

# **CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES**

**Contrato UNIDO - Facultad de Agronomía**

**Nº 3000040838**

**Entregable 5**

**Elaborado por: Ing. Agr. (PhD) Amabelia del Pino**

Dpto. de Suelos y Aguas

Facultad de Agronomía

Universidad de la República Oriental del Uruguay

Av. Eugenio Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay

**6 de noviembre de 2019**

# CONTENIDO

	página
<b>I INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS</b>	8
<b>II METODOLOGÍA</b>	9
<b>II. 1. Selección de corrientes a muestrear y número de situaciones por corriente</b>	9
<b>II. 2. Revisión bibliográfica</b>	10
<b>II. 3. Muestreo</b>	10
<u>II.3.1. Metodología de Muestreo</u>	10
<u>II.3.2. Información complementaria</u>	12
<b>II. 4. Análisis fisicoquímicos</b>	12
<u>II.4.1. Secado y molienda de las muestras</u>	12
<u>II.4.2. Parámetros analizados</u>	
<b>II. 5. Cálculos y estimaciones realizadas a partir de los resultados de análisis</b>	13
<u>II.5.1. Cantidad de carbono y nutrientes en los residuos generados</u>	13
<u>II.5.2. Macronutrientes (N, P, K) en los residuos</u>	13
<b>III. RESULTADOS</b>	14
<b>III. 1. Caracterización de residuos de tambo</b>	14
<u>III.1.1. Estiércol de tambo sin separación de sólidos</u>	16
<u>III.1.2. Estiércol de tambo con separación de sólidos (prensa extrusora)</u>	18
<u>III.1.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de tambo (estiércol y prensa extrusora) a nivel nacional.</u>	20
<b>III. 2. Caracterización de residuos de producción intensiva de porcinos (estiércol y cama)</b>	21
<u>III. 2. 1. Estiércol de cerdo</u>	23
<u>III. 2. 2. Cama profunda de cerdo</u>	25
<u>III. 2.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de producción porcina (estiércol y cama profunda) a nivel nacional.</u>	26
<b>III. 3. Caracterización de residuos de producción intensiva de aves (estiércol y cama)</b>	27
<u>III. 3. 1. Estiércol de ave (gallinaza)</u>	29
<u>III. 3. 2. Cama de pollo</u>	30
<u>III. 3.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de producción intensiva de aves (estiércol de ponedoras y cama de pollo) a nivel nacional.</u>	33
<b>III. 4. Caracterización de residuos de la industria avícola: residuos faena (sangre) y plumas</b>	35
<u>III. 4. 1. Composición de sangre</u>	37
<u>III. 4. 2. Composición de plumas</u>	37

<u>III. 4.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de faena de aves (sangre y plumas) a nivel nacional.</u>	38
<b>III.5. Caracterización de residuos de engorde a corral (estiércol)</b>	39
<u>III. 5.1. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de engorde a corral (estiércol) a nivel nacional.</u>	42
<b>III. 6. Caracterización de residuos de frigorífico (sólidos aguas verdes y rojas, cenizas)</b>	43
<u>III. 6. 1. Composición de sólidos de aguas verdes</u>	45
<u>III. 6. 2. Composición de sólidos de aguas rojas, harina de sangre y expeller</u>	46
<u>III. 6.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de faena de frigoríficos (sólidos de aguas verdes y rojas) a nivel nacional.</u>	47
<u>III. 6. 4. Composición de cenizas de madera</u>	47
<u>III. 6.5. Potencial aporte de nutrientes de cenizas a nivel nacional.</u>	50
<b>III.7. Caracterización de residuos de curtiembre (pelos)</b>	52
<u>III. 7.1. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de curtiembre (pelos) a nivel nacional.</u>	54
<b>III. 8. Caracterización de residuos de la industria oleaginosa (alperujo)</b>	55
<u>III. 8.1. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de la industria oleaginosa (alperujo) a nivel nacional.</u>	58
<b>III. 9. Caracterización de residuos de bodegas (escobajo, orujo)</b>	60
<u>III. 9. 1. Composición de orujo</u>	62
<u>III. 9. 2. Composición de escobajo</u>	63
<u>III. 9.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de producción de vino (orujo y escobajo) a nivel nacional.</u>	63
<b>III. 10. Caracterización de compost</b>	65
<b>IV- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS RESIDUOS DE LAS DIFERENTES CORRIENTES</b>	66
<b>IV. 1. Estimación de las cantidades de nutrientes en los residuos.</b>	66
<b>IV.2. Contenido de macronutrientes principales de los residuos orgánicos.</b>	67
<b>IV.3. Grado de cumplimiento con la normativa de “Uso de residuos como mejoradores de suelos”.</b>	68
<b>IV.4. Posible utilización de los residuos como mejoradores de suelos. Restricciones de uso directo y necesidad de mezcla para compostaje.</b>	69
<b>V. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES</b>	72
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA</b>	73

## Lista de Cuadros

	página
<b>Cuadro 1:</b> Parámetros y número de muestras analizadas según corriente de residuo	9
<b>Cuadro 2.</b> Metodología de muestreo	11
<b>Cuadro 3.</b> Composición de estiércol de vacas lecheras con o sin separación de sólidos – Literatura internacional	15
<b>Cuadro 4.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de estiércol de vacas lecheras	16
<b>Cuadro 5.</b> Estiércol de vacas lecheras - Ubicación de los establecimientos muestreados	16
<b>Cuadro 6.</b> Composición química de estiércol de tambo– Relevamiento Biovalor	17
<b>Cuadro 7.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de estiércol de tambo	17
<b>Cuadro 8.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de estiércol prensado	18
<b>Cuadro 9.</b> Estiércol prensado - Ubicación de los establecimientos Muestreados	18
<b>Cuadro 10.</b> Composición química de estiércol de tambo prensado por extrusora Relevamiento Biovalor	19
<b>Cuadro 11.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de estiércol prensado por extrusora	19
<b>Cuadro 12.</b> Composición de estiércol de cerdo – Literatura internacional	22
<b>Cuadro 13.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de estiércol de cerdo	23
<b>Cuadro 14.</b> Estiércol de cerdo - Ubicación de los establecimientos Muestreados	23
<b>Cuadro 15.</b> Composición química de estiércol de cerdo– Relevamiento Biovalor	23
<b>Cuadro 16.</b> Parámetros biológicos de estiércol de cerdo	23
<b>Cuadro 17.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de cama profunda de cerdo	25
<b>Cuadro 18.</b> Cama de cerdo – Ubicación de los establecimientos muestreados	25
<b>Cuadro 19.</b> Composición química de cama profunda de cerdo– Relevamiento Biovalor	25
<b>Cuadro 20.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de cama profunda de cerdo	26
<b>Cuadro 21.</b> Composición de estiércol de ave – Literatura internacional	28
<b>Cuadro 22.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de estiércol de ave	29
<b>Cuadro 23.</b> Composición química de estiércol de gallinas ponedoras– El primer grupo de datos se refiere a animales mantenidos en jaula y el siguiente grupo a animales en piso. Relevamiento Biovalor	29
<b>Cuadro 24.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de estiércol de gallinas ponedoras	30
<b>Cuadro 25.</b> Composición de cama de pollo – Literatura internacional	31
<b>Cuadro 26.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de cama de pollo	32
<b>Cuadro 27.</b> Composición química de cama de pollo – Relevamiento Biovalor	32

<b>Cuadro 28.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de cama de pollo	33
<b>Cuadro 29.</b> Composición de residuos de industria avícola – Literatura internacional	36
<b>Cuadro 30.</b> Composición química de sangre – Relevamiento Biovalor	37
<b>Cuadro 31.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de sangre de pollo	37
<b>Cuadro 32.</b> Composición química de plumas – Relevamiento Biovalor	38
<b>Cuadro 33.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de plumas	38
<b>Cuadro 34.</b> Composición de estiércol bovino (producción de carne) – Literatura internacional	40
<b>Cuadro 35.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de estiércol de corral	41
<b>Cuadro 36.</b> Composición química de estiércol de corral – Relevamiento Biovalor	41
<b>Cuadro 37.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de estiércol de corral	42
<b>Cuadro 38.</b> Composición de residuos líquidos de industria frigorífica – Literatura internacional	44
<b>Cuadro 39.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de residuos de frigoríficos	45
<b>Cuadro 40.</b> Composición química de sólidos de aguas verdes de faena vacuna Relevamiento Biovalor	45
<b>Cuadro 41.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de sólidos de aguas verdes de faena vacuna	46
<b>Cuadro 42.</b> Composición química de sólidos de aguas rojas de faena vacuna. El primer grupo de valores corresponde a residuos líquidos, el segundo a harina de sangre – Relevamiento Biovalor	46
<b>Cuadro 43.</b> Metales pesados de sólidos de aguas rojas de faena vacuna	47
<b>Cuadro 44.</b> Composición de cenizas de madera – Literatura internacional	49
<b>Cuadro 45.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de cenizas	50
<b>Cuadro 46.</b> Composición química de cenizas – Relevamiento Biovalor	50
<b>Cuadro 47.</b> Composición de pelos de curtiembre – Literatura internacional	53
<b>Cuadro 48.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de pelambre vacuna	54
<b>Cuadro 49.</b> Composición química de pelos de curtiembre– Relevamiento Biovalor	54
<b>Cuadro 50.</b> Composición de alperujo – Literatura internacional	56
<b>Cuadro 51.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de alperujo	57
<b>Cuadro 52.</b> Composición química de alperujo de la variedad Arbequina Relevamiento Biovalor	57
<b>Cuadro 53.</b> Composición química de alperujo de las variedades Coratina y Frantoio– Relevamiento Biovalor	58
<b>Cuadro 54.</b> Composición de residuos de elaboración de vino (orujo y escobajo) Literatura internacional	61
<b>Cuadro 55.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de orujo y escobajo	62
<b>Cuadro 56.</b> Composición química de orujo de diferentes variedades de uva	62
<b>Cuadro 57.</b> Composición química de escobajo de diferentes variedades de uva	63
<b>Cuadro 58.</b> Composición de compost de diferentes orígenes	65
<b>Cuadro 59.</b> Contenido de metales pesados en compost.	65
<b>Cuadro 60.</b> Estimación de la cantidad anual de C y nutrientes en los diferentes residuos realizada a partir de la composición promedio y de los datos de generación de residuos	66

<b>Cuadro 61.</b> Contenido de macronutrientes principales (NPK) expresados como porcentajes de N, *P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y *K <sub>2</sub> O.	67
<b>Cuadro 62.</b> Lineamientos de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) para contenido de máximo de metales pesados en residuos a ser aplicados a suelos agrícolas	68
<b>Cuadro 63.</b> Adecuación de los residuos de las diferentes corrientes a la normativa.	68
<b>Cuadro 64.</b> Aplicabilidad de los residuos de las diferentes corrientes como mejoradores de suelos	70

## **Informe - Características físico-químicas de residuos agroindustriales y su aptitud para ser aplicados al suelo**

Responsable:

Ing. Agr. (PhD) Amabelia del Pino

Dpto. de Suelos y Aguas – Facultad de Agronomía

Universidad de la República Oriental del Uruguay

Participantes:

Ing. Agr. Omar Casanova

Ing. Agr. Virginia Takata

Lic. Verónica Piñeiro

Ing. Agr. Valeria Cejas

## I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Una de las mayores dificultades asociadas a la implementación de la aplicación al suelo de residuos es su gran heterogeneidad, lo que imposibilita hacer lineamientos de manejo comunes a los diferentes residuos y condiciona su utilización a la caracterización previa. Por otra parte no todos los suelos y sistemas de producción son adecuados para la utilización de residuos como mejoradores de suelos, siendo este aspecto especialmente delicado en zonas de gran concentración de generadores.

A pesar de la dispersión en las características de los residuos agroindustriales es importante realizar una caracterización a nivel nacional de Uruguay por las siguientes razones: 1) Los factores suelo y clima afectan la producción y tipo de residuo obtenido. 2) El manejo de los animales y cultivos difiere en los diferentes países del mundo. El primero de estos aspectos es especialmente relevante para los residuos vegetales. Tanto a nivel del aporte de macronutrientes de los mismos, por ejemplo Ca, K, P, el cual depende del tipo de suelo sobre el que se desarrollan los mismos (Hernández y del Pino, 2014), como en el caso de micronutrientes o aún contaminantes (Oliveira et al., 2008). Pero también el clima incide en la generación y utilización de residuos de origen animal. Por ejemplo es diferente la estrategia de almacenamiento y utilización de estiércoles en zonas donde los suelos permanecen congelados una gran parte del año, como ocurre en el norte de Europa, EEUU y Canadá, a situaciones como la de nuestro país donde se puede encontrar suelos aptos para la aplicación durante todo el año. El segundo aspecto (diferencias en los sistemas de producción entre países) es más importante para el caso de los residuos de origen animal (estiércoles, residuos de faena). La composición de los estiércoles está directamente relacionada a la de los alimentos de los animales (del Pino y Hernández, 2002). Por lo tanto, es de esperar que la composición de raciones y pasturas, con sus características netamente locales, determinen la composición de los residuos. En cuanto al manejo de los residuos es claro que depende de niveles tecnológicos y otros aspectos de índole práctica que difieren entre países y aún entre empresas en un país.

Dentro de los residuos agroindustriales, desde el punto de vista de su aplicación al suelo se pueden distinguir dos grupos: **i)** Residuos que pueden ser aplicados al suelo con mínimo procesamiento o sin mediar otro proceso que el almacenamiento. **ii)** Residuos que deberían procesarse de cierta forma para poder utilizarse. La caracterización permitirá su utilización, por ejemplo, para la integración a procesos de compostaje, mezcla con otros productos, o incluso ser utilizados como base para fertilizantes organo-minerales.

### **Objetivos**

#### Objetivo general.

El objetivo de la consultoría es fortalecer la base de conocimiento de las características de los residuos generados en diversos sectores agropecuarios y agroindustriales de modo de generar una fuente de información de referencia considerando su potencial uso como mejoradores de suelo.

#### Objetivos específicos:

1. Disponer de una caracterización físico-química de las distintas corrientes de residuos priorizadas por el proyecto considerando su posible uso como mejoradores de suelo.
2. Determinar el potencial aporte de nutrientes de las diferentes corrientes de residuos a partir de la composición y las cantidades de residuos producidas a nivel nacional.
3. A partir de las características físico-químicas brindar herramientas para la planificación de la utilización de residuos en diferentes situaciones productivas.
4. Aportar información que sirva de apoyo para la definición de políticas públicas referentes al uso de residuos como mejoradores de suelos.

## II. METODOLOGÍA

### II. 1. Selección de corrientes a muestrear y número de situaciones por corriente.

En el Cuadro 1 se presentan las corrientes muestreadas y el número de situaciones por corriente. Este número difiere en parte del número originalmente propuesto. En algunos casos no se logró la colaboración de generadores de residuos, como en la corriente “Residuos de Industria Maltera” que no fue posible muestrear, por lo cual no integra este informe. Por otro lado en las corrientes “Residuos de la Industria Frigorífica” el número de muestras fue menor al proyectado por la misma razón. En las corrientes “Curtiembre” y “Producción intensiva de cerdos” el número de muestras fue menor al proyectado, por no haber suficientes situaciones productivas para muestrear. Además, se agregó una corriente “Compostaje”.

Cuadro 1: Parámetros y número de muestras analizadas según corriente de residuo.						
Sector productivo	Corriente de residuo	Parámetros analizados				
		Caracterización general <sup>1</sup>	Metales pesados <sup>2</sup>	Biológicos/patógenos <sup>3</sup>		
				S. sp.	H. H.	Col. F.
1-Tambo	Sólidos de sistema de separación de sólidos (prensa extrusora)	10	3	3	3	3
	Estiércol	11	3	3	3	3
2-Producción intensiva de Porcinos	Estiércol	4		3	3	3
	Cama profunda (paja de cereal)	5	3	3	3	3
3-Producción Intensiva Aves	Camas	11	3	3		3
	Excretas (gallinaza)	10	3	3		3
4-Industrial Aves	Residuos de faena	5	3	3		3
	Plumas	4	3	3		3
5-Engorde a corral	Sólido del barrido de corrales	14	3			3
6- Frigorífico	Sólido Aguas rojas/harina sangre	5 + 2	3			
	Sólidos Aguas Verdes (ii)	7	3		3	3
	Cenizas de madera	5				
7- Curtiembre	Pelos	5				
8-Ind. Oleaginosa	Alperujo	7				
9 - Bodegas y Sidrerías	Escobajos	3				
	Orujo	9				
10- Compostaje		6	6			

<sup>1</sup>Análisis generales: MS, pH, CE, Densidad, SV y contenidos de C, N, Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn y Zn.

<sup>2</sup>Metales pesados: (As, Cd, Cr, Cr<sup>VI</sup>, Hg, Ni, Pb).

<sup>3</sup>S. Sp.: *Salmonella Sp.* H.H: Huevos de helmintos. Col. F.: Coliformes Fecales.

## **II. 2. Revisión bibliográfica**

En primer lugar, se hizo una revisión bibliográfica de datos de composición de las corrientes seleccionadas. Se relevó información obtenida en publicaciones de carácter científico (artículos en revistas arbitradas, tesis de grado y posgrado), así como otro tipo de publicaciones tanto proveniente de entidades públicas como de empresas privadas. En cada caso se citó la fuente de información a fin de permitir la consulta al documento original.

Respecto a la confiabilidad de la información presentada es consecuencia del tipo de publicación de origen. Un aspecto a resaltar es que la mayor parte de la bibliografía proveniente de publicaciones científicas y de divulgación no presenta detalles de certificación de técnicas analíticas. Por otra parte, no se encontraron datos de Cr<sup>VI</sup> en ningún caso, y en general no se encontraron datos de Hg, salvo en la composición de cenizas de madera. Tanto para el caso de Cr<sup>VI</sup> como Hg los autores no especifican la razón de no analizarlos, aunque no debe descartarse el hecho de que en residuos de origen animal o vegetal no es de esperar la presencia de estos elementos. De todos modos consideramos que a nivel del país puede ser importante medir estos parámetros (Cr<sup>VI</sup> y Hg), así como microorganismos patógenos en las diferentes corrientes de residuos, a fin de tener datos que orienten respecto a la necesidad de determinarlos en el futuro en otros residuos del mismo tipo.

En el presente informe se presentarán los cuadros de composición de las diferentes corrientes, elaborados a partir de la bibliografía, junto a los resultados del relevamiento realizado. En el orden de las citas de estos cuadros de la revisión bibliográfica se priorizó la información de Uruguay y el número de parámetros medidos. Los parámetros incluidos en los cuadros son básicamente la composición elemental de los residuos. No se incluyen contenido de formas de nutrientes (nitrato, amonio, etc.) ya que éstas son circunstanciales y están sujetos a variaciones y por lo tanto no caracterizan el residuo. Tampoco se incluyen otros datos como densidad aparente y tamaño de partículas ya que el interés por estos parámetros no es general, sino que pueden ser útiles para el manejo en cada situación particular. En los cuadros se indica el número de muestras de las cuales se obtuvo el dato como promedio, salvo que los autores reporten el rango, en cuyo caso se especifica mínimo y máximo. Cuando no se indica número de muestras se trata del análisis de una sola muestra.

## **II. 3. Muestreo**

### **II.3. 1. Metodología de Muestreo**

En las corrientes tambo (sólidos de extrusora y estiércol), producción intensiva de aves (camas), industria oleaginosa, engorde a corral, algunos de frigorífico, el muestreo fue realizado por el equipo de Facultad de Agronomía, en las restantes las muestras fueron suministradas por los productores o el equipo de Biovalor.

El Cuadro 2 muestra la metodología de muestreo en cada caso.

**Cuadro 2. Metodología de muestreo**

<b>Sector productivo</b>	<b>Corriente de residuo</b>	<b>Situaciones de producción</b>	<b>Material a muestrear</b>	<b>Procedimiento de muestreo</b>
<b>Tambo</b>	Sólidos de sistema de separación de sólidos	Establecimientos con diferentes sistemas de alimentación	Toma de material en el depósito inmediatamente de salida de la extrusora.	Muestra compuesta de 10 tomas de aprox. 200 g c/una.
	Estiércol de vacas lecheras	Establecimientos que tengan diferentes sistemas de alimentación.	Toma de material en el depósito inmediatamente de realizada la limpieza.	Muestra compuesta de 10 tomas de aprox. 200 g c/una.
<b>Producción Intensiva Aves</b>	Camas	Establecimientos que tengan diferente manejo de cama: número de crías	Toma de material inmediatamente después de retirar la cama (fin de ciclo de cría).	Muestra compuesta de 10 tomas de aprox. 200 g c/una.
	Excretas (gallinaza)	Establecimientos que tengan diferente manejo: animales en piso o jaula	Toma de material en el depósito inmediatamente después de la limpieza.	Muestra compuesta de 10 tomas de aprox. 200 g c/una.
<b>Industrial Aves</b>	Residuos de faena	Diferentes empresas tienen diferente manejo de residuos.	Toma de material en el depósito inmediatamente después de la faena	Muestra compuesta de 10 tomas de aprox. 100 mL c/una.
	Plumas		Toma de material en el depósito inmediatamente después de la faena	Muestra compuesta de 10 tomas de aprox. 100 mL c/una.
<b>Curtiembre</b>	Pelos	Separación de pelos	Toma de material en el depósito inmediatamente después de extraer los pelos	Muestra compuesta de 10 tomas de aprox. 100 mL c/una.
<b>Ind. Oleaginosas</b>	Alperujo	Residuo de primer prensado, se acopia en cisterna para aplicación a campo	Toma de material en el depósito inmediatamente después de producido el residuo	Muestra compuesta de 10 tomas de aprox. 200 mL c/una.
<b>Bodegas y Sidrerías</b>	Escobajo	Diferentes variedades	Toma de material en el depósito inmediatamente después de producido el residuo	Muestra compuesta de 10 tomas
	Orujo	Diferentes variedades	Toma de material en el depósito inmediatamente después de producido el residuo	Muestra compuesta de 10 tomas
<b>Engorde a corral</b>	Estiércol vacuno	Establecimientos con diferentes categorías	Toma de material del piso del corral luego de retirados los animales	Muestra compuesta de 10 tomas
<b>Industria Frigorífica</b>	Sólido aguas verdes (cont. ruminal)	Animales con diferentes sistemas de alimentación (campo y engorde a corral)	Toma de material en el depósito inmediatamente después de la faena	Muestra compuesta
	Sangre y sólido aguas rojas	Situación única		Muestra compuesta
	Harina de huesos	Situación única		Muestra compuesta
<b>Compostaje</b>			Producto comercial	

Los residuos se mezclaron y se tomó una submuestra de aproximadamente 1 L para realizar los análisis. En el caso de las muestras que se enviaron a PTP en algunos casos se tomó una segunda submuestra y en otros se submuestrearon muestras mayores. El traslado a laboratorio se realizó manteniendo la muestra en frío mediante conservadora con refrigerante.

Los criterios de muestreo se realizarán de acuerdo a los procedimientos descritos por Peters et al., 2003.

### II.3.2. Información complementaria

Para cada generador de residuos se requirió la siguiente información:

- a) Ubicación del establecimiento generador (toma de coordenadas con GPS).
- b) Situación productiva que da origen al residuo en cuestión.
- c) Manejo que se realiza del residuo dentro del establecimiento donde se genera hasta el momento en que se realiza el muestreo, en los casos que exista tal instancia.
- d) Condiciones y el tiempo en que fue almacenado el residuo hasta su muestreo.

## **II. 4. Análisis físicoquímicos**

### II.4.1. Secado y molienda de las muestras

Las muestras se secaron a 60°C en estufa de aire forzado hasta peso constante, luego se molieron hasta pasar malla de 0.5 mm.

### II.4.2. Parámetros analizados

Los análisis del ítem 4.a de la Pauta de DINAMA (As; Cd; Cr; Cr<sup>VI</sup> Hg; Ni; Pb) por no tener capacidad analítica en Facultad de Agronomía se enviaron a laboratorios externos que cumplan con los parámetros de calidad exigidos (EPA 3051 A/SM 3111 B). El mismo procedimiento de envío a laboratorio externo se realizó con los análisis de patógenos. Los laboratorios que realizaron estos análisis fueron: Ecotech (metales pesados); Instituto de higiene (huevos de helminto) y Zurgén (coliformes fecales, salmonella).

