

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS EN EL URUGUAY PASIBLES DE SER VALORIZADOS POR DIGESTIÓN ANAEROBIA Y ESTIMACIÓN DE SU POTENCIAL DE METANIZACIÓN

OCTUBRE 2015

Informe elaborado por:

BIOPROA (Biotecnología de Procesos para el Ambiente)

Instituto de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de la República



Contenido

INTRODUCCIÓN	7
1. AVICOLAS.....	9
Descripción del sector	9
Proceso productivo	10
Producción de pollos parrilleros	11
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	12
Producción de huevos.....	12
Producción de pollos parrilleros	14
Producción nacional de residuos	16
2. CRÍA DE PORCINOS.....	18
Descripción del sector	18
Descripción del proceso	22
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	26
Índices de generación	26
Caracterización de residuos	28
Producción nacional de residuos	29
3. MALTERÍA Y CERVECERÍA	31
Descripción del sector	31
Descripción del proceso	32
Etapas del proceso	32
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	38
Maltería	38
Cervecería.....	40
4. FRUTAS Y HORTALIZAS	44
Descripción del sector	44
5. CURTIEMBRES	47
Descripción del sector	47
Proceso productivo	47
Ribera	48
Curtido.....	48

Post-curtido y terminación.....	49
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	49
Vacunos	51
Ovinos.....	53
Producción nacional de residuos	54
6. ENGORDE A CORRAL (FEEDLOT).....	55
Descripción del sector	55
Descripción del proceso	57
Etapas del proceso	57
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	60
7. CADENA LACTEA	63
Descripción del sector	63
Tambos.....	63
Tambos queseros	65
Industria Láctea	65
Descripción del proceso	65
Tambos.....	65
Tambos queseros	67
Industria láctea.....	67
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	70
Índices de generación	70
Caracterización de residuos	75
Producción nacional de residuos	80
Tambos / Tambos queseros	80
Industria láctea.....	81
8. LAVADEROS Y PEINADURÍA DE LANAS	83
Descripción del sector	83
Proceso productivo	83
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	84
Producción nacional de residuos	86
9. INDUSTRIA ACEITERA	87
Descripción del sector	87
Descripción del proceso	88

Etapas del proceso	88
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	89
Índices de generación	89
Caracterización de residuos	89
Producción nacional de residuos	90
10. INDUSTRIA SUCROALCOHOLERA.....	92
Descripción del sector	92
Descripción del proceso	93
Etapas del proceso	93
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	95
Índices de generación	95
Caracterización de residuos	95
Producción nacional de residuos	96
11. VINERÍAS Y SIDRERÍAS	98
Descripción del sector	98
Descripción del proceso	101
Producción de vinos	101
Producción de sidras	104
Residuos generados	107
12. FRIGORÍFICOS	110
Descripción del sector	110
Descripción del proceso	112
Etapas del proceso	112
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	115
13. PEQUEÑAS COMUNIDADES.....	119
Descripción del sector	119
Cuantificación y caracterización de los residuos generados.....	119
Producción nacional de residuos	120
REFERENCIAS.....	126



INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto BIOVALOR, proyecto financiado por el GEF y que es ejecutado en coordinación con el MIEM, el MVOTMA y el MGAP, el Grupo BIOPROA del Instituto de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República realiza el siguiente reporte apuntando a caracterizar la generación de residuos pasibles de ser valorizados mediante Digestión Anaerobia y estimar su potencial de metanización. Se ha relevado una serie de sectores productivos que a priori podrían ser interesantes desde el punto de vista de la digestión anaerobia de sus residuos y que además tienen una presencia importante en la realidad productiva nacional, a saber: industria avícola, industria porcina, cervecerías y malterías, procesamiento de frutas y verduras, curtiembres, feedlots, cadena láctea, lavado de lana, industria oleaginosa, azúcar y alcohol, industria vitivinícola, frigoríficos y pequeñas comunidades. En cada uno de los sectores se han identificado en el proceso de producción los puntos de generación de los principales residuos, se ha cuantificado la generación de los mismos recurriendo a datos estadísticos y reportes de las empresas, complementados con datos de bibliografía y se ha estimado en consecuencia el potencial máximo de metanización, en función de las características de dichos residuos.

Participaron en la elaboración de este informe por BIOPROA: Liliana Borzacconi, Mauricio Passeggi, Iván López, Elena Castelló, Magela Odriozola, Luis Ignacio Borges, Gianina Pinotti



1. AVICOLAS

Descripción del sector

El sector avícola está comprendido por tres subsectores, uno dedicado a la producción de huevos de consumo, otro a la cría de pollos parrilleros y por último uno dedicado a la faena. Ambas cadenas cuentan con varias etapas productivas, que son llevadas a cabo por diversos actores.

Ambas líneas de cría inician su proceso productivo en las granjas progenitoras, donde se crían gallinas y gallos con la genética adecuada. Las líneas genéticas utilizadas para producción de huevos y para producción de pollos parrilleros son distintas. Estas granjas se encuentran en países desarrollados, de donde Uruguay se abastece con huevos fértiles o embrionados o pollitos BB. La segunda etapa corresponde a las granjas de reproductoras, que producen huevos fértiles. Luego los huevos obtenidos son transferidos a las incubadoras, donde son sometidos a un proceso de incubación hasta que nacen los pollitos BB (Aves con menos de 48 horas de nacidos y que aún no hayan sido alimentados).

Las pollitas comerciales (destinadas a la producción de huevos de consumo) son enviadas a granjas de cría y recría, donde se mantienen por 13 - 16 semanas hasta que están prontas para pasar a la etapa de postura, en este momento son transferidas a granjas de postura.

La producción nacional de huevos en el año 2013, según el Anuario Estadístico Agropecuario 2014 (DIEA, MGAP), fue de 2560000 cajas de 30 docenas de huevos. Si bien existen aproximadamente 150 explotaciones con más de 500 aves dedicadas a la producción de huevos, se observa un alto grado de concentración de la producción. Esto se ve en que 15 establecimientos (10% del total) poseen el 52% de las aves de postura, mientras que el 65% de menor tamaño poseen el 12% de las existencias. Geográficamente, la producción está concentrada en los departamentos de Canelones, Florida y Montevideo.

En cuanto a la producción de pollos parrilleros, los pollitos BB son distribuidos a granjas de engorde, donde se inicia el proceso de crecimiento y engorde. Los pollos parrilleros son luego faenados en plantas de faenas.

Las fases de crecimiento y engorde se realiza bajo tres modalidades diferentes: productores independientes, façoneros y empresas de integración. Los façoneros constituyen el 94% de los productores, representando el 80% de la producción, mientras que las empresas de integración aportan entre un 18 y 19% y los productores independientes 1-2%. Los façoneros son productores tercerizados, propietarios de galpones que reciben todos los insumos necesarios de las empresas contratantes. Los tres tipos de productores están marcadamente regionalizados en los departamentos de Canelones, Florida y Montevideo (Informe Fase I – Cadena Avícola, Gabinete Productivo, 2009).

Por otra parte, la faena está altamente concentrada, no llegándose a la decena de empresas que se dedican a la misma. Además, entre cuatro de estas empresas se realiza más del 90% de la faena de pollos (Informe Fase I – Cadena Avícola, Gabinete Productivo, 2009). La mayoría de estas plantas de faena se ubican en los departamentos de Montevideo y Canelones. Según el Anuario Estadístico Agropecuario 2014 (DIEA, MGAP) en Uruguay se produjeron 107.118 toneladas de carne de pollo en el año 2013.

Proceso productivo

Producción de huevos

Las etapas de ambos subsectores mencionadas anteriormente, con la excepción de la faena de pollos cuyo proceso se detalla a continuación, son etapas de producción primaria. Las mismas se llevan a cabo normalmente en galpones cerrados donde los pollos son mantenidos la casi totalidad del tiempo. Los principales residuos generados en esas etapas son las camas y las excretas.

Según el Anuario Estadístico Agropecuario 2014 (DIEA, MGAP) la producción anual de huevos por gallina es de 269, por lo que se puede calcular que la existencia promedio de gallinas ponedoras es de 3426022. La misma fuente indica un consumo de ración de 120 gramos por ave por día. Por otra parte, para estimar la cantidad de pollitas (aves en cría y recria) en existencia se puede tomar que según la Encuesta Avícola 2002 esta cantidad era 23.6% de las aves ponedoras. Utilizando este dato la cantidad de pollitas se estima en 808541.

De acuerdo a la Encuesta Avícola 2002 (DIEA, MGAP), el potencial de densidad de ponedoras por galpón es en promedio 10 aves por metro cuadrado para gallinas ponedoras y 15 aves por metro cuadrado para pollitas. Estos dos valores crecen al aumentar el tamaño de la explotación. Por lo tanto, puede calcularse que la superficie de galpones ocupados es de 342 mil metros cuadrados para gallinas ponedoras y 54 mil metros cuadrados para pollitas. Discriminando según el tipo de alojamiento se puede decir que para ponedoras un 83% de la superficie de los galpones es de alojamiento en jaulas (85% de las aves) y el restante 17% (15% de las aves) son de alojamiento en piso. Para las pollitas, sólo se cuenta con datos según la cantidad de aves alojadas y la proporción es de 70% en jaulas y 30% en piso (Encuesta Avícola 2002, DIEA, MGAP).

Cría de pollos parrilleros

De acuerdo al Anuario Estadístico Agropecuario 2014 (DIEA, MGAP) el peso de faena promedio es de 3.05 kg en pie y la edad de faena promedio en 2013 fue de 52 días. Considerando estos datos y la producción de pollos parrilleros (toneladas faenadas/año) se puede estimar que la existencia de pollos parrilleros promedio es de 5 millones de aves. El consumo de ración se puede calcular con los datos de eficiencia de conversión (2.1 kg ración/kg pollo) y es de aproximadamente 120 gramos por ave por día. Por otra parte, el número de crianzas totales por año es de 4.1 en promedio.

Según el Informe Fase I – Cadena Avícola (Gabinete Productivo, 2009) se estima que se crían 10 pollos por metro cuadrado. Por lo tanto, se puede estimar que hay aproximadamente 500 mil de metros cuadrados de galpones dedicados al engorde de pollos parrilleros. La cría de pollos parrilleros se hace en piso de galpones, con uso de camas (Chiappe, 2010).

Faena

El proceso de matanza y faena de pollos se puede observar en la Figura 1.1. El proceso de producción comienza por la etapa de recepción de aves, las cuales son luego sacrificadas. Luego del sacrificio se realiza el sangrado y a continuación el desplume seguido de la evisceración. En estas etapas se generan los principales residuos del proceso. Luego se procede al lavado y enfriado de las carcasas en un proceso llamado chilling y por último se procede a la clasificación y envasado de la carne.

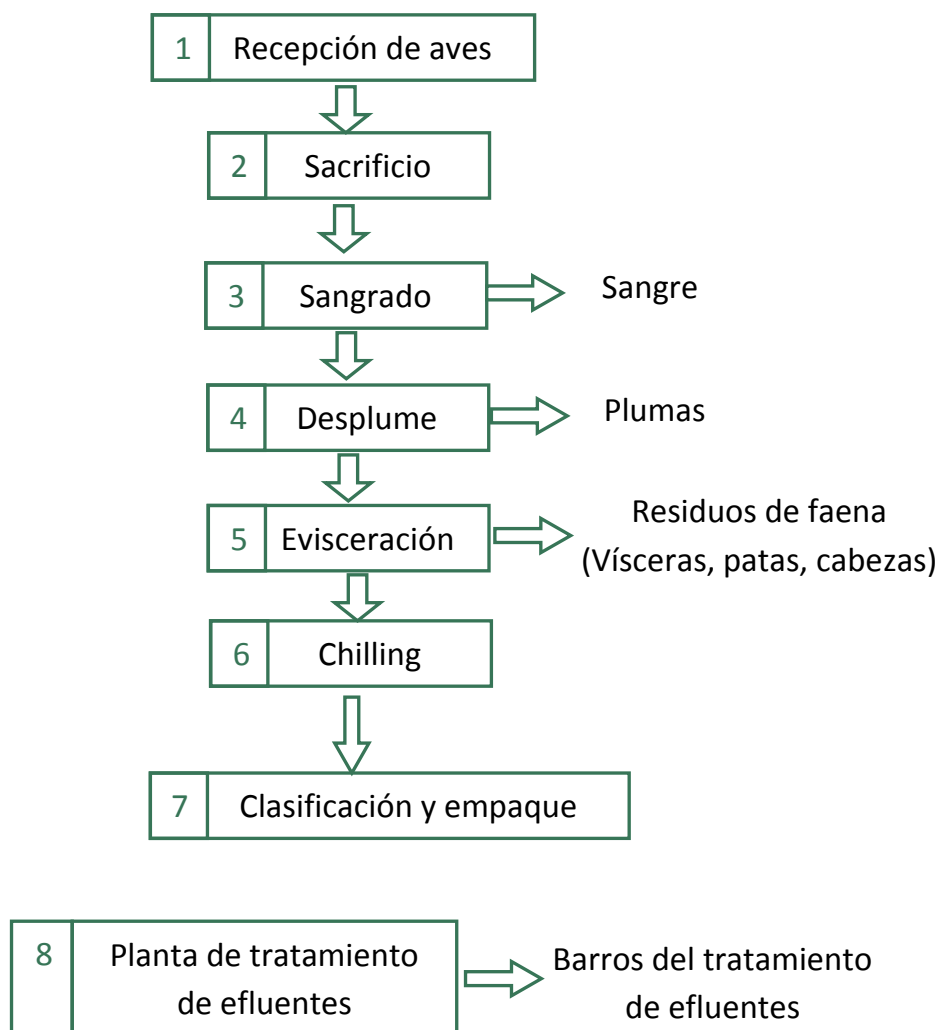


Figura 1.1 - Diagrama de flujo del proceso de faena de pollos

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Producción de huevos

Como se dijo anteriormente, en estos sistemas los residuos producido son camas y excretas. Se debe de hacer una distinción entre el tipo de alojamiento para distinguir el tipo de residuo generado. En el alojamiento en jaulas, generalmente las excretas son retiradas regularmente mediante sistemas de pisos móviles y el uso de camas no existe o no es significativo. Por otro lado, en el alojamiento en piso, se usan camas y por lo tanto la excreta no es retirada periódicamente sino que se retira al momento de remover las camas y cambiarlas por nuevas

(Kelleher et al., 2002). Si bien en ambos casos los métodos utilizados pueden variar, se considerará un retiro periódico de las excretas en el caso de cría en jaulas, y un retiro de camas de una vez por año (camas profundas) en el caso de cría en piso.

