotats, X., 2003. Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion. *Waste Management*, 23, 261-272.

BREF. European Comision. Integrated Pollution Prevention and Control (IPCC), 2003. Reference Document on Best Techniques Available for the intensive Rearing of Poultry and Pigs, IPCC.

Campos, A. E., 2001. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. Departament de Medi Ambient i Ciències del sòl. Universitat de Lleida.

Chang, R., y College, W., 2002. Química. Séptima edición. Editorial McGraw Hill.

Chen, Y., Cheng, J. J., and Creamer, K. S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process : A review. *Bioresource Technology*, 99, 4044-4064.

Cole, D., Todd, L., Wing, S., 2000. Concentrated swine feeding operations and public health: a review of occupational and community health effects. *Environmental Health Perspectives*, 1081 8, 685–699.

Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL). Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores de Cerdos, 1999.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C.W. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Environmental Protection Agency (EPA)., 2001. Odour Impacts and Odour Emission Control Measures for Intensive Agriculture, Environmental Research R&D report series N°14.

Espinoza-escalante, M., Pelayo-orti, C., Gutie, H., & Gonza, Y., 2009. Anaerobic digestion of the vinasses from the fermentation of Agave tequilana Weber to tequila: The effect of pH, temperature and hydraulic retention time on the production of hydrogen and methane. *Biomass and Bioenergy*, 33, 14-20.

Espejo Marín, C. 1996: La ganadería en la Región de Murcia,. Murcia, CajaMurcia y Ayuntamiento de Fuente Alamo de Murcia, 155 pp.

Floriano, W.B. Vaidehi N., Goddard, W.A. III, Singer, M.S. and Shepherd, G.M., 2000. Molecular mechanisms underlying differential odor responses of a mouse olfactory receptor. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97 (20), 10712-6.

Frenchen, F., 2010. State of art of odour Measurement. Dept. Of Sanitary and Environmental Engineering, University of Kassel, Kurt-Wolters-Str. 3, 34125 Kassel, Germany.

Gonzalez, Y. E., y Sandoval, O. S., 2005. Diseño de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de purines de origen bovino. Escuela de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica de Temuco.

Hafner, S. D., & Bisogni, J. J., 2009. Modeling of ammonia speciation in anaerobic digesters. *Water Research*, 43 (17), 4105-4114.

Hamelin, L., Godbout, S., Thériault, R., Lemay, S. P., 2010. Evaluating ammonia emission potential from concrete slat designs for pig housing. *Biosystems Engineering*, 105, 455-465.

Hansen, H.H., Angelidaki, I., Ahring, B.K., 1998. Anaerobic digestion of swine manure: Inhibition by ammonia. *Water Research*, 32 (1), 5–12.

Hansen, J. T., & Koeppen, B. M., 2002. Atlas of neuroanatomy and neurophysiology selections from the netter collection of medical illustrations. Icon custom communications.

Hobbs, P.J., Misselbrook, T.H., Pain, B.F., 1995. Assessment of odours from livestock wastes by a photoionization detector, an electronic nose, olfactometry and gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 60, 137–144.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2005. Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina.

Iowa State University., 2004a. The Science of Smell Part 1: Odor perception and physiological. *Science*, (May).

Iowa State University., 2004b. The Science of Smell Part 2. Odor chemistry. *Science*, (May).

Lyngbye, M., Hansen, M.J., Riis, A.L., Jensen, T.L., Sørensen, G., 2006. 1000 Olfactometry Analyses and 100 TD-GC/MS Analyses to Evaluate Methods for Reducing Odour from Finishing Units in Denmark. The National Committee for Pig Production, DANISH BACON & MEAT COUNCIL, Copenhagen, Denmark.

Mackie, R.I., Stroot, P.G., Varel, V.H., 1998. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *Journal of Animal Science*, 76, 1331–1342.

Martínez-Suller L., Azzellino A., Provolo G., 2008. Analysis of livestock slurries from farms across Northern Italy: Relationship between indicators and nutrient content. *Biosystems Engineering*, 99, 540-552.

Massé, I. D., Masse, L., Croteau, F., 2003. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. *Bioresource Technology*, 89, 57-62.

Metcalf and Eddy Inc., 2003. Wastewater engineering: Treatment and reuse. 4th ed. McGraw-Hill series in civil and environmental engineering.

Miller, D.N., and Varel, V.H., 2003. Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds. *Journal of Animal Science*, 81, 2131–2138.

Montalvo, S., y Guerrero, L., 2004. Tratamiento anaerobio de residuos: Producción de biogás. Editorial Universidad Técnica Federico Santa María.

Moral, R., Perez-Murcia, M., Perez-Espinoza, A., Moreno-Caselles, J., Paredes, C., Rufete, B., 2007. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. *Waste Management*, 28, 367-371.

Nicell, J. A., 2008. Assessment and regulation of odour impacts. *Atmospheric Environment*, 43, 196-206.

Ovejero I., Mateos A., Alonso F., López M., Calero R., Iglesias S., Vásquez J., Sánchez E., Garcimartín M.A., 2010. Separación in situ de heces y orina mediante cinta de deyecciones bajo slat en alojamientos de cebo de ganado porcino. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Barcelona, 9-10 Junio.