Los análisis agronómicos se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía. Contenido de materia seca, o sea sólidos totales y densidad se realizaron por gravimetría. El pH se determinó por potenciometría y la CE con electrodo específico, en ambos casos sobre muestras frescas. En caso de muestras con contenidos de MS mayor a 30 % se agregó agua desionizada para llevar la relación sólido; agua a 1:3. El contenido de N total se determinó por destilación Kjeldahl previa digestión de la muestra por vía húmeda (mediante H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y mezcla de catalizadores). El contenido total de C se analizó por calcinación (sólidos volátiles) y por digestión húmeda con K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y calor externo (150°C) durante 30 minutos, con determinación colorimétrica a 600 nm. El contenido total de P se determinó colorimétricamente luego de la mineralización de la muestra por vía seca (calcinación de la muestra a 550°C durante 5 horas y disolución de las cenizas con HCl). Los cationes se determinaron en el mismo extracto mediante espectrofotometría de absorción atómica (Ca y Mg) y espectrofotometría de emisión (K y Na). El contenido de micronutrientes Cu, Fe, Mn y Zn se analizó en el mismo extracto mediante espectrofotometría de absorción atómica. La extracción de polifenoles solubles se realizó con H<sub>2</sub>O a 100°C durante 1 hora seguido por la determinación colorimétrica con el reactivo

de Folin – Ciocalteu, usando ácido tánico como estándar (Singleton y Rossi, 1965). Estos son métodos de análisis estándar en la evaluación agronómica de residuos. La descripción de los mismos se encuentra en la publicación “Recommended Methods of Manure Analysis. Peters, J., Combs, S. M., Hoskins, B., Jarman, J., Kovar, J., Watson, M., & Wolf, N. (2003). USDA - University of Wisconsin Cooperative Extension Publishing: Madison, WI”.

## ***II. 5. Cálculos y estimaciones realizadas a partir de los resultados de análisis***

### **II.5.1. Cantidad de carbono y nutrientes en los residuos generados**

Se utilizó la información publicada por Biovalor (Benzano et al., 2016) de estimación de cantidades de residuos generados anualmente por las diferentes corrientes para el cálculo del C y los nutrientes involucrados.

### **II.5.2. Macronutrientes (N, P, K) en los residuos**

A partir de los contenidos totales de N, P y K se calculó la concentración conjunta de macronutrientes expresada como % de N, % de  $P_2O_5$  y % de  $K_2O$ . Con este cálculo se intenta obtener información respecto al aporte de nutrientes en las unidades utilizadas para la caracterización de fertilizantes orgánicos. Debe aclararse no obstante que la normativa establece límites de solubilidad de los nutrientes, aspecto que no fue explorado en este estudio.

### III. RESULTADOS

#### ***III. 1. Caracterización de residuos de tambo***

Se trata de residuos con amplia historia de uso a nivel nacional e internacional. Por lo tanto, no caben dudas respecto a su aplicabilidad al suelo, restando conocer las características asociadas a su manejo a nivel del país.

El principal componente original es estiércol, aunque en algunos casos se incluye residuos de patios de alimentación, los cuales conllevan restos de ración. También puede estar contaminado con suelo, llevado a las instalaciones por los animales.

La composición original es variable a lo largo del año y depende de características de los animales y de la alimentación que los mismos reciben. En una segunda instancia la composición depende del tratamiento (lagunas anaerobias, separación de sólidos, etc). En el caso del estiércol sin tratamiento un aspecto importante se relaciona a las condiciones de almacenamiento, ya que estas pueden incidir en procesos de secado y descomposición.

Debido a que en muchos casos los efluentes de lechería provienen del lavado de las instalaciones y reciben tratamiento en lagunas anaeróbicas es relativamente escasa la bibliografía que reporta datos de su composición original. El Cuadro 3 presenta un resumen de la composición de estiércol de vacas lecheras de acuerdo a la bibliografía consultada. En los casos de material proveniente de sistemas de separación de sólidos se lo indica específicamente en el cuadro. En cada caso se indica el país de origen de la información.

<b>Cuadro 3. Composición de estiércol de vacas lecheras con o sin separación de sólidos – Literatura internacional</b>																					
	MS	pH	Cza	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As		
Autor	%		----- g/kg -----										----- mg/kg -----							Comentarios	
<b>Estiércol de vacas lecheras</b>																					
del Pino et al. (2009)	26	7.7	238	381	21.8	18	9.1	3.5	9.2	3.6	*	0.7								Uruguay Raza Holando	
Mc Bride y Spiers (2001)											0.7		18	87	1	2	0.7	0.1	1.0	**EEUU - 20 muestras Mínimo	
											6.3		1100	488	13	35	4.3	0.4	2.0	Máximo	
Nicholson (1999)	18												38	153	5.3	4	4	0.4	1.6	**Reino Unido 6 muestras	
Calderón et al. (2004)		6.1		140	9	11	0.1	0.3												** EEUU- 109 muestras mínimo	
		8.0		760	33	40	2.8	7.1												máximo	
Michel et al. (2004)	17	7.6		440	29	15	4.5	2.7												**EEUU 34 muestras	
<b>Sistema de separación de sólidos</b>																					
Longhust et al. (2011)	35			117	6.1	19	1.1	2.3			0.8									**Nueva Zelandia Diferentes sistemas de separación de sólidos	
	22			88	2.4	38	0.6	0.8													
	25			102	3.8	27	0.4	0.6			0.5										
	22			92	2.7	34	0.5	0.8													
Moller et al. (2000)	9				47		10													**Dinamarca Diferentes sistemas de separación de sólidos	
	32				16		6														
	22				18		6														
	14				36		9														
	15				34		8														

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* No se especifica raza ni otros datos de los animales generadores del estiércol.

### III. 1. 1. Estiércol de tambo sin separación de sólidos

Los Cuadros 4 y 5 muestran las características de los establecimientos muestreados. Los Cuadros 6 y 7 muestran los resultados de análisis de estiércol de tambo sin separación de sólidos.

<b>Cuadro 4. Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de estiércol de vacas lecheras</b>		
<b>Establecimiento</b>	<b>Nº Vacas en ordeño</b>	<b>Muestreo</b>
1	90	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza/ Lampazo
2	18	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza/ Lampazo/acumulado a la intemperie
3	150	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza/ Lampazo
4	120	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza/ Lampazo
5	11	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza/ Lampazo
6	150	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza/ Lampazo
7	160	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza/ Lampazo y pala mecánica para apilar
8	58	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza
9	160	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza
10	250	Realizado durante control veterinario en sala de espera tambo
11	120	Realizado luego del ordeño y antes de la limpieza

<b>Cuadro 5. Estiércol de vacas lecheras- Ubicación de los establecimientos muestreados</b>	
<b>Tambo</b>	<b>Departamento</b>
1	San José
2	San José
3	San José
4	San José
5	Canelones
6	Colonia
7	Colonia
8	Colonia
9	San José
10	Río Negro
11	Flores

**Cuadro 6.** Composición química de estiércol de tambo– Relevamiento Biovalor

	Dens																		
	MS	pH	CE	Dens.	MS	C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	%		dS/m	--- g/cm <sup>3</sup> ---	---	g/kg---	%	---	g/kg---			----- g/kg -----			----- mg/kg -----				
1	15	8,5	3,7	1,03	0,16	329	411	71	5,3	17,5	19	16,4	6,6	7,9	2,1	1203	195	8	33
2	36	7,9	2,6	0,85	0,30	157	265	46	7,6	15,8		17,5	4,1	7,7	1,6	2318	181	17	60
3	20	6,1	3,9	1,03	0,21	405	412	71	8,1	20,0	20	15,5	5,1	8,2	1,5	1089	220	13	41
4	18	8,3	5,0	0,99	0,18	306	339	58	7,3	15,5	20	15,6	3,3	12,6	3,4	1199	89	8	29
5	15	7,3	2,3	1,01	0,15	391	465	80	6,4	16,6	23	12,8	2,8	8,0	1,2	712	68	14	46
6	17	6,1	3,3	1,01	0,17	351	339	59	5,1	23,1	15	7,3	3,0	6,0	2,1	670	122	8	29
7	26	7,1	6,2	1,06	0,28	290	313	54	5,1	20,6	14	5,8	2,5	5,7	2,4	589	84	5	38
8	16	7,0	4,6	1,00	0,16	267	314	54	3,8	20,9	13	6,6	2,3	13,6	1,0	450	97	3	23
9	14	7,2	3,8	1,01	0,14	332	325	56	3,5	17,8	19	10,4	4,1	5,9	1,7	648	249	7	23
10	14	7,1	2,9	1,01	0,14	373	431	74	4,4	16,6	22	8,5	3,3	5,6	2,2	536	121	8	25
11	31	8,5	9,2	1,08	0,33	171	265	46	2,7	12,4	14	4,3	1,7	10,8	1,3	671	81	3	17
<b>Prom</b>	<b>20</b>	<b>7,4</b>	<b>4,3</b>	<b>1,01</b>	<b>0,20</b>	<b>306</b>	<b>353</b>	<b>61</b>	<b>5,38</b>	<b>17,9</b>	<b>17</b>	<b>11,0</b>	<b>3,5</b>	<b>8,4</b>	<b>1,9</b>	<b>777*</b>	<b>137</b>	<b>9</b>	<b>33</b>
<b>Max</b>	<b>36</b>	<b>8,5</b>	<b>9,2</b>	<b>1,08</b>	<b>0,33</b>	<b>405</b>	<b>465</b>	<b>80</b>	<b>8,10</b>	<b>23,1</b>	<b>23</b>	<b>17,5</b>	<b>6,6</b>	<b>13,6</b>	<b>3,4</b>	<b>2318</b>	<b>249</b>	<b>17</b>	<b>60</b>
<b>Min</b>	<b>14</b>	<b>6,1</b>	<b>2,3</b>	<b>0,85</b>	<b>0,14</b>	<b>157</b>	<b>265</b>	<b>46</b>	<b>2,68</b>	<b>12,4</b>	<b>10</b>	<b>4,3</b>	<b>1,7</b>	<b>5,6</b>	<b>1,0</b>	<b>450</b>	<b>68</b>	<b>3</b>	<b>17</b>

\* Para el promedio de contenido de Fe no se consideró el máximo por estar fuera de la distribución (outlier).  
Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
SV: Sólidos volátiles;  
C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente.

Al comparar los resultados de este estudio con la bibliografía se observa que en general los rangos de los diferentes parámetros son menores a los del Cuadro 3, probablemente debido a que las condiciones de muestreo estaban estandarizadas en este caso y los datos de bibliografía provienen de diferentes estudios. En el caso de este relevamiento, en la mayoría de los parámetros, los rangos son similares (pH, Ca, Mg, K, Na). Los valores de contenido de C, P y N mostraron rangos más acotados y promedios mayores a los de la bibliografía extranjera, aunque en niveles similares a los de estudios anteriores realizados en Uruguay. En cuanto a micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) en general los valores obtenidos en este estudio fueron menores a los reportados en la bibliografía. Un aspecto importante al interpretar estos resultados es que los altos valores de micronutrientes en estiércol pueden ser atribuibles a contaminación con suelo, en vez de a una característica del material. En nuestro estudio los mayores contenidos de Fe, Cu y Zn se observaron en la muestra 2, que presentó el mayor contenido de MS, lo que sugiere que podría tener una cierta cantidad de suelo mezclado. La relación C:N del estiércol estuvo en un rango relativamente estrecho, y en todos los casos es de esperar que su descomposición llevará a una mineralización neta de N, por estar por debajo del valor de 25 sugerido por varios autores (Trinsoutrot et. al., 2000), para separar mineralización neta de inmovilización de N mineral.

**Cuadro 7.** Parámetros biológicos y metales pesados de estiércol de tambo

	Coliformes Fecales	Huevos helmintos	Salmonella sp.	As	Cd	Cr	Cr <sup>VI</sup>	Hg	Ni	Pb
	ufc/g	/g	/25 g	----- mg/kg -----						
2	1.3 x 10 <sup>3</sup>	ausencia	ausencia	<0,1	<0,2	<0,4	<0,3	<0,1	2,4	<0,4
9	1 x 10 <sup>2</sup>	ausencia	ausencia	<0,3	<0,2	2,0	<0,7	<0,3	0,7	0,5
10	2 x 10 <sup>1</sup>	ausencia	ausencia	0,9	<0,2	1,7	<0,7	<0,3	2,6	7,6

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede cuantificarse, pero está debajo de ese valor

Los contenidos de metales pesados fueron en general bajos. Se observó una disparidad entre muestras, lo que probablemente se debe a numerosos factores no solamente relacionados al tipo de residuo en sí.

### III. 1. 2. Estiércol de tambo con separación de sólidos (prensa extrusora)

Los Cuadros 8 y 9 muestran las características de los establecimientos muestreados. Los Cuadros 10 y 11 muestran los resultados de análisis de estiércol de tambo con separación de sólidos.

<b>Cuadro 8.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de estiércol prensado			
<b>Establecimiento</b>	<b>Nº Vacas en ordeño</b>	<b>Manejo del rodeo</b>	<b>Alimentación</b>
1	10000	Estabulado	Silo
2	500	Mitad estabulado y mitad pastoril	Pastoreo/silo/concentrado
3	300	Mitad estabulado y mitad pastoril	Pastoreo/silo/concentrado
4	39	Pastoreo	Pastoreo/concentrado
5	600	Pastoreo	Pastoreo/silo/concentrado
6	1500	Pastoreo	Pastoreo/silo/concentrado
7	1000	Estabulado	Silo/concentrado
8	180	Estabulado	Silo/concentrado
9	250	Pastoreo	Pastoreo/silo/concentrado
10		Pastoreo	Pastoreo/silo/concentrado

En todos los casos las muestras se tomaron inmediatamente del prensado, salvo en 4, ya que por tratarse de un establecimiento muy pequeño acumulan el efluente de varios días y luego realizan el prensado.

<b>Cuadro 9.</b> Estiércol prensado - Ubicación de los establecimientos muestreados	
<b>Tambo</b>	<b>Departamento</b>
1	Durazno
2	San José
3	Colonia
4	San José
5	San José
6	Flores
7	Maldonado
8	Maldonado
9	Río Negro

**Cuadro 10.** Composición química de estiércol de tambo prensado por extrusora– Relevamiento Biovalor

	MS	pH	CE	Dens.		C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
				Dens.	MS														
	%		dS/m	g/cm <sup>3</sup>	g/kg	g/kg	%	g/kg				g/kg					mg/kg		
1	23	8,6	1,7	0,60	0,14	462	524	90	1,7	12,7	36	8,3	2,5	2,1	0,9	369	73	5	44
2	22	8,6	0,5	0,42	0,09	420	538	93	1,0	8,2	51	4,4	1,1	2,6	0,6	374	34	3	15
3	15	8,2	0,7	0,69	0,11	431	473	82	1,7	10,4	41	6,7	1,5	3,0	1,1	841	72	4	27
4	25	8,5	0,3	0,53	0,13	355	339	58	1,8	10,4	34	11,5	1,7	2,0	0,7	1045	102	8	42
5	23	8,4	0,7	0,61	0,14	420	482	83	2,6	13,7	31	11,4	2,6	3,6	1,2	518	72	8	20
6	23	8,9	0,3	0,32	0,07	420	500	86	1,6	11,8	35	5,6	2,1	2,0	1,2	525	48	10	38
7	15	7,4	0,6	0,63	0,10	438	548	95	1,3	10,4	42	2,5	0,8	2,0	1,0	137	28	4	17
8	15	8,6	2,7	0,93	0,14	389	515	89	3,2	15,4	25	11,5	3,9	15,6	4,9	708	88	26	105
9	18	7,7	0,6	0,93	0,17	405	391	67	1,1	9,6	42	5,0	1,0	2,1	0,8	639	50	3	42
10	24	8,5	0,8	0,76	0,18	397	493	67	2,6	11,5	35	6,4	1,6	3,2	1,2	1006	77	16	43
<b>Prom</b>	<b>20</b>	<b>8,3</b>	<b>0,9</b>	<b>0,64</b>	<b>0,13</b>	<b>414</b>	<b>480</b>	<b>81</b>	<b>1,9</b>	<b>11,4</b>	<b>37</b>	<b>7,3</b>	<b>1,9</b>	<b>2,5*</b>	<b>1,4</b>	<b>616</b>	<b>64</b>	<b>7*</b>	<b>39</b>
<b>Max</b>	<b>25</b>	<b>8,9</b>	<b>2,7</b>	<b>0,93</b>	<b>0,18</b>	<b>460</b>	<b>548</b>	<b>95</b>	<b>3,2</b>	<b>15,4</b>	<b>51</b>	<b>11,5</b>	<b>3,9</b>	<b>15,6</b>	<b>4,9</b>	<b>1045</b>	<b>102</b>	<b>26</b>	<b>105</b>
<b>Min</b>	<b>15</b>	<b>7,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,32</b>	<b>0,07</b>	<b>355</b>	<b>339</b>	<b>58</b>	<b>1,0</b>	<b>8,2</b>	<b>25</b>	<b>2,5</b>	<b>0,8</b>	<b>2,0</b>	<b>0,6</b>	<b>137</b>	<b>28</b>	<b>3</b>	<b>15</b>

\* Para el promedio de contenido de K y Cu no se consideró el máximo por estar fuera de la distribución (outlier).

Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;

SV: Sólidos volátiles;

C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

**Cuadro 11.** Parámetros biológicos y metales pesados de estiércol prensado por extrusora

	Coliformes Fecales	Huevos helmintos	Salmonella sp.	As	Cd	Cr	Cr <sup>VI</sup>	Hg	Ni	Pb
	ufc/g	/g	/25 g	mg/kg						
2	1,4 x 10 <sup>4</sup>	ausencia	ausencia	<0,1	<0,2	<0,4	<0,3	<0,1	1,1	<0,4
3	9 x 10 <sup>3</sup>	ausencia	ausencia	<0,1	<0,2	<0,4	<0,3	<0,1	1,5	<0,4
4	1 x 10 <sup>3</sup>	ausencia	ausencia	<0,1	<0,2	<0,4	<0,3	<0,1	1,5	<0,4

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

Al comparar los resultados de estiércol de tambo y el estiércol prensado por extrusora resulta evidente que el proceso de extrusado tiene un efecto limitado sobre el contenido de sólidos del producto final (promedios similares de contenido de MS). Probablemente este hecho se debe a que el material extrusado es orgánico en su casi totalidad con un promedio de SV de 80 %, en tanto que el estiércol está frecuentemente mezclado con suelo (SV promedio 61 %).

Sin embargo el mayor contenido de MO del material extrusado no necesariamente implica un mayor valor como enmienda, debido a que en el proceso pierde una parte muy importante de los nutrientes solubles, lo que además se evidencia en el menor nivel de CE y mayor relación C:N. En este estudio el extrusado presentó en promedio de menos de la mitad de la concentración de P y K comparado al estiércol, y cantidades cercanas a la mitad de N y Mg. Un aspecto que puede ser positivo para su utilización es que el extrusado presenta una mayor relación N:P en comparación con el estiércol, lo que sugiere que su aplicación contribuiría en menor medida a la acumulación de P en el suelo. Con respecto a su contenido de metales pesados, fue aún menor que el del estiércol de tambo.

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que el material extrusado presenta mayor ventaja que el estiércol fresco en cuanto al aporte de MO, sin embargo el estiércol posee

mayores contenidos de nutrientes para aportar al suelo.

El apilado del material extrusado previo a su aplicación al suelo, por otra parte, sería menos riesgoso desde el punto de vista de posibles lixiviados, debido a que se trata básicamente de fibra. Otro aspecto importante para el manejo del material extrusado es su muy baja densidad en base seca (promedio de 120 kg/m<sup>3</sup>) en comparación con el estiércol, lo que puede resultar un obstáculo para su traslado y aplicación, ya que el volumen incrementa los costos.

### III.1.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de tambo (estiércol y prensa extrusora) a nivel nacional.

Estos residuos tienen un enorme potencial aporte de nutrientes a nivel del país, incluso por tratarse de un tipo de producción que en mayor o menor medida se encuentra distribuida en todo el territorio. A pesar de las bajas concentraciones estos residuos contienen grandes cantidades de nutrientes (se estimó 1307; 393 y 611 toneladas por año de N, P y K respectivamente, Cuadro 60).

No obstante la posibilidad de reutilización de los nutrientes provenientes de estos residuos es limitada. Esto se debe por un lado a que en muchos predios la generación es relativamente baja, por otro lado los sistemas de manejo de efluentes son variados, aunque frecuentemente implican una importante dilución con agua de lavado. En consecuencia las posibilidades de colocación de estos residuos en zonas alejadas a la generación se ven limitadas por el alto costo de energía que significa su traslado en comparación con el aporte de nutrientes. En ese contexto la solución tecnológica que se implementa generalmente es el bombeo de líquidos, o traslado de sólidos dentro del propio predio generador.

### **III. 2. Caracterización de residuos de producción intensiva de porcinos (estiércol y cama)**

Como todos los residuos basados en estiércol estos residuos se consideran adecuados para su aplicación directa al suelo, en tanto se respeten lineamientos ambientales y de manejo. Por provenir de un animal monogástrico el estiércol de cerdo presenta en general mayor contenido de nutrientes y menor contenido de fibra que el de vacunos. Una de las principales limitaciones a su utilización directa está dada por la generación de olores, por lo cual se ha propuesto como solución tecnológica su inyección al suelo.

Es de esperar que la cama profunda de cerdos en engorde, cuyo principal componente es estiércol, tenga residuos del material que se utilizó para la misma (paja de cereales, cáscara de arroz, etc.). Estos materiales son en general fibrosos y su aporte de nutrientes es mínimo comparado con el del estiércol. No obstante se ha observado la ocurrencia de procesos de compostaje "in situ" en las camas, lo que implica que esos materiales acompañantes están parcialmente descompuestos, además de diluidos por las deyecciones de los animales (Tam et al., 1996).

El Cuadro 12 presenta un resumen de la composición de estiércol de cerdo y material retirado de camas. En cada caso se indica el país de origen de la información, si se trata de cama o de estiércol y el tipo de cama si el autor lo reporta.

<b>Cuadro 12. Composición de estiércol de cerdo – Literatura internacional</b>																								
	MS	pH	CE	C <sub>za</sub>	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As		
Autor	%		dS/m	----- g/kg -----									----- mg/kg -----									Comentarios		
<b>Estiércol de cerdo</b>																								
Moreno et al. (2002)	*		2.2			17.7		10.1	6.3				1.7	138	1484	201	307	6.9	0.9	5.6	**nd		***España – estiércol 6 casos	
			4.2			26.6		17.2	12.3				3.4	226	1597	435	593	14	8.7	27	1.2		Mínimo	
Kirchman y Witter (1992)		6.5		18	542	34.2	16	29	11.4	26	9.8	4.3	2.0	114	860	247	1195						***Suecia estiércol	
Burton y Turner (2003)	24					28.6		11.4															*** Unión Europea estiércol	
Moller et al. (2000)	12					39		15															***Dinamarca – estiércol. Diferentes sistemas de separación de sólidos	
	32					15		10																
	22					18		13																
	17					32		14																
Moller et al. (2007)	19					33		18															***Dinamarca – estiércol Diferentes sistemas separación de sólidos	
	5					5.4		1.1	3.3		0.7			20										
	7					5.8		1.3	3.9		0.8			10										
Loecke et al. (2004)	9					6.9		2.3	5.4		0.7			20									***EEUU estiércol - 2 años	
	45	8.4	5.1	439	254	21	12	9.7	21															
	45	8.4	2.9	434	243	18	13	9.2	16															
<b>Cama de cerdos en engorde</b>																								
Nicholson (1999)	22													374			431	2.0	7.5	2.9	0.4	0.9	***Reino Unido 7 muestras	
Tam et al. (1996)		7.3	2.8		304	22	12	26	17														***Hong Kong Cama aserrín- 10 semanas	
		7.7	4.2		306	30	12	36	20														28 semanas	
		7.3	5.5		300	34	11	52	27														46 semanas	

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* nd indica no detectable

\*\*\* No se especifica raza ni otros datos de los animales generadores del estiércol.