La producción de excreta por gallina en jaula, expresada en toneladas húmedas, es altamente dependiente del tipo de recolección de la misma; sin embargo la producción de sólidos totales de la misma es relativamente constante (Abaigar et al., 2010). Ya que no se cuenta con datos del tipo de recolección utilizado en Uruguay, se tomarán datos de Abaigar et al. (2010) para una situación dada (cinta sin secado), manteniéndose la coherencia de forma de obtener una producción de sólidos totales realista. Estos datos son 102.4 g/(ave.día) y 25% de sólidos totales para gallinas ponedoras. Para gallinas en cría y recria, el valor de producción es de 14.4 g/(ave.día), con la misma concentración de sólidos totales.

Por otra parte, para estimar la producción de camas se considerara el área de galpones usada para cría en piso, una profundidad de cama de 15 cm y una densidad de cama de 0.4 ton/m³. Las camas se retiran al finalizar el ciclo productivo del lote de aves, el cual dura 62 semanas, por lo que el material sale parcialmente estabilizado.

Con estas consideraciones se calcularon las producciones anuales de ambos residuos que se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 - Generación de residuos en el subsector producción de huevos

Residuo	Generación (ton/año)	Posibles inhibidores
Excretas	118879	Amonio
Camas	4465	Amonio

En la Tabla 1.2 se presentan los datos de caracterización de los residuos generados. Los datos de caracterización de camas fueron tomados de Markou (2015), mientras que los de potencial de metanización fueron tomados de Gangagni Rao et al. (2011) y Gangagni Rao et al. (2013). Los datos de caracterización de las excretas fueron tomados de Kelleher et al. (2002), con la excepción de la consideración hecha previamente sobre los sólidos totales. Los datos de potencial de metanización para las excretas fueron tomados de Salminen y Rintala (2002) y Yoon et al. (2014).

Tabla 1.2 - Caracterización de los residuos generados en el subsector producción de huevos

Residuo	Sólidos Totales (%)	Sólidos Volátiles (%ST)	DQO (mg/gST)	Nitrógeno Total (%ST)	Nitrógeno Inorgánico (%ST)	Nitrógeno Amoniacal (%ST)	Potencial de metanización (Nm ³ CH ₄ /kgSV)
Excreta	25	85	S/D	3.8	1.7	1.8	0.22 – 0.34
Cama	23	72	990	5.3	S/D	1.1	0.14 – 0.16

Producción de pollos parrilleros

Crecimiento y engorde

En la Encuesta a Productores de Pollos Parrilleros a Façon 2011 (DIEA, MGAP) se estima la cantidad de cama producida en el año. Ajustando este dato según la producción se puede estimar la producción del residuo en el año 2013 en 68 mil toneladas. Se debe destacar que si bien, según la encuesta, cerca del 50% de los productores reutiliza la cama entre ciclos de crianza, el dato utilizado es de camas vendidas o utilizadas en el predio con otros fines (abono, compostaje, etc) por lo que sería la cantidad de cama con potencial de ser tratada anaeróbicamente.

La caracterización de estas camas está presentada en la Tabla 1.2 ya que en la práctica se considera igual a la generada en la cría de gallinas ponedoras.

Faena

Los principales residuos generados en el proceso de faena de pollos son:

- Sangre
- Plumas
- Residuos de faena (vísceras, patas, cabezas)
- Barros del tratamiento de efluentes

En la Tabla 1.3 se lista el índice de generación por tonelada de pollo en pie faenada (unidad de producción) de cada residuo, así como el punto de generación en el sistema y las características principales de los mismos. El índice para los barros de tratamientos de efluentes fue obtenido de un relevamiento de datos realizado por BIOVALOR y verificado con datos bibliográficos (Yoon et al., 2014). Dado que los datos a nivel nacional son muy parciales y no

totalmente confiables, y a que la producción de residuos por tonelada de pollo se puede considerar relativamente constante e independiente del método utilizado, se considerarán valores internacionales para los índices de sangre, plumas y residuos de faena. Estos valores fueron tomados de Salminen y Rintala (2002).

Tabla 1.3 – Residuos de faena de pollos

Residuo	Generación (kg/UP)	Punto de generación	Componentes principales	Posibles inhibidores
Sangre	22	2 y 3	Proteínas Grasa	Amonio
Plumas	100	4		
Residuos de faena	211	5	Proteínas Grasa	Amonio
Barros del tratamiento de efluentes	15	8		

En la Tabla 1.4 se presenta la caracterización de los residuos listados arriba. Los datos fueron obtenidos de Salminen y Rintala (2002) y de Yoon et al. (2014). De la caracterización se desprende que los cuatro residuos generados pueden ser tratados anaeróbicamente. Se debe de tener en cuenta que algunos de ellos pueden tener valor de mercado como subproductos, por lo que la opción de su tratamiento debe de ser económicamente más atractiva que su venta.

Tabla 1.4 – Caracterización de los residuos de faena de pollos

Residuo	Sólidos Totales (%)	Sólidos Volátiles (%ST)	Nitrógeno Kjeldahl Total (%ST)	Proteínas (%ST)	Lípidos (%ST)	Potencial de metanización (Nm ³ /kgSV)
Sangre	13 - 22	94	14	90	3	0.4 - 0.5
Plumas	24 - 33	97	15	91	1.0-10	0.15 - 0.2
Residuos de faena	28 - 39	95	5.3	32	54	0.7-0.9
Barros del tratamiento de efluentes	10 - 27	87	5.6	50	5.2	0.3 - 0.5

Producción nacional de residuos

La guía argentina Buenas Prácticas de manejo y utilización de cama de pollo y Guano (MAGP, s/f) aporta tablas calculadas en base a las fórmulas de la American Society of Agricultural and Biological Engineering (ASABE) que también pueden ser utilizadas como guía, coincidiendo aproximadamente con los valores de otras fuentes (Tablas 1.5 y 1.6)

Tabla 1.5 – Caracterización de excretas frescas de ponedoras y parrilleros

COMPONENTES	UNIDADES	PONEDORAS	UNIDADES	PARRILLEROS*
Peso	kg/animal-día	0.088	kg/animal terminado	4.9
Volumen	L/animal-día	0.083	L/animal terminado	4.9
Humedad	%	75	%	74
Sólidos Totales	kg/animal-día	0.022	kg/animal terminado	1.3
Sólidos Volátiles	kg/animal-día	0.016	kg/animal terminado	0.95
DQO	kg/animal-día	0.018	kg/animal terminado	1.05
DBO	kg/animal-día	0.0050	kg/animal terminado	0.30
Nitrógeno	kg/animal-día	0.0016	kg/animal terminado	0.053
Fósforo	kg/animal-día	0.0005	kg/animal terminado	0.016
Potasio	kg/animal-día	0.0006	kg/animal terminado	0.031

*48 días duración fase de engorde y 2.36 kg peso de faena

Tabla 1.6 – Producción y características de excretas removidas de galpones

COMPONENTES	UNIDADES	PONEDORAS	PARRILLEROS*
Peso	kg/animal-día	0.03	0.02
Humedad	%	59 (14)	31 (24)
Sólidos Totales	% base húmeda	40	70
Sólidos Volátiles	% ST	s.d.	70
N Kjeldahl	% base húmeda	1.85 (30)	3.73 (14)
N- Amoniacal	% base húmeda	0.88 (39)	0.75
Fósforo	% base húmeda	1.21 (34)	0.60 (22)
Potasio	% base húmeda	1.31 (28)	1.37 (13)
Calcio	% base húmeda	6.40 (41)	1.82 (17)

Números entre paréntesis: coeficiente de variación

En la Tabla 1.77 se presenta una estimación de la producción anual de residuos en el sector avícola así como el potencial de generación de metano a nivel nacional. Este potencial puede ayudar en la definición de sectores industriales prioritarios para la aplicación de tecnologías anaerobias.

Tabla 1.7 – Producción de residuos y potencial de producción de metano en la industria avícola a nivel nacional

Sector	Residuo	Producción de residuos (ton ST _{bs} /año)	Potencial de producción de CH ₄ en el país (millones Nm ³ /año)
Carne	Sangre	518	0.19 - 0.24
	Plumas	2571	0.37 - 0.50
	Residuos de faena	8815	5.86 - 7.54
	Barros del tratamiento	434	0.11 - 0.19
	Camas	15640	1.58 - 1.80
	Subtotal		8.1 - 10.3
Huevos	Excretas	29720	5.56 - 8.59
	Camas	1027	0.10 - 0.12
	Subtotal		5.7 - 8.7
	Totales		13.8 - 19.0

2. *CRÍA DE PORCINOS*

La porcicultura, esto es, la actividad de crianza de cerdos, tiene distintos niveles tecnológicos y de gestión de acuerdo al tipo de explotación. La misma va desde la cría a campo abierto hasta la producción en confinamiento que facilita la alimentación al animal. Por otro lado las explotaciones se dividen en distintos tamaños de acuerdo al número de cerdos que manejan.

Descripción del sector

La producción de residuos está dada principalmente por la excreta de los animales y por lo tanto la posibilidad de captación de los mismos depende del sistema de alojamiento que se emplee. A continuación se describen los distintos sistemas.

- Sistemas extensivos (a campo): se producen grupos de cerdos en corrales con bebederos y refugios, estos potreros pueden tener o no cobertura vegetal. La cría a campo pertenece mayoritariamente a establecimientos de escala pequeña a mediana. Requieren bajos niveles de inversión por hectárea pero utilizan grandes superficies.
- Sistemas intensivos (en confinamiento): todas las categorías de cerdos se alojan en locales totalmente cerrados. Estos son los sistemas que se aplican mayoritariamente en establecimientos de gran escala productiva; requieren altas inversiones y utilizan de forma intensiva la superficie.
- Sistemas intensivos con acceso a potrero o pastoreo: los animales pasan la mayor parte del tiempo en confinamiento pero acceden a potreros o pastoreos controlados por el productor.
- Sistemas combinados: combinan sistemas intensivos y extensivos, desarrollando algunas etapas a campo y otras en confinamiento.

En las explotaciones con producción extensiva de cerdos las excretas porcinas no representan en general un problema para los establecimientos debido a que son absorbidas o utilizadas como bioabono. Más allá de eventuales impactos, está claro que resulta prácticamente imposible la recolección de los residuos en esta modalidad. Por el contrario, cuando se intensifica la producción mediante el confinamiento (intensiva o combinada) la generación de excretas representa un residuo con riesgo ambiental que debe ser mitigado mediante el

tratamiento o disposición. La excreta capaz de ser tratada es aquella que puede captarse, y esto sucede cuando el animal se encuentra en confinamiento. En sistemas intensivos se capta toda la excreta generada por el animal, mientras en los sistemas con acceso a potrero únicamente se capta la excreta durante el tiempo de confinamiento del animal. A su vez, en sistemas combinados únicamente se capta la excreta producida por los animales en confinamiento y no por los que se encuentran a campo abierto.

De acuerdo a la encuesta porcina realizada por el MGAP (2006), Tabla 2.1, el 56% de las explotaciones con producción comercial utilizan sistemas confinados o combinados de alojamiento y representan el 82% de los cerdos existentes. Estos son los establecimientos que resultan de interés para la posible aplicación de sistemas de tratamiento anaerobio.