Pagans, E., Domingues, R., Van Herreveld, A. P., 2010. Gestión de impactos por emisiones odoríferas procedentes de actividades ganaderas. II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Barcelona, 9-10 Junio.

Parera, i., Olivé, D., Torrijos, C., Gironella S., 2008. Determinación rápida de los nutrientes del purín de cerdo in situ en base a la lectura de la conductividad eléctrica (CE) para una correcta fertilización. I congreso español de gestión integral de deyecciones ganaderas. Barcelona, 16-18 Abril.

Peralta J., 2005. Generación de información local en aplicación de purines de cerdos al suelo, como apoyo a la implementación de los acuerdos de producción limpia. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Provolo, G., and Martinez-Suller, L., 2006. In situ determination of slurry nutrient content by electrical conductivity. *Bioresource Technology*, 98, 3235-3242

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., Lamantia, A., Mcnamara, J. O., Williams, S. M., 2007. Neurociencia, 3ª Edición. Editorial médica Panamericana.

Schiffman, S.S., 1998. Livestock odors implications for human health and well-being. *Journal of Animal Sciences*, 76, 1343-1355.

Schiffman, S.S. Bennett, J.L., Raymer, J .H. 2001. Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 213-240.

Saint Croix Sensory, Inc. (SCSI), 2004. Manual de operación versión 6.0.2 Olfatómetro de campo Nasal Ranger. P.O. Box 313 Lake Elmo, Minnesota 55042 U.S.A.

Sawayama, S., Tada, C., Tsukahara, K., 2004. Effect of Ammonium Addition on Methanogenic Community in a Fluidized Bed Anaerobic Digestion,. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 97 (1), 65-70.

Singer, M.S., 2000 Analysis of the molecular basis for octanal interactions in the expressed rat 17 olfactory receptor. *Chemical Senses* 25(2),155-65

Suller-Martinez L; y Provolo G., 2008. Caracterización del purín de bovino y porcino en la región de Lombarda, Italia: relación entre propiedades físico-químicas y valor fertilizante. I congreso español de gestión integral de deyecciones ganaderas. Barcelona, 16-18 Abril.

Tarrallardona, D., 2008. Medidas alimentarias para reducir el impacto ambiental de las deyecciones. I congreso español de gestión integral de deyecciones ganaderas. Barcelona, 16-18 Abril.

Turin, L., and Yoshii, F., 2010. Structure-odor relations : a modern perspective. Dept of Physiology, University College London WC1E6 BT, UK.

Villamar, C. A, Cañuta T., Belmonte M., Vidal G., 2011. Characterization of Swine Wastewater by Toxicity Identification Evaluation Methodology ( TIE ). *Water Air Soil Pollution*, 223 (1), 363-369

Water Pollution Control Federation (WPCF)., 1966. Anaerobic Sludge Digestion-Mop 16. *Journal Water Pollution Control Federation*, 38, 1683-1702

Wayne, D., T., 2000. Air pollution engineering manual. New York: Van Nostrand Reinhol.

Wing, S., and Wolf, S., 2000. Intensive livestock operations, health, and quality of life among eastern North Carolina residents. *Environmental Health Perspectives*, 108, 233–238.

Zhang, Z., and Zhu, J., 2005. Characteristics of solids, BOD5 and VFAs in liquid swine manure treated by short-term low-intensity aeration for long-term storage. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105, 115-125.

Zhu, J. ,1999. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 78(2), 93-106.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Normalidad

Test Normalidad Shapiro Wilks

Tipo	Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)	Resultado
p1t1	PR	20	-322,55	42,78	0,92	0,2647	Normal
p1t1	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	3949,38	462,35	0,93	0,3836	Normal
p1t1	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,39	0,12	0,96	0,7338	Normal
p1t1	UD(a)	20	153,96	179,06	0,68	0,0001	No normal
p1t1	UD(B)	20	78,48	88,27	0,69	0,0001	No normal
p1t1	UI(a)	20	79,28	87,72	0,69	0,0001	No normal
p1t1	UI(b)	20	39,3	42,37	0,71	0,0001	No normal
p2t1	PR	20	-271,21	20,83	0,91	0,1331	Normal
p2t1	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	3987,73	566,49	0,95	0,6721	Normal
p2t1	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,35	0,08	0,91	0,1432	Normal
p2t1	UD(a)	20	325,07	348,67	0,7	0,0001	No normal
p2t1	UD(B)	20	161,9	174,45	0,7	0,0001	No normal
p2t1	UI(a)	20	137,9	140,78	0,75	0,0001	No normal
p2t1	UI(b)	20	70,08	69,46	0,76	0,0001	No normal
p3t1	PR	20	-378,86	24,02	0,92	0,2326	Normal
p3t1	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	16	3792,88	808,17	0,92	3,08E-01	Normal
p3t1	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	16	0,5	0,07	0,86	0,0352	No normal
p3t1	UD(a)	20	167	171,78	7,00E-01	0,0001	No normal
p3t1	UD(B)	20	85,48	84,62	0,71	0,0001	No normal
p3t1	UI(a)	20	86,3	83,75	0,71	0,0001	No normal
p3t1	UI(b)	16	48,38	43,6	0,77	0,0003	No normal
p4t1	PR	20	-347,81	23,28	0,66	0,0001	No normal
p4t1	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	5408,5	471,94	0,76	0,0001	No normal
p4t1	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,56	0,08	0,89	0,0619	Normal
p4t1	UD(a)	20	166,02	171,36	0,69	0,0001	No normal
p4t1	UD(B)	20	82,76	85,82	0,69	0,0001	No normal
p4t1	UI(a)	20	183,48	148,57	0,81	0,001	No normal
p4t1	UI(b)	20	91,23	73,73	0,81	0,001	No normal