### III. 2.1. Estiércol de cerdo

Los Cuadros 13 y 14 presentan la ubicación y características de los predios de los cuales se retiró estiércol de cerdo y los cuadros 15 y 16 la composición promedio de este material.

Establecimiento	Orientación productiva	Alimentación
1	Ciclo completo	Granos-rationes
2	Ciclo completo	Residuos matadero-granos - raciones
3	Ciclo completo	Residuos ind. avícola-granos-rationes
4	Ciclo completo	Granos-rationes

Establecimiento	Dirección	Departamento
1	Ruta 1 km 50, Libertad	San José
2	Ruta 6, km 66 Camino vecinal	Canelones
3	Ruta 6, km 66 Camino vecinal	Canelones
4	Ruta 82, Cruz de los Caminos	Canelones

	Dens																		
	MS	pH	CE	Dens	MS	C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	%		dS/m	--- g/cm <sup>3</sup> ---	---	g/kg---	%	---	g/kg--		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	40	4,1	4,7	1,28	0,51	340	476	82	6,5	26	13	9	3,8	7,0	3,2	690	166	266	269
2	23	6,6	8,1	0,84	0,19	335	476	82	18,5	26	13	20	7,2	14,6	5,0	838	239	92	406
3	45	4,9	10,9	0,87	0,40	366	516	89	6,5	37	10	17	1,8	6,8	3,2	280	45	9	56
4	36	5,4	14,8	0,96	0,35	370	476	82	12,1	35	11	12	6,6	16,8	6,6	1542	336	617	515
<b>Prom</b>	<b>36</b>	<b>5,2</b>	<b>9,6</b>	<b>0,99</b>	<b>0,36</b>	<b>353</b>	<b>486</b>	<b>84</b>	<b>10,9</b>	<b>31</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>4,9</b>	<b>11,3</b>	<b>4,5</b>	<b>838</b>	<b>247</b>	<b>325*</b>	<b>312</b>
<b>Max</b>	<b>45</b>	<b>6,6</b>	<b>14,8</b>	<b>1,28</b>	<b>0,51</b>	<b>370</b>	<b>516</b>	<b>89</b>	<b>18,5</b>	<b>37</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>7,2</b>	<b>16,8</b>	<b>6,6</b>	<b>1542</b>	<b>336</b>	<b>617</b>	<b>515</b>
<b>Min</b>	<b>23</b>	<b>4,1</b>	<b>4,7</b>	<b>0,84</b>	<b>0,19</b>	<b>335</b>	<b>476</b>	<b>82</b>	<b>6,5</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>1,8</b>	<b>6,8</b>	<b>3,2</b>	<b>280</b>	<b>45</b>	<b>9</b>	<b>56</b>

\* Para el promedio de contenido de Cu no se consideró el mínimo por estar fuera de la distribución (outlier).  
 Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
 SV: Sólidos volátiles;  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

	Coliformes Fecales	Huevos helmintos	Salmonella sp.
	ufc/g	/g	/25 g
1	<1 x 10	ausencia	ausencia
2	1,6 x 10 <sup>2</sup>	ausencia	ausencia
3	<1 x 10	ausencia	ausencia

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

En nuestro país el estiércol de cerdo ha sido tradicionalmente utilizado como abono para

producciones intensivas, dado su alto contenido de nutrientes. Esto se refleja en los resultados de este estudio, con un importante potencial aporte de P y N, y en menor medida Ca, K y Mg. La contrapartida de estas ventajas está dada por la relativamente alta CE, que podría ser inconveniente si se utilizaran dosis excesivas, o en etapas tempranas de los cultivos, cuando las plantas son más susceptibles a la alta concentración de sales. Por otra parte, debe destacarse que este aspecto es generalmente conocido por los productores. Los niveles de micronutrientes, en especial Fe y Zn, se relacionan probablemente a los altos contenidos de estos elementos en la ración de los cerdos, ya que es un riesgo a nivel de producción la deficiencia de estos nutrientes, por lo que frecuentemente son suplementados con Fe y Zn, incluso en exceso respecto a sus necesidades (Windisch et al. 2003). La bibliografía internacional presenta concentraciones muy variadas de estos elementos, pero en algunos trabajos reportan valores similares o aún mayores a los de este estudio (Kirchman y Witter, 1992; Moreno et al. 2002).

### III. 2.2. Cama profunda de cerdo

Los Cuadros 17 y 18 presentan la ubicación y características de los predios de los cuales se retiró cama de cerdo y los cuadros 19 y 20 la composición promedio de este material.

<b>Cuadro 17.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de cama profunda de cerdo		
<b>Establecimiento/muestra</b>	<b>Orientación productiva</b>	<b>Alimentación</b>
1/1; 2	Ciclo completo	Residuos ind. alimenticia
2/3	Ciclo completo	Granos - residuos ind. alimenticia
3/4	Ciclo completo	Farinaso y residuos ind. avícola
4/5	Ciclo completo	Granos - raciones
5/6	Recría y engorde	Residuos ind. alimenticia

<b>Cuadro 18.</b> Cama de cerdo – Ubicación de los establecimientos muestreados		
<b>Establecimiento</b>	<b>Dirección</b>	<b>Departamento</b>
1	Ruta 7 km 51, San Jacinto	Canelones
2	Ruta 7 km 37, Totoral del Sauce	Canelones
3	Ruta 68	Canelones
4	Camino Folle, Km 35, Progreso	Canelones
5	Camino Brandi, El Colorado	Canelones

<b>Cuadro 19.</b> Composición química de cama profunda de cerdo– Relevamiento Biovalor																				
	MS	pH	CE	Dens.		MS	C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
				Dens.	MS															
	%		dS/m	---	g/cm <sup>3</sup> ---	---	g/kg---	%	---	g/kg--			g/kg	g/kg			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	30	8,9	3,8	0,39	0,12	201	249	43	9,4	17,0	12	15,4	3,4	7,6	0,4		239	14	124	
2	72	7,3	4,4	0,70	0,51	101	116	20	3,0	6,0	17	25,6	1,8	4,6	0,3		2848	230	2	32
3	64	8,3	3,5	0,60	0,39	404	412	71	7,9	14,0	29	11,2	2,0	7,2	0,4		2808	121	16	88
4	39	7,8	14,7	1,02	0,40	236	290	50	13,4	17,0	14	11,6	5,6	16,8	1,0		3238	253	153	178
5	48	8,6	4,3	0,44	0,21	205	281	49	10,5	18,2	11	12,5	5,1	12,9	0,5		2570	266	49	300
6	56	7,5	1,3	0,81	0,45	121	127	22	2,0	10,0	12	20,0	1,1	3,2	0,3		2019	114	4	31
<b>Prom</b>	<b>51</b>	<b>8,1</b>	<b>3,4*</b>	<b>0,66</b>	<b>0,34</b>	<b>211</b>	<b>246</b>	<b>42</b>	<b>7,7</b>	<b>13,7</b>	<b>16</b>	<b>16,0</b>	<b>3,2</b>	<b>8,7</b>	<b>0,5</b>		<b>2697</b>	<b>204</b>	<b>17*</b>	<b>126</b>
<b>Max</b>	<b>72</b>	<b>8,9</b>	<b>14,7</b>	<b>1,02</b>	<b>0,51</b>	<b>404</b>	<b>412</b>	<b>71</b>	<b>13,4</b>	<b>18,2</b>	<b>29</b>	<b>25,6</b>	<b>5,6</b>	<b>16,8</b>	<b>1,0</b>		<b>3238</b>	<b>266</b>	<b>153</b>	<b>300</b>
<b>Min</b>	<b>30</b>	<b>7,3</b>	<b>1,3</b>	<b>0,39</b>	<b>0,12</b>	<b>101</b>	<b>116</b>	<b>20</b>	<b>2,0</b>	<b>6,0</b>	<b>11</b>	<b>11,2</b>	<b>1,1</b>	<b>3,2</b>	<b>0,3</b>		<b>2019</b>	<b>114</b>	<b>2</b>	<b>31</b>

\* Para el promedio de CE y contenido de Cu no se consideró el máximo por estar fuera de la distribución (outlier).  
Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
SV: Sólidos volátiles;  
C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

Si bien la cama de cerdo es un material acumulado por cierto tiempo, tiene similitudes con el estiércol, especialmente por su riqueza en nutrientes y baja relación C:N. De todos modos debe notarse que los contenidos de P, N, Mg y K son menores que los del estiércol, probablemente por efecto de dilución y por pérdidas en el caso de N. También se trata de un material de relativamente alta CE, y con concentraciones muy variables de

micronutrientes, aunque en algunos casos similares a las observadas para estiércol de cerdo. En cuanto al contenido de metales pesados se destacan los mayores contenidos en comparación con lo observado en estiércol de vaca. No obstante se trata de niveles bajos, en comparación con los lineamientos para el país.

<b>Cuadro 20. Parámetros biológicos y metales pesados de cama profunda de cerdo</b>										
	<b>Coliformes Fecales</b>	<b>Huevos helmintos</b>	<b>Salmonella sp.</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cr<sup>VI</sup></b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
	ufc/g	/g	/25 g	----- mg/kg -----						
4	1,8x10 <sup>3</sup>	ausencia	ausencia	3,3	0,1	20,0	<0,3	0,09	8,9	4,8
1	1x10	ausencia	ausencia	1,5	<0,03	24,0	<0,3	0,10	8,1	0,7
2	<1x10	ausencia	ausencia	2,6	0,07	15,0	<0,3	<0,03	5,0	2,5
<b>Promedio</b>				<b>2,5</b>	<b>0,09</b>	<b>19,7</b>	<b>&lt;0,3</b>	<b>0,10</b>	<b>7,3</b>	<b>2,7</b>

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

### III.2.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de producción porcina (estiércol y cama profunda) a nivel nacional.

La producción porcina en Uruguay es muy reducida, en comparación con la de otras carnes (bovino, aves), ya que incluso gran parte del consumo (tanto a nivel de productos chacinados como a carne) corresponde a productos importados. Esto ha llevado a la disminución en el número de explotaciones y de animales en los últimos años (Gorga, 2017). La mayor parte de producción porcina corresponde al área metropolitana (Departamentos de Canelones, Montevideo, San José), e incluso en estas zonas ocupa una escasa superficie (menor al 5 %) y tiene una escasa significación económica (DIEA-INIA, 2007; Uruguay XXI, 2017).

La cantidad de nutrientes aportada por este residuo es muy alta, ya que se trata de un material de mayor concentración de nutrientes en comparación con los estiércoles de los rumiantes (Cuadros 60 y 61)

A diferencia del caso anterior (lechería) una parte importante de la producción porcina se produce en confinamiento, y por lo tanto tiene una gran generación de estiércol por cabeza. También en este caso es frecuente el almacenamiento de efluentes que incluyen estiércol, restos de alimentos y agua de lavado de las instalaciones. Estos efluentes líquidos según el tamaño y características del predio pueden ser utilizados para riego de cultivos. En el caso de predios pequeños los efluentes son frecuentemente trasladados mediante barométricas a las redes de saneamiento o sitios de descarga.

En el caso de las camas, debido a que los residuos son sólidos resulta más fácil su manejo, por lo cual frecuentemente se aplican como mejoradores de suelos. De todos modos esta actividad es generalmente intra-predio, ya que las características del material, en especial el olor desagradable no son favorables para su traslado y aplicación en zonas alejadas. Debe destacarse que la tecnología de cama profunda no está muy difundida a nivel de la producción. Esta tecnología se adapta específicamente a predios pequeños, ya que los grandes productores usan en general instalaciones de confinamiento de mampostería y cuentan con sistemas de limpieza diaria de las deyecciones. También la cama profunda se adapta específicamente a recría y engorde, por lo cual es común que se combine con cría en parideras a campo. En este contexto el material extraído de las camas es generalmente utilizado en horticultura u otro tipo de producción en el propio predio o en predios linderos.

### ***III. 3. Caracterización de residuos de producción intensiva de aves (estiércol y cama)***

El estiércol de ave, a diferencia del de los mamíferos, está constituido por una mezcla de heces y orina. Presenta una relativamente alta concentración de nutrientes, en especial alto contenido de P y N, aunque también aporta nutrientes secundarios y micronutrientes. En Uruguay el estiércol puro como residuo en la producción avícola corresponde a la producción de huevos. El manejo de las aves puede ser en jaulas o en el piso. El Cuadro 21 presenta un resumen de la composición de estiércol de ave.

Cuadro 21. Composición de estiércol de ave – Literatura internacional																								
	MS	pH	CE	Cza.	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As		
Autor	%		dS/m	g/kg										mg/kg										Comentarios
Barbazán et al. (2011)	89	6.6	2.9	350	400	28	16	25	11	40	5.9	3.2	1.9	25	995	283	244	*						*** Uruguay 5 muestras
del Pino et al. (2009) Uruguay		8.7		365	261	18	14	15.9	11	100	9.7		3.0											*** Uruguay
Saña et al. (1996)	76	6.8	5.8	353		17	20	18.2	31	63	17		5.9	177	4900	506	452	63	27	19	1			***España varias muestras
Boixadera y Terra (2001)	74	6.6	10.2	187		40	10	13.6	20	23	11		5.0	250	1251	319	270	22	20	16	**nd			*** España varias muestras
Kirchman and Witter (1992)		5.9		24	492	62	8	19.3	19	67	5.7	5.0	8.0	78	1050	530	430							***Suecia varias muestras
Amanullah et al (2007)						36		7	21	8.0	4.2			80	970	370	290							India. Jaulas - Varias muestras -Mínimo
						53		13	24	10	6.5			172	1450	590	460							Máximo
Moreno et al. (2002)			4.9			24		9	23				3.6	32	67	211	279	2.0	0.8	nd	nd			***España- Varias muestras- Mínimo
			6.9			42		15	28				6.1	48	253	291	356	4.7	1.7	8.4	nd			Máximo
Kuziemska et al. (2016)											7.3				3547		328	13						***Polonia 10 muestras
Burton y Turner (2003)	41					58		18																***Promedio varias muestras
Nicholson et al. (1999)	41													65			459	4.6	7.1	8.4	1.1	0.5		***Reino Unido 8 muestras

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* nd indica no detectable

\*\*\* No se especifica manejo de las aves.

### III. 3. 1. Estiércol de ave (gallinaza)

El Cuadro 22 presenta algunas características de los predios en los que se muestreó estiércol, en tanto que los cuadros 23 y 24 muestran los resultados de análisis de los materiales.

<b>Cuadro 22.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de estiércol de ave	
<b>Establecimiento</b>	<b>Manejo</b>
1	Jaula
2	Jaula
3	Jaula
4	Jaula
5	Jaula
1	Piso
2	Piso
3	Piso

<b>Cuadro 23.</b> Composición química de estiércol de gallinas ponedoras– El primer grupo de datos se refiere a animales mantenidos en jaula y el siguiente grupo a animales en piso. Relevamiento Biovalor																			
	<b>Dens</b>																		
	<b>MS</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>Dens.</b>	<b>MS</b>	<b>C</b>	<b>C<sub>e</sub></b>	<b>SV</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>C/N</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
<b>Jaula</b>	%		dS/m	--- g/cm <sup>3</sup> ---	---	g/kg---	%	---	g/kg---			----- g/kg -----			----- mg/kg -----				
1	26	8,4	15,9	1,07	0,28	354	379	65	15,4	40,6	9	69	7,2	26,0	0,4	857	189	23	293
2	32	9,4	16,3	1,11	0,35	342	368	63	29,5	34,4	10	73	2,0	2,0	0,2	1334	440	24	144
3	37	9,1	20,6	0,86	0,32	363	334	58	18,8	67,7	5	88	12	30,6	0,6	1198	504	36	600
4	32	9,1	26,9	1,11	0,35	291	404	70	32,2	36,9	8	62	9,4	28,8	0,5	1082	250	34	554
5	88	7,8	5,3	0,38	0,33	303	423	73	29,8	49,0	6	60	8,6	21,5	0,6	882	287	34	292
<b>Prom</b>	<b>43</b>	<b>8,7</b>	<b>19,9*</b>	<b>0,91</b>	<b>0,33</b>	<b>331</b>	<b>382</b>	<b>66</b>	<b>25,1</b>	<b>45,7</b>	<b>8</b>	<b>70</b>	<b>7,9</b>	<b>26,7*</b>	<b>0,5</b>	<b>1071</b>	<b>334</b>	<b>30</b>	<b>377</b>
<b>Max</b>	<b>88</b>	<b>9,4</b>	<b>26,9</b>	<b>1,11</b>	<b>0,35</b>	<b>363</b>	<b>423</b>	<b>73</b>	<b>32,2</b>	<b>67,7</b>	<b>10</b>	<b>88</b>	<b>12</b>	<b>30,6</b>	<b>0,6</b>	<b>1334</b>	<b>504</b>	<b>36</b>	<b>600</b>
<b>Min</b>	<b>26</b>	<b>7,8</b>	<b>5,3</b>	<b>0,38</b>	<b>0,28</b>	<b>291</b>	<b>334</b>	<b>58</b>	<b>15,4</b>	<b>34,4</b>	<b>5</b>	<b>60</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,2</b>	<b>857</b>	<b>189</b>	<b>23</b>	<b>144</b>
<b>Piso</b>																			
1	29	8,1	17,0	1,1	0,31	350	339	58	20,4	37,5	9	93	7,6	14,0	0,3	1230	206	26	832
2	78	9,4	9,4	0,6	0,46	298	360	62	16,2	23,4	13	86	6,4	21,2	0,3	1124	272	30	348
3	37	9,3	24,8	0,9	0,33	322	406	70	18,8	33,8	10	78	6,4	22,0	0,5	846	390	34	956
<b>Prom</b>	<b>48</b>	<b>8,9</b>	<b>17,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,37</b>	<b>323</b>	<b>368</b>	<b>63</b>	<b>18,4</b>	<b>31,6</b>	<b>11</b>	<b>86</b>	<b>6,8</b>	<b>19,1</b>	<b>0,4</b>	<b>1067</b>	<b>289</b>	<b>30</b>	<b>712</b>
<b>Max</b>	<b>78</b>	<b>9,4</b>	<b>24,8</b>	<b>1,1</b>	<b>0,46</b>	<b>350</b>	<b>406</b>	<b>70</b>	<b>20,4</b>	<b>37,5</b>	<b>13</b>	<b>93</b>	<b>7,6</b>	<b>22,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1230</b>	<b>390</b>	<b>34</b>	<b>956</b>
<b>Min</b>	<b>29</b>	<b>8,1</b>	<b>9,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,31</b>	<b>298</b>	<b>339</b>	<b>58</b>	<b>16,2</b>	<b>23,4</b>	<b>9</b>	<b>78</b>	<b>6,4</b>	<b>14,0</b>	<b>0,3</b>	<b>846</b>	<b>206</b>	<b>26</b>	<b>348</b>

\* Jaula Para el promedio de CE y contenido de K no se consideró el mínimo por estar fuera de la distribución. (outlier).

Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
 SV: Sólidos volátiles;  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

Respecto a los datos de piso o jaula no se detectaron tendencias respecto a contenidos diferentes de nutrientes. Desafortunadamente la bibliografía internacional consultada en general no reporta esa información por lo cual no es posible contrastarla con la de este estudio. Como en casos anteriores los resultados de nuestro estudio muestran un rango más acotado al de la bibliografía internacional, aunque los valores, excepto para el caso de Na que fue menor, se encuentran muy cercanos o dentro del rango reportado para Uruguay. Los

resultados de pH relativamente alto del estiércol de gallinas ponedoras pueden relacionarse al alto contenido de cationes, especialmente Ca y formas amoniacales como fue determinado por del Pino et. al, 2009. Debido a su alta CE, sumado al pH alcalino, resulta aconsejable tomar precauciones para su utilización mediante aplicación directa al suelo, ya que podría producir daños en los cultivos por su efecto salino y alcalinizante. Debe destacarse que es un material muy rico en nutrientes, aunque con estrecha relación N:P, por lo cual su aplicación podría llevar a la acumulación de P en el suelo.

<b>Cuadro 24.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de estiércol de gallinas ponedoras									
	<b>Coliformes Fecales</b>	<b>Salmonella sp.</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cr<sup>VI</sup></b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
	ufc/g	/25 g	----- mg/kg -----						
1Jaula	<10	ausencia	0,9	<0,2	1,7	<0,7	<0,3	2,5	4
1 Piso	1,9X10 <sup>4</sup>	ausencia	<0,3	<0,2	<0,5	<0,7	<0,3	<0,3	<0,3
2 Piso	<10	ausencia	0,7	0,3	3,5	<0,7	<0,3	3,9	1,8

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

Los niveles de metales pesados fueron muy bajos en todos los casos, por lo que podría concluirse que no representan una restricción a la aplicación al suelo o la integración de procesos de compostaje del estiércol de ave.

### III. 3.2. Cama de pollo

La cama de pollo es el material sobre el cual se crían los pollos destinados a producción de carne. El material de la cama es generalmente fibroso y no aporta nutrientes. En el Uruguay se usa cáscara de arroz para este fin, aunque también se produce sobre aserrín u otros materiales. El manejo tradicional implicaba que al finalizar cada crianza se retiraba la cama, la cual era generalmente utilizada para aplicar como abono a la producción hortícola y frutícola. Debido a los costos de instalar una nueva cama, en los últimos años en nuestro país se ha popularizado la instalación de varias crías sobre la misma cama. Esto ha llevado a la hipótesis de que las camas de más de una crianza tendrán una mayor concentración de nutrientes que las de una única crianza. No obstante no se encontraron datos bibliográficos que mencionen esta variable (número de crías) entre las que afectan la composición de la cama de pollo.

El Cuadro 25 presenta un resumen de la revisión bibliográfica en cuanto a la composición de cama de pollo. El Cuadro 26 presenta las características de los predios donde se tomaron muestras. Los Cuadros 27 y 28 la composición del material analizado.

Cuadro 25. Composición de cama de pollo – Literatura internacional																							
Autor	MS %	pH	CE dS/m	Cza.	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As	Comentarios
----- g/kg -----													----- mg/kg -----										
Barbazán et al. (2011)	54	7.3	2.3	240	278	15.6	18	13.4	9.3	23	3.8	2.9	2.5	22	1012	389	124	*					Uruguay Cáscara de arroz 13 muestras
	37	6.6	2.3	170	255	13.6	23	10.8	5	20	2.9	2.5	1	16	2253	393	165						Aserrín 4 muestras
del Pino et al. (2009)		6.7		333	322	28	12	17.2	18	22	4.9		4.6										Uruguay Cáscara de arroz
Jackson et al. (2003)				240				17	33	22	7.1		11	479	2189	449	373		11	2.1	0.25	15.6	***EEUU. 40 muestras
Nollet et al. (2007)														48	707	380	277						*** Suiza - Micronutr. origen inorgánico
														27	520	177	176						origen orgánico
Kuziemska et al. (2016)											8.3		8.0		683		255	4.4					***Polonia 10 muestras
Ferguson et al. (1998)	44	5.0				47																	EEUU - Cama virutas madera- Dietas con niveles crecientes de prot.
	43	5.1				49																	
	40	5.5				59																	
Amanullah et al (2007)						24		7	12	8.6	4.2			27	970	190	160						***India Varias muestras Mínimo
						36		12	19	11	6.5			47	1370	350	315						Máximo
Nicholson et. al (1999)	59													96.8			378	17	5.4	3.6	0.42	9.01	***Reino Unido Promedio varias muestras

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* nd indica no detectable

\*\*\* No se especifica tipo de cama.