Tabla 2.1. Número de explotaciones con producción comercial y existencias que involucran según tipo de alojamiento predominante

Tipo de alojamiento	Explotaciones		Existencia de cerdos		Promedio de cerdos por explotación
	Número	%	Número	%	
Total	2808	100%	195831	100%	70
Confinado	191	7%	75701	39%	396
Confinado c/acceso	822	29%	22098	11%	27
Campo	1224	44%	34429	18%	28
Combinado	571	20%	63603	32%	111

- Fuente: MGAP-DIEA / INIA, Encuesta Porcina 2006.

Por otro lado, los tamaños de las explotaciones con producción comercial son muy variables (Tabla 2.2), el 53% de las mismas tienen un tamaño de piara inferior a 20 cerdos y el 2% de mayor tamaño concentran el 53% de la existencia de cerdos.

Tabla 2.2. Número de explotaciones con producción comercial con cerdos y existencias que involucran, por tamaño de piara

Tamaño de piara (cabezas)	Explotaciones		Existencia de cerdos		Promedio de cerdos por explotación
	Número	%	Número	%	
Total	2367	100%	163577	100%	69
Menos de 10	631	27%	3117	2%	5
De 10 a 20	620	26%	8964	5%	14
De 21 a 50	619	26%	20271	12%	33
De 51 a 150	372	16%	30662	19%	82
De 151 a 300	66	3%	13807	8%	209
Más de 300	59	2%	86756	53%	1470

Fuente: MGAP, Censo general agropecuario 2011.

De acuerdo al Censo General Agropecuario 2011 (CGA2011), en Uruguay el 39% de las explotaciones (1000 explotaciones) son de ciclo completo y abarcan el 74% de los cerdos. Las granjas de cría/recría representan el 56% (1300) de las explotaciones e incluyen el 19% de la existencia de cerdos; estos emprendimientos se dedican a la producción de lechones destetados menores a 30 kg y/o cachorros entre 30 y 80 kg, cuyo destino es el engorde realizado por otro productor. El restante 5% (100) de las explotaciones, con el 6% de los cerdos, se dedican al engorde (terminación) de lechones o cachorros que provienen de otro productor. De acuerdo a la orientación productiva del establecimiento el rodeo se compone de forma diferente, Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Composición del rodeo uruguayo según orientación productiva.

Categoría animal	Orientación productiva			Total Comercial ³	Total Nacional ⁴
	Cría ¹	C/completo ¹	Terminación ²		
Padrillos	3.8%	1.1%	0.1%	1.6%	2.5%
Cerdas de cría	32.6%	13.9%	0.5%	16.7%	19.3%
Lechones	62.5%	23.6%	0.4%	29.7%	32.2%
Cachorros y cachorras	1.0%	44.1%	58.4%	36.6%	33.0%
Cerdos y cerdas para engorde	0.1%	17.3%	40.7%	15.4%	13.1%

¹ CGA2011 (Arenare, 2015).

² Encuesta porcina 2006.

³ Estimado en base a composición de rodeo según orientación productiva, y distribución de explotaciones comerciales a nivel nacional según orientación productiva (Arenare, 2015).

⁴ MGAP, Censo general agropecuario 2011.

En la Figura 2.1 se observa la distribución de existencia de cerdos en el país y en Figura 2.2 se muestra la distribución de explotaciones con cerdos. Se destaca una alta concentración de productores en la zona sur-oeste, siendo Colonia, Canelones, San José y Florida los departamentos con mayores números de cerdos.

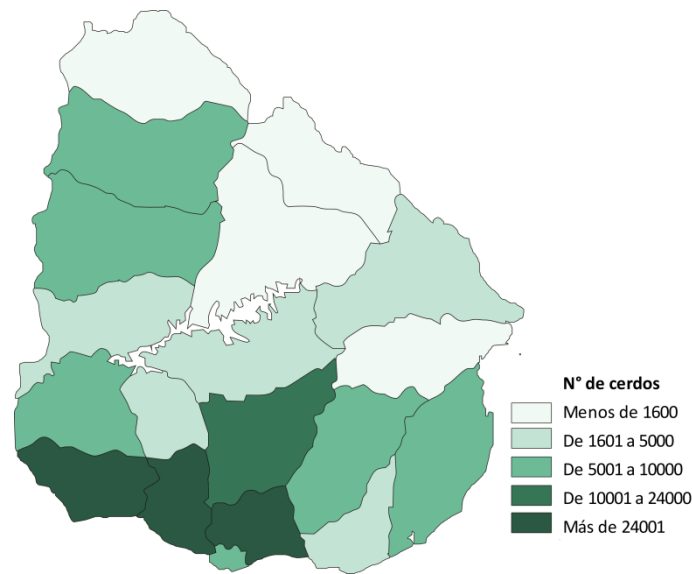


Figura 2.1. Distribución de cerdos por departamento, adaptado de información de cerdos por seccional policial (MGAP_SNIA, 2015).

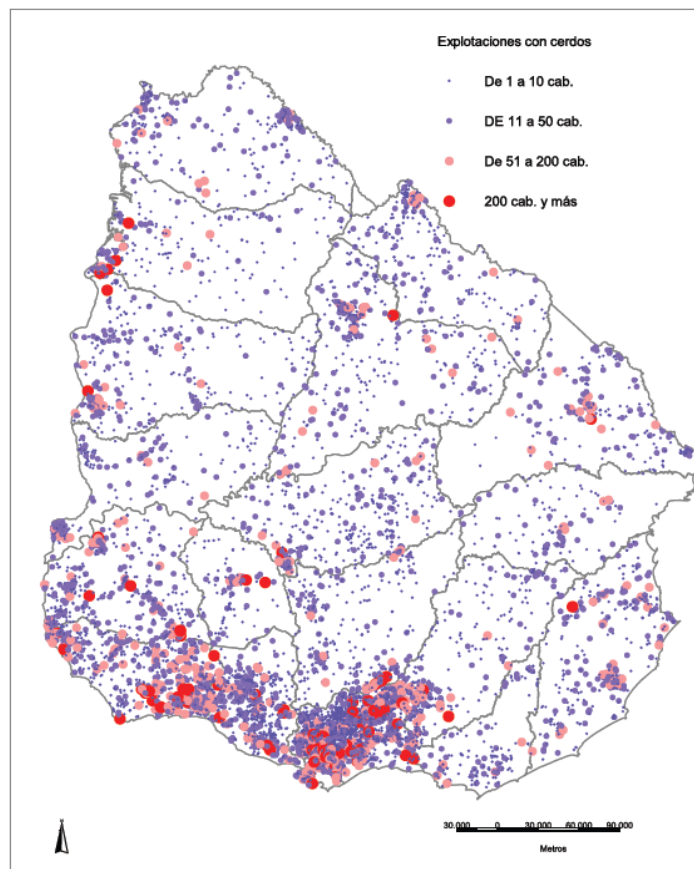


Figura 2.2. Distribución territorial de explotaciones con cerdos, Tomado de Arenare (2015). Fuente: DIEA – MGAP, CGA2011.

El consumo de energía promedio en el sector es de 25 KWh por animal; este valor se estimó con datos presentados en Informes Ambientales de Operación (IAO) de distintas empresas en el período 2010 – 2013. Por otro lado, se estima para el país un consumo de agua diario medio por animal de 13 L, estimado ponderando el consumo de agua en cada etapa productiva (IRG & CNP+LH, 2009) con la composición de la piara en Uruguay (MGAP-DIEA / INIA, 2006).

Descripción del proceso

A continuación se describen las etapas del proceso de cría de cerdo en las granjas de ciclo completo (reproducción, cría y engorde de los cerdos).

1. Recepción de animales nuevos

2. Cuarentena: aislamiento de animales nuevos antes de ingresar a la granja para observar si presentan signos de enfermedad y así evitar la introducción de patógenos por medio de estos animales. A su vez, la cuarentena permite vacunar y aclimatar los nuevos animales a enfermedades existentes en la granja.
3. Inseminación/Monta: inseminación artificial de hembras o monta con padrillo en salas de monta.
4. Gestación y Maternidad: la gestación se inicia cuando la hembra es preñada y dura 114 días. Durante esta etapa las hembras se encuentran en jaulas individuales para poder brindarles el monitoreo y cuidado adecuado. La etapa de maternidad se inicia a los 7 días del parto, las hembras y sus lechones son trasladados a jaulas cuna donde permanecen durante período de lactancia del lechón, de 21 a 28 días.
5. Destete (recría): el destete es el aislamiento de los lechones de sus madres para aumentarle la carga alimenticia y promover la productividad de la hembra para lograr un mayor número de partos por año. Esta etapa dura hasta los 90 días de edad del cerdo y este puede alcanzar los 45 kg.
6. Desarrollo y crecimiento: esta etapa abarca aproximadamente entre los 91 y 120 días de edad del cerdo y este puede alcanzar un peso de 70 kg.
7. Engorde: en esta última etapa del proceso productivo el cerdo debe alcanzar un peso aproximado de 80-100 kg y abarca desde los 121 a los 150 días de edad del cerdo.
8. Transporte a faena: transporte de animales listos para faena.
9. Tratamiento de residuos primario: separación de residuos sólidos (no todas las explotaciones cuentan con esta etapa).
10. Tratamiento de residuos secundario: tratamiento biológico de residuos (no todas las explotaciones cuentan con esta etapa).

Las granjas de cría/recría pueden incluir las etapas desde 1 hasta 6 inclusive, más la 8 y las de tratamiento de residuos. Las explotaciones dedicadas a la terminación pueden incluir las etapas 1 y 6 a 10.

En el diagrama de flujo de la Figura 2.3 se muestran los puntos de generación de residuos en la producción de cerdos en confinamiento. Los residuos generados están constituidos mayormente por excretas (heces y orina), a su vez pueden contener agua (dependiendo del método de colección) y restos de alimentos y camas. Por otro lado, los animales muertos son un residuo potencialmente peligroso que debe disponerse adecuadamente desde el punto de vista ambiental y sanitario. Las placentas son un residuo generado durante el parto. Durante la

primera semana de vida de los cerdos se realiza la identificación de los mismos mediante muescas en las orejas de los lechones, produciendo restos de orejas como residuo.

Las explotaciones que cuentan con separación de sólidos (tratamiento primario) generan un residuo sólido constituido mayormente por estiércol (fase sólida de las excretas) y restos de alimentos. Además, producen un residuo líquido con un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, que puede contener coliformes fecales, salmonella y patógenos.

Las explotaciones con tratamiento biológico de sus efluentes (tratamiento secundario) generan un lodo/barro (Lodo PTE) constituido por materiales sólidos que no se degradaron así como microorganismos que se desarrollan durante el consumo de materia orgánica.

La práctica más común actualmente es disponer a terreno como mejorador de suelo o bioabono los residuos generados en la producción de cerdos.

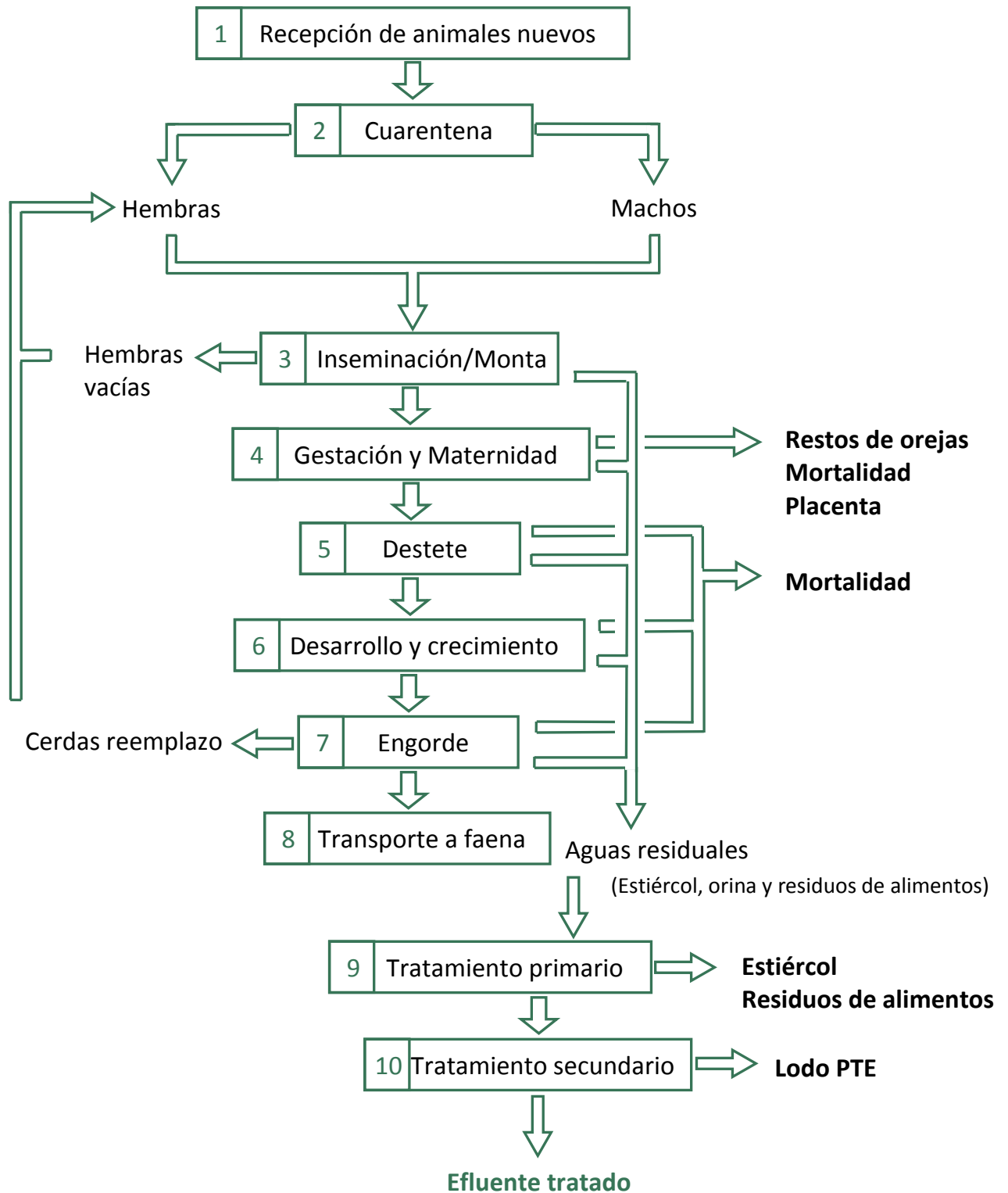


Figura 2.3. Diagrama de flujo del proceso de producción porcina intensiva (en confinamiento)

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Índices de generación

La producción y composición de excretas generadas diariamente por un animal dependen altamente de la categoría del mismo y el alimento que consume (tipo, cantidad y forma de suministro).