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

**Test Normalidad Shapiro Wilks (Continuación)**

<b>Tipo</b>	<b>Variable</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>p (Unilateral D)</b>	<b>Resultado</b>
p1t2	PR	20	-313,15	26,37	0,93	0,3055	Normal
p1t2	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4090,98	725,34	0,98	0,942	Normal
p1t2	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,18	0,03	0,83	0,0021	No normal
p1t2	UD(a)	20	274,64	377,62	0,64	0,0001	No normal
p1t2	UD(B)	20	136,8	189,04	0,64	0,0001	No normal
p1t2	UI(a)	20	138	188,75	0,65	0,0001	No normal
p1t2	UI(b)	20	65,6	87,36	0,65	0,0001	No normal
p2t2	PR	20	-232,36	62,23	0,9	0,1122	Normal
p2t2	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	3961,65	577,02	0,97	0,8557	Normal
p2t2	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,31	0,04	0,83	0,0033	No normal
p2t2	UD(a)	20	552,58	753,06	0,65	0,0001	No normal
p2t2	UD(B)	20	276,07	376,68	0,65	0,0001	No normal
p2t2	UI(a)	20	282,7	373,28	6,60E-01	0,0001	No normal
p2t2	UI(b)	20	140,9	186,88	6,60E-01	0,0001	No normal
p3t2	PR	20	-358,46	41,16	9,20E-01	2,79E-01	Normal
p3t2	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4044,5	444,2	8,90E-01	6,60E-02	Normal
p3t2	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,42	0,03	8,40E-01	4,00E-03	No normal
p3t2	UD(a)	20	283,82	374,7	6,60E-01	0,0001	No normal
p3t2	UD(B)	20	141,99	187,27	0,66	0,0001	No normal
p3t2	UI(a)	20	144,2	185,81	0,67	0,0001	No normal
p3t2	UI(b)	20	67,8	86,38	0,67	0,0001	No normal
p4t2	PR	20	-302,66	26,38	0,94	0,4843	Normal
p4t2	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4202,9	425,42	0,92	0,2268	Normal
p4t2	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,36	0,06	0,89	0,0671	Normal
p4t2	UD(a)	20	226,92	296,23	0,71	0,0001	No normal
p4t2	UD(B)	20	113,51	147,95	0,71	0,0001	No normal
p4t2	UI(a)	20	145,55	184,2	0,68	0,0001	No normal
p4t2	UI(b)	20	68,3	85,75	0,68	0,0001	No normal

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

**Test Normalidad Shapiro Wilks (Continuación)**

Tipo	Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)	Resultado
p1t3	PR	20	-330,99	18,48	0,94	0,5043	Normal
p1t3	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4635,1	798,96	0,86	0,0175	No normal
p1t3	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,51	0,13	0,74	0,0001	No normal
p1t3	UD(a)	20	34,02	31,19	0,73	0,0001	No normal
p1t3	UD(B)	20	18,08	17,44	0,69	0,0001	No normal
p1t3	UI(a)	20	18,2	17,75	0,7	0,0001	No normal
p1t3	UI(b)	20	9,48	8,83	0,71	0,0001	No normal
p2t3	PR	20	-272,97	34,28	0,92	0,2362	Normal
p2t3	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4555,33	726,16	0,9	0,1051	Normal
p2t3	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,47	0,09	0,89	0,077	Normal
p2t3	UD(a)	20	88,38	63,79	0,82	0,001	No normal
p2t3	UD(B)	20	42,93	30,16	0,83	0,002	No normal
p2t3	UI(a)	20	44,2	30,11	8,30E-01	2,80E-03	No normal
p2t3	UI(b)	20	22,4	16,56	7,80E-01	0,0001	No normal
p3t3	PR	20	-393,94	16,16	7,90E-01	0,0001	No normal
p3t3	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4663,65	871,74	7,60E-01	0,0001	No normal
p3t3	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,57	0,09	9,20E-01	2,44E-01	Normal
p3t3	UD(a)	20	47,96	31,47	8,10E-01	1,00E-03	No normal
p3t3	UD(B)	20	23,5	14,31	0,81	0,001	No normal
p3t3	UI(a)	20	23,15	14,54	0,81	0,001	No normal
p3t3	UI(b)	20	12,71	8,18	0,81	0,001	No normal
p4t3	PR	20	-331,66	17,35	0,93	0,3861	Normal
p4t3	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4808,08	726,65	0,84	0,0061	No normal
p4t3	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,69	0,13	0,82	0,0014	No normal
p4t3	UD(a)	20	36,65	31,69	0,7	0,0001	No normal
p4t3	UD(B)	20	18,49	14,33	0,74	0,0001	No normal
p4t3	UI(a)	20	19,15	14,26	0,74	0,0001	No normal
p4t3	UI(b)	20	10,5	8,33	0,72	0,0001	No normal