**Cuadro 26.** Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de cama de pollo

Establecimiento/ muestra	Departamento/Localidad	Nº crianzas
1/1	Canelones/Los Arenales	7
2/2	Canelones/Santa Rosa	5
3/3	Canelones/San Bautista	5
4/4; 5; 6	Montevideo	5
5/7	Canelones/San Jacinto	4
6/8	Canelones/San Jacinto	4
7/9	Canelones/San Jacinto	4
8/10	Canelones/San Jacinto	4
9/11	Canelones/San Jacinto	3

**Cuadro 27.** Composición química de cama de pollo – Relevamiento Biovalor

	Dens.																		
	MS	pH	CE	Dens.	MS	C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	%		dS/m	--- g/cm <sup>3</sup> ---	---	g/kg---	%	---	g/kg---			-----	g/kg	-----	-----	mg/kg	-----		
1	72	9,0	11,1	0,38	0,27	366	439	76	23,8	35,1	10	39	5,8	24,7	7,8	389	438	33	346
2	65	9,3	10,1	0,26	0,17	414	497	86	12,8	31,0	13	22	3,1	14,6	4,0	189	252	12	162
3	80	8,7	11,4	0,43	0,35	464	379	65	22,8	24,5	19	41	5,2	17,3	5,9	1493	303	35	273
4	83	8,8	9,7	0,48	0,40	318	437	75	21,6	35,8	9	33	7,2	3,6	5,1	993	489	58	395
5	85	8,3	12,4	0,48	0,41	343	462	80	19,8	36,7	9	29	6,9	32,3	4,2	618	453	59	374
6	83	8,7	11,4	0,42	0,35	362	469	81	20,3	35,2	10	30	7	33,6	4,6	467	438	66	382
7	82	8,5	7,4	0,27	0,23	359	454	78	14,6	23,7	15	28	3,9	16,9	4,6	244	327	15	242
8	73	9,2	5,7	0,23	0,17	356	454	78	14,0	18,8	19	13	3,6	13,6	2,2	359	270	16	145
9	74	9,2	8,3	0,34	0,25	354	459	79	15,1	25,1	14	16	5,5	22,7	3,3	584	405	38	251
10	86	8,3	4,7	0,18	0,15	383	457	79	17,6	29,0	13	21	3,5	13,1	2,6	342	309	17	208
11	84	8,6	9,2	0,23	0,19	375	463	80	19,6	31,9	12	29	3,7	17,3	4,7	258	345	21	281
<b>Prom</b>	<b>79</b>	<b>8,8</b>	<b>9,2</b>	<b>0,34</b>	<b>0,27</b>	<b>372</b>	<b>452</b>	<b>78</b>	<b>18,4</b>	<b>29,7</b>	<b>13</b>	<b>27</b>	<b>5,0</b>	<b>19,1</b>	<b>4,6</b>	<b>540</b>	<b>366</b>	<b>34</b>	<b>278</b>
<b>Max</b>	<b>86</b>	<b>9,3</b>	<b>12,4</b>	<b>0,48</b>	<b>0,41</b>	<b>464</b>	<b>497</b>	<b>86</b>	<b>23,8</b>	<b>36,7</b>	<b>19</b>	<b>41</b>	<b>7,2</b>	<b>33,6</b>	<b>7,8</b>	<b>1493</b>	<b>489</b>	<b>66</b>	<b>395</b>
<b>Min</b>	<b>65</b>	<b>8,3</b>	<b>4,7</b>	<b>0,18</b>	<b>0,15</b>	<b>318</b>	<b>379</b>	<b>65</b>	<b>12,8</b>	<b>18,8</b>	<b>9</b>	<b>1,7</b>	<b>3,1</b>	<b>3,6</b>	<b>2,2</b>	<b>189</b>	<b>252</b>	<b>12</b>	<b>145</b>

Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente

SV: Sólidos volátiles;

C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

La composición de cama de pollo muestra diferencias importantes con la bibliografía, incluso con datos de relevamientos anteriores en nuestro país (Barbazán et al. 2011). En primer término, el pH estuvo en un rango mayor, superando en promedio 1.5 unidades al promedio de estos autores, así como el de otros estudios. También la CE y el contenido de C superaron los resultados reportados. No ocurrió lo mismo con el contenido de nutrientes, ya que en general estuvieron dentro de los rangos reportados, incluso los promedios de contenidos de N, P, Ca, Mg y K resultaron similares a los reportados por del Pino et. al. (2009) para Uruguay. Un aspecto a destacar es que la cama de pollo presentó niveles de Na varias veces más altos que los de estiércol de gallina, probablemente debido a la mayor cantidad de sal (NaCl) ofrecida en la dieta. Dentro de los micronutrientes los contenidos de Fe, Mn y Zn se encuentran dentro del rango reportado por la bibliografía.

En conclusión se reafirma la concepción arraigada entre los productores de que se trata de materiales muy adecuados para aplicación al suelo por su alto aporte de materia orgánica y nutrientes, aunque con las precauciones mencionadas para el caso del estiércol de ave, debido a su alto pH y CE. También en este caso la alta concentración de P y estrecha relación N:P podría ser causante de acumulación de P en el suelo si se usan dosis altas y frecuentes. Se han observado situaciones de exceso de P en el suelo cuando la cama de pollo se usa como enmienda orgánica, para mejora de las propiedades físicas del suelo debido a las grandes cantidades incorporadas (Barbazán et al., 2010). Si bien el contenido de Na no resulta una limitante, el uso frecuente de grandes volúmenes de esta enmienda podría resultar negativo para las propiedades físicas de los suelos, provocando compactación e impermeabilización y pérdida de estructura del suelo. Una ventaja a destacar de este material en comparación con estiércol de gallina es que su condición física facilita el traslado y aplicación, siendo la cama de pollo muy adecuado para esparcir con maquinaria de aplicación de sólidos.

**Cuadro 28.** Parámetros biológicos y metales pesados de cama de pollo

	<b>Coliformes Fecales</b>	<b>Salmonella sp.</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cr<sup>VI</sup></b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
	ufc/g	/25 g	----- mg/kg -----						
1	<10	ausencia	<0,3	<0,2	2,3	<0,7	<0,3	7,6	0,8
3	2X10	ausencia	<0,3	<0,2	1,6	<0,7	<0,3	2,9	4,1
7	<10	ausencia	<0,3	<0,2	6,9	<0,7	<0,3	9,2	1,4
Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor									

El contenido de metales pesados, en especial Cr, Ni y Pb fue mayor en cama de pollo que en estiércol de gallinas ponedoras. No obstante se trata de contenidos bajos, por lo cual no es de esperarse que tengan consecuencias negativas si son aplicados al suelo.

### III.3.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de producción intensiva de aves (estiércol de ponedoras y cama de pollos) a nivel nacional.

La producción avícola, como la porcina se ubica mayoritariamente en la región metropolitana (especialmente en Canelones), estando relativamente estabilizado el volumen de producción (Gorga, 2017). Debido a que se trata de un tipo de producción especializada en general el estiércol y las camas descartadas constituyen un problema para los productores, ya que generalmente no hay capacidad de utilización de las mismas en los predios. Esta situación se ve reflejada en un balance positivo de nutrientes el Departamento de Canelones, en tanto que los departamentos del norte del país presentan balances negativos (Benzano, 2016).

Debido a su alta producción y concentración de nutrientes, en especial P, resultaron los de mayor contenido en la estimación de cantidades de nutrientes en los residuos generados anualmente (Cuadros 60 y 61). Este hecho pone de manifiesto la importancia de encontrar soluciones tecnológicas que permitan la utilización productiva de estos residuos.

Dada la relativa facilidad de transporte y distribución de cama de pollo en general se la utiliza para aplicación directa al suelo en invernáculos, horticultura a campo, fruticultura, viñas, etc. El compostaje es una técnica poco difundida para la cama de pollo, probablemente debido a la escasez de mano de obra para su realización y al escaso mercado para el compost producido.

A nivel de predios hortícolas y frutícolas uno de los objetivos de la utilización de cama de pollo es mejorar las propiedades físicas de los suelos, por su aporte de materia orgánica y

su baja densidad (García de Souza et al., 2011; Alliaume et al., 2012). Este hecho ha resultado en un enriquecimiento en P de los suelos, llegando a niveles no solamente excesivos, sino incluso negativos para el crecimiento de los cultivos y el medio ambiente por el riesgo de eutrofización de aguas superficiales.

En este contexto el manejo más aconsejable para estos residuos (estiércol de gallina y cama de pollo) sería su transporte hacia zonas donde el P es una limitante para la producción y se utilizan grandes volúmenes de fertilizantes fosfatados. Pero este manejo requiere de acondicionamiento, incluso de procesamiento para la extracción o concentración de nutrientes, tecnologías que no son fáciles de implementar por los productores avícolas.

### **III. 4. Caracterización de residuos de la industria avícola: residuos faena (sangre) y plumas.**

Residuos de faena: como características principales de estos materiales, se resalta el contenido de proteínas de alto valor nutritivo, así como minerales esenciales para los animales, el destino más adecuado es la preparación de raciones para mascotas, cerdos, etc. También presentan muy escaso contenido de fibras, lo que conlleva una gran facilidad de descomposición. Se ha reportado el riesgo de que la descomposición produzca sustancias tóxicas. Si se usaran para procesos de compostaje deberían mezclarse con residuos fibrosos de origen vegetal de alto contenido de C y bajo contenido de nutrientes (Thyagarajan et al., 2013). Los materiales acompañantes en el compostaje deberán además cumplir funciones estructurales, a fin de asegurar la aireación del compost.

Plumas: como en el caso de los residuos de faena las plumas contienen proteínas de alto valor biológico, aunque su utilización en raciones es más dificultosa, debido a que no son fácilmente degradables. Su alto contenido de nutrientes (en especial N y S) las hace aptas para co-compostaje con materiales ricos en fibra. No obstante, se ha reportado una cierta dificultad para el proceso de compostaje debido a la presencia de compuestos hidrófobos. Un problema adicional para este fin es que el proceso de generación del residuo lleva a que frecuentemente presenten altos contenidos de Na, el cual es negativo para la utilización como enmienda de suelo.

No obstante, debe aclararse que en Uruguay es común la disposición al suelo tanto de plumas como de residuos de faena, fundamentalmente debido a que se trata de residuos voluminosos, de difícil almacenaje para los generadores. Adicionalmente son escasos los intentos de procesamiento de los mismos.

El Cuadro 29 presenta un resumen de la revisión bibliográfica en cuanto a la composición de residuos de faena de aves. Los Cuadros 30, 31, 32 y 33 la composición del material analizado.

Cuadro 29. Composición de residuos de industria avícola – Literatura internacional																		
	MS	pH	CE	Cza.	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	
Autor	%		dS/m	----- g/kg -----										----- mg/kg -----			Comentarios	
Barbazán et al. (2011)	*	9.7	5.3	11	423	135	3.1	11.7	1.8	3.9	0.8	24	1.3	5	133	263	97	Uruguay Plumas
González y Bauzá (2010)	92					134												Uruguay Harina de plumas
Salminen y Rintala (2002)	39					53												Finlandia - Visceras, patas y cabezas
	24					150												Plumas
Okanovic et al. (2009)	33			2		42												Serbia - Visceras
	36			4		58												Mezcla residuos
	27			4		62												Plumas - 2 muestras
Palatsi et al. (2010)	31					24												España - 2 materiales
	31					25												
Pokniak et al (1984)						68		6		10	2.1			31	533	8	55	Chile -Mezcla de residuos – 3 muestras
								7		14	1.9			13	554	14	57	
								4		18	1.9			21	330	5	48	

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

### III. 4. 1. Composición de sangre

En cuanto a la composición de los residuos de faena (sangre) se destaca su muy alto nivel de sólidos volátiles, lo cual confirma que este residuo es básicamente orgánico. Hubo en general escasa variación entre los materiales provenientes de diferentes establecimientos. Los niveles de N y P están en línea con los datos de bibliografía, aunque estos en general incluyen otro tipo de residuos además de sangre, lo que se evidencia en menores niveles de Fe, y mayores de Ca a los determinados en el presente estudio. También los contenidos de otros nutrientes como K, Cu, Mn y Zn estuvieron en línea con los reportados. Por otra parte debe destacarse el muy bajo contenido de metales pesados. El alto contenido en P y N entre los macronutrientes y de Fe entre los micronutrientes indicaría que, como se mencionó, este residuo es probablemente más apropiado para formulación de raciones para cerdos o mascotas que para ser aplicado al suelo o integrar un compostaje.

	MS	pH	CE	Dens.		C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
				MS	Dens.														
	%		dS/m	g/cm <sup>3</sup>	g/kg	g/kg	%	g/kg				g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
1	16	6,6	12,4	1,00	0,16	464	544	94	6,6	117	4	0,7	0,4	12,8	15,3	1211	8	13	36
2	16	6,4	13,3	0,99	0,16	424	537	93	6,6	113	4	0,9	0,3	13,2	16,5	885	7	8	34
3	16	7,6	12,5	1,24	0,20	436	548	94	4,6	117	4	1,2	0,4	10,8	12,6	1722	6	2	46
4	22	7,0	12,7	1,28	0,28	450	557	96	7,4	131	3	0,6	0,4	16,8	13,2	1770	4	8	46
5	20	6,1	9,2	1,12	0,22	409	551	95	5,6	126	3	0,6	0,4	9,1	16,0	2121	5	4	30
<b>Prom</b>	<b>18</b>	<b>6,7</b>	<b>12,0</b>	<b>1,13</b>	<b>0,20</b>	<b>437</b>	<b>547</b>	<b>94</b>	<b>6,2</b>	<b>121</b>	<b>4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>12,5</b>	<b>14,7</b>	<b>1542</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>38</b>
<b>Max</b>	<b>22</b>	<b>7,6</b>	<b>13,3</b>	<b>1,28</b>	<b>0,28</b>	<b>464</b>	<b>557</b>	<b>96</b>	<b>7,4</b>	<b>131</b>	<b>4</b>	<b>1,2</b>	<b>0,4</b>	<b>16,8</b>	<b>16,5</b>	<b>2121</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>46</b>
<b>Min</b>	<b>16</b>	<b>6,1</b>	<b>9,2</b>	<b>0,99</b>	<b>0,16</b>	<b>409</b>	<b>537</b>	<b>93</b>	<b>4,6</b>	<b>113</b>	<b>3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	<b>9,1</b>	<b>12,6</b>	<b>885</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>30</b>

Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
 SV: Sólidos volátiles;  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

	Coliformes Fecales	Salmonella sp.	As	Cd	Cr	Cr <sup>VI</sup>	Hg	Ni	Pb
	ufc/g	/25 g							
			mg/kg						
5	1,6x10 <sup>3</sup>	ausencia	1,2	<0,03	24	<0,3	<0,03	7,5	1,0
4	1,0x10 <sup>2</sup>	ausencia	<0,3	<0,2	<0,5	<0,7	<0,3	<0,3	<0,3
2	1x10	ausencia	<0,3	<0,2	1,2	<0,5	<0,3	<0,3	<0,3

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

### III. 4. 2. Composición de plumas

En cuanto a la composición de plumas los resultados son coincidentes con la bibliografía, con muy altos contenidos de N y baja relación C:N, en tanto que los aportes de otros nutrientes fueron muy limitados. Los bajos niveles de Na por otra parte son ventajosos para su utilización en compostajes u otros procesamientos con la finalidad de aplicación al suelo. Como en el caso anterior se destaca el bajo contenido de metales pesados.

<b>Cuadro 32. Composición química de plumas – Relevamiento Biovalor</b>																			
MS	pH	CE	Dens.		C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	
			MS	Dens.															g/cm <sup>3</sup>
%		dS/m																	
31	9,1	4,5	0,41	0,13	471	567	98	1,1	125	4	2,0	0,4	2,0	1,8	72	32	2	72	
29	8,7	5,2	0,57	0,16	427	570	98	1,4	117	4	2,6	0,4	1,4	1,6	82	10	4	94	
24	5,1	0,2	0,63	0,15	376	572	99	1,1	103	4	1,6	0,2	1,2	1,2	126	8	4	76	
26	9,0	6,1	0,50	0,13	429	568	98	0,8	120	4	1,6	0,4	1,4	1,8	102	8	4	104	
30	9,5	2,0	0,31	0,09	422	574	99	2,8	124	3	2,8	0,6	3,4	4,7	341	23	8	48	
<b>Prom</b>	<b>28</b>	<b>8,3</b>	<b>3,6</b>	<b>0,48</b>	<b>0,13</b>	<b>425</b>	<b>570</b>	<b>98</b>	<b>1,4</b>	<b>118</b>	<b>4</b>	<b>2,1</b>	<b>0,4</b>	<b>1,9</b>	<b>2,2</b>	<b>145</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>79</b>
<b>Max</b>	<b>31</b>	<b>9,5</b>	<b>6,1</b>	<b>0,63</b>	<b>0,16</b>	<b>471</b>	<b>574</b>	<b>99</b>	<b>2,8</b>	<b>125</b>	<b>4</b>	<b>2,8</b>	<b>0,6</b>	<b>3,4</b>	<b>4,7</b>	<b>341</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>104</b>
<b>Min</b>	<b>24</b>	<b>5,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,31</b>	<b>0,09</b>	<b>376</b>	<b>567</b>	<b>98</b>	<b>0,8</b>	<b>103</b>	<b>3</b>	<b>1,6</b>	<b>0,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>72</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>48</b>

Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
SV: Sólidos volátiles;  
C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

<b>Cuadro 33. Parámetros biológicos y metales pesados de plumas</b>										
	Coliformes	Salmonella		As	Cd	Cr	Cr <sup>VI</sup>	Hg	Ni	Pb
	fecales	sp.								
	ufc/g	/25 g		----- mg/kg -----						
5	1,0x10	ausencia	5	<0,05	<0,03	<0,1	<0,3	0,05	0,2	<0,2
4	4x10	ausencia	4	<0,3	<0,2	<0,5	<0,5	<0,3	<0,3	<0,3
1	2x10	ausencia	1	1,1	<0,2	2,7	<0,5	<0,3	1,1	<0,3

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

### III. 4.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de faena de aves (sangre y plumas) a nivel nacional.

La composición de estos residuos presenta un gran desbalance a nivel de su aporte de nutrientes, tanto para su aplicación directa al suelo como para integrar procesos de compostaje. En ambos casos el principal nutriente es N proteico el cual estará más fácilmente disponible en el caso de sangre, en comparación con plumas, en las cuales se encuentra formando parte de compuestos muy estables y difíciles de degradar.

Para el caso de plumas se recomienda por lo tanto algún tipo de procesamiento para lograr la transformación del N hacia formas degradables, tanto a nivel de compostaje como de otros procesos industriales.

Como en el caso anterior (estiércol de ave), un problema adicional de este tipo de residuos es el hecho de que se generan casi exclusivamente en el área metropolitana de Montevideo. Como se comentó anteriormente, dado el gran volumen producido, no existen en la zona predios productivos que los puedan aprovechar totalmente como mejoradores de suelo, una vez compostados. La alternativa de implementar procesos de extracción de los nutrientes sería en ese contexto más viable, dado que permitiría su transporte hacia otras áreas donde puedan ser aplicados sustituyendo fertilizantes convencionales.

### ***III.5. Caracterización de residuos de engorde a corral (estiércol).***

En Uruguay la mayor parte de la producción vacuna se realiza bajo pastoreo directo, no obstante, en los últimos años se ha adoptado la tecnología de engorde a corral. En general este sistema de producción incluye la alimentación de los animales con granos o ensilajes, estando restringidos a un pequeño espacio. El principal residuo del engorde a corral es el estiércol, aunque puede contener residuos de alimentos o estar mezclado con suelo.

El tiempo de acumulación de estiércol corresponde generalmente a todo el período de engorde (de 3 a 6 meses), retirándose el material luego de retirar los animales. Debido a este manejo se produce un “compostaje in situ” del material. Luego de retirado se aplica generalmente en forma directa al suelo.

El Cuadro 34 presenta un resumen de la composición de estiércol bovino en general, con datos obtenidos de la bibliografía internacional, indicándose en los casos que se trata de sistemas de engorde a corral. El hecho de que en general en la bibliografía no se indica raza de los animales en engorde se debe probablemente a que se trata de animales de diversas razas, o cruza.

Cuadro 34. Composición de estiércol bovino (producción de carne) – Literatura internacional																							
	MS	pH	CE	Cza	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As	
Autor	%			g/kg										mg/kg								Comentarios	
Barbazán et al. (2011)	60	7.6	2.0	350	208	12.3	17	2.9	4.1	9.0	3.0	1.5	1.7	19	3087	277	58	*					***Uruguay 3 muestras
Kirchman and Witter (1992)		7.4		171	526	28.4	19	9.0	7.3	20	6.0	3.6	1	114	860	247	1195						***Suecia varias muestras
Saña et al. (1996)	23	8.2	4.0	337		18.4	14	7.6	26	26	6.4		5.8	33	4100	172	133	24	20	14	1		***España varias muestras
Boixadera y Terra (2001)	65	8.5	10	590		11.3	15	2.9	19	53	6.6		7.2	36	7574	193	113	30	22	11	**nd		***España varias muestras
Eghball (2000)	83	7.3	4.6	844	78	7.9	10	3.2															***EEUU. E. corral 1992 -
	46	8.8	5.2	715	133	10.2	13	4.0															1993 -
	80	8.2	5.4	591	237	15.6	15	3.3															1994 -
	75	7.3	3.8	677	173	13.0	13	3.2															1995 -
Whalen (2000)		6.8	29.2		249	22.9	11	7.0															***Canadá E. corral
Eghball et al. (1997)					198	15.2	13	6.9	11.1														***EEUU E. corral 2 sitios
					137	8.1	17	3.1	11.0														
Dao y Cavigelli (2003)		7.8	1.4		258	16.2	16	3.5															***EEUU E. corral
Kuziemska et al. (2016)											4.6				1342		118	9.5					***Polonia 10 muestras
Nicholson et al. (1999)	21													16.4			81		2.0	1.9	0.13	0.79	***Reino Unido E. corral. 12 muestras

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* nd indica no detectable

\*\*\* No se especifica raza.

Los Cuadros 35, 36 y 37 presentan las características de las empresas donde se tomaron muestras y la composición del material analizado.