Se tomaron datos de generación de excretas según la categoría del animal de “Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina” (INIA, Chile 2005), Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Producción de excretas (estiércol más orina) por animal según su categoría.

Categoría animal	Excretas (L/d/animal)	Excretas (kg/d/animal)				
		ST	SV	N	P	K
Padrillos	5.3	0.45	0.38	0.04	0.03	0.03
Cerdas de cría	4.2	0.37	0.30	0.03	0.02	0.02
Lechones	1.0	0.09	0.08	0.01	0.01	0.01
Cachorros/as	3.1	0.30	0.24	0.02	0.02	0.02
Cerdos/as para engorde	4.8	0.43	0.36	0.04	0.03	0.03

Fuente: INIA Chile, 2005. Aproximaciones: Cachorros/as = promedio recría y engorde; Cerdos/as = promedio engorde y verraco; Padrillos = verraco.

De acuerdo a los datos presentados por el Dr. Paulo de Olivera (De Olivera, 2015), se producen 4.50 ± 0.65 L_{excretas}/d/animal para animales en la unidad de terminación, valor comparable con los presentados en la tabla anterior.

Se estimó la producción de residuos mediante los datos de generación por animal según su categoría ponderados por la composición de la pira en Uruguay, se realizó el cálculo discriminando por orientación productiva del establecimiento (Tabla 2.5).

El consumo de agua en los establecimientos porcinos varía en cada etapa del proceso (IRG & CNP+LH, 2009), siendo mínimo en la fase de gestación y reproducción, 10 L/animal/día y máximo en maternidad 25 L/hembras/día para las hembras lactado y 70mL diarios por lechón.

En las restantes etapas (destete, desarrollo, crecimiento, engorde) el consumo es del orden de 20 L/animal/día.

Tabla 2.5. Producción de excretas por animal, según orientación productiva de la explotación comercial.

Orientación productiva	Excretas (L/d/animal)	Excretas (kg/d/animal)				
		ST	SV	N	P	K
Cría	2.23	0.20	0.16	0.02	0.01	0.01
Ciclo Completo	3.05	0.28	0.23	0.02	0.02	0.02
Terminación	3.76	0.35	0.28	0.03	0.02	0.02
Total Comercial promedio	2.94	0.27	0.22	0.02	0.02	0.02
Total Nacional promedio	2.90	0.27	0.22	0.02	0.02	0.02

Estimado con Tabla 2.3 y Tabla 2.54.

La producción de residuos de alimentos se estimó con datos presentados en Informes Ambientales de Operación (IAO) de distintas empresas en el período 2010 – 2013. Se estimó un índice de producción medio por cerdo por día de 0.8 kg en base seca; este índice resultó muy variable para las distintas empresas, encontrándose valores desde 0.1 hasta 2.0 kg_{bs}/d/animal. Por otro lado, se encontró que la variación del índice no se asocia con el tamaño del emprendimiento.

El índice de producción de lodos de la planta de tratamiento de efluentes (Lodo PTE) se estimó de acuerdo a datos de presentados en los IAO de una misma empresa en dos períodos distintos (2010 y 2012), obteniéndose un valor de 0.2 kg_{bs}/d/animal. Cabe resaltar que este es un dato calculado con reportes de una única empresa y no debería generalizarse.

Las aguas residuales (efluentes) producidas en la porcicultura están compuestas mayoritariamente por excretas, como se mencionó anteriormente, y el índice de generación de las mismas es variable de acuerdo al método de colección. Vicardi (2012) reporta que se producen 20 L/d/animal de efluente porcino, pero en el mismo artículo se muestra la producción de efluente discriminada por categoría del animal y los valores van desde 1.6 L/d/animal para lechones hasta 27 L/d/animal para cerdas en lactancia (Fuente: Committee of National Pork Producers Council, Brasil 2004 en material de charla técnica sobre Manejo de efluentes, Patricia Millares, Fericerdo 2011). Tomando estos valores se puede estimar un

índice de acuerdo a la composición de la pira en Uruguay ponderando con la fracción de animales de cada categoría, obteniéndose 6 L/d/animal de efluente.

Caracterización de residuos

Las características y composición de los residuos en la porcicultura, así como su forma de generación (continua, diaria, semanal, periódico, al final de cada ciclo, etc) son altamente dependientes del tipo de alojamiento que se utilice (piso de hormigón, piso con rejilla plástica, cama profunda, etc). A su vez, en una misma granja pueden coexistir distintos tipos de alojamiento para las distintas etapas de la cría de cerdos.

Las excretas porcinas están compuestas principalmente por carbohidratos, lípidos, aminoácidos, proteínas, urea y compuestos azufrados; a su vez, presentan altos contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, cobre y zinc.

En la Tabla 2.6 se muestran valores medios, mínimos y máximos de caracterización de excretas porcinas y efluentes generados en la porcicultura. La tabla se realizó en base a datos de distintas bibliografías (Vicari 2012; INIA Chile 2005; PSE PROBIOGAS España 2009; Petersen et al., 2007).

Tabla 2.6. Composición de excretas de cerdos y efluentes porcinos (incluyendo agua de lavado) según bibliografías

Componente	Efluente (g/L)			Excreta (g/kgST)*		
	Media	Min.	Max.	Media	Min.	Max.
Sólidos totales (g/L)	25	2	70	143	85	222
Demanda química de oxígeno	36	24	60			
Sólidos volátiles	17	3	32	771	750	889
Nitrógeno	2.0	0.2	4.8	83	56	111
Nitrógeno amoniacal	3.1	1.2	5.0			
Fósforo	0.8	0.1	3.0	80	49	111
Potasio	1.0	0.2	3.0	80	49	111
Cobre	0.03	0.02	0.04	0.52	0.08	1.12
Zinc	0.03	0.02	0.04	1.6	0.3	2.5
Hierro	0.10	0.05	0.15			

*Excepto ST

De acuerdo a los datos presentados por el Dr. Paulo de Olivera en el Taller de Manejo de Residuos Porcinos, los residuos porcinos contienen 58.2 ± 14.9 g/L de sólidos totales y 43.6 ± 11.8 g/L de volátiles, esto es 75% de SV/ST. De Olivera señaló a su vez que el contenido de sólidos en la excreta es altamente dependiente del uso del agua en la granja, generando un residuo más concentrado cuando se reduce el consumo excesivo de la misma.

Existe una amplia aplicación de tecnología anaerobia para el tratamiento de excretas porcinas para generación de biogás. En la Tabla 2.7 se muestran valores bibliográficos de tratamiento de excretas porcinas aplicando tecnología anaerobia.

Tabla 2.7. Rendimiento de metano en digestores anarobios de excretas porcinas.

Referencia	Rendimiento metano ($\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{kg}_{\text{SV alimentado}}$)	Operación
Do Amaral <i>et al.</i> (2014)	0.64	Carga $1.0 \text{ kg}_{\text{SV}}/\text{m}^3/\text{d}$
Hamilton y Steele (2014)	0.55	TRH 20 d, carga $0.32 \text{ kg}_{\text{SV}}/\text{m}^3/\text{d}$
	0.38	TRH 5 d, carga $0.48 \text{ kg}_{\text{SV}}/\text{m}^3/\text{d}$
Shin <i>et al.</i> (2008)	0.492	
Li <i>et al.</i> (2013)	0.322	

Producción nacional de residuos

Se estimó la generación nacional diaria y anual de excretas discriminada por orientación productiva, Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Generación de excretas porcinas diarias a nivel nacional, por orientación productiva.

Orientación productiva	Volumen de excretas		Materia orgánica excretada	
	(m^3/d)	($\text{m}^3/\text{año}$)	($\text{ton}_{\text{SV}}/\text{d}$)	($\text{ton}_{\text{SV}}/\text{año}$)
Cría	71	25799	5.2	1908
Ciclo Completo	372	135626	28.0	10207
Terminación	38	14013	2.9	1057
Total Comercial	481	175438	36.1	13171
Total Nacional	564	205831	42.2	15415

Estimado con Tabla 2.3 y Tabla 2.5.

Se estimó el potencial de metano producido mediante el tratamiento anaerobio de las excretas, se consideró un rendimiento de metano de $0.4 - 0.5 \text{ m}^3_{\text{CH}_4}/\text{kg}_{\text{SValimentado}}$, los resultados se muestran en la Tabla 2..

Tabla 2.9. Potencial de producción de metano por digestión de excretas porcinas.

Orientación productiva	Potencial metano nacional	
	(Nm ³ /d)	(millones Nm ³ CH ₄ /año)
Cría	2100 – 2600	0.76 - 0.95
Ciclo Completo	11200 - 14000	4.08 - 5.10
Terminación	1160 - 1450	0.42 - 0.53
Total Comercial	14460 - 18050	5.26 - 6.58

3. MALTERÍA Y CERVECERÍA

Descripción del sector

La industria cervecera en el Uruguay se caracteriza por su concentración en 5 establecimientos, por lo cual, el relevamiento realizado incluye la totalidad del sector. De las 5 plantas industriales relevadas, 3 se dedican exclusivamente a la producción de cebada malteada, 1 es productora de cerveza exclusivamente y en la otra se produce tanto malta como cerveza. Cabe destacar que sólo se incluyen los establecimientos dedicados a la producción industrial de cerveza, no habiéndose considerado la producción artesanal de la misma que ha tenido un importante crecimiento en los últimos años.

En cuanto a la distribución geográfica de las plantas del sector se tiene a los productores de cebada malteada ubicados uno en Paysandú, uno en Colonia y el otro en Montevideo, mientras que la industria productora de cerveza se ubica en Lavalleja y la que además de cerveza produce malta en Montevideo.

A partir de la información de diferentes empresas brindada por BIOVALOR se obtuvieron las cantidades producidas en cada caso. Dicha información es la resumida en la tabla 3.1 a continuación. Cabe señalar que las unidades de producción seleccionadas para cada tipo de establecimiento son toneladas de cebada malteada y toneladas de cerveza y malta, para malterías y cervecerías respectivamente.

Tabla 3.1 Distribución de la producción de cebada malteada y cerveza

Productos	Producción (ton/año)
Cerveza y malta	72060
Cerveza	46230
Cebada malteada	320810

También en base a las declaraciones juradas, e informes ambientales de operación de las empresas puede estimarse el consumo de energía eléctrica de las mismas en aproximadamente 150 kWh/UP tanto para maltería como cervecería, y de energía térmica, proveniente de otros energéticos, de 3800 MJ/UP y 450MJ/UP para maltería y cervecería respectivamente. El energético de mayor uso para la generación de energía térmica es la leña seguido por el fuel oil, y en menor medida el gas oil y gas natural. En el caso de dos de las malterías también se utiliza uno de los residuos (casullo) con este fin.

Los datos de consumo de agua fueron obtenidos, para el caso de las malterías de un informe ambiental resumen de una de las plantas y es de unos 4 m³/UP, mientras que en las cervecerías se obtuvo un valor promedio de 4.5 m³/UP a partir de un informe de una empresa de cervecería con un proceso similar ubicada en Portugal (Brito *et al.*, 2007).

Descripción del proceso

Etapas del proceso

Cabe destacar que en este caso es necesario distinguir los procesos de producción de cebada malteada y de cerveza.

Producción de cebada malteada

El diagrama de flujo del proceso, haciendo hincapié en los residuos generados, puede observarse en la figura 3.1 y a continuación se realiza una breve descripción de cada una de las etapas.