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

## Anexo 2. Análisis de varianza

### Test Kruskal Wallis entre temperatures

pH	Variable	Temperatura	N trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	Resultado
p <sub>1</sub>	PR	T <sub>1</sub>	1	20	-322,55	42,78	-320,15	4,36	0,1127	No existe diferencia significativa
p <sub>1</sub>	PR	T <sub>2</sub>	2	20	-313,15	26,37	-309,95			
p <sub>1</sub>	PR	T <sub>3</sub>	3	20	-330,99	18,48	-335,38			
p <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>1</sub>	1	20	3949,38	462,4	3985,5	8,29	0,0158	Existe diferencia significativa
p <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>2</sub>	2	20	4090,98	725,3	4069			
p <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>3</sub>	3	20	4635,1	799	4869,5			
p <sub>1</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>1</sub>	1	20	0,39	0,12	0,38	37,51	0,0001	Existe diferencia significativa
p <sub>1</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>2</sub>	2	20	0,18	0,03	0,17			
p <sub>1</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>3</sub>	3	20	0,51	0,13	0,53			
p <sub>1</sub>	UD(a)	T <sub>1</sub>	1	20	153,96	179,1	52,58	11,45	0,0032	Existe diferencia significativa
p <sub>1</sub>	UD(a)	T <sub>2</sub>	2	20	274,64	377,6	46,83			
p <sub>1</sub>	UD(a)	T <sub>3</sub>	3	20	34,02	31,19	18,33			
p <sub>1</sub>	UD(b)	T <sub>1</sub>	1	20	78,48	88,27	32	6,59	0,0366	Existe diferencia significativa
p <sub>1</sub>	UD(b)	T <sub>2</sub>	2	20	136,8	189	22,19			
p <sub>1</sub>	UD(b)	T <sub>3</sub>	3	20	21,34	16,86	21,17			
p <sub>1</sub>	UI(a)	T <sub>1</sub>	1	20	79,28	87,72	32	5,19	0,073	No existe diferencia significativa
p <sub>1</sub>	UI(a)	T <sub>2</sub>	2	20	138	188,8	23,33			
p <sub>1</sub>	UI(a)	T <sub>3</sub>	3	20	23	17,58	22			
p <sub>1</sub>	UI(b)	T <sub>1</sub>	1	20	39,3	42,37	16	5,74	0,0549	No existe diferencia significativa
p <sub>1</sub>	UI(b)	T <sub>2</sub>	2	20	65,6	87,36	13,33			
p <sub>1</sub>	UI(b)	T <sub>3</sub>	3	20	11,79	8,71	11,31			

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

**Test Kruskal Wallis entre temperaturas (continuación)**

pH	Variable	Temperatura	N trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	Resultado
p <sub>2</sub>	PR	T <sub>1</sub>	1	20	-271,21	20,83	-270,13	4,86	0,0879	No existe diferencia significativa
p <sub>2</sub>	PR	T <sub>2</sub>	2	20	-232,36	62,23	-242,65			
p <sub>2</sub>	PR	T <sub>3</sub>	3	20	-272,97	34,28	-275,85			
p <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>1</sub>	1	20	3987,73	566,5	3982,5	9,17	0,0102	Existe diferencia significativa
p <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>2</sub>	2	20	3961,65	577	3999,5			
p <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>3</sub>	3	20	4555,33	726,2	4745			
p <sub>2</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>1</sub>	1	20	0,35	0,08	0,33	30,62	0,0001	Existe diferencia significativa
p <sub>2</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>2</sub>	2	20	0,31	0,04	0,29			
p <sub>2</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>3</sub>	3	20	0,47	0,09	0,44			
p <sub>2</sub>	UD(a)	T <sub>1</sub>	1	20	325,07	348,7	148	6,5	0,0381	Existe diferencia significativa
p <sub>2</sub>	UD(a)	T <sub>2</sub>	2	20	552,58	753,1	100			
p <sub>2</sub>	UD(a)	T <sub>3</sub>	3	20	88,38	63,79	70,71			
p <sub>2</sub>	UD(b)	T <sub>1</sub>	1	20	161,9	174,5	76	7,22	0,0266	Existe diferencia significativa
p <sub>2</sub>	UD(b)	T <sub>2</sub>	2	20	276,07	376,7	49,66			
p <sub>2</sub>	UD(b)	T <sub>3</sub>	3	20	42,93	30,16	34,16			
p <sub>2</sub>	UI(a)	T <sub>1</sub>	1	20	137,9	140,8	76	7,93	0,0179	Existe diferencia significativa
p <sub>2</sub>	UI(a)	T <sub>2</sub>	2	20	282,7	373,3	60			
p <sub>2</sub>	UI(a)	T <sub>3</sub>	3	20	44,2	30,11	29,83			
p <sub>2</sub>	UI(b)	T <sub>1</sub>	1	20	70,08	69,46	40	9,9	0,0068	Existe diferencia significativa
p <sub>2</sub>	UI(b)	T <sub>2</sub>	2	20	140,9	186,9	29,67			
p <sub>2</sub>	UI(b)	T <sub>3</sub>	3	20	22,4	16,56	15,33			