<b>Cuadro 35. Establecimientos en los cuales se tomaron muestras estiércol de corral</b>	
<b>Establecimiento/ muestra</b>	<b>Orientación productiva</b>
1/1	Engorde
2/2	Engorde
3/3	Engorde
4/4	Engorde
5/5	Engorde
6/6	Engorde
7/7	Engorde
8/8; 14	Engorde y cuarentena
9/9	Engorde

<b>Cuadro 36. Composición química de estiércol de corral – Relevamiento Biovalor</b>																			
	<b>Dens.</b>																		
<b>MS</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>Dens.</b>	<b>MS</b>	<b>C</b>	<b>Ce</b>	<b>SV</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>C/N</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	
%		dS/m	---g/cm <sup>3</sup> ---	---	---	---	%	----	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1	69	8,7	4,3	0,58	0,40	209	226	39	7,9	13,1	16	12,0	6,8	13,4	3,7	2948	319	18	94
2	76	8,7	3,4	0,55	0,42	344	212	37	3,0	12,8	27	31,7	4,0	9,4	3,4	2424	231	25	64
3	84	8,3	3,2	0,72	0,61	185	133	23	2,4	10,3	18	8,9	5,7	7,5	2,3	2068	332	17	64
4	77	8,1	3,1	0,69	0,53	91	148	26	4,3	10,9	8	47,2	4,4	7,4	4,3	2838	276	28	123
5	70	8,3	4,4	0,66	0,47	126	192	33	3,0	11,4	11	57,6	3,8	9,4	5,9	3108	284	20	74
6	80	8,1	4,0	0,58	0,47	190	262	45	5,3	15,4	12	55,4	3,9	7,6	4,5	2972	276	18	85
7	77	8,1	3,7	0,63	0,49	267	296	51	4,6	19,5	14	17,7	5,1	8,9	4,3	2730	312	24	81
8	82	8,0	4,7	0,51	0,42	424	240	41	3,4	12,0	35	13,5	5,2	7,1	2,9	2182	386	20	81
9	75	8,0	3,7	0,82	0,62	148	174	30	3,8	11,0	13	39,0	4,8	8,8	4,6	2158	287	13	50
10	95	7,6	2,9	0,85	0,81	174	207	36	5,0	13,0	13	36,4	5,1	9,9	3,0	2524	368	22	117
11	98	6,3	0,4	0,56	0,55	125	195	34	2,4	11,0	11	6,1	2,2	2,7	0,8	2276	382	12	84
12	68	8,7	2,4	0,47	0,32	204	296	51	2,3	13,0	16	5,7	3,0	10,2	2,4	2972	298	9	46
13	96	6,7	5,4	0,50	0,48	262	310	53	4,7	17,0	15	52,6	4,1	8,8	4,3	2592	285	19	93
14	63	8,4	4,2	0,58	0,37	251	223	39	3,6	13,9	18	10,6	5,2	6,9	2,6		386	23	93
<b>Prom</b>	<b>79</b>	<b>8,0</b>	<b>3,6</b>	<b>0,62</b>	<b>0,50</b>	<b>214</b>	<b>222</b>	<b>38</b>	<b>4,0</b>	<b>13,2</b>	<b>16</b>	<b>28</b>	<b>4,5</b>	<b>8,4</b>	<b>3,5</b>	<b>2599</b>	<b>316</b>	<b>19</b>	<b>82</b>
<b>Max</b>	<b>98</b>	<b>8,7</b>	<b>5,4</b>	<b>0,85</b>	<b>0,81</b>	<b>424</b>	<b>310</b>	<b>53</b>	<b>7,9</b>	<b>19,5</b>	<b>35</b>	<b>58</b>	<b>6,8</b>	<b>13,4</b>	<b>5,9</b>	<b>3108</b>	<b>386</b>	<b>28</b>	<b>123</b>
<b>Min</b>	<b>63</b>	<b>6,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,47</b>	<b>0,32</b>	<b>91</b>	<b>133</b>	<b>23</b>	<b>2,3</b>	<b>10,3</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>2,2</b>	<b>2,7</b>	<b>0,8</b>	<b>2068</b>	<b>231</b>	<b>9</b>	<b>46</b>

Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
SV: Sólidos volátiles;  
C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

<b>Cuadro 37. Parámetros biológicos y metales pesados de estiércol de corral</b>										
	<b>Coliformes fecales</b>	<b>Salmonella sp.</b>		<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cr<sup>VI</sup></b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
	ufc/g	/25 g		----- mg/kg -----						
4	3x10	ausencia	3	2,1	<0,03	36,0	<0,3	0,2	12,0	0,9
2	5x10	ausencia	2	1,8	0,04	9,4	<0,3	0,2	3,7	2,4
1	1x10	ausencia	1	4,7	0,09	27,0	<0,3	0,3	7,0	4,6
				<b>2,9</b>	<b>0,07</b>	<b>24,1</b>	<b>&lt;0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>7,6</b>	<b>2,6</b>
				<b>4,7</b>	<b>0,09</b>	<b>36,0</b>	<b>&lt;0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>12,0</b>	<b>4,6</b>
				<b>1,8</b>	<b>0,04</b>	<b>9,4</b>	<b>&lt;0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>3,7</b>	<b>0,9</b>

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

Estos residuos presentaron altos contenidos de MS y relativamente bajos contenidos de sólidos volátiles, lo que indica que, como se ha reportado el manejo de los animales ocasiona la mezcla del estiércol con suelo. Las características de este material están en general dentro de los rangos citados en la bibliografía, con un pH relativamente alto, así como aportes importantes de nutrientes (N, P y cationes), aunque en el caso de N y P las concentraciones son menores a las observadas para estiércol de tambo. La baja relación C/N por otra parte indica que su descomposición producirá un importante aporte de N mineral. En cuanto a los micronutrientes, el alto nivel de Fe, también observado en la bibliografía, se relaciona probablemente a la contaminación con suelo, donde este elemento es muy abundante. Las mayores concentraciones de Mn y Zn en comparación con el estiércol de tambo podrían tener la misma causa. También en el caso de metales pesados existe un mayor contenido que en el estiércol, excepto en el caso del Pb, aunque se trata de niveles menores a los recomendados para la aplicación sin restricciones para Uruguay.

Por sus características este material podría ser utilizado para aplicación directa al suelo. No obstante la posibilidad de que esté mezclado con suelo y fundamentalmente la presencia de trozos de rocas provenientes de las instalaciones, podría ser un obstáculo para la utilización de maquinaria para su distribución.

### III.5.1. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de engorde a corral (estiércol) a nivel nacional.

A diferencia de los anteriores los establecimientos de engorde a corral se encuentran diseminados en prácticamente todo el territorio de Uruguay. Por lo tanto si bien se generan grandes volúmenes, estos no se encuentran concentrados en una zona determinada. Es así que en la cercanía de los corrales es relativamente fácil encontrar situaciones donde la aplicación de estiércol pueda traer beneficios, por su aporte de nutrientes así como MO.

La utilización de los residuos para aplicación directa al suelo presenta dificultades de transporte desde los corrales hasta el sitio de utilización. Estos problemas se agravan por la relativamente baja concentración de nutrientes, por lo cual se requerirían grandes volúmenes a fin de sustituir la aplicación de fertilizantes sintéticos. Adicionalmente su importante aporte de MO puede ser una ventaja para la recuperación de suelos degradados. Debemos destacar que en la estimación de generación anual de residuos el estiércol de corral mostró un gran aporte de C siendo el segundo luego de cama de pollo (Cuadro 60).

Un aspecto a tener en cuenta al planificar la utilización de residuos de engorde a corral se refiere a la estrecha relación N/P de estos residuos (alrededor de 4), lo que puede llevar a la acumulación de P en el suelo si se pretende llenar los requerimientos de N de los cultivos mediante la aplicación de este material.

### **III. 6. Caracterización de residuos de frigorífico (sólidos aguas rojas y verdes, cenizas)**

Aguas rojas y verdes. Proviene del lavado con restos de sangre y grasa en el primer caso y de heces y contenido ruminal en el segundo. Generalmente se trata de materiales de muy escaso contenido de sólidos. Por lo tanto, se aconseja tratamiento biológico en lagunas, e incluso utilizarlas para producción de biogás a través de la digestión anaerobia. En el caso de aguas verdes puede realizarse la separación de sólidos por medios de una prensa extrusora. Presentan alto contenido de nutrientes, en especial las aguas rojas. También pueden contener residuos de grasas lo cual podría dificultar el compostaje. En caso de usarse en compostaje requieren la mezcla con sustancias ricas en fibra. En la bibliografía en muchos casos se presentan datos de aguas de lavado de frigorífico sin especificar si se trata de aguas rojas o verdes. El Cuadro 38 presenta un resumen de la composición de aguas residuales de frigorífico. Los datos se presentan en base fresca, dado que esa es la forma en que se reportan por sus autores. El Cuadro 39 presenta las características de los establecimientos muestreados. Los Cuadros 39, 40, 41 y 42 presentan la composición de los materiales.

Cuadro 38. Composición de residuos líquidos de industria frigorífica – Literatura internacional																						
	ST	pH	CE	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As		
Autor	mg/L		dS/m	----- mg/L -----								----- mg/L -----								Comentarios		
Wu y Mittal (2012)	6394	7.0	0.6	*	841		48	91	67		621	0.4			1.2	0.2	0.2	0.2	**nd	0.03	***Canadá 200 plantas vacunos, ovinos, cerdos y aves.	
Akan et al. (2010)		7.6	0.3				4.8			0.2		0.12	0.08	0.30	0.15	0.16	0.1	0.24	0.7		Nigeria- vacunos, ovinos, mezcla de aguas- Mínimo	
		8.2	0.3				8.7			0.6		0.32	0.12	0.42	0.31	0.24	0.5	0.40	0.9		Máximo	
Bustillo et al., 2016	300	4.9		100	50	2	25	0.01			62									0.21	*** Canadá –Varias muestras Mínimo	
	2800	8.1		1200	841	1.4	200	100			833									34	Máximo	
Bustillo y Mehrbar (2015)	0.39	6.0		72	60	1.2	26	0.01													***Canadá- vacunos Mínimo	
	9938	6.9		1718	339	5	76	0.06												34	Máximo	
del Pozo et al. (2003)	910	7.5			690																***Turquía- vacunos y ovinos	
Palatsi et al. (2011)	196				31																España – aguas rojas - vacunos	
Jensen et al. (2014)	8396				245		53														***Australia Diferentes plantas Vacunos, salvo la tercera y la última (vacunos y ovinos).	
	4300				232		50															
	7530				260		30															
	7400				438		56															
	6118				272		47															
Tritt y Schuchardt (1992)		6.5			250		80														***Alemania Varias muestras Mínimo	
		10			700		120														Máximo	

Nota: ST = sólidos totales

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* nd indica no detectable

\*\*\* No se especifica si son aguas verdes o rojas, probablemente se trata de la mezcla.

**Cuadro 39.** Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de residuos frigoríficos

Establecimiento/ muestra	Departamento/Localidad
1/ 1; 2*	Tacuarembó
2/3	Colonia/Tarariras
3/4; 5	San José
4/6	Canelones/Pando
5/7	Cerro Largo/Melo

\*La muestra 1 corresponde a animales de engorde a corral y la 2 a animales de campo  
 \*\*La muestra 4 corresponde a animales de engorde a corral y la 5 a animales de campo

### III. 6. 1. Composición de sólidos de aguas verdes

**Cuadro 40.** Composición química de sólidos de aguas verdes de faena vacuna Relevamiento Biovalor

	MS	pH	CE	Dens.		C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
				MS	Dens.														
	%		dS/m	-- g/cm <sup>3</sup> --		-- g/kg--	%	-- g/kg--				----- g/kg -----			----- mg/kg -----				
1	35	4,9	2,2	0,49	0,17	505	558	96	1,0	15	33	3,1	0,6	0,6	0,2	205	85	4	31
2	29	5,7	1,7	0,45	0,13	506	535	92	3,4	26	19	5,3	1,0	1,4	0,2	210	379	5	36
3	28	5,8	1,2	0,36	0,10	479	536	92	3,2	16	31	5,3	0,6	1,0	0,3	98	80	4	18
4	21	6,2	1,8	0,84	0,17	483	563	97	1,8	19	26	4,1	0,8	1,0	0,2	263	45	10	59
5	22	5,7	2,4	0,50	0,11	485	493	85	4,6	21	24	7,8	1,2	1,4	0,2	454	119	7	33
6	19	6,4	0,9	0,62	0,12	458	522	90	4,4	22	21	8,8	1,0	1,0	0,3	226	143	5	33
7	33	5,3	0,6	0,47	0,15	402	552	95	0,5	14	29	2,7	0,4	0,4	0,1	142	144	3	22
<b>Prom</b>	<b>27</b>	<b>5,7</b>	<b>1,5</b>	<b>0,53</b>	<b>0,14</b>	<b>474</b>	<b>537</b>	<b>93</b>	<b>2,7</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>5,3</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,7</b>	<b>228</b>	<b>102*</b>	<b>5</b>	<b>33</b>
<b>Max</b>	<b>35</b>	<b>6,4</b>	<b>2,4</b>	<b>0,84</b>	<b>0,17</b>	<b>506</b>	<b>563</b>	<b>97</b>	<b>4,6</b>	<b>26</b>	<b>33</b>	<b>8,8</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>2,4</b>	<b>454</b>	<b>379</b>	<b>10</b>	<b>59</b>
<b>Min</b>	<b>19</b>	<b>4,9</b>	<b>0,6</b>	<b>0,36</b>	<b>0,10</b>	<b>402</b>	<b>493</b>	<b>85</b>	<b>0,5</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	<b>2,7</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>98</b>	<b>45</b>	<b>3</b>	<b>18</b>

\*Para el promedio de contenido de Mn no se consideró el máximo por estar fuera de la distribución (outlier).  
 Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
 SV: Sólidos volátiles;  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

La composición química de los sólidos de aguas verdes, producto de un prensado del contenido ruminal, tiene similitudes con la composición de estiércol de tambo prensado (Cuadro 10). Es así que también en este caso se trata de un material de baja CE, con alto contenido de sólidos volátiles y mayor relación C:N que el estiércol. También como el estiércol prensado mostró bajos contenidos de cationes (Ca, Mg, K y Na), no así respecto a los contenidos de N y P que en promedio fueron mayores en los sólidos de aguas verdes. La diferencia más marcada de estos materiales con los estiércoles está en el pH, el cual es ácido en el caso de los sólidos de aguas verdes y alcalino en el estiércol de tambo, prensado o sin prensar. De todos modos no se trata de un material extremadamente ácido, por lo que no es probable que produzca acidificación de suelos si es utilizado para aplicación directa. Como era de esperarse presenta muy bajo contenido de metales pesados, en línea con lo observado para estiércoles de tambo.

<b>Cuadro 41.</b> Parámetros biológicos y metales pesados de sólidos de aguas verdes de faena vacuna									
	<b>Coliformes fecales</b>	<b>Huevos Helmintos.</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cr<sup>VI</sup></b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
	ufc/g	/25 g				mg/kg			
4	40	ausencia	1,1	<0,03	2,9	<0,3	<0,03	1,9	0,5
3	<10	ausencia	0,6	<0,03	0,9	<0,3	<0,03	1,0	0,5
5	70	ausencia	0,8	<0,03	1,0	<0,3	<0,03	1,2	0,5

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

### III. 6. 2. Composición de sólidos de aguas rojas, harina de sangre y expeller

**Cuadro 42.** Composición química de sólidos de aguas rojas de faena vacuna. El primer grupo de valores corresponde a residuos líquidos, el segundo a harina de sangre – Relevamiento Biovalor

	<b>Dens.</b>																			
	<b>MS</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>Dens.</b>	<b>MS</b>	<b>C</b>	<b>C<sub>e</sub></b>	<b>SV</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>C/N</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	
	%		dS/m	g/cm <sup>3</sup>	g/kg	g/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg								
1	87	4,7	0,8	0,60	0,52	432	495	99	0,8	5	86	2,8	0,1	0,1	0,0	200	3	2	26	
2	26	5,4	2,4	0,88	0,22	637	479	96	4,3	52	12	11	0,5	0,3	0,2	244	18	3	62	
3	54	6,2	6,7	0,83	0,45	538	486	97	2,1	37	15	5,5	0,2	0,7	0,2	1644	8	3	16	
4	22	6,8	5,2	1,00	0,22	490	485	97	0,5	138	4	0,6	0,2	2,4	0,9	2371	3	3	8	
5	14	6,8	6,3	0,98	0,14	435	471	94	5,6	124	4	0,8	0,2	4,9	1,9	1011	7	7	16	
<b>Prom*</b>	<b>41</b>	<b>6,0</b>	<b>4,3</b>	<b>0,86</b>	<b>0,31</b>	<b>506</b>	<b>483</b>	<b>97</b>	<b>2,7</b>	<b>71</b>	<b>24</b>	<b>4,1</b>	<b>0,2</b>	<b>1,7</b>	<b>0,6</b>	<b>1094</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>26</b>	
<b>Max</b>	<b>87</b>	<b>6,8</b>	<b>6,7</b>	<b>1,00</b>	<b>0,52</b>	<b>637</b>	<b>495</b>	<b>99</b>	<b>5,6</b>	<b>138</b>	<b>86</b>	<b>11</b>	<b>0,5</b>	<b>4,9</b>	<b>1,9</b>	<b>2371</b>	<b>18</b>	<b>7</b>	<b>62</b>	
<b>Min</b>	<b>14</b>	<b>4,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,60</b>	<b>0,14</b>	<b>432</b>	<b>471</b>	<b>94</b>	<b>0,5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>200</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	
<b>Harina de sangre</b>																				
2	100	9,0	1,4	0,28	0,28	433	465	93	7,5	133	3	1,8	0,4	3,6	2,1	3408	8	6	15	
4	100	8,2	2,1	0,26	0,26	470	480	96	0,3	139	3	0,2	0,2	3,7	1,3	2860	1	4	9	
<b>Prom</b>	<b>100</b>	<b>8,6</b>	<b>1,8</b>	<b>0,27</b>	<b>0,27</b>	<b>452</b>	<b>473</b>	<b>95</b>	<b>3,9</b>	<b>136</b>	<b>3</b>	<b>1,0</b>	<b>0,3</b>	<b>3,7</b>	<b>1,7</b>	<b>3134</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	
<b>Expeller</b>																				
	96	6,4	3,87	0,71	0,69	399	471	81	22	8,4	5	50	1,6	5,3	6,1	213	14	29	86	

\*Debido a la gran variabilidad en los parámetros los promedios se tomaron con todos los datos.  
 Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
 SV: Sólidos volátiles;  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

La variabilidad en los resultados de sólidos de aguas rojas probablemente se debe a los diferentes procesamientos que lleva a cabo cada industria. Por lo tanto se dificulta el sacar conclusiones generales. Se trata de un residuo orgánico, de alto contenido de sólidos volátiles y relativamente bajo contenido de nutrientes. Como en el caso de sangre de industria avícola no está claro que el mejor destino para estos residuos sea su utilización para aplicación al suelo, siendo probablemente más recomendables otros usos como alimentos animales. Su contenido de metales pesados es además muy bajo, lo cual los hace adecuados para estos fines.

El Expeller presenta características coincidentes con harinas de huesos, con altos contenidos de Ca y P, lo cual lo podría hacer apto para integrar compostajes con materiales orgánicos.

<b>Cuadro 43. Metales pesados de sólidos de aguas rojas de faena vacuna</b>							
	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cr<sup>VI</sup></b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
	----- mg/kg -----						
4	0,5	<0,03	0,2	<0,3	<0,03	0,4	0,2
2	0,9	0,03	1,5	<0,3	<0,03	4,9	1,4
5	0,9	0,07	0,3	<0,3	<0,03	0,3	0,1
Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor							

### III.6.2.1. Potencial aporte de nutrientes de residuos de faena en frigoríficos (sólidos de aguas verdes y rojas) a nivel nacional.

Los residuos de frigorífico se acumulan en grandes volúmenes en cada empresa, aunque en este caso no se encuentran en un área específica del país sino en diferentes zonas, lo que sería una ventaja si se implementa su utilización para aplicación al suelo en la zona cercana a la de generación.

Los sólidos de aguas verdes tienen gran similitud con el material extrusado de efluentes de tambo, estando fundamentalmente constituidos por fibra con relativamente altas relaciones C/N y N/P. Por esta razón podrían ser aplicados directamente al suelo con menor riesgo de acumulación de nutrientes, especialmente P, que los estiércoles sin extrusar de vacuno, cerdos y aves. Su potencial aporte de MO indica que pueden ser utilizados en mejoramiento de suelos degradados, incluso teniendo un efecto positivo sobre las propiedades físicas de los suelos.

En cuanto a los sólidos de aguas rojas se pueden hacer las consideraciones planteadas para los residuos de sangre de faena avícola. Esto significa que sería más conveniente utilizarlos en raciones para animales o algún otro proceso que saque partido de su valor alimenticio. Como se mencionó la gran disparidad en los procesos de generación de este efluente también dificultan la planificación de un tipo de utilización, siendo recomendable la búsqueda de soluciones para cada empresa en particular, atendiendo las características de los residuos.

### III. 6. 4. Composición de cenizas de madera

Cenizas. La composición de las cenizas depende de los materiales que le dieron origen. Las cenizas de madera tienen alto contenido de óxidos de K, Ca, Mg y Na. Por su carácter alcalino son aptas para aplicación directa al suelo con la finalidad de neutralización de suelos ácidos. También su aporte de carbón (madera parcialmente quemada) puede mejorar propiedades físicas de suelo. No es conveniente la aplicación al suelo de cenizas provenientes de maderas tratadas. Un problema respecto a la aplicación de cenizas se refiere a que pueden tener altos contenidos de metales pesados, ya que concentran los elementos contenidos en el material de origen.

Otro factor que influye en la composición de las cenizas es la forma de combustión, ya que influye en la cantidad de material no quemado que contengan (carbón) y en la volatilización de compuestos de la madera. En muchos casos se distinguen dos fases: fly ash y bottom ash, teniendo las primeras partículas menores que las segundas. El aumento en la temperatura puede causar volatilización de algunos compuestos, incluso metales pesados, pero también los compuestos volatilizados pueden ser retenidos en otras fracciones de cenizas (Pitman, 2006). Teniendo en cuenta esos factores la caracterización de los materiales es el procedimiento más adecuado a fin de evaluar las posibilidades de aplicación al suelo.

El Cuadro 44 presenta un resumen de la composición de cenizas de madera (revisión

bibliográfica). Los Cuadros 45 y 46 las características de las empresas donde se tomaron muestras y la composición del material analizado respectivamente.

Cuadro 44. Composición de cenizas de madera – Literatura internacional																						
Autor	MS %	pH	CE dS/m	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Cu	Hg	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As	Comentarios
g/kg													mg/kg									
Fernández Delgado et al. (2013)	*	12.8	4.1	106		7	26	250	27	87		10	5.2	120	0.1	410	38	17	16	2.5		***Austria – madera, corteza, aserrín
Solla et al. (2001)	88	10.4		505	5.6	2.6	11	25	6	0.3	2.4	1.4	1.5	33		1700	24	14	47	1.8		***España- madera de pino
Pitman (2006) Cita de Hakkila (1989)													2.5	15	<0.4	15	>60	40	15	0.4	0.2	Finlandia Bottom ash- mínimo
													5.5	300		1000		250	60	0.7	3	máximo
													6			40	40	20	40	6	1	Fly ash- mínimo
Vance y Mitchell (2000)		7.8			0.2	0.3	1.9	36	3				0.03	38		35						***Varios países Madera- Mínimo
		13.1			0.9	14.4	130	966	25				7.8	207		1250						Máximo
Someshwar (1996) Revisión de varios autores						0.8	1.1	15	3.4	1.2	nd	0.1	nd									***EEUU-Corteza Mínimo
						24	58	461	40	30	133	45	10.8									Máximo
						4.8	22	212	23	5.6	1.4	0.9										***Madera Mínimo
						16	162	466	117	18	47	35										Máximo
			11.5											0.03	3.4	**nd	63	3.4	nd	23	nd	3
		13.2											9.1	210	2.8	2200	130	97	220	21	63	Máximo
Augusto et al. (2008) Revisión de varios autores				250		0.5	2	40	3	4	2	5	nd	15	0	15	10	6	15	0	3	***Varios países Madera - mínimo
						15	130	350	25	20	5	20	30	300	1	2200	250	200	650	25	10	Máximo

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* nd indica no detectable

\*\*\* No especifican tipo de caldera ni proceso que originó las cenizas

<b>Cuadro 45.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de cenizas	
<b>Establecimiento</b>	<b>Departamento/Localidad</b>
1	Tacuarembó
2	Colonia/Tarariras
3	San José
4	San José/Villa Rodríguez
5	San José

Los establecimientos 1 a 4 son frigoríficos, en tanto que 5 y 6 son industrias

Las cenizas presentaron diferencias en su forma física (evidenciada especialmente por la densidad), probablemente relacionada con los procesos de quemado de la madera. También se observó un rango amplio en la CE y contenido de algunos nutrientes, en cambio todas presentaron reacción alcalina, en concordancia con la bibliografía. Este hecho confirma que este material podría ser utilizado para neutralización de suelos ácidos, así como para integrar compostajes con residuos de bajo contenido de sólidos y altos contenidos de MO. En ambas situaciones, sería recomendable la caracterización específica del material dado que tanto el proceso de quema como el manejo posterior de las cenizas genera materiales de muy diversa composición y características físicas. Se observaron altos contenidos de Cu y Zn en estos residuos, aunque no en todos. De todos modos el hecho de que estos elementos disminuyen su biodisponibilidad al aumentar el pH del suelo podría atenuar considerablemente, o directamente contrarrestar el efecto de su aplicación con la ceniza.