Recepción, pre-limpieza y almacenamiento en silos

La cebada a granel ingresa a la planta en camiones y es sometida a máquinas donde mediante zarandeo y aspiración se le extrae polvo, malezas, semillas de otros granos y cáscara (**polvillo y**

casullo). Luego es transportada a los silos para su almacenamiento pudiendo existir la necesidad de un previo secado para controlar su humedad.

Clasificación por tamaños

Previo a su ingreso desde los silos al proceso industrial se realiza una clasificación de la cebada por tamaños donde se separan los **granos quebrados o de tamaño insuficiente** mediante un sistema que incluye tamices y aspiración.

Remojo

Es la primera etapa del malteado y tiene como objetivos: realizar una limpieza de las cáscaras y aumentar la humedad de la cebada a un 40% para dar lugar posteriormente a la germinación. Consiste en alternar períodos húmedos en los que la cebada se encuentra sumergida en agua y sometida a aireación y períodos secos donde se extrae el dióxido de carbono proveniente de la respiración de los granos. En esta etapa las impurezas se agrupan en los residuos **“flotantes”** generados por la introducción de aire comprimido y además se generan **residuos líquidos** de los primeros períodos húmedos.

Germinación

Es un proceso biológico en el cual el grano comienza a desarrollarse al transformar el almidón y las proteínas en moléculas más pequeñas necesarias para la producción de cerveza, dando lugar a la denominada malta verde. Durante esta etapa se genera el **“efluente de germinación”** que se trata del agua que ingresa con los granos desde el remojo que es drenada y dirigida a la planta de tratamiento. Para terminar el proceso de germinación es necesario pasar a la posterior etapa de secado para disminuir su humedad.

Secado

Mediante la circulación de aire caliente a través de la malta verde se consigue disminuir su humedad de manera de terminar el proceso de germinación conservando las propiedades físicas, químicas, organolépticas y biológicas de la malta, además de facilitar su almacenamiento.

Limpieza y desbrotado

Se eliminan raicillas y yemas, se pule y eliminan polvo y cascarillas que interfieren en la posterior producción de cerveza para poder continuar al control de calidad.

Almacenamiento y transporte

Una vez superadas las pruebas de control de calidad, la malta es almacenada en silos hasta ser despachada tanto a granel como en bolsas para su transporte terrestre o marítimo.

3.1 Malteo de cebada

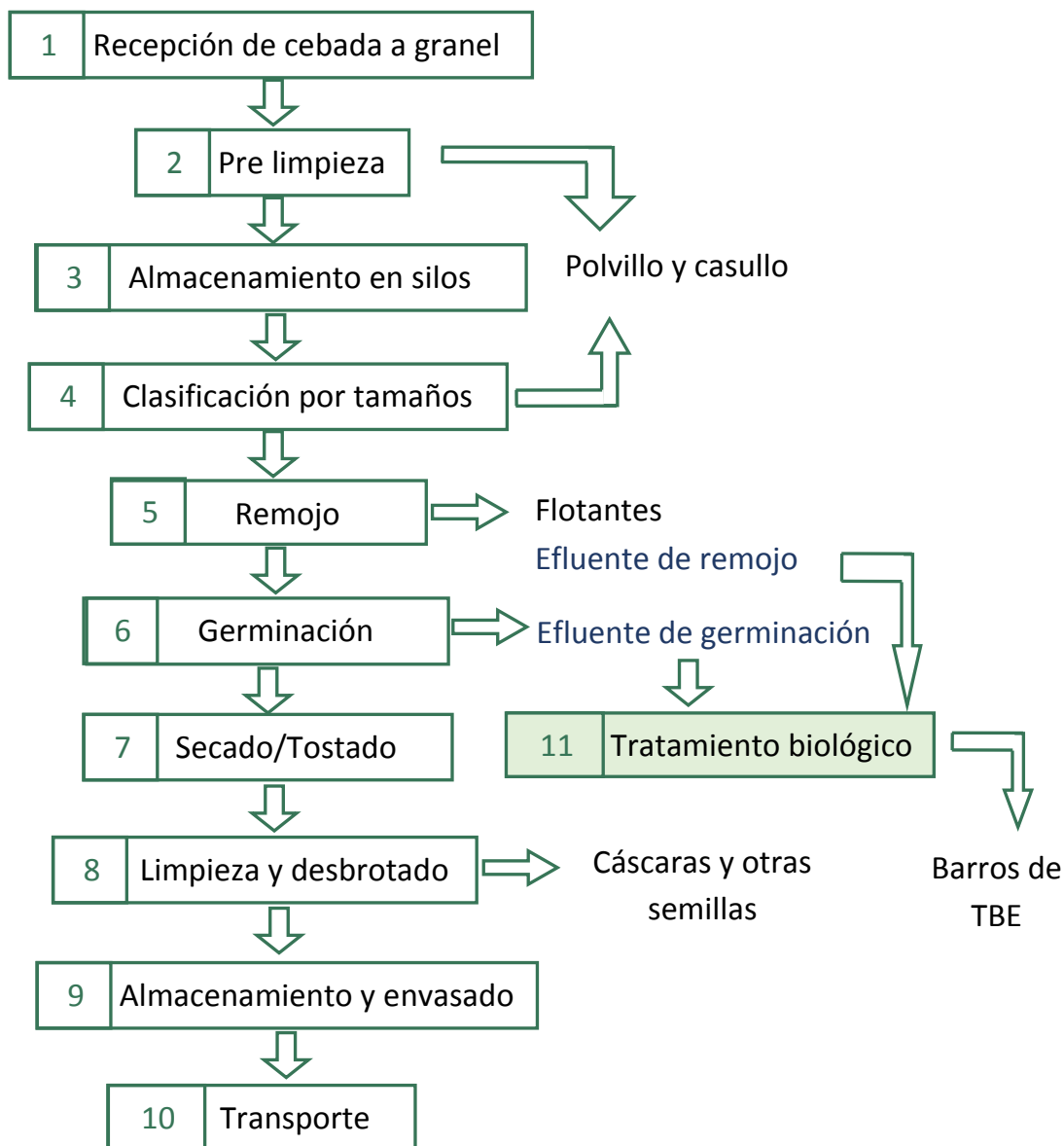


Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso de maltería

Elaboración de cerveza

Partiendo de cebada malteada, los procesos involucrados en la elaboración de cerveza son los descritos a continuación.

Producción de mosto

El mosto es el líquido obtenido de la cebada malteada por tratamiento con agua potable para extraer sus principios solubles. El proceso de elaboración de mosto incluye etapas de: molienda, maceración, filtración, cocción, clarificación y enfriamiento.

Molienda

Tiene como objetivo disminuir el tamaño de la malta de modo que permita su adecuada maceración. En este caso es importante que la cascarilla permanezca tan entera como sea posible ya que luego debe actuar para formar un filtro eficaz en la etapa posterior de filtrado.

Maceración

En esta etapa la harina de malta se mezcla con agua y se añaden enzimas en muchos casos para acelerar el proceso de transformación del almidón en azúcares fermentables y de la proteína en péptidos y aminoácidos, compuestos necesarios para la fermentación posterior.

Filtración

La misma se realiza en cuba filtro o filtro prensa siendo la propia cáscara de la malta quien contribuye a la formación del lecho filtrante. El mosto es recirculado hasta obtenerse claro y el residuo separado es el denominado **“farrello o bagazo”**. Este último además genera un **lixiviado** que se une en la planta de tratamiento de residuos líquidos.

Cocción

El mosto clarificado se lleva a ebullición junto con el lúpulo durante un tiempo que permita: extraer las sustancias amargas del lúpulo que aportan el sabor característico de la cerveza, eliminar el exceso de agua para lograr una adecuada densidad, esterilizar el mosto y precipitar los complejos de proteínas.

Clarificación

Las proteínas termo-sensibles que fueron precipitadas durante la cocción se separan del mosto mediante un proceso de centrifugación constituyendo el residuo sólido denominado **“Trub” o turbio caliente**.

Enfriamiento

El mosto decantado que se encuentra a temperaturas cercanas a las de ebullición es enfriado en intercambiadores con agua hasta aproximadamente 8°C (puede llegar a utilizarse agua glicolada en las últimas etapas de enfriamiento).

Fermentación

En esta etapa se da la transformación del mosto en cerveza mediante el agregado de levaduras que crecen hasta agotar el oxígeno y fermentan los azúcares transformándolos en alcohol y dióxido de carbono. Dado que la reacción es exotérmica, los depósitos de fermentación requieren ser refrigerados. Una vez finalizada la fermentación, se deja decantar las **levaduras** en el fondo y son separadas, siendo reutilizada aproximadamente una cuarta parte de ellas en posteriores fermentaciones y el resto constituye un residuo del proceso.

Maduración

La cerveza se mantiene a una temperatura durante un cierto tiempo que varía entre 1 y 6 meses dependiendo del tipo de cerveza. En esta etapa tiene lugar la fermentación secundaria con la levadura arrastrada y es cuando la cerveza adquiere su sabor y aroma típicos. Además las levaduras y otras sustancias van decantando de modo que la cerveza se clarifica generando un residuo que contiene principalmente **levaduras** y entre un 1 y 2% de la cerveza producida.

Filtración y centrifugado

Previo a la filtración puede ser necesaria una etapa de centrifugado de forma de eliminar la levadura restante y el precipitado, dependiendo del tipo de cerveza que se trate. La filtración primaria es realizada con **tierras diatomeas**, que constituyen un nuevo residuo del proceso. Luego se realiza una filtración más fina mediante placas filtrantes de tamaño decreciente en un proceso denominado "abrillantado". En algunos casos, en los que es necesaria la carbonatación, se la realiza posteriormente al proceso de abrillantado.

Envasado

El envasado puede realizarse tanto en latas, botellas no retornables como retornables, barriles, etc. En el caso de los envases retornables debe realizarse la inspección y el lavado de los mismos que genera un **efluente líquido** a tratar.

Limpieza de equipos

La limpieza de los equipos e instalaciones debe ser cuidadosa y frecuente dado que se trata de un producto de calidad alimenticia y debe evitarse su contaminación. En este caso se generan como residuo para la planta de tratamiento **aguas de limpieza**.

3.2 Elaboración de cerveza

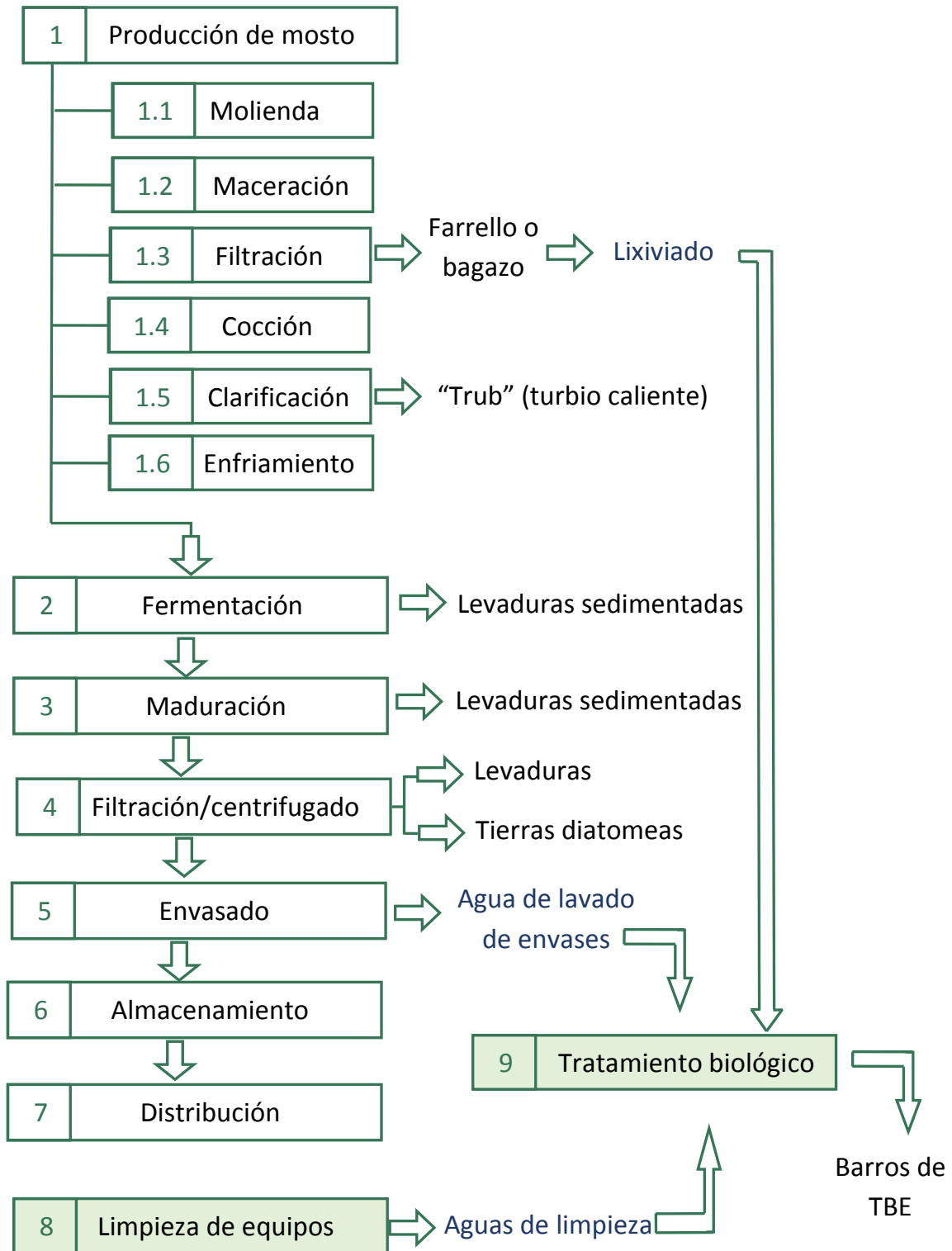


Figura 3.2 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Dado que, como puede verse, los procesos de maltería y cervecería son muy diferentes entre sí, los residuos generados en cada uno serán analizados en forma independiente.