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

**Test Kruskal Wallis entre temperaturas (continuación)**

pH	Variable	Temperatura	N trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	Resultado
p <sub>4</sub>	PR	T <sub>1</sub>	1	20	-347,81	23,28	-358,15	26,82	0,0001	Existe diferencia significativa
p <sub>4</sub>	PR	T <sub>2</sub>	2	20	-302,66	26,38	-299,6			
p <sub>4</sub>	PR	T <sub>3</sub>	3	20	-331,66	17,35	-331,75			
p <sub>4</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>1</sub>	1	20	5408,5	471,9	5532,5	28,91	0,0001	Existe diferencia significativa
p <sub>4</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>2</sub>	2	20	4202,9	425,4	4191			
p <sub>4</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>3</sub>	3	20	4808,08	726,7	5109			
p <sub>4</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>1</sub>	1	20	0,56	0,08	0,53	39,3	0,0001	Existe diferencia significativa
p <sub>4</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>2</sub>	2	20	0,36	0,06	0,39			
p <sub>4</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	T <sub>3</sub>	3	20	0,69	0,13	0,71			
p <sub>4</sub>	UD(a)	T <sub>1</sub>	1	20	166,02	171,4	76,57	14,84	0,0006	Existe diferencia significativa
p <sub>4</sub>	UD(a)	T <sub>2</sub>	2	20	226,92	296,2	97,25			
p <sub>4</sub>	UD(a)	T <sub>3</sub>	3	20	36,65	31,69	25,5			
p <sub>4</sub>	UD(b)	T <sub>1</sub>	1	20	82,76	85,82	37,33	14,19	0,0008	Existe diferencia significativa
p <sub>4</sub>	UD(b)	T <sub>2</sub>	2	20	113,51	148	48,87			
p <sub>4</sub>	UD(b)	T <sub>3</sub>	3	20	18,49	14,33	14,19			
p <sub>4</sub>	UI(a)	T <sub>1</sub>	1	20	183,48	148,6	120	18,83	0,0001	Existe diferencia significativa
p <sub>4</sub>	UI(a)	T <sub>2</sub>	2	20	145,55	184,2	48			
p <sub>4</sub>	UI(a)	T <sub>3</sub>	3	20	19,15	14,26	15,33			
p <sub>4</sub>	UI(b)	T <sub>1</sub>	1	20	91,23	73,73	61,33	19,41	0,0001	Existe diferencia significativa
p <sub>4</sub>	UI(b)	T <sub>2</sub>	2	20	68,3	85,75	23,33			
p <sub>4</sub>	UI(b)	T <sub>3</sub>	3	20	10,5	8,33	8			

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

### Anexo 3. Análisis de varianza

#### Test Kruskal Wallis entre pH

pH	Variable	Temperatura	N trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	
T <sub>1</sub>	PR	p <sub>1</sub>	1	20	-322,55	42,78	-320,15	49,51	0,0001	Existe diferencia significativa
T <sub>1</sub>	PR	p <sub>2</sub>	2	20	-271,21	20,83	-270,13			
T <sub>1</sub>	PR	p <sub>3</sub>	3	20	-378,86	24,02	-371,4			
T <sub>1</sub>	PR	p <sub>4</sub>	4	20	-347,81	23,28	-358,15			
T <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>1</sub>	1	20	3949,38	462,4	3985,5	38,27	0,0001	Existe diferencia significativa
T <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>2</sub>	2	20	3987,73	566,5	3982,5			
T <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>3</sub>	3	20	3816,8	719,8	3934			
T <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>4</sub>	4	20	5408,5	471,9	5532,5			
T <sub>1</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>1</sub>	1	20	0,39	0,12	0,38	44,41	0,0001	Existe diferencia significativa
T <sub>1</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>2</sub>	2	20	0,35	0,08	0,33			
T <sub>1</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>3</sub>	3	20	0,5	0,06	0,5			
T <sub>1</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>4</sub>	4	20	0,56	0,08	0,53			
T <sub>1</sub>	UD(a)	p <sub>1</sub>	1	20	153,96	179,1	52,58	6,46	0,0893	No existe diferencia significativa
T <sub>1</sub>	UD(a)	p <sub>2</sub>	2	20	325,07	348,7	148			
T <sub>1</sub>	UD(a)	p <sub>3</sub>	3	20	167	171,8	112			
T <sub>1</sub>	UD(a)	p <sub>4</sub>	4	20	166,02	171,4	76,57			
T <sub>1</sub>	UD(b)	p <sub>1</sub>	1	20	78,48	88,27	32	5,07	0,1645	No existe diferencia significativa
T <sub>1</sub>	UD(b)	p <sub>2</sub>	2	20	161,9	174,5	76			
T <sub>1</sub>	UD(b)	p <sub>3</sub>	3	20	85,48	84,62	60			
T <sub>1</sub>	UD(b)	p <sub>4</sub>	4	20	82,76	85,82	37,33			
T <sub>1</sub>	UI(a)	p <sub>1</sub>	1	20	79,28	87,72	32	10,12	0,0167	Existe diferencia significativa
T <sub>1</sub>	UI(a)	p <sub>2</sub>	2	20	137,9	140,8	76			
T <sub>1</sub>	UI(a)	p <sub>3</sub>	3	20	86,3	83,75	49,33			
T <sub>1</sub>	UI(a)	p <sub>4</sub>	4	20	183,48	148,6	120			
T <sub>1</sub>	UI(b)	p <sub>1</sub>	1	20	39,3	42,37	16	10,59	0,0137	Existe diferencia significativa
T <sub>1</sub>	UI(b)	p <sub>2</sub>	2	20	70,08	69,46	40			
T <sub>1</sub>	UI(b)	p <sub>3</sub>	3	20	42,7	40,45	26,67			
T <sub>1</sub>	UI(b)	p <sub>4</sub>	4	20	91,23	73,73	61,33			