<b>Cuadro 46.</b> Composición química de cenizas – Relevamiento Biovalor																			
	MS	pH	CE	Dens. Dens.	Dens. MS	C	Ce	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	%		dS/m	---	g/cm <sup>3</sup> ---	--g/kg---	%	---	g/kg--			-----g/kg-----					-----mg/kg-----		
1	89	14,0	32,3	1,30	1,16	20	11	2	8,7	0,0	---	222	28	29	17	1877	7531	3812	504
2	99	12,7	34,7	0,41	0,41	111	80	16	7,6	0,0	---	235	21	38	29	3158	7200	70	45
3	100	10,9	26,4	0,67	0,67	32	40	8	19,2	0,3	118	248	32	68	27	948		58	31
4	100	13,5	9,7	1,15	1,16	13	0	0	10,2	0,0	---	348	18	10	18		3	14	10
5	98	13,4	13,4	0,34	0,33	367	319	55	4,7	0,7	524	112	7	18	18	1812	3	25	53
<b>Prom*</b>	<b>97</b>	<b>12,9</b>	<b>23,3</b>	<b>0,77</b>	<b>0,75</b>	<b>109</b>	<b>90</b>	<b>16</b>	<b>10,1</b>	<b>0,2</b>	<b>321</b>	<b>233</b>	<b>21</b>	<b>33</b>	<b>22</b>	<b>1949</b>	<b>3684</b>	<b>796</b>	<b>129</b>
<b>Máx</b>	<b>100</b>	<b>14,0</b>	<b>34,7</b>	<b>1,30</b>	<b>1,16</b>	<b>367</b>	<b>319</b>	<b>55</b>	<b>19,2</b>	<b>0,7</b>	<b>524</b>	<b>348</b>	<b>32</b>	<b>68</b>	<b>29</b>	<b>3158</b>	<b>7531</b>	<b>3812</b>	<b>504</b>
<b>Mín</b>	<b>89</b>	<b>10,9</b>	<b>9,72</b>	<b>0,34</b>	<b>0,33</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4,7</b>	<b>0,0</b>	<b>118</b>	<b>112</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>948</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>10</b>

\*Debido a la gran variabilidad en los parámetros los promedios se tomaron con todos los datos.  
 Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
 SV: Sólidos volátiles;  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente

### III. 6.5 Potencial aporte de nutrientes de cenizas a nivel nacional.

Este residuo se genera en muchas zonas del país, siendo las cantidades muy variables en cada empresa que utiliza la quema de material vegetal para generar energía. La falta de concentración en la generación de este residuo constituye una ventaja, ya que podrían buscarse oportunidades de colocación a nivel local. No obstante, a diferencia de otros residuos generados en diferentes zonas del país, no es seguro que en todas se encuentren suelos, o situaciones productivas, aptas para su utilización.

La aplicación al suelo de cenizas es especialmente recomendable como enmienda para

neutralización en suelos ácidos (pH menor a 5.3), por lo tanto no tendría mayores ventajas si se aplicara a suelos de pH alto, salvo que se hayan integrado previamente a un proceso de compostaje, y el material resultante tenga sensiblemente menor alcalinidad. En suelos ácidos la ceniza puede ser aplicada en grandes dosis (más de 1000 kg/ha), por lo que si se encuentran este tipo de suelos en la zona de generación es relativamente sencillo utilizarlas con la finalidad de neutralización de acidez.

Los problemas para la utilización de cenizas pueden radicar en su forma física, el tratamiento que se les realice y las condiciones de almacenamiento. En cuanto a forma física la presencia de trozos de madera sin quemar, o parcialmente quemados puede constituir un problema para su distribución. Lo mismo ocurre con las cenizas extremadamente finas, las cuales vuelan al ser aplicadas, dificultando la tarea. Respecto al tratamiento, en algunas situaciones luego de retirarse de las calderas se riega con agua las cenizas, a fin de enfriarlas, pero esto puede lavar los nutrientes y alcalinizantes de las mismas (óxidos e hidróxidos de Ca, K, y Mg), quedando como remanentes principales los trozos de madera parcialmente quemados, los cuales son inertes y tendrán muy escaso efecto al ser aplicados al suelo. En cuanto a las condiciones de almacenamiento, si se apilan al aire libre puede ocurrir el lavado como se mencionó previamente.

Un aspecto a considerar en la utilización de estos residuos es que su pH está en general por encima de las exigencias actuales de la normativa, lo que harían necesario justificar su utilización en la situación correspondiente.

Por no tener estimaciones de generación de cenizas de madera en el país no se realizó el cálculo de su potencial aporte de nutrientes.

### ***III.7. Caracterización de residuos de curtiembre (pelos)***

El residuo de pelo está compuesto básicamente por proteínas (alto contenido de N y S), así como por los residuos de los productos químicos usados para retirarlo de las pieles (ácidos, álcalis, etc.). Este hecho hace que difícilmente pueda utilizarse para su aplicación al suelo o compostaje, aún en el caso de procesos que excluyen el Cr en su tratamiento. Si se usaran para compostaje deberán mezclarse con residuos fibrosos de origen vegetal con alto contenido de C y bajo contenido de nutrientes. El Cuadro 47 presenta un resumen de la composición de pelos de curtiembre. Los Cuadros 48 y 49 presentan las características de los establecimientos muestreados y la composición de pelos de curtiembre.

Cuadro 47. Composición de pelos de curtiembre – Literatura internacional																								
	MS	pH	CE	Cza.	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As		
Autor	%		dS/m	g/kg										mg/kg							Comentarios			
Barbazán et al. (2011)	*	8.9	3.9	36		86		1.4	0.5	17	4.4	34	5.4	7	640	41	184							Uruguay- pelo vacuno
Amir et al. (2008)	36	8.4			289	67	4.3																	Marruecos- pelo vacuno
Konrad et al. (2002)		12.2			480	111	4.3	0.03	0.2	65														Austria – pelo vacuno
Haroum et al. (2007)						49.5								<0.01			0.09	81		< 10	< 1			***Malasya
Urbaniak (2004)	24	7.2				139		1.6	0.6															Polonia Pelo vacuno
	25					105		1.4																Pelo vacuno
	28					115		1.5																Pelo de cerdo

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\*\* No se especifica especie

**Cuadro 48.** Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de pelambre vacuna

Establecimiento	Capacidad productiva	Departamento
1	1200 pieles vacunas/día	Montevideo
2	400 pieles vacunas/día	Canelones
3	2500 pieles vacunas/día	Montevideo
4		Paysandú
* Sulfuro, cal auxiliares		

**Cuadro 49.** Composición química de pelos de curtiembre– Relevamiento Biovalor

	MS	pH	CE	Dens.		C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	S	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	
				MS	Dens.																
	%		dS/m	---g/cm <sup>3</sup> ---	---g/kg---	%	---	%	---	---	---	---	-----g/kg-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1	35	12,7	14,1	1,09	0,39	411	71	0,4	58				50	1,6	0,7	28,6	213	12	2	42	
2	25	8,7	2,64	0,87	0,21	406	501	86	0,4	87		5	35	1,3	0,5	9,6	210	201	4	106	
3	27	11,2	5,49			460	500	86	0,5	98	41	5	24	3,5	1,4	14,9	152	11	4	94	
4	31			0,48	0,15	344	404	70	0,4	113		3	109	2,8	1,0	12,6	908	27	7	100	
5	97	8,4	4,25	0,13	0,12	512	524	90	0,4	118		4	38	1,0	0,4	14,1	139	18	4	72	
<b>Prom</b>	<b>43</b>	<b>10,2</b>	<b>6,6</b>	<b>0,64</b>	<b>0,22</b>	<b>431</b>	<b>468</b>	<b>81</b>	<b>0,4</b>	<b>95</b>		<b>4</b>	<b>51</b>	<b>1,9</b>	<b>0,7</b>	<b>16,8</b>	<b>324</b>	<b>54</b>	<b>4</b>	<b>83</b>	
<b>Max</b>	<b>97</b>	<b>12,7</b>	<b>14,1</b>	<b>1,09</b>	<b>0,39</b>	<b>512</b>	<b>524</b>	<b>90</b>	<b>0,5</b>	<b>118</b>		<b>5</b>	<b>109</b>	<b>3,5</b>	<b>1,4</b>	<b>28,6</b>	<b>908</b>	<b>201</b>	<b>7</b>	<b>106</b>	
<b>Min</b>	<b>25</b>	<b>8,4</b>	<b>2,6</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>	<b>344</b>	<b>404</b>	<b>70</b>	<b>0,4</b>	<b>58</b>		<b>3</b>	<b>24</b>	<b>1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>9,6</b>	<b>139</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>42</b>	
Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;																					
SV: Sólidos volátiles;																					
C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente																					

Esta corriente de residuos presentó una alta variabilidad en sus características, probablemente debido a los diferentes procesos utilizados por los diferentes generadores. También los datos de bibliografía de este residuo fueron muy variables, por lo que resulta difícil realizar comparaciones, aunque los datos obtenidos en el presente estudio muestran cierta relación con los reportados por Barbazán et al. (2011) para Uruguay. Es así que en algunos casos se trataba de residuos de bajo contenido de MS y en otro caso de un residuo prácticamente seco. Se determinó un alto contenido de sólidos volátiles, aunque menor al de otros residuos de origen animal, por ejemplo plumas. De todos modos se destaca el relativamente alto contenido de N, S, y Ca, acordes con la bibliografía, en tanto que su escaso aporte de P y K también son coincidentes con los datos relevados. El relativamente alto contenido de Na que presentaron las muestras, junto al pH alcalino podría representar un problema para integrar estos materiales en un proceso de compostaje.

### III.7.1. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de curtiembre (pelo) a nivel nacional.

Como en el caso de plumas estos residuos de origen animal, si bien tienen alto contenido de N y S son de muy difícil descomposición, por lo tanto estos nutrientes no estarán disponibles para las plantas si son aplicados al suelo directamente. Adicionalmente, debido a que se trata fundamentalmente de proteínas, su aporte de nutrientes resulta desbalanceado, por lo cual requerirían ser combinados con otro tipo de materiales si se deseara incluirlos en un proceso de compostaje.

### **III. 8. Caracterización de residuos de la industria oleaginosa (alperujo)**

El alperujo es un residuo de la producción de aceite de oliva (también llamado alpeorujo). Se trata del resto de la aceituna luego de su prensado. Este residuo puede tener múltiples usos, como recuperación de sustancias de alto valor, especialmente los compuestos fenólicos que se usan como antioxidantes, además de edulcorantes de bajo nivel calórico, ambos de uso en la industria alimenticia (Kalderis y Diamadopoulus, 2010). También se pueden utilizar para obtención de energía por combustión directa o producción de biogás (Navarro et al., 2006; Dermeche et al., 2013).

Un aspecto importante respecto a la generación de este residuo es el hecho de que su composición depende del tipo de procesamiento, el cual a su vez genera diferentes corrientes de residuos. Es así que puede hacerse una separación de los residuos sólidos y de los líquidos (tres fases), o generar una única corriente de residuos incluyendo sólidos y líquidos (dos fases), que es el sistema usado en Uruguay. La descripción detallada de estos procesos se encuentra en la revisión realizada por Kalderis y Diamadopoulus (2010).

En el caso de Uruguay no se usan aditivos, por lo cual no presentaría problemas para ser aplicado directamente al suelo. Su alto contenido de polifenoles (taninos) que son negativos para actividad microbiana podría enlentecer su descomposición una vez agregado al suelo, aunque esta propiedad también puede ser utilizada para el control de enfermedades o plagas (Cayuela et al., 2008). En cuanto los nutrientes se destaca el importante aporte de K.

El Cuadro 50 presenta un resumen de la composición de alperujo. Entre los trabajos examinados en general no se incluye información sobre la producción de olivas generadoras del residuo (extensión de plantación, volumen de producción), aunque en un caso se menciona la variedad de olivo, lo que se indica en el cuadro.

Cuadro 50. Composición de alperujo – Literatura internacional																		
	MS	pH	CE	SV	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Polifenoles	
Autor	%		dS/m	%	g/kg								mg/kg				g/kg	Comentarios
Conde	17-27	4.7	2.1	*	540	10		1.3	14.1	1.8	0.4						6.6	**Uruguay – dos fases - Promedio
Albuquerque et al. (2004)	36	5.32	3.42	93.2	519	11.4	45.6	1.2	19.8	4.5	1.7	0.8	17	614	16	21	14.2	**España 20 muestras - dos fases
Morillo et al. (2009)	37.8	5.48	2.99	90.7		11.99	45	0.97	18.7	5.08	1.03	0.67	41.2	1108	25.8	19.6	13.6	**España varias muestras - dos fases
Magdich et al. (2012)	36.4	5.2	13.8			3.74		2.31	15.5	1.8	2.0	3.9					2.7	Túnez- Variedad Chemlali. Diferentes muestreos -
	59.6	4.17	11.4			3.14		0.97	9.9	2.0	0.8	2.6					1.7	Valores calculados a partir de base fresca.
	46.3	4.2	12.3			3.71		1.06	13.6	1.1	1.1	4.1					2.6	
	42.9	4.3	12.7			3.41		0.86	16.0	1.7	1.4	4.9					4.7	
	40.3	4.0	13.9			3.82		1.17	14.2	2.0	2.7	3.0					4.2	
	38.7	4.35	13.1			4.26		2.20	17.6	2.7	1.8	4.9					3.9	
Komilis et al. (2005)	3.1	4.8	8.26														8.4	**Grecia – tres fases
Di Bene et al. (2013)		4.68	7.33			1.4		0.27		0.19	0.09							**Italia- tres fases 2 sitios
		5.53	6.58			0.5		0.21		0.19	0.11							
Kavdir and Killi (2008)		5.7				13.4							26.8	1003		12.9		***Turquía
Di Caprio et al. (2015)	5.1	5.0			400	10	40											**Italia – 3 fases

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* No se especifica variedad.

\*\*\*No se especifica tratamiento.

El Cuadro 51 muestra las características de los establecimientos muestreados. Los Cuadros 52 y 53 muestran los resultados de análisis de alperujo, separado por variedades: Arbequina y otras (Coratina y Frantoio).

Establecimiento/ muestra	Variedad	Departamento /ubicación	Manejo
1/1;7	Arbequina	Maldonado	Primer prensado
2/2	Arbequina	Cerro Largo	Primer prensado
3/3	Arbequina	Salto	Primer prensado
4/4	Arbequina	Canelones	Primer prensado
5/5	Arbequina	Treinta y Tres	Primer prensado
6/6	Coratina	Maldonado	Primer prensado
7/8	Frantoio	Maldonado	Primer prensado

	Dens																			
	MS	pH	CE	Dens	MS	C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	PF
	%		dS/ m	---g/cm <sup>3</sup> ---	---g/kg---	%	%	--- <th></th> <th>--- <th></th> <th colspan="3">-----g/kg-----</th> <th colspan="3">---mg/kg---</th> <th>g/kg</th> <th></th> </th>		--- <th></th> <th colspan="3">-----g/kg-----</th> <th colspan="3">---mg/kg---</th> <th>g/kg</th> <th></th>		-----g/kg-----			---mg/kg---			g/kg		
1	30	5,0	5,6	1,01	0,30	468	548	94	1,1	10,4	45	1,1	0,5	15,5	0,4	36	34	16	11	17
2	23	5,3	4,1	1,00	0,23	571	567	98	0,9	11,8	48	1,4	0,4	9,7	0,3	36	6	14	14	
3	25	5,0	5,3	1,03	0,26	525	562	97	1,3	11,0	48	1,9	0,4	11,9	0,1	71	11	12	14	12
4	36	5,0	5,8	1,04	0,38	494	561	97	1,4	12,5	39	1,3	0,6	13,8	0,6	40	12	15	21	14
5	32	5,3	6,6			504	558	96	1,9	7,6	66	1,3	0,5	16,5	0,2	32	5	18	13	17
<b>Prom</b>	<b>29</b>	<b>5,1</b>	<b>5,5</b>	<b>1,02</b>	<b>0,29</b>	<b>512</b>	<b>559</b>	<b>96</b>	<b>1,3</b>	<b>10,7</b>	<b>49</b>	<b>1,4</b>	<b>0,5</b>	<b>13,5</b>	<b>0,3</b>	<b>43</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
<b>Max</b>	<b>36</b>	<b>5,3</b>	<b>6,6</b>	<b>1,04</b>	<b>0,38</b>	<b>571</b>	<b>567</b>	<b>98</b>	<b>1,9</b>	<b>12,5</b>	<b>66</b>	<b>1,9</b>	<b>0,6</b>	<b>16,5</b>	<b>0,6</b>	<b>71</b>	<b>34</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>17</b>
<b>Min</b>	<b>23</b>	<b>5,0</b>	<b>4,1</b>	<b>1,00</b>	<b>0,23</b>	<b>468</b>	<b>548</b>	<b>94</b>	<b>0,9</b>	<b>7,6</b>	<b>39</b>	<b>1,1</b>	<b>0,4</b>	<b>9,7</b>	<b>0,1</b>	<b>32</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>12</b>

\*Para el promedio de contenido de Mn no se consideró el máximo por estar fuera de la distribución (outlier).  
 Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
 SV: Sólidos volátiles;  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente;  
 PF: Polifenoles solubles.

El rango de contenido de MS del alperujo de la variedad Arbequina fue relativamente estrecho, a pesar de que tratarse de distintos establecimientos, ubicados en diferentes zonas del país. Este rango es coincidente con el citado en la bibliografía para el proceso de producción de aceite de dos fases. El pH del alperujo fue relativamente ácido, aunque este valor de pH es similar al de muchos suelos del país, por lo que no tendría por qué representar un riesgo de acidificación si es utilizado como enmienda. Incluso en la bibliografía se reportan valores algo menores al de este relevamiento. El alto contenido de C de estos residuos se debe probablemente a remanentes de aceites, los cuales tienen mayor concentración que las fracciones fibrosas de los vegetales (celulosa y hemicelulosa).

En cuanto al potencial aporte de nutrientes del alperujo se destacan principalmente K y N, siendo este resultado coincidente con la bibliografía, en especial los relevamientos de Albuquerque et al. (2004) y Morillo et al. (2009) de la industria oleaginoso de España (dos

fases), quienes reportan contenidos de N, P y K similares a los del presente relevamiento. También es comparable la relativamente alta relación C/N encontrada en los materiales uruguayos y los reportados para España. Este resultado podría implicar que al aplicarse al suelo este material provoque inmovilización de N del suelo, ya que el N del residuo sería insuficiente para la biomasa microbiana durante su descomposición (Kapellakis et al. 2015).

En cambio los resultados de este relevamiento muestran menores concentraciones de Ca, Mg y Na respecto a los relevamientos de España. El contenido de cationes en los vegetales se relaciona generalmente a la abundancia de estos elementos en los suelos, siendo esperable discrepancias entre diferentes países o regiones (Hernández et. al.,1988). El bajo contenido de Na por otra parte resulta ventajoso para la aplicación de alperujo al suelo o integración de procesos de compostaje, ya que es un elemento que puede tener consecuencias negativas sobre la agregación del suelo, o limitar el crecimiento de los microorganismos.

Respecto a los contenidos de micronutrientes, están en general dentro de los rangos citados, con excepción del Fe, el cual se encuentra en menor concentración en los materiales de Uruguay.

Un aspecto a destacar es el relativamente alto contenido de polifenoles (taninos) encontrado, aunque similar al reportado en los citados relevamientos de España. Estas sustancias son inhibidoras de la actividad microbiana, por lo cual se menciona como una restricción a la integración en procesos de compostaje (Piotrowska et al., 2011). Por lo tanto se recomienda que para integrar este residuo a un compostaje se lo mezcle con materiales tipo estiércoles, que además de equilibrar la relación C/N aporten microorganismos para acelerar la descomposición (Kalderis y Diamadopoulos 2010).

El alperujo de las muestras provenientes de las variedades Coratina y Frantoio mostró similitudes respecto al de la variedad Arbequina. En cuanto a aspectos en los que difieren (contenido de K por ejemplo), no es posible atribuirlo a un efecto de la variedad ya que se trata de una sola muestra de cada variedad.

**Cuadro 53.** Composición química de alperujo de las variedades Coratina y Frantoio–Relevamiento Biovalor

MS	pH	CE	Dens.		MS	C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	PF
			MS	Dens.																
%	dS/m		---g/cm <sup>3</sup> ---	--g/kg--	%	--g/kg--		%	--g/kg--				-----g/kg-----		-----mg/kg-----					g/kg
7	30	5,1	8,4		541	548	94	1,6	11,8	46	1,3	0,7	22,7	0,4	37	10	20	14	15	
8	31	4,6	7,7	1,10	0,36	488	556	96	1,5	17,2	28	0,8	0,5	15,0	0,4	42	13	17	16	18

Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
SV: Sólidos volátiles;  
C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente;  
PF: Polifenoles solubles

### III.8.1. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de la industria oleaginosa (alperujo) a nivel nacional.

Los establecimientos de procesamiento de aceite de oliva se encuentran distribuidos en gran parte del país, por lo cual la concentración de este residuo en determinada zona no constituye un problema. Una característica importante del alperujo es que su producción es netamente estacional, por lo tanto las soluciones que se planteen para la disposición de estos residuos deben tener en cuenta este aspecto.

Si bien estos residuos tienen importancia a nivel de establecimientos (almazaras) las cantidades involucradas, tanto de biomasa como de nutrientes son relativamente pequeñas (Cuadro 60).

El alperujo es un residuo principalmente orgánico, aunque de baja concentración de sólidos, por lo cual la aplicación directa al suelo implicará el traslado de grandes volúmenes, y por lo tanto tendrá un alto costo. A este aspecto negativo se suma el problema del posible efecto de fitotoxicidad de aplicar al suelo un material con alto nivel de polifenoles (Magdich et al. 2012). También presenta una alta relación C/N, que llevaría a inmovilizar N del suelo durante su descomposición, compitiendo con las plantas por este nutriente. Teniendo en cuenta estos aspectos es posible que sea más recomendable el procesamiento del alperujo, por ejemplo como materia prima para la producción de biogás, y la utilización posterior del residuo resultante. El residuo de la digestión tendría una menor concentración de polifenoles y C, disminuyendo la relación C/N y manteniendo el aporte de K del material original.

### ***III. 9. Caracterización de residuos de bodegas (escobajo, orujo)***

Orujo. Constituido por los residuos de uvas a las cuales se les extrae el jugo, por lo tanto está constituido principalmente por cáscaras y semillas. Puede ser usado como materia prima de otros procesos (destilación, extracción de aceite, extracción de taninos). Apto para co-compostaje, mezclado con elementos fibrosos. Realiza un importante aporte de K. Puede tener alto nivel de taninos que dificultan la acción microbiana.

Escobajo. Se trata del resto del racimo de uvas. Material orgánico principalmente de bajo contenido en nutrientes y alto contenido de C. Por su origen, y dado que prácticamente no sufre ningún procesamiento, no se reportan elementos nocivos. Se lo considera apto para compostaje, aunque también se cita aplicación directa al suelo. Su alto contenido de taninos puede significar un problema para el compostaje dado su efecto negativo sobre la actividad microbiana. Por el hecho de ser un residuo de muy baja humedad y lignificado puede ser de utilidad para dar estructura al compostaje si se lo mezcla con materiales más húmedos o pastosos.

El Cuadro 54 presenta un resumen de la composición de orujo y escobajo.

Cuadro 54. Composición de residuos de elaboración de vino (orujo y escobajo) – Literatura internacional																							
	MS	pH	CE	Cza	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	Polifenoles		
Autor	%		dS/m	g/kg									mg/kg									g/kg	Comentarios
Requejo et al. (2016)		5.4	0.9		286	22	13	1.0		0.1	0.3												***España Orujo
		7.2	0.9		325	15	21	0.7		0.1	0.3												Escobajo
Bustamante et al. (2004)		4.0	4.7		335				9.7														Escobajo
		4.5	3.4		348				19														Orujo
		3.9	2.0		316				19														Orujo
Bustamante et al. (2008)		3.4	2.3	130	218	17		0.6	12	5.4	0.7	0.1	6	54	**nd	14	nd	nd	nd	nd	0.9		*** España Orujo mínimo
		5.4	5.4	50	408	24		1.7	38	21	2.2	1.8	279	278	100	35	5.6	28	44	4.6	14		Orujo máximo
		3.8	3.0	120	260	9.7		0.5	23	6.6	1.3	0.2	3	24	10	13	nd	nd	nd	nd	4		Escobajo mínimo
		6.1	6.0	60	357	16.6		1.4	42	16	4.3	0.8	71	301	66	72	9.1	30	125	5.4	35		Escobajo máximo
Ferrer et al. (2001)	26				466	17.3	27																Venezuela- var French Colombard Orujo
Prozil et al. (2012)				70					9	1.5	0.2					0.1					159		*** Portugal Escobajo
Ruggieri et al. (2009)	25	5.0		85																			*** España Escobajo
Moldes et al. (2008)	17.2	3.9	0.04		420	18	23	2.5	3.7		0.5												***España Orujo
Castro Souza et al. (2011)	97			50		13.6																	Brasil var Benitaka Orujo
Siuris et al. (2014)	42	3.2		28	192	8		6	23														Moldova Orujo mínimo
	59	3.7		88	255	18		8	27														Orujo máximo
Molina et al. (2008)	45			110		16.7															90.5		*** España Orujo dos sitios
	49			170		14.3															56.5		

\*Las celdas en blanco indican parámetros que no se midieron.