Maltería

Los principales residuos identificados del proceso de maltería son:

Líquidos

- Efluente de remojo y germinación

Sólidos

- Polvillo de pre-limpieza
- Descartes de cebada y malta
- Raicillas de germinación
- Flotantes del remojo (granos que no fueron extraídos en la limpieza de la cebada)
- Sólidos retirados en la filtración
- Lodos del tratamiento de efluentes líquidos

Los descartes de cebada y malta, raicillas de germinación, flotantes y sólidos retirados en la filtración se cuantifican dentro de la categoría: residuos de maltería.

Las tablas 3.2 y 3.3 a continuación incluyen el índice de generación por UP promedio de cada residuo (líquido y sólido respectivamente), el punto de generación en el proceso, así como la caracterización principal de ellos.

La información de índices de generación y concentración de materia orgánica de los efluentes líquidos se promediaron a partir de los informes ambientales resumen de dos de las empresas dedicadas a maltería exclusivamente.

Tabla 3.2 Residuos líquidos de maltería

Residuo	Generación (m ³ /UP)	Punto de generación	Materia orgánica (kgDQO/m ³)	Componentes principales
Efluente de remojo y germinación	2.4	5	2	Carbohidratos
		6		

Los índices de generación referentes a residuos sólidos fueron obtenidos del diagnóstico nacional de residuos sólidos agro-industriales publicado por DINAMA en 2005. En el caso del polvillo y casullo, el valor fue modificado al cotejarlo con la información de declaraciones juradas de las empresas que arrojó un promedio superior al informado en el diagnóstico.

En cuanto a los datos de caracterización de estos residuos, dado que no se cuenta con información a nivel nacional, se tomaron los obtenidos en un trabajo francés (Fillaudeau *et al.*, 2006).

Tabla 3.3 Residuos sólidos de maltería

Residuo	Generación (kg/UP)	Punto de generación	Materia orgánica(%SV/ST)	Humedad (%)
Polvillo y casullo	19	2	---	10-20
		4		
Residuos de Maltería	69	5	80	75-80
		8		
Lodos de PTE	2	11	80	85

De los residuos descriptos, actualmente, en el caso de las aguas residuales, en uno de los tres establecimientos son tratadas mediante un sistema anaerobio combinado con un aerobio de pulimiento y los otros dos casos llevan a cabo un tratamiento aerobio.

En cuanto a los sólidos, el polvillo y casullo no es considerado como un residuo para la generación de metano ya que se utiliza mayoritariamente como combustible. Los residuos de

maltería, en dos de los casos son vendidos para incluir como alimento animal mientras uno de los establecimientos los dispone a terreno. Los residuos que se consideran interesantes en este caso para la producción de biogás serían por un lado el efluente líquido, dado que ya hay una experiencia en el país, y por otro lado los residuos de maltería y el lodo de PTE.

La tabla a continuación resume el potencial de generación de metano de estos tres residuos por unidad de producción y en función de ello se calcula un total de generación en base anual a partir de la producción de los tres establecimientos en el país. Los datos de potencial del residuo líquido fueron estimados a partir de la concentración de DQO en los mismos mientras que los sólidos se obtuvieron de referencias internacionales (Agler *et al.*, 2010; Chamy y Vivanco, 2007). El potencial máximo de metanización se calcula considerando que toda la DQO contenida en el efluente pasa a metano. De acuerdo a la estequiometría corresponden 350 mL de CH₄ a PTN por gramo de DQO.

Tabla 3.4 Potencial de metanización de residuos de maltería

Residuo	Potencial de metanización		Total de CH ₄ anual en el país (millones de Nm ³)
	(m ³ CH ₄ /kgSV)	(m ³ CH ₄ /m ³)	
Efluente de germinación	--	0.60 - 0.70	0.46 - 0.54
Residuos de maltería	0.20 - 0.245	--	0.80 - 0.98
Lodos de PTE	0.22 - 0.34	--	0.01 - 0.01
Totales	--	--	1.27 - 1.53

Cervecería

En cuanto a los residuos generados por este sector se destacan:

Líquidos

- Lixiviados de bagazo

- Aguas de lavado de envases y limpieza de equipos

Todos los efluentes líquidos son colectados en conjunto y tratados en la planta de tratamiento de efluentes (PTE).

Sólidos

- Levaduras producidas en la fermentación
- Tierras diatomeas generadas en la filtración
- Farrello o bagazo, que representa a las cáscaras agotadas de cebada
- Trubs, correspondientes a las proteínas coaguladas en el proceso de clarificación

Las tablas 3.5 y 3.6 a continuación incluyen el índice de generación por UP promedio de cada residuo (líquido y sólido respectivamente), el punto de generación en el proceso, así como la caracterización principal de ellos. Los índices de generación de efluentes líquidos, dado que no se cuenta con información de las empresas nacionales fueron estimados a partir de un informe de bibliografía realizado en una empresa de cervecería en Portugal (Brito *et al.*, 2005).

Tabla 3.5 Residuos líquidos de cervecería

Residuo	Generación (m ³ /UP)	Punto de generación	Materia orgánica (kgDQO/m ³)	Componentes principales
Efluente líquido de cervecería	3.3	1.3 5; 8	1.2	Carbohidratos

En cuanto a los índices de generación de residuos sólidos, se utilizó la información provista por DINAMA en el diagnóstico nacional de residuos sólidos agro-industriales publicado en 2005. Los valores de concentración de materia orgánica y porcentaje de humedad se extrajeron de un trabajo de investigación del año 2013 (Costa *et al.*, 2013).

Tabla 3.6 Residuos sólidos de cervecería

Residuo	Generación (kg/UP)	Punto de generación	Materia orgánica(%SV/ST)	Humedad (%)
Farrello y trubs	106	1.3	95	80
		1.5		
Levaduras excedentes	13	2; 3;	95	80
		4		
Tierras diatomeas	2	4	---	65-70

En cuanto a la posibilidad de aprovechamiento de los residuos descriptos, en el caso de los líquidos. En el caso de los residuos sólidos, por un lado farrello y trubs tienen como destino su venta para alimento animal, en tanto que las levaduras y las tierras diatomeas se disponen en terreno.

La tabla a continuación resume el potencial de generación de metano de los tres residuos considerados como aptos para su digestión anaerobia. Los datos de potencial del residuo líquido fueron estimados a partir de la concentración de DQO en los mismos mientras que los sólidos se obtuvieron de referencias internacionales (Costa *et al.*, 2013; Zupancic *et al.*, 2012).

Tabla 3.7 Potencial de metanización de residuos de cervecería

Residuo	Potencial de metanización		Total de CH ₄ anual en el país (millones de Nm ³)
	(m ³ CH ₄ /kgSV)	(m ³ CH ₄ /m ³)	
Efluente líquido	--	0.35 - 0.42	0.14 - 0.16
Farrello y trubs	0.30 - 0.345	--	0.71 - 0.82
Levaduras excedentes	0.45 - 0.56	--	0.13 - 0.16
Totales	--	--	0.98 - 1.15

4. FRUTAS Y HORTALIZAS

Descripción del sector

La producción nacional anual de frutas y hortalizas puede estimarse en 672.000 toneladas por un 45% de cítricos, 25% de hortalizas, 15% de fruta de hoja caduca y 15% de papa. 65% de la producción proviene de la zona sur del país y el 30% del litoral norte. De los cítricos, el 87% proviene del litoral norte. De esta producción se exportan unas 132.000 toneladas, compuestas en un 90% por cítricos, 7% frutas de hoja caduca, 2% arándanos y el restante 1% de cebolla y zapallo. Se industrializan otras 103.000 toneladas, en un 75% frutas cítricas, 13% frutas de hoja caduca y 12% hortalizas. Esto deja 437.000 toneladas disponibles a nivel nacional para su consumo en fresco (Mercado Modelo, 2013).

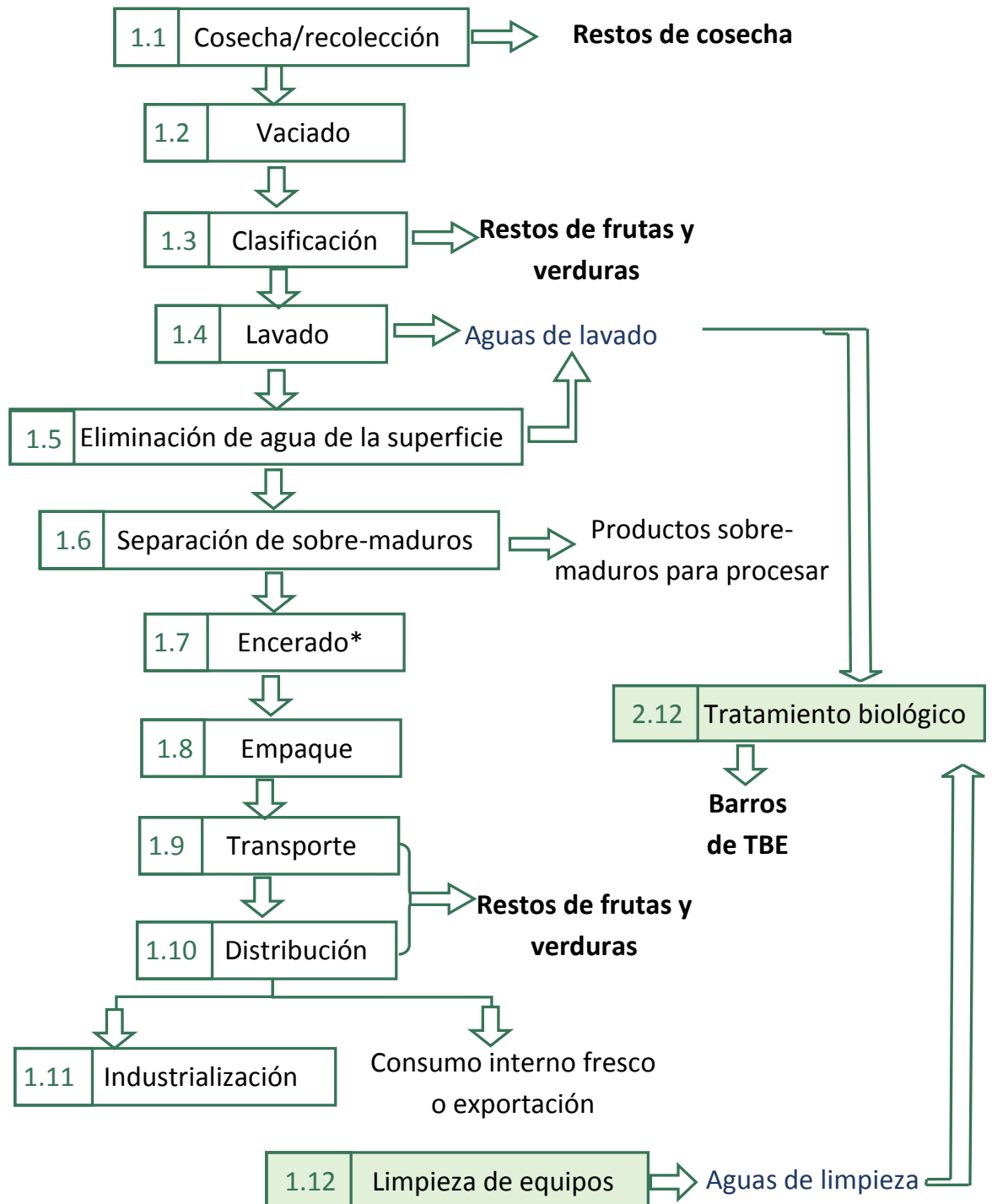
Las importaciones de frutas y hortalizas frescas en el año 2013 fueron 76.000 toneladas, discriminadas en 55.000 toneladas de frutas tropicales o exóticas y 21.000 toneladas de complemento a la producción nacional. De las 513.000 toneladas con destino al consumo en fresco, se estima un porcentaje de 15% de pérdidas a lo largo de la cadena, lo que estaría indicando unas 77.000 toneladas de residuos anuales (Mercado Modelo, 2013). Considerando un índice de metanización típico de 250 LCH₄/kgSV (Galí et al., 2009; Raposo et al., 2009; Labatut et al, 2013) y un valor típico de 120 gSV/kgST en base húmeda correspondería un potencial de metanización global de unos 2.3 millones de metros cúbicos de metano al año.