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

Test Kruskal Wallis entre pH (continuación)

pH	Variable	Temperatura	N trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	
T <sub>2</sub>	PR	p <sub>1</sub>	1	20	-313,15	26,37	-309,95	42,63	0,0001	Existe diferencia significativa
T <sub>2</sub>	PR	p <sub>2</sub>	2	20	-232,36	62,23	-242,65			
T <sub>2</sub>	PR	p <sub>3</sub>	3	20	-358,46	41,16	-367,88			
T <sub>2</sub>	PR	p <sub>4</sub>	4	20	-302,66	26,38	-299,6			
T <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>1</sub>	1	20	4090,98	725,3	4069	2,44	0,4869	No existe diferencia significativa
T <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>2</sub>	2	20	3961,65	577	3999,5			
T <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>3</sub>	3	20	4044,5	444,2	4185,75			
T <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>4</sub>	4	20	4202,9	425,4	4191			
T <sub>2</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>1</sub>	1	20	0,18	0,03	0,17	63,43	0,0001	Existe diferencia significativa
T <sub>2</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>2</sub>	2	20	0,31	0,04	0,29			
T <sub>2</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>3</sub>	3	20	0,42	0,03	0,42			
T <sub>2</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>4</sub>	4	20	0,36	0,06	0,39			
T <sub>2</sub>	UD(a)	p <sub>1</sub>	1	20	274,64	377,6	46,83	3,07	0,3788	No existe diferencia significativa
T <sub>2</sub>	UD(a)	p <sub>2</sub>	2	20	552,58	753,1	100			
T <sub>2</sub>	UD(a)	p <sub>3</sub>	3	20	283,82	374,7	52,25			
T <sub>2</sub>	UD(a)	p <sub>4</sub>	4	20	226,92	296,2	97,25			
T <sub>2</sub>	UD(b)	p <sub>1</sub>	1	20	136,8	189	22,19	3,49	0,3191	No existe diferencia significativa
T <sub>2</sub>	UD(b)	p <sub>2</sub>	2	20	276,07	376,7	49,66			
T <sub>2</sub>	UD(b)	p <sub>3</sub>	3	20	141,99	187,3	24,87			
T <sub>2</sub>	UD(b)	p <sub>4</sub>	4	20	113,51	148	48,87			
T <sub>2</sub>	UI(a)	p <sub>1</sub>	1	20	138	188,8	23,33	4,05	0,2517	No existe diferencia significativa
T <sub>2</sub>	UI(a)	p <sub>2</sub>	2	20	282,7	373,3	60			
T <sub>2</sub>	UI(a)	p <sub>3</sub>	3	20	144,2	185,8	29,67			
T <sub>2</sub>	UI(a)	p <sub>4</sub>	4	20	145,55	184,2	48			
T <sub>2</sub>	UI(b)	p <sub>1</sub>	1	20	65,6	87,36	13,33	3,52	0,3127	No existe diferencia significativa
T <sub>2</sub>	UI(b)	p <sub>2</sub>	2	20	140,9	186,9	29,67			
T <sub>2</sub>	UI(b)	p <sub>3</sub>	3	20	67,8	86,38	15,33			
T <sub>2</sub>	UI(b)	p <sub>4</sub>	4	20	68,3	85,75	23,33			