\*\* nd indica no detectable

\*\*\* No se especifica variedad.

El Cuadro 55 muestra las características de los establecimientos muestreados. Los Cuadros 56 y 57 muestran los resultados de análisis de orujo y escobajo.

### III. 9. 1. Composición de orujo

<b>Cuadro 55.</b> Establecimientos en los cuales se tomaron muestras de orujo y escobajo.		
Bodega	Variedad	Material: orujo/escobajo
1	Cavernet Sauvignon	orujo
2	Cavernet Sauvignon	orujo
3	Merlot	orujo
4	Merlot	escobajo
5	Tannat	escobajo
4	Tannat	Orujo y escobajo
6	Tannat	orujo
1	Tannat	orujo
2	Tannat	orujo
4	Tannat	orujo
7	Tannat	orujo

<b>Cuadro 56.</b> Composición química de orujo de diferentes variedades de uva y establecimientos																		
	MS	pH	CE	C	C <sub>e</sub>	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	PF
Muestra/ variedad	%		dS/m	g/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg
1/CabSau	57	4,0	1,7	391	550	95	2,9	18,6	21	4,3	0,8	17,6	0,1	197	14	91	16	33
2/CabSau	42	4,1	2,0	398	545	94	2,5	20,3	20	4,2	0,8	24,2	0,1	103	10	12	14	46
3/Merlot	63	4,1	1,8	425	550	95	2,6	20,0	21	4,1	0,8	16,0	0,1	161	15	89	17	34
4/Tannat	41	3,8	1,3	404	542	93	3,0	18,2	22	5,0	1,0	20,8	0,2	78	15	65	14	44
5/Tannat	52	4,2	2,2	423	559	96	2,5	17,5	24	4,9	1,1	10,1	0,1	115	16	51	11	70
6/Tannat	57	4,0	1,9	378	556	96	3,5	18,6	20	6,0	1,1	12,4	0,0	87	20	37	21	48
7/Tannat	49	4,2	2,1	377	547	94	2,5	16,4	23	5,2	1,0	21,3	0,1	61	15	25	11	46
8/Tannat	40	3,9	1,2	390	521	90	2,4	17,4	22	6,1	0,9	39,8	0,4	166	20	75	15	35
<b>Prom.</b>	<b>50</b>	<b>4,0</b>	<b>1,8</b>	<b>398</b>	<b>546</b>	<b>94</b>	<b>2,7</b>	<b>18,4</b>	<b>22</b>	<b>5,0</b>	<b>0,9</b>	<b>20,3</b>	<b>0,1</b>	<b>121</b>	<b>16</b>	<b>56</b>	<b>15</b>	<b>45</b>
<b>Max</b>	<b>63</b>	<b>4,2</b>	<b>2,2</b>	<b>425</b>	<b>559</b>	<b>96</b>	<b>3,5</b>	<b>20,3</b>	<b>24</b>	<b>6,1</b>	<b>1,1</b>	<b>39,8</b>	<b>0,4</b>	<b>197</b>	<b>20</b>	<b>91</b>	<b>21</b>	<b>70</b>
<b>Min</b>	<b>40</b>	<b>3,8</b>	<b>1,2</b>	<b>377</b>	<b>521</b>	<b>90</b>	<b>2,4</b>	<b>16,4</b>	<b>20</b>	<b>4,1</b>	<b>0,8</b>	<b>10,1</b>	<b>0,0</b>	<b>61</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>33</b>
Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente; SV: Sólidos volátiles; C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente; PF: Polifenoles solubles																		

El orujo mostró un relativamente alto contenido de MS y un pH ácido, característica que está en consonancia con la bibliografía revisada. También los niveles de C y N, así como la relación C/N de este material se encuentran en el rango citado. Adicionalmente se observaron altos contenidos de K, aunque se registró una gran variabilidad en este parámetro en los diferentes materiales. En cambio los otros cationes (Ca, Mg y Na) se encontraban en cantidades pequeñas y en un rango relativamente estrecho. Los micronutrientes también estuvieron dentro de los rangos citados, aunque debe reconocerse

que las referencias bibliográficas mostraban rangos muy amplios.

Se determinó un alto contenido de polifenoles solubles (taninos), lo cual era de esperarse, debido a las características de las uvas de las cuales proviene el orujo. Este dato es coincidente con datos bibliográficos de España (Molina et al., 2008). Como se mencionara estos compuestos, por sus características químicas son resistentes al ataque microbiano y pueden dificultar su descomposición en el suelo, o en procesos de compostaje.

En la composición del orujo no se observó influencia de la variedad de uva generadora en ninguno de los parámetros analizados. Este hecho sugiere que influye más sobre las características del material el proceso al cual es sometida la fruta que la composición original. También, como en todos los vegetales las características del suelo tienen gran influencia sobre su composición, estando fuera del alcance de este estudio la comparación de los materiales provenientes de diferentes zonas.

### III. 9. 2. Composición de escobajo

En cuanto al escobajo, este residuo presenta un menor contenido de N en comparación con el orujo, lo que se traduce en una mayor relación C/N. También en este caso se registra un importante contenido de K y polifenoles solubles en concordancia con la información bibliográfica. Por estas características es de esperarse que el escobajo sufra un proceso de descomposición muy lento, tanto por aplicación directa al suelo como integrando compostajes.

<b>Cuadro 57.</b> Composición química de escobajo de diferentes variedades de uva																		
	MS	pH	CE	C	Ce	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	PF
Muestra/ Variedad	%		dS/m	g/kg	g/kg	%	g/kg	g/kg		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg
4/Merlot	29	4,0	4,4	413	541	93	2,0	9,6	43	8,0	1,1	24,9	1,2	49	40	21	15	46
4/Tannat	75	7,2	0,5	420	530	91	2,3	11,2	38	9,4	1,0	24,6	0,6	69	38	68	27	34
5/Tannat	73	7,0	1,7	484	532	92	2,2	12,4	39	10,4	1,0	27,5	1,1	76	28	78	24	42
<b>Prom.</b>	<b>59</b>	<b>6,0</b>	<b>2,2</b>	<b>439</b>	<b>535</b>	<b>92</b>	<b>2,1</b>	<b>11,1</b>	<b>40</b>	<b>9,3</b>	<b>1,1</b>	<b>25,7</b>	<b>0,9</b>	<b>65</b>	<b>36</b>	<b>56</b>	<b>22</b>	<b>41</b>
<b>Max</b>	<b>75</b>	<b>7,2</b>	<b>4,4</b>	<b>484</b>	<b>541</b>	<b>93</b>	<b>2,3</b>	<b>12,4</b>	<b>43</b>	<b>10,4</b>	<b>1,1</b>	<b>27,5</b>	<b>1,2</b>	<b>76</b>	<b>40</b>	<b>78</b>	<b>27</b>	<b>46</b>
<b>Min</b>	<b>29</b>	<b>4,0</b>	<b>0,5</b>	<b>413</b>	<b>530</b>	<b>91</b>	<b>2,0</b>	<b>9,6</b>	<b>38</b>	<b>8,0</b>	<b>1,0</b>	<b>24,6</b>	<b>0,6</b>	<b>49</b>	<b>28</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>34</b>

Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente;  
 SV: Sólidos volátiles;  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente;  
 PF: Polifenoles solubles

### III.9.3. Potencial aporte de nutrientes de los residuos de producción de vino (orujo y escobajo) a nivel nacional.

Al igual que en el caso anterior (alperujo) estos residuos se generan en forma zafral, por lo cual la planificación de su utilización debe contemplar este aspecto. Se trata de dos residuos que tradicionalmente no han sido utilizados directamente como mejoradores de suelo, pero tampoco es común que integren procesos de compostaje, quizá por las dificultades que presenta su alto contenido de polifenoles o taninos, que dificultan el ataque microbiano.

Un aspecto importante a los efectos de planificar la utilización de orujo y escobajo es que la generación de este residuo no se encuentra concentrada en el terreno, aunque la mayor parte corresponde a la zona sur del país.

En cuanto a su aporte de nutrientes, como se mencionó se destaca el alto contenido de K

(promedio 2.43 % de  $K_2O$  en orujo y 3,08 en escobajo, Cuadro 61). Este K podría ser fácilmente disponibilizado mediante procesos sencillos, ya que se trata de un nutriente que no forma parte de estructuras en las plantas, siendo probablemente la barrera más importante para su liberación la forma física de los residuos.

### III. 10. Caracterización de compost

El Cuadro 58 muestra los resultados de análisis de 6 muestras de compost comercial de Uruguay.

<b>Cuadro 58.</b> Composición química de compost- Relevamiento Biovalor																			
	MS	pH	CE	Dens		C	Ce	SV	P	N	C/N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
				Dens. seco	---														
	%		dS/m	---g/cm <sup>3</sup> ---	-- g/kg ----	%	-- g/kg ----		-- g/kg ----			---- g/kg ----				----- mg/kg -----			
1	78	6,9	4,9	0,91	0,71	127	118	20	3,5	9,9	13	17,3	1,5	3,5	0,9	1134	66	5	82
2	55	7,4	3,4	0,72	0,40	236	197	34	8,5	14,7	16	27,9	2,0	3,2	1,8	1412	165	10	162
3*	55	6,5	1,0	0,74	0,41	204	194	33	3,2	10,7	19	9,9	0,7	0,6	0,3	1332	237	5	123
4	71	6,9	4,4	0,91	0,65	162	111	19	10,8	9,3	17	6,9	1,6	6,1	1,6	876	52	4	19
5	61	6,8	6,5	0,59	0,36	282	338	58	2,5	15,8	18	7,8	1,4	2,4	0,4	456	199	3	28
6	57	6,2	2,3	0,76	0,44	185	205	35	9,9	14,7	13	24,0	2,0	3,4	0,2	2048	656	6	101
<b>Prom</b>	<b>63</b>	<b>6,8</b>	<b>3,8</b>	<b>0,77</b>	<b>0,49</b>	<b>199</b>	<b>194</b>	<b>33</b>	<b>6,4</b>	<b>12,5</b>	<b>16</b>	<b>15,6</b>	<b>1,5</b>	<b>3,2</b>	<b>0,9</b>	<b>1210</b>	<b>229</b>	<b>6</b>	<b>86</b>
<b>Max</b>	<b>78</b>	<b>7,4</b>	<b>6,5</b>	<b>0,91</b>	<b>0,71</b>	<b>282</b>	<b>338</b>	<b>58</b>	<b>10,8</b>	<b>15,8</b>	<b>19</b>	<b>27,9</b>	<b>2,0</b>	<b>6,1</b>	<b>1,8</b>	<b>2048</b>	<b>656</b>	<b>10</b>	<b>162</b>
<b>Min</b>	<b>55</b>	<b>6,2</b>	<b>1,0</b>	<b>0,59</b>	<b>0,36</b>	<b>127</b>	<b>111</b>	<b>19</b>	<b>2,5</b>	<b>9,3</b>	<b>13</b>	<b>6,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,2</b>	<b>456</b>	<b>52</b>	<b>3</b>	<b>19</b>

\*La muestra 3 corresponde a vermicompost.  
 Dens. y Dens MS: Densidad estimada en base fresca y seca respectivamente.  
 SV: Sólidos volátiles.  
 C y Ce: C analizado y estimado a partir de sólidos volátiles respectivamente.

Como podría esperarse el compost de diversos orígenes tiene gran variabilidad en su composición. El pH ligeramente alcalino en la mayoría de las muestras y la relación C/N se encuentran dentro de los rangos recomendados, evidenciando un proceso completo. Otras características reflejan probablemente la composición de los residuos utilizados en el compostaje (concentración de P, Ca, Na, micronutrientes).

El Cuadro 59 presenta el contenido de metales pesados en muestras de compost comercial de Uruguay.

<b>Cuadro 59.</b> Contenido de metales pesados en compost.							
	As	Cd	Cr	Cr <sup>VI</sup>	Hg	Ni	Pb
mg/kg							
1	<0,3	<0,2	9	<0,7	<0,3	3,2	4,2
2	<0,3	0,40	25	0,70	<0,3	25,0	6,5
3	<0,3	<0,2	16	<0,7	<0,3	5,4	2,7
4	<0,3	<0,2	19	<0,7	<0,3	5,3	4,7
5	<0,3	<0,2	16	<0,7	<0,3	7,1	20,0
6	<0,3	<0,2	16	<0,7	<0,3	1,6	4,0

Los valores precedidos por el signo < indican que no puede ser cuantificado pero está debajo de ese valor

No se observaron niveles de metales pesados por encima de los límites permitidos, siendo por el contrario generalmente bajos.

#### IV- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS RESIDUOS DE LAS DIFERENTES CORRIENTES.

##### IV. 1. Estimación de las cantidades de nutrientes en los residuos.

El Cuadro 60 presenta la estimación de la cantidad anual de C y nutrientes en los residuos de las diferentes corrientes estudiadas.

**Cuadro 60.** Estimación de la cantidad anual de C y nutrientes en los diferentes residuos realizada a partir de la composición promedio y de los datos de generación de residuos - Relevamiento Biovalor

	MS	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
Corriente/ residuo	----- Mg/año -----											
1-Estírcol tambo	73071	22393	1307,4	393,4	611,1	801,8	257,7	136,2	56,7	10,0	0,6	2,4
2-Estírcol cerdo	31333	11061	971,3	341,8	354,1	451,2	152,0	141,0	26,2	7,7	10,2	9,8
3-Estírcol ave	2501	820	101,1	56,6	51,9	190,5	18,7	1,0	2,7	0,8	0,1	1,2
3-Cama pollo	103652	38580	3079,3	1903,6	1976,0	2831,6	522,0	480,9	46,1	37,9	3,5	28,8
4-Sangre aves	6499	2838	785,0	40,0	81,5	5,2	2,5	95,7	10,0	0,04	0,04	0,3
4-Plumas	2691	1143	316,7	3,9	5,1	5,7	1,1	6,0	0,4	0,04	0,01	0,2
5-Engorde a corral	114998	24644	1514,2	458,6	969,3	3239,7	520,0	402,7	298,9	36,3	2,2	9,4
6- Sólidos aguas verdes	15288	7246	289,1	41,4	14,5	80,9	12,0	11,0	3,5	1,6	0,1	0,5
7-Curtiembre	1922	800	181,8	0,8	1,4	98,9	3,6	32,3	0,6	0,1	0,01	0,2
8-Alperujo	590	303	7,0	0,8	8,9	0,8	0,3	0,2	0,1	0,01	0,01	0,01
9-Orujo	2000	796	36,7	5,4	40,5	10,0	1,8	0,3	0,2	0,03	0,1	0,03
9-Escobajo	1166	512	12,9	2,5	29,9	11,0	1,2	1,1	0,1	0,04	0,1	0,03
Total	355711	111136	8602,3	3248,7	4144,2	7727,1	1492,9	1308,4	445,5	94,7	16,9	52,9

Nota: Estos cálculos asumen que la concentración de nutrientes obtenida en este estudio es representativa de los diferentes tipos de residuos.

Si bien las cantidades totales en este caso representan solamente una pequeña proporción de los residuos producidos en el país, el cuadro comparativo permite visualizar la magnitud de los nutrientes de las diferentes corrientes, en vistas a su potencial reutilización. También resulta claro que en la mayoría de los casos este estudio analizó los residuos recientemente producidos, por lo cual no se tuvieron en cuenta procesos de transformación o almacenamiento que puedan llevar a pérdidas o cambios químicos de los nutrientes.

Se destaca en primer término el aporte de MO, debido a que ésta es fundamental para la sostenibilidad de los sistemas de producción. En cuanto a las cantidades de nutrientes, en especial los que más frecuentemente limitan la producción en el país (N, P, K), se destacan los estiércoles como las principales potenciales materia primas para futuros procesos de

#### IV.2. Contenido de macronutrientes principales (N P K) de los residuos orgánicos.

El Cuadro 61 presenta las cantidades totales de N P y K de los residuos, expresados como porcentajes de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, de acuerdo a los requisitos de la normativa de fertilizantes orgánicos.

<b>Cuadro 61.</b> Contenido de macronutrientes principales (NPK) expresados como porcentajes de N, *P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y *K <sub>2</sub> O.				
Corriente/residuo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	NPK
	%	%	%	%
1-Estírcol tambo	1,79	1,23	1,00	4,03
1-Extrusado tambo	1,14	0,43	0,30	1,87
2-Estírcol cerdo	3,10	2,50	1,36	6,95
2-Cama profunda cerdo	1,37	1,76	1,05	4,17
3-Estírcol de ave	3,87	4,99	2,75	11,60
3-Cama pollo	2,97	4,21	2,29	9,46
4-Faena avícola - Sangre	12,08	1,41	1,51	14,99
4-Faena avícola-Plumas	11,77	0,33	0,23	12,32
5-Engorde a corral	1,32	0,91	1,01	3,24
6-Sólidos aguas verdes	1,89	0,62	0,11	2,62
6-Sólidos aguas rojas	7,11	0,61	0,21	7,93
6-Cenizas	0,02	2,31	3,90	6,23
7-Curtiembre	9,46	0,09	0,09	9,64
8-Alperujo	1,07	0,30	1,62	2,99
9-Orujo	1,84	0,62	2,43	4,89
9-Escobajo	1,11	0,49	3,08	4,68

\* El cálculo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O se realizó considerando el contenido total de P, por lo tanto se desconoce si su solubilidad es la requerida por la normativa.

#### IV.3. Grado de cumplimiento con la normativa de “Uso de residuos como mejoradores de suelos”.

Uno de los aspectos más importantes se relaciona a la regulación propuesta por la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) para la aplicación de residuos a suelos productivos. Las categorías A y B se refieren a la posibilidad de usarlos sin restricciones o de utilizarlos mediante la presentación de un plan de manejo detallado. Los límites de contenido de metales pesados se presentan en el Cuadro 62.

**Cuadro 62.** Lineamientos de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) para contenido máximo de metales pesados en residuos a ser aplicados a suelos agrícolas.

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
	----- mg/kg en base seca -----						
<b>A: sin restricciones</b>	2	100	100	20	100	200	15
<b>B: sujeto a plan</b>	8	500	500	50	300	2000	40

El Cuadro 63 presenta la adecuación de las diferentes corrientes de residuos estudiadas a la normativa, no solamente en lo referido a metales pesados, sino a otras características de los residuos. Dada la variabilidad de los parámetros dentro de cada una de las corrientes se tomó como criterio para clasificar un residuo como A solamente en el caso de que ninguna de las muestras analizadas presentara niveles por fuera de los rangos establecidos.

**Cuadro 63.** Adecuación de los residuos de las diferentes corrientes a la normativa. La categoría A significa sin restricciones de aplicación, en tanto que B implica utilización controlada. A los efectos de la interpretación se incluyó la categoría C para los parámetros que están fuera de ambas alternativas.

		Parámetros																
Corriente/ residuo		As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Zn	MS	pH	C/N	SV	CE	NPK**	Colif.	Salm.	HH
1-Tambo	Estiércol	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	B	A	B	B	B	A	A
	Extrusado	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C	A	A	B	B	A	A
2-Prod. Intensiva porcinos	Estiércol	*						B	B	B	B	A	A	B	A	B	A	A
	Cama	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	A	A	B	B	B	A	A
3-Prod. Intensiva Aves	Estiércol Jaula	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	B	A	B	A	
	Estiércol Piso	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	A	A	B	A	A	A	
	Cama pollo	A	A	A	A	A	A	A	B	A	B	A	A	B	A	A	A	
4-Industrial Aves	Sangre	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	A	A	A	
	plumas	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	B	A	B	A	
5-E. corral	Estiércol	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	B	B	A	A	
6-Ind. Frigorífica	Aguas verdes	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	B	A	A	B	A	A	
	Aguas rojas	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	A			
	Cenizas							C	B	A	C	C	A	B	A			
7-Curtiembre	Pelos							A	A	B	B	A	A	B	A			
8-Ind. Oleag.	Alperujo							A	A	B	B	C	A	B	B			
9-Bodegas	Orujo							A	A	B	B	A	A	A	B			
	Escobajo							A	A	B	B	B	A	B	B			
10-Compostaje	Compost	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B			

\* Las celdas vacías indican que no se analizó el parámetro.

\*\* En las pautas el requisito de NPK no se refiere a todos los usos, sino solamente a aquellas que se pretende usar como fertilizantes.

Se destaca el hecho de que ninguna de las corrientes de residuos fue clasificada como B en base a los niveles de As, Cd, Cr, Hg o Pb, en tanto que solamente la corriente 10 (Compostaje) mostró un valor de Ni por encima de la norma. Por el contrario los estiércoles de ave y cerdos, así como cenizas y compost mostraron niveles de Cu y Zn que los clasifican como alternativa B.

En lo que respecta a parámetros biológicos no se observó presencia de *Salmonella sp.* ni huevos de helmintos. No obstante estos resultados deben ser tomados con precaución, dado el riesgo que implica, por lo cual es conveniente comprobar su ausencia en las diferentes situaciones de generación de los residuos. La presencia de coliformes en los estiércoles por otra parte es esperable.

Los parámetros que mostraron menor número de residuos dentro de la categoría A fueron contenidos de sólidos totales, pH y CE. El bajo contenido de sólidos (< 55 % de MS) se relaciona al proceso de generación, así como a las condiciones de almacenamiento de los residuos. La mayor parte de los apartamientos en el pH ocurrió por exceder los límites indicados (6,0-8,5) ya que los estiércoles vacuno y de ave tienen reacción alcalina, lo mismo que las cenizas. Los residuos de industria oleaginosa y bodegas por otra parte mostraron valores por debajo de los límites de pH, aunque no llegaron a extremos de acidez. Si bien los resultados de este relevamiento muestran frecuentemente apartamientos en CE (<3 dS/m), debe aclararse que para este parámetro la normativa no estipula las condiciones de medición, por lo que no necesariamente los valores son comparables a los obtenidos en el presente estudio. En cambio todos los materiales analizados, excepto cenizas, cumplen con los requisitos de MO (> 20 %) y la mayor parte cumple con los requisitos de relación C/N menor a 20.

#### **IV.4. Posible utilización de los residuos como mejoradores de suelos. Restricciones de uso directo y necesidad de mezcla para compostaje.**

Debido a que las propiedades intrínsecas de variabilidad en la composición y características de los residuos agroindustriales, no es posible a priori plantear el manejo más adecuado para cada corriente. Adicionalmente el uso de los residuos como mejoradores de suelos no es generalizable, ya que depende de la existencia de suelos a mejorar, y de sistemas de producción que puedan aprovecharlos para esos fines. Si bien la producción agropecuaria tiene progresos y retrocesos lentos en términos de orientación productiva, tipos de cultivos, intensificación, manejo de suelos, criterios de fertilización y criterios de aplicación de enmiendas, evoluciona en el tiempo por influencia de factores económicos y sociales. Todo esto lleva a que no sea posible realizar generalizaciones, en cuanto al empleo de residuos como mejoradores de suelos para un tipo de producción en particular.

Hecha esta aclaración, en esta sección se plantea un resumen de la aplicabilidad de las diferentes corrientes de residuos en la situación actual de Uruguay (Cuadro 64). Si bien estas propiedades fueron generalmente tratadas al interpretar la composición de cada residuo este enfoque permitirá realizar una comparación de sus características.

En primer lugar en el resumen se presenta la adecuación de la utilización de los diferentes residuos para uso directo, así como las restricciones que pudieran tener para ese fin. Se consideran no aplicables para uso directo los residuos animales. Esto se debe a que la descomposición de residuos de animales, constituidos fundamentalmente por proteínas (putrefacción) puede acarrear contaminación biológica, atraer animales carroñeros y producir mal olor. Otras restricciones a la utilización, como son la alcalinidad que en el caso de estiércoles de cerdo y aves se relacionan además con altas concentraciones de amonio, deben tenerse en cuenta para el manejo, pero no son impedimentos para la utilización. La columna de límite de dosis se refiere a características de importancia a tener en cuenta. La restricción de transporte se señala para residuos que tienen baja concentración de nutrientes, consistencia líquida o forma física inapropiada para ser compactados. En este caso el problema pasa a ser económico o de eficiencia en el uso de la energía, dado que la valorización no podría compensar el costo de mover los residuos. En estos casos se recomienda el uso o procesamiento local.