El volumen total de hortalizas procesadas fue de 12.037 toneladas, correspondiendo al tomate el mayor volumen con el 50% del total. Le siguen en orden de importancia la papa con el 13%, la zanahoria con el 6%, el zapallo con el 5% y el brócoli y el boniato con el 4% cada uno (MGAP, DIEA, 2010).

El volumen total industrializado de frutas de hoja caduca fue de 20.413 toneladas. Las más destacadas en cuanto al volumen procesado fueron la manzana (76%) y el membrillo (17%), registrando entre ambas el 93% del total de frutas procesadas. En cuanto al resto de las frutas, el durazno ocupó el 3%, la pera el 2%, el higo 2% y la ciruela el 1% (MGAP, DIEA, 2010).

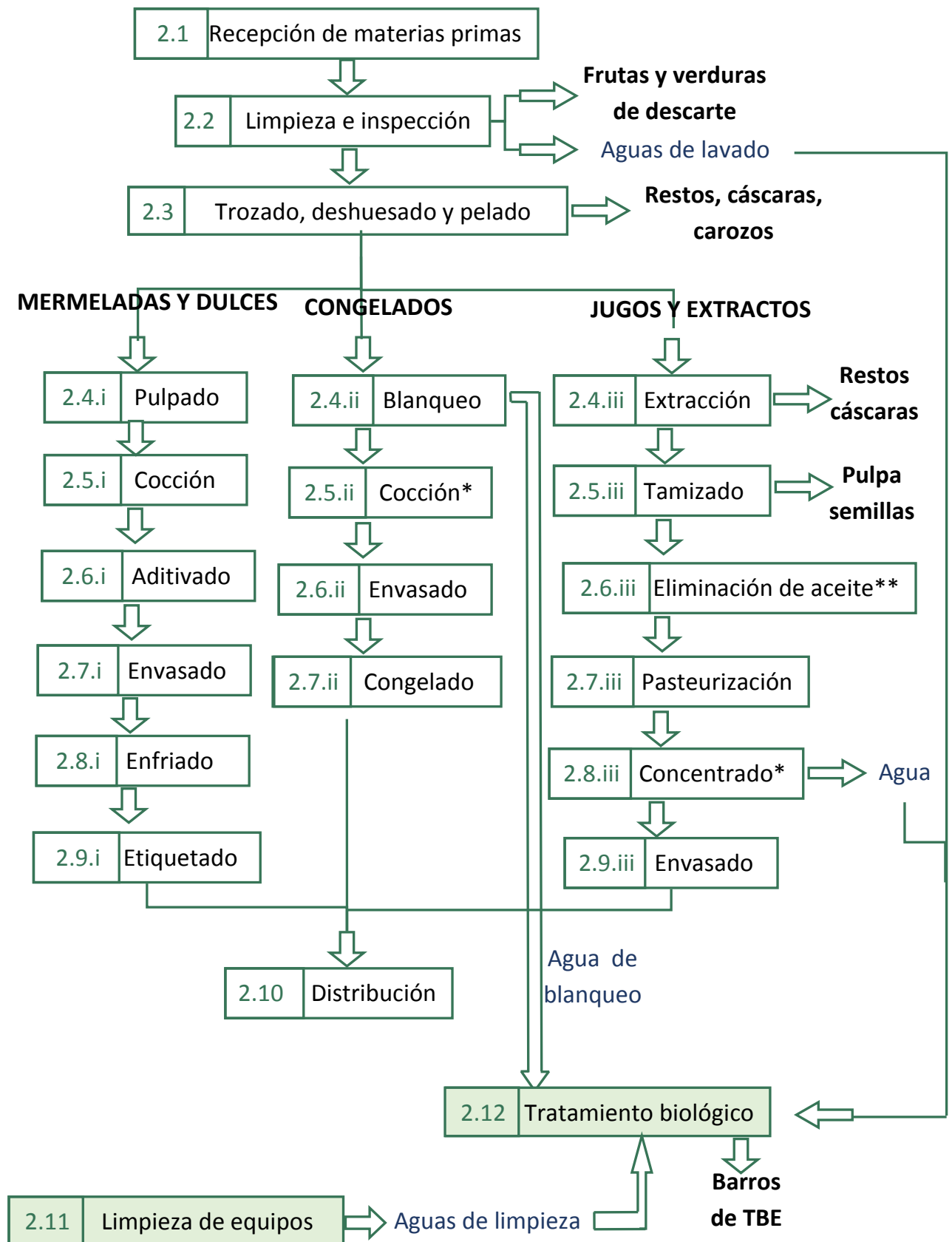
Estimando un 5% de pérdidas en la cadena agroindustrial podría estimarse un adicional de unos 950.000 m³ de metano por año como potencial de metanización.

1 Packing de frutas y verduras



*No en todos los casos

2 Industrialización de frutas y verduras



*No en todos los casos

** Sólo para cítricos, no se considera residuos ya que se comercializa como subproducto

5. CURTIEMBRES

Descripción del sector

El sector curtiembres se puede dividir en dos grandes subsectores: sector de cueros vacunos y sector de cueros ovinos. No obstante, algunas industrias curten tanto cueros vacunos como ovinos.

La producción de cueros vacunos en el Uruguay es de alrededor de 2.2 millones de cueros por año, tomando como referencia la cantidad de animales faenados según el Anuario Estadístico 2014 del INAC y asumiendo que todos los cueros de las cabezas faenadas van a curtiembre. Tomando los datos de la misma fuente y con las mismas consideraciones, la producción de cueros ovinos se estima cercana a 1.5 millones de cueros por año. A lo largo de este capítulo se utilizará como unidad productiva el cuero crudo procesado.

Proceso productivo

En esta sección se describen los principales procesos presentes en las curtiembres. Se debe destacar que las operaciones presentan grandes variaciones de una curtiembre a otra; por lo tanto se realizará sólo una descripción general para facilitar la comprensión del proceso de curtido, sin entrar en detalles particulares de cada planta productiva.

Luego del descuerado de los animales en los mataderos, los cueros son salados por el lado de la carne de manera de conservarlos para los procesos posteriores o se envían directamente frescos hacia las curtiembres.

Si bien el curtido de cueros ovinos y vacunos involucra en términos generales las mismas etapas, se encuentran algunas diferencias que serán expuestas. Los procesos unitarios se pueden dividir en tres etapas: ribera, curtido, y post-curtido y terminación. En la Figura 5.1 se

puede observar un diagrama que esquematiza el proceso de producción. Las etapas involucradas se describen a continuación.

Ribera

Recorte de cueros

Consiste en el recorte de la piel, eliminando restos de carne, grasas y trozos de piel. En el caso de pieles ovinas también se recorta la lana.

Remojo y lavado

Consiste en la rehidratación de los cueros salados y la eliminación de otros elementos como sangre, excretas y suciedad en general.

Pelambre

Proceso a través del cual se separa el pelo de los cueros vacunos utilizando cal y sulfuro de sodio y/o sulfhidrato de sodio (en ocasiones se agregan pequeñas cantidades de enzimas), produciéndose además la apertura de las fibras del cuero.

Descarnado

Consiste en la eliminación mecánica de residuos de carne, grasa natural y tejido conectivo de la piel. Esta operación puede ser realizada tanto antes (predescarnado) como después de la pelambre. La realización del predescarnado posee la ventaja de que el residuo generado no contiene sulfuros y por lo tanto se puede recuperar para la elaboración de otros productos. De cualquier manera siempre es recomendable un segundo descarnado posterior a la pelambre.

Curtido

Desencalado y desengrase

Consiste en el lavado y neutralizado de forma de acondicionar las pieles para el curtido.

Purgado

Etapas en el que se usan enzimas y tensoactivos para eliminar restos de proteínas, incluyendo las raíces de los pelos que aún puedan permanecer adheridas.

Piquelado

Comprende la preparación química de la piel para el proceso de curtido, mediante la utilización de ácido fórmico y sulfúrico para llevar el pH de las pieles a necesario para realizar al curtido, evitando el hinchamiento ácido de las pieles.

Curtido

Consiste en la estabilización de la estructura de colágeno que compone el cuero, usando fundamentalmente Cromo +3. El producto de esta operación se denomina “wet blue”. Alternativamente, se realiza un curtido vegetal con taninos, obteniéndose un producto que

tiene características diferentes a los cueros curtidos al cromo. Sin embargo, la gran mayoría de las curtiembres realizan el curtido en base a cromo.

Post-curtido y terminación

Dividido

En esta operación la piel es dividida en dos partes, la externa y la interna, obteniéndose dos productos que se denominan flor y descarné respectivamente. En algunos casos esta etapa se realiza luego de la etapa de curtido. En el caso de pieles ovinas, estas no se dividen. Eventualmente, algunos productos pueden requerir pieles más gruesas, y en esos casos las pieles vacunas tampoco se dividen.

Rebajado y recortado

Se trata de una operación mecánica en la cual se recorta el cuero, generándose virutas y recortes de cuero.

Recurtido, teñido y engrase

Esta operación tiene por finalidad conferirle al cuero las características específicas que se requiere para su uso.

Acabado

Esta etapa comprende un acondicionamiento y terminación final que depende mucho del destino que tengan los cueros producidos. En general los cueros se secan y ablandan, procediéndose luego a la aplicación de productos para homogeneizar el color y proteger la superficie. En el caso de cueros ovinos, luego del curtido y secado los cueros pasan por una etapa de desengrase donde se utiliza percloroetileno.

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Debido a las diferencias en las características de los cueros y los procesos de curtido para cueros ovinos y vacunos, se separará el análisis de los residuos generados por ambos procesos.

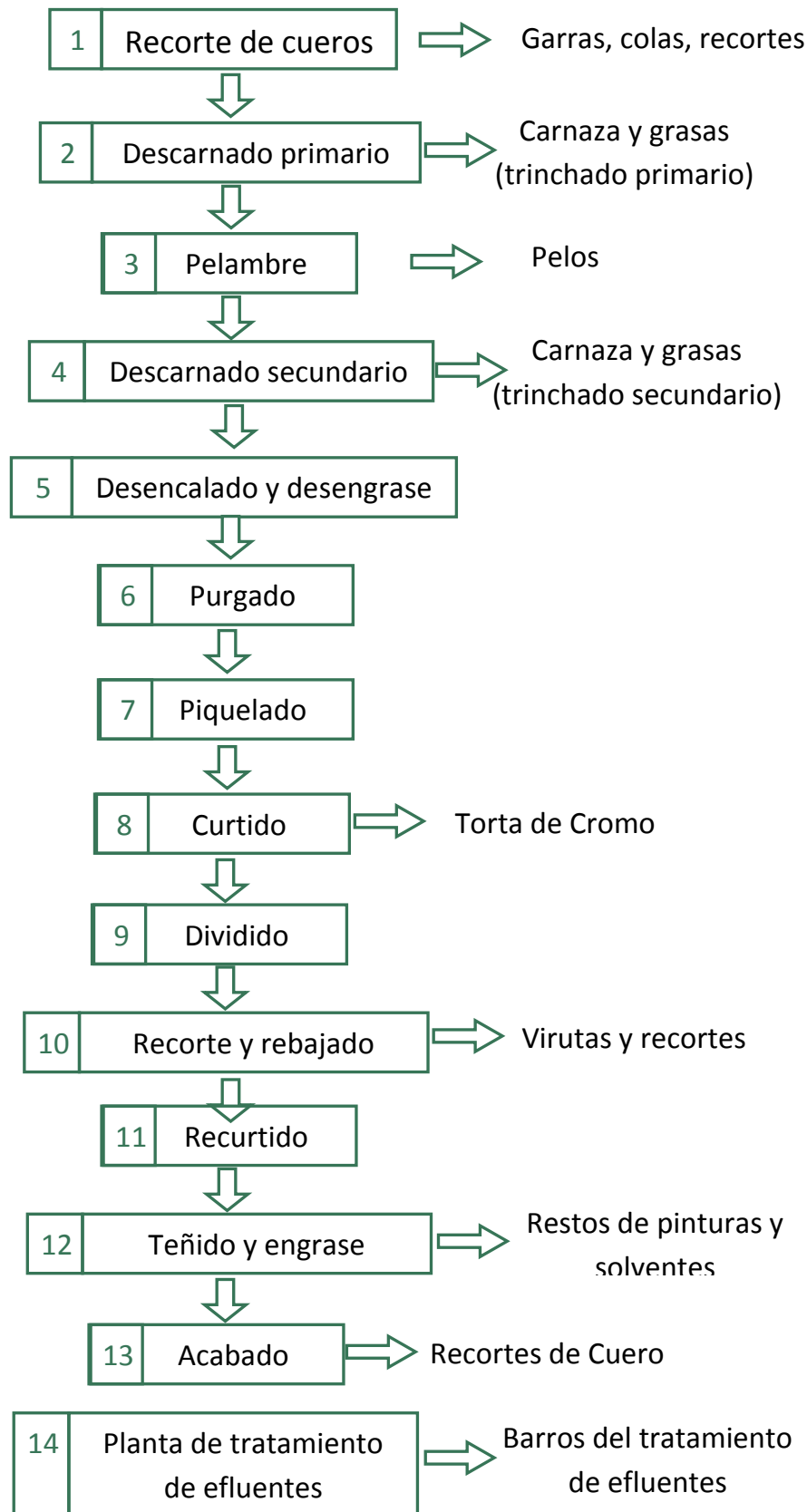


Figura 5.1 - Diagrama de flujo del proceso de curtido de cueros

Vacunos

Los principales residuos generados en el proceso de curtido de cueros vacunos son:

- Residuos de recorte de cueros
- Trinchado primario
- Residuos de pelambre
- Trinchado secundario
- Torta de cromo
- Residuos de cuero sin cromo
- Residuos de cuero con cromo
- Barros tratamiento de efluentes sin cromo
- Barros tratamiento de efluentes con cromo

En la Tabla 5.1 se lista el índice de generación por UP de cada residuo, así como el punto de generación en el sistema y las características principales de los mismos.