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

**Test Kruskal Wallis entre pH (continuación)**

pH	Variable	Temperatura	N trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p	
T <sub>3</sub>	PR	p <sub>1</sub>	1	20	-330,99	18,48	-335,38	62,16	0,0001	Existe diferencia significativa
T <sub>3</sub>	PR	p <sub>2</sub>	2	20	-272,97	34,28	-275,85			
T <sub>3</sub>	PR	p <sub>3</sub>	3	20	-393,94	16,16	-398,83			
T <sub>3</sub>	PR	p <sub>4</sub>	4	20	-331,66	17,35	-331,75			
T <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>1</sub>	1	20	4635,1	799	4869,5	1,85	0,6049	No existe diferencia significativa
T <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>2</sub>	2	20	4555,33	726,2	4745			
T <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>3</sub>	3	20	4663,65	871,7	5205			
T <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	p <sub>4</sub>	4	20	4808,08	726,7	5109			
T <sub>3</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>1</sub>	1	20	0,51	0,13	0,53	29,82	0,0001	Existe diferencia significativa
T <sub>3</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>2</sub>	2	20	0,47	0,09	0,44			
T <sub>3</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>3</sub>	3	20	0,57	0,09	0,55			
T <sub>3</sub>	A <sub>i</sub> /A <sub>T</sub>	p <sub>4</sub>	4	20	0,69	0,13	0,71			
T <sub>3</sub>	UD(a)	p <sub>1</sub>	1	20	34,02	31,19	18,33	19,31	0,0002	Existe diferencia significativa
T <sub>3</sub>	UD(a)	p <sub>2</sub>	2	20	88,38	63,79	70,71			
T <sub>3</sub>	UD(a)	p <sub>3</sub>	3	20	47,96	31,47	38,24			
T <sub>3</sub>	UD(a)	p <sub>4</sub>	4	20	36,65	31,69	25,5			
T <sub>3</sub>	UD(b)	p <sub>1</sub>	1	20	21,34	16,86	21,17	11,84	0,0078	Existe diferencia significativa
T <sub>3</sub>	UD(b)	p <sub>2</sub>	2	20	42,93	30,16	34,16			
T <sub>3</sub>	UD(b)	p <sub>3</sub>	3	20	23,5	14,31	19,37			
T <sub>3</sub>	UD(b)	p <sub>4</sub>	4	20	18,49	14,33	14,19			
T <sub>3</sub>	UI(a)	p <sub>1</sub>	1	20	23	17,58	22	11,5	0,009	Existe diferencia significativa
T <sub>3</sub>	UI(a)	p <sub>2</sub>	2	20	44,2	30,11	29,83			
T <sub>3</sub>	UI(a)	p <sub>3</sub>	3	20	23,15	14,54	18,78			
T <sub>3</sub>	UI(a)	p <sub>4</sub>	4	20	19,15	14,26	15,33			
T <sub>3</sub>	UI(b)	p <sub>1</sub>	1	20	11,79	8,71	11,31	9,38	0,0231	Existe diferencia significativa
T <sub>3</sub>	UI(b)	p <sub>2</sub>	2	20	22,4	16,56	15,33			
T <sub>3</sub>	UI(b)	p <sub>3</sub>	3	20	12,71	8,18	10,21			
T <sub>3</sub>	UI(b)	p <sub>4</sub>	4	20	10,5	8,33	8			

Donde: UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración de Nitrógeno en el amonio, D.E. Desviación Estándar

## Anexo 4. Matrices de correlación

Test de Spearman y Pearson para el conjunto de datos

Tipo	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Normalidad	Test
P <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	UD(a)	20	153,96	179,06	0,68	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	UD(b)	20	78,48	88,27	0,69	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	UI(a)	20	79,28	87,72	0,69	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	UI(b)	20	39,3	42,37	0,71	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,39	0,12	0,96	0,7338	Si	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	3949,38	462,35	0,93	0,3836	Si	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	PR	20	-322,55	42,78	0,92	0,2647	Si	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	UD(a)	20	0,18	0,03	0,83	0,0021	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	UD(b)	20	274,64	377,62	0,64	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	UI(a)	20	136,8	189,04	0,64	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	UI(b)	20	138	188,75	0,65	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> /A <sub>T</sub>	20	65,6	87,36	0,65	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4090,98	725,34	0,98	0,942	Si	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	PR	20	-313,15	26,37	0,93	0,3055	Si	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	UD(a)	20	0,51	0,13	0,74	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	UD(b)	20	4635,1	798,96	0,86	0,0175	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	UI(a)	20	34,02	31,19	0,73	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	UI(b)	20	21,34	16,86	0,77	<0,0001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> /A <sub>T</sub>	20	23	17,58	0,82	0,0017	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	11,79	8,71	0,82	0,001	No	Spearman
P <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	PR	20	-330,99	18,48	0,94	0,5043	Si	Spearman

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

**Test de Spearman y Pearson para el conjunto de datos (continuación)**

Tipo	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Normalidad	Test
P <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	UD(a)	20	325,07	348,67	0,7	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	UD(b)	20	161,9	174,45	0,7	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	UI(a)	20	137,9	140,78	0,75	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	UI(b)	20	70,08	69,46	0,76	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	A <sub>r</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,35	0,08	0,91	0,1432	Si	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	3987,73	566,49	0,95	0,6721	Si	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	PR	20	-271,21	20,83	0,91	0,1331	Si	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	UD(a)	20	0,31	0,04	0,83	0,0033	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	UD(b)	20	552,58	753,06	0,65	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	UI(a)	20	276,07	376,68	0,65	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	UI(b)	20	282,7	373,28	0,66	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	A <sub>r</sub> /A <sub>T</sub>	20	140,9	186,88	0,66	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	3961,65	577,02	0,97	0,8557	Si	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	PR	20	-232,36	62,23	0,9	0,1122	Si	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	UD(a)	20	88,38	63,79	0,82	0,001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	UD(b)	20	42,93	30,16	0,83	0,002	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	UI(a)	20	44,2	30,11	0,83	0,0028	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	UI(b)	20	22,4	16,56	0,78	<0,0001	No	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	A <sub>r</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,47	0,09	0,89	0,077	Si	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4555,33	726,16	0,9	0,1051	Si	Spearman
P <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	PR	20	-272,97	34,28	0,92	0,2362	Si	Spearman