**Cuadro 64.** Aplicabilidad de los residuos de las diferentes corrientes como mejoradores de suelos.

	Corriente	Residuos	Uso directo	Uso directo		Restricción de transporte	Recomendación de aplicación en establecimiento	**Necesidad de tierra fuera establecimiento	Compostaje - Se recomienda mezclar con:	Observaciones
			Posibilidad	Restricción	*Límite dosis					
1	Tambo	Estiércol	Si			Si	Si		C estructural	
		Extrusado	Si			Si	Si			Enmienda org., bajo aporte de nutrientes
2	Cerdo	Estiércol	Si	Olores	Cont. P			Si	C estructural	Alta concentración de nutrientes limita dosis de aplicación
		Cama	Si	Alcalinidad/Na/ olores	Cont. P/Na			Si	C estructural	
3	Aves	Estiércol J	Si	Alcalinidad/ olores	Cont. P			Si	C estructural	
		Estiércol P	Si	Alcalinidad/ olores	Cont. P			Si	C estructural	
		Cama pollo	Si	Alcalinidad/Na	Cont. P/Na			Si	C estructural	
4	Industria Aves	Sangre	No	Putrefacción					C estructural	Apropiados para alimento animal
		plumas	No	Putrefacción/forma física		Si			C estructural/C soluble	
5	E corral	Estiércol	Si			Si	Si			Enmienda org., bajo aporte de nutrientes
6	Industria Frigorífica	Aguas verdes	Si			Si				Enmienda org., bajo aporte de nutrientes
		Aguas rojas	No	Putrefacción		Si			C estructural	Apropiado para alimento animal
		Cenizas	Si	Alcalinidad/Na	Cont. Na				C estructural/Estiércol/N	Apropiadas para neutralizar suelo ácido
7	Curtiembre	Pelos	No	Putrefacción/forma física					C estructural/C soluble	Riesgo de contener S-sulfuro (tóxico)
8	Almazara	Alperujo	Si	Polifenoles/corto plazo	Cont. K	Si	Si		Estiercol/C soluble/N	Los polifenoles restringen act. microb. en el corto plazo, luego se descomponen
9	Bodegas	Orujo	Si	Polifenoles/corto plazo	Cont. K		Si		Estiercol/C soluble/N	
		Escobajo	Si	Polifenoles/forma física	Cont. K	Si	Si		Estiercol/C soluble/N	

\* Característica a tener en cuenta para determinar dosis.

\*\*Indica residuos producidos en zonas pobladas y/o establecimientos con escasa superficie.

Los residuos de producción avícola y de cerdos se producen generalmente en áreas cercanas a poblaciones (específicamente en el área metropolitana de Montevideo), lo cual reduce la disponibilidad de tierras en la zona aledaña y la utilización en el propio establecimiento. También debe evitarse su utilización en zonas pobladas por desprender olor desagradable. Por lo tanto en la planificación del uso de estos residuos debe tenerse en cuenta la necesidad de contar con tierra fuera del establecimiento. Si a esta situación se agrega que son residuos ricos en nutrientes, y por lo tanto su utilización requerirá de grandes superficies para evitar riesgos ambientales, se puede concluir que constituyen una situación problemática.

En cuanto a la posibilidad de utilización de los residuos para el compostaje, en el cuadro se indica los tipos de materiales adecuados para complementar cada residuo. Es obvio que resulta imposible hipotetizar sobre todas las posibilidades, dado el amplio rango de características de los residuos y su distribución geográfica, que lleva a diferente disponibilidad de materiales compostables. No obstante se trata de identificar características complementarias a las observadas en la caracterización de cada corriente de residuos. En términos generales los estiércoles y residuos animales deben compostarse con residuos estructurales ricos en C (chips de poda, residuos forestales, fardos de paja de cereales, etc.), los cuales contribuirán al desarrollo de la biomasa microbiana y a la aireación de las pilas de compost. En cambio los residuos de origen vegetal con alto contenido de polifenoles y de alta relación C/N, así como las cenizas requerirán la mezcla con fuentes de energía inmediatamente disponible (C soluble). En consecuencia podría utilizarse residuos de frutas, verduras y vegetales tiernos para fomentar la actividad microbiana y acelerar la descomposición. También estos residuos requerirán fuentes de nutrientes, en especial N, por lo cual el estiércol será una opción adecuada para esta mezcla.

## V. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

- 1) Representatividad de los resultados respecto al tipo de residuo. En este trabajo las diferentes corrientes de residuos estuvieron representadas por diversas situaciones de producción. Este hecho es importante a la hora de sacar conclusiones generales de sus características. En general se observó un amplio rango en la mayor parte de los parámetros analizados en cada corriente. Solamente mostraron poca variabilidad el pH y contenido de sólidos volátiles. La variabilidad en los parámetros, proveniente de un análisis realizado en base seca, podría incrementarse al considerar el residuo fresco, debido a que tanto el contenido de materia seca como la densidad mostraron cierta variabilidad. Puede concluirse que los valores promedio reportados en este estudio pueden ser utilizados como guía para la planificación de uso de los diferentes residuos, pero, si se desea un dato más certero al momento de utilizarlos, es necesario realizar el análisis del material a usar.
- 2) Adecuación a estándares de utilización como mejoradores de suelos. Los residuos caracterizados no presentan niveles que sobrepasen la categoría A en cuanto a su concentración de Cd, Cr, Ni, Pb o As. En cambio se cuantificaron valores por encima de esos niveles en Cu y Zn. En el caso de los estiércoles de cerdo y ave (incluyendo las camas), es probable que ese resultado se deba a que estos micronutrientes esenciales para el crecimiento animal se agregan a las raciones, por lo cual son eliminados en el estiércol. En estos casos no se encontraron contenidos por encima del límite B. En las cenizas de madera se observaron niveles por encima del límite A para Cu y Zn, incluso por encima del límite B en el caso de Cu. Los estiércoles vacunos (tambo, corrales) y los residuos de faena avícola (sangre y plumas) y vacuna (sólidos de aguas rojas y verdes, pelos) no presentaron niveles altos de metales pesados, incluyendo Cu y Zn. Los residuos vegetales de industria alimenticia (orujo y alperujo) no presentaron altos contenidos de Cu y Zn, aunque estos frecuentemente están incluidos en fitosanitarios, por lo cual pueden estar en alta concentración en situaciones puntuales.
- 3) Caracterización en términos de contenido total de nutrientes – En esta caracterización los resultados no permiten sacar conclusiones en cuanto al comportamiento de los diferentes residuos, ya sea en términos de disponibilidad de nutrientes si se los aplicara al suelo o en un posterior procesamiento (por ejemplo compostaje). En los casos de residuos con amplia tradición en utilización como abonos (estiércoles) existe información respecto a su efecto, pero en otros casos sería necesario contar con información experimental para recomendar su utilización.
- 4) Este trabajo sienta las bases para avanzar en la utilización de residuos agroindustriales como mejoradores de suelos. No solamente es aplicable a la situación actual del país, sino que se adapta a cambios en las condiciones económicas, de producción o las regulaciones ambientales para su utilización. También puede ser tomado como base para la planificación del procesamiento de las diferentes corrientes de residuos por ejemplo en la elaboración de fertilizantes organo-minerales.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Akan, J. C., Abdulrahman, F. I., & Yusuf, E. (2010). Physical and chemical parameters in abattoir wastewater sample, Maiduguri Metropolis, Nigeria. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 11(1), 640-648.
- Alburquerque, J. A., González, J., Garcia, D., & Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource technology*, 91(2), 195-200.
- Alliaume, F., Jorge, G., & Dogliotti, S. (2012). Impact of minimum tillage, oat straw management, and chicken manure on soil water content, runoff, erosion and tomato production. *Agrociencia-Uruguay*, 16(3), 199-207.
- Amanullah, M. M., Sekar, S., & Muthukrishnan, P. (2010). Prospects and potential of poultry manure. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(4), 172.
- Amir, S., Benlboukht, F., Cancian, N., Winterton, P., & Hafidi, M. (2008). Physico-chemical analysis of tannery solid waste and structural characterization of its isolated humic acids after composting. *Journal of hazardous materials*, 160(2), 448-455.
- Augusto, L., Bakker, M. R., Meredieu, C. (2008). Wood ash applications to temperate forest ecosystems-potential benefits and drawbacks. *Plant Soil* 306:181–198
- Barbazán, M., del Pino, A., Moltini, C, Hernández, J., Rodríguez, J. (2011). Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. *Agrociencia* 15. V 1: 82-92.
- Barbazán, M.; del Pino, A.; Moltini, C.; Rodríguez, J.; Beretta, A. (2010). Organic amendments in horticultural production. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- Benzano F; Emmer V; González M. (2016). Cuantificación de residuos generados en sectores agroindustriales uruguayos. Unidad de gestión de proyecto Biovalor. Consultado en: <http://biovalor.gub.uy/descarga/informe-tecnico-cuantificacion-residuos-generados-sectores-agropecuarios-agroindustriales-uruguayos/>
- Benzano F. (2016). Estimación de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O: Demanda de los cultivos y oferta en los residuos. Unidad de gestión de proyecto Biovalor. Consultado en: <http://biovalor.gub.uy/descarga/informe-tecnico-estimacion-n-p-k-demanda-cultivos-oferta-residuos/>
- Boixadera, J., & Teira, M. R. (2001). *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Universitat de Lleida.
- Burton, C. H., & Turner, C. (2003). *Manure management: Treatment strategies for sustainable agriculture*. Editions Quae.
- Bustamante, M. A., Moral, R., Paredes, C., Pérez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., & Pérez-Murcia, M. D. (2008). Agrochemical characterisation of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry. *Waste Management*, 28(2), 372-380.
- Bustamante, M. A., Pérez-Murcia, M. D., Paredes, C., Moral, R., Pérez-Espinosa, A., & Moreno-Caselles, J. (2007). Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. *Bioresource technology*, 98(17), 3269-3277.
- Bustillo-Lecompte, C. F., & Mehrvar, M. (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of environmental management*, 161, 287-302.
- Bustillo-Lecompte, C., Mehrvar, M., & Quiñones-Bolaños, E. (2016). Slaughterhouse wastewater characterization and treatment: an economic and public health necessity of the meat

- processing industry in Ontario, Canada. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(04), 175.
- Cabral, F., Ribeiro, H. M., Hilário, L., Machado, L., & Vasconcelos, E. (2008). Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials. *Bioresource technology*, 99(17), 8294-8298.
- Calderón, F. J., McCarty, G. W., Van Kessel, J. A. S., & Reeves, J. B. (2004). Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. *Soil Science Society of America Journal*, 68(5), 1592-1599.
- Castro Sousa, E., Uchôa-Thomaz, A. M. A., Carioca, J. O. B., Morais, S. M. D., Lima, A. D., Martins, C. G., ... & Silva, J. D. N. (2014). Chemical composition and bioactive compounds of grape pomace (*Vitis vinifera* L.), Benitaka variety, grown in the semiarid region of Northeast Brazil. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(1), 135-142.
- Cayuela, M. L., Millner, P. D., Meyer, S. L. F., & Roig, A. (2008). Potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds, fungi, and nematodes. *Science of the total environment*, 399(1), 11-18.
- Dao, T. H., & Cavigelli, M. A. (2003). Mineralizable carbon, nitrogen, and water-extractable phosphorus release from stockpiled and composted manure and manure-amended soils. *Agronomy journal*, 95(2), 405-413.
- del Pino, A., Repetto, C., Mori, C., Perdomo, C. (2008). Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26:43-52.
- del Pino, A., & Hernández, J. (2002). Ciclaje de fósforo por animales bajo pastoreo en campo natural y mejoramiento con leguminosas sobre suelos de basalto. *Agrociencia*, 6(2), 47-52.
- del Pozo, R. D., Taş, D. O., Dulkadiroğlu, H., Orhon, D., & Diez, V. (2003). Biodegradability of slaughterhouse wastewater with high blood content under anaerobic and aerobic conditions. *Journal of Chemical technology and Biotechnology*, 78(4), 384-391.
- Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Moulti-Mati, F., & Michaud, P. (2013). Olive mill wastes: biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry*, 48(10), 1532-1552.
- Di Bene, C., Pellegrino, E., Debolini, M., Silvestri, N., & Bonari, E. (2013). Short-and long-term effects of olive mill wastewater land spreading on soil chemical and biological properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 56, 21-30.
- Di Caprio, F., Altamari, P., & Pagnanelli, F. (2015). Integrated biomass production and biodegradation of olive mill wastewater by cultivation of *Scenedesmus* sp. *Algal Research*, 9, 306-311.
- DIEA-INIA. 2007. Encuesta Porcina (2006): Caracterización de la situación productiva, tecnológica, comercial y social del sector porcino (FPTA 170). Montevideo, Uruguay. 71 pp.
- Eghball, B. (2000). Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal*, 64(6), 2024-2030.
- Eghball, B., Power, J. F., Gilley, J. E., & Doran, J. W. (1997). Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. *Journal of environmental quality*, 26(1), 189-193.
- Ferguson, N. S., Gates, R. S., Taraba, J. L., Cantor, A. H., Pescatore, A. J., Ford, M. J., & Burnham, D. J. (1998). The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration, and litter composition in broilers. *Poultry Science*, 77(10), 1481-1487.
- Fernández Delgado Juárez, M. F. D., Waldhuber, S., Knapp, A., Partl, C., Gómez-Brandón, M., & Insam, H. (2013). Wood ash effects on chemical and microbiological properties of digestate- and manure-amended soils. *Biology and fertility of soils*, 49(5), 575-585.
- Ferrer, J., Páez, G., Mármol, Z., Ramones, E., Chandler, C., Marín, M., & Ferrer, A. (2001).

- Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes. *Bioresource Technology*, 76(1), 39-44.
- García de Souza, M., Alliaume, F., Mancassola, V., & Dogliotti, S. (2011). Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo en predios hortícolas del sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15(1), 70-81.
- González, A., & Bauza, R. (2010). Valor nutritivo de plumas tratadas por dos métodos de hidrólisis para la alimentación de cerdos. *Agrociencia Uruguay*, 14(2), 55-65.
- Gorga, L. (2017). Cadena de carne de cerdo: situación y perspectivas. *Anuario Opya 2017*, 99-110.
- Gorga, L. (2017). Cadena avícola: situación y perspectivas. *Anuario Opya 2017*, 85-98.
- Haroun, M., Idris, A., & Omar, S. S. (2007). A study of heavy metals and their fate in the composting of tannery sludge. *Waste Management*, 27(11), 1541-1550.
- Hejnfelt, A., & Angelidaki, I. (2009). Anaerobic digestion of slaughterhouse by-products. *Biomass and bioenergy*, 33(8), 1046-1054.
- Hernández, J. del Pino, A. (2014). Cuantificación de la extracción de nutrientes por la biomasa forestal con fines energéticos y sus efectos sobre el suelo. Informe: "Programa de cambio climático – Promoción de Fuentes Renovables y Uso Eficiente de la Energía" MIEM-AECID, Montevideo, Uruguay.
- Hernández, J.; Casanova, O.; Zamalvide, J. P. (1988). Capacidad de suministro de K en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía (Montevideo). Boletín de Investigación no. 19. 20 p.
- Jackson, B. P., Bertsch, P. M., Cabrera, M. L., Camberato, J. J., Seaman, J. C., & Wood, C. W. (2003). Trace element speciation in poultry litter. *Journal of Environmental Quality*, 32(2), 535-540.
- Jensen, P. D., Sullivan, T., Carney, C., & Batstone, D. J. (2014). Analysis of the potential to recover energy and nutrient resources from cattle slaughterhouses in Australia by employing anaerobic digestion. *Applied Energy*, 136, 23-31.
- Kalderis, D., & Diamadopoulos, E. (2010). Valorization of solid waste residues from olive oil mills: A review. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*, 4(Special Issue 1), 7-20.
- Kapellakis, I., Tzanakakis, V. A., & Angelakis, A. N. (2015). Land Application-Based Olive Mill Wastewater Management. *Water*, 7(2), 362-376.
- Kavdir, Y., & Killi, D. (2008). Influence of olive oil solid waste applications on soil pH, electrical conductivity, soil nitrogen transformations, carbon content and aggregate stability. *Bioresource technology*, 99(7), 2326-2332.
- Kirchmann, H., & Witter, E. (1992). Composition of fresh, aerobic and anaerobic farm animal dungs. *Bioresource technology*, 40(2), 137-142.
- Komilis, D. P., Karatzas, E., & Halvadakis, C. P. (2005). The effect of olive mill wastewater on seed germination after various pretreatment techniques. *Journal of Environmental Management*, 74(4), 339-348.
- Konrad, C., Lorber, K. E., Méndez, R., López, J., Muñoz, M., Hidalgo, D., ... & Rivelca, B. (2002). Systematic analysis of material fluxes at tanneries. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 86(1), 18-25.
- Kuziemska, B., Jaremko, D., & Wieremiej, W. (2016). Content of magnesium and heavy metals in selected natural fertilisers. *Journal of Elementology*, 21(1).
- Loecke, T. D., Liebman, M., Cambardella, C. A., & Richard, T. L. (2004). Corn growth responses to composted and fresh solid swine manures. *Crop science*, 44(1), 177-184.
- Longhurst, B., Houlbrooke, D., Orchiston, T., & Muirhead, R. (2012). Characterising dairy manures

and slurries. *Advanced Nutrient Management: Gains from the Past-Goals for the Future.*

- McBride, M. B., & Spiers, G. (2001). Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(1-2), 139-156.
- Magdich, S., Jarboui, R., Rouina, B. B., Boukhris, M., & Ammar, E. (2012). A yearly spraying of olive mill wastewater on agricultural soil over six successive years: impact of different application rates on olive production, phenolic compounds, phytotoxicity and microbial counts. *Science of the total environment*, 430, 209-216.
- Michel Jr, F. C., Pecchia, J. A., Rigot, J., & Keener, H. M. (2004). Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Science & Utilization*, 12(4), 323-334.
- Moldes, A. B., Vázquez, M., Domínguez, J. M., Díaz-Fierros, F., & Barral, M. T. (2008). Negative effect of discharging vinification lees on soils. *Bioresource technology*, 99(13), 5991-5996.
- Molina Alcaide, E., Moumen, A., & Martín-García, A. I. (2008). By products from viticulture and the wine industry: potential as sources of nutrients for ruminants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(4), 597-604.
- Møller, H. B., Hansen, J. D., & Sørensen, C. A. G. (2007). Nutrient recovery by solid-liquid separation and methane productivity of solids. *Trans. ASABE*, 50(1), 193-200.
- Møller, H. B., Lund, I., & Sommer, S. G. (2000). Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresource Technology*, 74(3), 223-229.
- Moreno-Caselles, J., Moral, R., Perez-Murcia, M., Perez-Espinosa, A., & Rufete, B. (2002). Nutrient value of animal manures in front of environmental hazards. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(15-18), 3023-3032.
- Morillo, J. A., Antizar-Ladislao, B., Monteoliva-Sánchez, M., Ramos-Cormenzana, A., & Russell, N. J. (2009). Bioremediation and biovalorisation of olive-mill wastes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82(1), 25.
- Navarro, A., Gez, M. I., Mercado, L., Senatra, L., & González, G. (2006). Caracteres físico-químicos de efluentes de fábricas de aceite de oliva. Mendoza (Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 38(1).
- Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R., & Unwin, R. J. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*, 70(1), 23-31.
- Nollet, L., Van der Klis, J. D., Lensing, M., & Spring, P. (2007). The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *The Journal of Applied Poultry Research*, 16(4), 592-597.
- Okanović, Đ., Ristić, M., Kormanjoš, Š., Filipović, S., & Živković, B. (2009). Chemical characteristics of poultry slaughterhouse byproducts. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(1-2), 143-152.
- Oliveira, T. M. M., Salviano, A. M., de Moraes, M. J. A., & Duda, G. P. (2008). Disponibilidade de cádmio em diferentes solos do Rio Grande do Norte. *Revista Caatinga*, 21(5).
- Palatsi Civit, J., Rodríguez-Abalde, Á., Fernández García, B., & Flotats Ripoll, X. (2010). Digestión anaerobia de subproductos de la industria cárnica.
- Palatsi, J., Viñas, M., Guivernau, M., Fernandez, B., Flotats, X. 2011. Anaerobic digestion of slaughterhouse waste: Main process limitations and microbial community interactions. *Bioresource Technology*. 102: 2219-2227
- Piotrowska, A., Rao, M. A., Scotti, R., & Gianfreda, L. (2011). Changes in soil chemical and biochemical properties following amendment with crude and dephenolized olive mill waste

- water (OMW). *Geoderma*, 161(1-2), 8-17.
- Pitman, R. M. (2006). Wood ash use in forestry-a review of the environmental impacts. *Forestry*, 79(5), 563-588.
- Pokniak, M. V., Segal, D., & GonzSlez, N. (1984). Evaluación Química y contenido de Energía Metabolizable aparente de la harina de Subproducto de Matadero de aves. *Arch. Med. Vet*, 16(1), 21-27.
- Prozil, S. O., Evtuguin, D. V., & Lopes, L. P. C. (2012). Chemical composition of grape stalks of *Vitis vinifera* L. from red grape pomaces. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 178-184.
- Requejo, M. I., de Celis, M. F. R., Martínez-Caro, R., Castellanos, M. T., Ribas, F., Arce, A., & Cartagena, M. C. (2016). Winery and distillery derived materials as phosphorus source in calcareous soils. *Catena*, 141, 30-38.
- Ruggieri, L., Cadena, E., Martínez-Blanco, J., Gasol, C. M., Rieradevall, J., Gabarrell, X., ... & Sánchez, A. (2009). Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *Journal of Cleaner Production*, 17(9), 830-838.
- Salminen, E., & Rintala, J. (2002). Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste—a review. *Bioresource Technology*, 83(1), 13-26.
- Saña, J, More, J.C., Cohí, A. (1996). La gestión de la fertilidad de los suelos. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Pag. 277.
- Siuris, Andrei, Tudor Bounegru, and Vasile Plamadeala. "Research regarding the possibility of use the wine yeast as fertilizer." *Scientific Papers-Series A, Agronomy* 57 (2014): 80-83.
- Solla-Gullón, F., Rodríguez-Soalleiro, R., & Merino, A. (2001). Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg*, 16, 379-393.
- Someshwar, A. V. (1996). Wood and combination wood-fired boiler ash characterization. *Journal of Environmental Quality*, 25(5), 962-972.
- Tam, N. F. Y., Tiquia, S. M., & Vrijmoed, L. L. P. (1996). Nutrient transformation of pig manure under pig-on-litter system. *The Science of Composting*, 96-105.
- Thyagarajan, D., Barathi, M., & Sakthivadivu, R. (2013). Scope of poultry waste utilization. *IOSR J. Agric. Vet. Sci*, 6(5), 29-35.
- Tiquia, S. M. (2002). Evolution of extracellular enzyme activities during manure composting. *Journal of Applied Microbiology*, 92(4), 764-775.
- Trinsoutrot, I., Recous, S., Bentz, B., Lineres, M., Cheneby, D., & Nicolardot, B. (2000). Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions.
- Tritt, W. P., & Schuchardt, F. (1992). Materials flow and possibilities of treating liquid and solid wastes from slaughterhouses in Germany. A review. *Bioresource Technology*, 41(3), 235-245.
- Urbaniak, M. (2004). Processing of mixtures containing chromium-free tannery wastes. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria*, 3, 57-68.
- Uruguay XXI. (2017) Informe del sector porcino en Uruguay. Inteligencia competitiva. pp 15.
- Vance, E. D., & Mitchell, C. C. (2000). Beneficial use of wood ash as an agricultural soil amendment: case studies from the United States forest products industry. *Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products*, 567-582.
- Whalen, J. K., Chang, C., Clayton, G. W., & Carefoot, J. P. (2000). Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3), 962-966.

- Windisch, W.; Broz, J.; Roth, F.X. (2003). Effect of microbial phytase on the bioavailability of zinc in piglet diets. En: Proceedings of the Society of Nutrition Physiology. Breves, G. Ed. Frankfurt/Main, Germany: DLG-Verlags GmbH, pp. 33.
- Wu, P. F., & Mittal, G. S. (2012). Characterization of provincially inspected slaughterhouse wastewater in Ontario, Canada. *Canadian Biosystems Engineering*, 54.