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

**Test de Spearman y Pearson para el conjunto de datos (continuación)**

Tipo	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Normalidad	Test
P <sub>3</sub> T <sub>1</sub>	UD(a)	20	0,5	0,06	0,81	0,001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>1</sub>	UD(b)	20	167	171,78	0,7	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>1</sub>	UI(a)	20	85,48	84,62	0,71	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>1</sub>	UI(b)	20	86,3	83,75	0,71	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>1</sub>	A <sub>I</sub> /A <sub>T</sub>	20	42,7	40,45	0,74	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	3816,8	719,82	0,9	0,1006	Si	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>1</sub>	PR	20	-378,86	24,02	0,92	0,2326	Si	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>2</sub>	UD(a)	20	0,42	0,03	0,84	0,004	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>2</sub>	UD(b)	20	283,82	374,7	0,66	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>2</sub>	UI(a)	20	141,99	187,27	0,66	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>2</sub>	UI(b)	20	144,2	185,81	0,67	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>2</sub>	A <sub>I</sub> /A <sub>T</sub>	20	67,8	86,38	0,67	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4044,5	444,2	0,89	0,066	Si	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>2</sub>	PR	20	-358,46	41,16	0,92	0,2793	Si	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>3</sub>	UD(a)	20	4663,65	871,74	0,76	<0,0001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>3</sub>	UD(b)	20	47,96	31,47	0,81	0,001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>3</sub>	UI(a)	20	23,5	14,31	0,81	0,001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>3</sub>	UI(b)	20	23,15	14,54	0,81	0,001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>3</sub>	A <sub>I</sub> /A <sub>T</sub>	20	12,71	8,18	0,81	0,001	No	Spearman
P <sub>3</sub> T <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	-393,94	16,16	0,79	<0,0001	No	Pearson
P <sub>3</sub> T <sub>3</sub>	PR	20	0,57	0,09	0,92	0,2443	Si	Pearson

UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración del nitrógeno en el amonio.

**Test de Spearman y Pearson para el conjunto de datos (continuación)**

Tipo	Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	Normalidad	Test
P <sub>4</sub> T <sub>1</sub>	UD(a)	20	5408,5	471,94	0,76	<0,0001	No	Pearson
P <sub>4</sub> T <sub>1</sub>	UD(b)	20	166,02	171,36	0,69	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>1</sub>	UI(a)	20	82,76	85,82	0,69	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>1</sub>	UI(b)	20	183,48	148,57	0,81	0,001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>1</sub>	A <sub>I</sub> /A <sub>T</sub>	20	91,23	73,73	0,81	0,001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>1</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	-347,81	23,28	0,66	<0,0001	No	Pearson
P <sub>4</sub> T <sub>1</sub>	PR	20	0,56	0,08	0,89	0,0619	Si	Pearson
P <sub>4</sub> T <sub>2</sub>	UD(a)	20	226,92	296,23	0,71	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>2</sub>	UD(b)	20	113,51	147,95	0,71	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>2</sub>	UI(a)	20	145,55	184,2	0,68	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>2</sub>	UI(b)	20	68,3	85,75	0,68	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>2</sub>	A <sub>I</sub> /A <sub>T</sub>	20	0,36	0,06	0,89	0,0671	Si	Pearson
P <sub>4</sub> T <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	4202,9	425,42	0,92	0,2268	Si	Pearson
P <sub>4</sub> T <sub>2</sub>	PR	20	-302,66	26,38	0,94	0,4843	Si	Pearson
P <sub>4</sub> T <sub>3</sub>	UD(a)	20	0,69	0,13	0,82	0,0014	No	Pearson
P <sub>4</sub> T <sub>3</sub>	UD(b)	20	4808,08	726,65	0,84	0,0061	No	Pearson
P <sub>4</sub> T <sub>3</sub>	UI(a)	20	36,65	31,69	0,7	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>3</sub>	UI(b)	20	18,49	14,33	0,74	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>3</sub>	A <sub>I</sub> /A <sub>T</sub>	20	19,15	14,26	0,74	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20	10,5	8,33	0,72	<0,0001	No	Spearman
P <sub>4</sub> T <sub>3</sub>	PR	20	-331,66	17,35	0,93	0,3861	Si	Pearson

Donde: UD(a) Umbral de detección alto, UD(b) Umbral de detección bajo, UI(a) Umbral de identificación alto, UI(b) Umbral de identificación bajo, PR Potencial Redox, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Concentración Nitrógeno en el amonio.

## **Anexo 5. Procedimiento del test de sensibilidad olfativa**