La información de índices de generación fue obtenida de datos proporcionados por BIOVALOR a partir de datos de las empresas.

Tabla 5.1 – Residuos sólidos de curtiembres vacunas

Residuo	Generación (kgST/UP)	Punto de generación	Componentes principales	Posibles inhibidores
Residuos recorte de pieles frescas	1.38	1	Proteínas Grasa	Amonio
Trinchado primario	0.63	2	Grasa	Ácidos grasos de cadena larga
Pelos con sulfuro	0.26	3	Proteínas Grasa	Sulfuros Amonio
Trinchado secundario	0.17	4	Proteínas Grasa	Sulfuros Amonio
Torta de cromo	0.02	8		
Residuos de cuero sin cromo	0.02	10 13	Proteínas	Amonio
Residuos de cuero con cromo	0.6	10 13	Proteínas	Amonio Cromo
Barros tratamiento de efluentes sin cromo	0.32	14		
Barros tratamiento de efluentes con cromo	0.32	14		Cromo

Todos los residuos sólidos generados previos al curtido, así como los barros de tratamiento de efluente que no contienen cromo, presentan buen potencial para el tratamiento anaerobio. Sin embargo, hay que tener en cuenta que algunos de ellos pueden ser vendidos como insumo para la recuperación de algunos de sus componentes, por lo que la opción de su tratamiento debe de ser económicamente más atractiva que su venta como subproducto. Del resto de los residuos, la torta de cromo es normalmente enviada para la recuperación del cromo, mientras que los residuos que contienen cromo deben de ser evaluados para estudiar la viabilidad de ser tratados anaeróbicamente.

En la Tabla 5.2 se puede observar la caracterización y potencial de metanización de los residuos vacunos. Estos valores se obtuvieron de estudios realizados en muestras tomados de una industria nacional. Cabe destacar que en el caso de que se realice la digestión anaerobia de una mezcla de los residuos (codigestión) es de esperar que el potencial de metanización de la mezcla sea mayor que la suma ponderada del potencial de cada residuo.

Tabla 5.2 - Caracterización de residuos de curtiembres vacunas

Residuo	Sólidos Totales (%)	Sólidos Volátiles (%ST)	Nitrógeno Kjeldahl Total (%ST)	Grasas y Aceites (%ST)	Potencial de metanización ($\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{kgSV}$)
Residuos recorte de pieles frescas	28 - 49	96	13	43	0.33 - 0.47
Trinchado primario	63 - 74	99	0.5	98	0.67 - 0.95
Pelos con sulfuro	31 - 36	92	3.7	37	0.48 - 0.69
Trinchado secundario	42 - 60	90	3.9	85	0.29 - 0.41
Barros tratamiento de efluentes sin cromo	7 - 18	65	4.0	15	0.20 - 0.28

La caracterización y los valores de potencial de metanización son comparables con referencias internacionales. Zupancic y Jemec (2010) reportan datos para residuos de recorte de cueros, un trinchado que es una mezcla de primario y secundario y barros de tratamiento de efluentes. Si bien los resultados son similares, se reportan valores significativamente mayores de potencial de metanización de los barros de tratamiento de efluentes. El dato de metanización de los trinchados es intermedio entre ambos valores presentados en la Tabla 5.2, pero consistente con los mismos.

Ovinos

Los principales residuos generados en el proceso de curtido de cueros ovinos son:

- Residuos de recorte de cueros
- Trinchado primario
- Torta de cromo
- Residuos de cuero con cromo
- Barros tratamiento de efluentes sin cromo
- Grasa con percloroetileno

En la Tabla 5.3 se lista el índice de generación por UP de cada residuo, así como el punto de generación en el sistema y las características principales de los mismos.

La información de índices de generación fue obtenida de datos proporcionados por BIOVALOR a partir de datos de las empresas. Los datos de materia orgánica se consideran iguales a los obtenidos para el curtido de cueros vacunos, al no encontrarse datos confiables para el proceso con cueros ovinos.

Tabla 5.3 - Residuos sólidos de curtiembres ovinas

Residuo	Generación (kgST/UP)	Punto de generación	Componentes principales	Posibles inhibidores
Residuos recorte de cueros	0.09	1	Proteínas Grasa	Amonio
Trinchado primario	0.01	2	Grasa	Ácidos grasos de cadena larga
Torta de cromo	0.03	8		
Residuos de cuero con cromo	0.03	10 13	Proteínas	Amonio Cromo
Barros tratamiento de efluentes sin cromo	0.18	14		
Grasa con percloroetileno	0.09	13		Percloroetileno

Al igual que en el proceso para vacunos, los residuos con más potencial para producción de metano son los que se generan previo al curtido y el barro de tratamiento de efluentes sin

cromo. La grasa con percloroetileno y los residuos de cuero con cromo deben ser evaluados para conocer si es posible degradarlos anaeróbicamente.

En la Tabla 5.4 se presenta el potencial de generación de metano de los residuos degradables anaeróbicamente. Nuevamente, debido a la poca información disponible para este proceso, se consideraron estos valores como iguales a los de residuos similares generados en el curtido de cueros vacunos.

Tabla 5.4 - Potencial de metanización de residuos de curtiembres ovinas

Residuo	Sólidos Totales (%)	Sólidos Volátiles (%ST)	Potencial de metanización (Nm ³ CH ₄ /kgSV)
Residuos recorte de cueros	28 - 49	96	0.33 - 0.47
Trinchado primario	63 - 74	99	0.67 - 0.95
Barros tratamiento de efluentes sin cromo	7 - 18	65	0.20 - 0.28

Producción nacional de residuos

En la Tabla 5.5 se presenta una estimación de la producción anual de residuos en curtiembres, así como el potencial de generación de metano, a nivel nacional.

Tabla 5.5 – Producción de residuos y potencial de producción de metano en curtiembres a nivel nacional

Residuo	Producción de residuos (ton ST/año)	Potencial de producción de CH ₄ en el país (millones Nm ³ /año)
Residuos recorte de cueros	3188	1.00 - 1.43
Trinchado primario	1399	0.92 - 1.32
Pelos con sulfuro	581	0.25 - 0.36
Trinchado secundario	375	0.10 - 0.14
Barros tratamiento de efluentes sin cromo	970	0.13 - 0.18
Totales		2.4 - 3.4

6. *ENGORDE A CORRAL (FEEDLOT)*

Descripción del sector

El engorde a corral consiste en el encerramiento de bovinos en un área confinada para lograr una conversión más eficiente del alimento ingerido en aumento de peso de los animales. Una vez finalizado este proceso los animales “terminados” son enviados a faena con un peso adecuado. El proceso de engorde a corral que se da en mayor proporción en el Uruguay difiere de los llamados “Feedlot” muy comunes en Europa y Estados Unidos. Esta diferencia reside en el hecho de que en nuestro país, sólo se utiliza el engorde para la etapa de preparación final del ganado (últimos 90-120 días) para la faena mientras que en los clásicos “Feedlot” los animales son alimentados para su engorde desde su nacimiento o destete.

El sector de feedlot en Uruguay se encuentra en expansión y entre las causas de esta variación en la metodología de engorde del ganado pueden incluirse que el mismo brinda la posibilidad de: liberar terrenos aptos para la agricultura, incrementar la carga animal del campo y asegurar la terminación del animal en tiempo para su faena. El tiempo de permanencia de los animales en este sistema está determinado económicamente, balanceando el costo de mantenerlos en encierre a corral y el beneficio de generar un aumento rápido de peso. En referencia a esto último, se considera que en estos sistemas de producción la ganancia de peso de un animal es de aproximadamente 1200 a 1400 g/día mientras que un animal alimentado a campo gana unos 600 g/día (Apa y Del Campo, 2009).

En cuanto al número y capacidad de los establecimientos del sector, este tiene la característica de ser bastante variable, dado que como se explicó anteriormente su conveniencia depende de resultados económicos producto de precios internacionales. Para poder cuantificar tanto los establecimientos como su generación de residuos se utilizará una clasificación que toma en cuenta la capacidad instantánea de cabezas (Tabla 6.1). De la misma se observa que si bien más de la mitad de los establecimientos categorizan como pequeños (con menos de 1000 cabezas de capacidad máxima), estos sólo concentran el 15% del sector. Otro dato interesante reflejado en la tabla 6.1 es el hecho de que son pocos los mega emprendimientos que existen

en el país (con más de 5000 cabezas) y estos concentran el 39% de la producción. El resto de los animales son criados en el sector de medianos productores que representa el 46% de la capacidad total instalada en el país (datos provenientes del MGAP). Con los datos presentados se tiene que la capacidad instantánea total del país es de unos 220000 animales, lo cual es más del doble que la existente en 2009 (90000 cabezas) y se calcula que el sector aún sigue en crecimiento. No obstante, debe recordarse que la capacidad no está ocupada al 100% la totalidad del año. Las cabezas terminadas anualmente son aproximadamente 440000 (Apa y Del Campo, 2009).

Tabla 6.1 Distribución de emprendimientos en el sector de engorde a corral en el Uruguay

Capacidad de cría	Capacidad total	% del total	Número de emp.	Promedio
Grandes (más de 5000)	87000	39%	10	8700
Medianos (1000-5000)	100443	46%	47	2137
Pequeños (menos de 1000)	33282	15%	62	537
Totales	220725	100%	119	

Cabe destacar que existen distintas modalidades también en los establecimientos de engorde a corral que podrían generar nuevas clasificaciones. Una de ellas es la estacionalidad, dado que hay algunos casos en los que el engorde se lleva a cabo a corral durante los meses de invierno (puede extenderse de marzo a noviembre dependiendo de las condiciones climáticas). Estos casos se categorizan como estacionales, y aquellos que funcionan todo el año se denominan anuales.

También se puede establecer la salvedad de si el ganado en engorde es propio o se ofrece un servicio de “hotelería”, al arrendarse las instalaciones y el servicio de engorde a terceros (frigoríficos o proveedores). De acuerdo al informe “Relevamiento del desempeño ambiental del sector engorde a corral” realizado en el año 2009 por DINAMA el porcentaje de establecimientos de hotelería es de un 40% aproximadamente y los establecimientos que operan anualmente representan un 75% de los relevados en dicho estudio.

En cuanto a la distribución geográfica de los establecimientos, los mismos se ubican mayormente en zonas de cultivo de granos, siendo principalmente los departamentos de Soriano, Río Negro, San José, Colonia y Canelones (ver Figura 6.1).



Figura 6.3 Distribución de establecimientos de Feedlot en Uruguay. Fuente: (Apa y Del Campo, 2009).

Descripción del proceso

Etapas del proceso

Recepción de animales

Incluye: pesada de animales, lectura de caravana, revisión de estado sanitario y asignación de número de tropa. Luego los animales son llevados a corrales donde permanecen durante los primeros días con una dieta diferencial para luego sí se trasladados a los corrales de engorde.

Estadía en corrales y alimentación

Los animales permanecen unos 90 días siendo alimentados en base a granos para aumentar su peso. En esta etapa se hace necesario el procesamiento de los granos para la preparación de raciones que incluye las siguientes etapas:

- Recepción de granos
- Almacenamiento en silos
- Remoción de impurezas
- Secado de granos
- Preparación de raciones

Evaluación de sanidad en corrales de enfermería

Durante la estadía en corrales y previo a la partida para faena los animales son revisados por un veterinario y aquellos que presentan síntomas de enfermedades son mantenidos en corrales de enfermería en los que ocasionalmente mueren.

Pesada final y embarque

Previo a su embarque para faena se controla que los animales hayan alcanzado el peso adecuado.

Limpieza de corrales

Las actividades de limpieza de corrales se realizan durante toda la estadía de los animales así como también más minuciosamente al cambiar de tropa. El proceso de limpieza se realiza o por barrido con agua en caso de pisos de hormigón o con retroexcavadora en caso contrario.

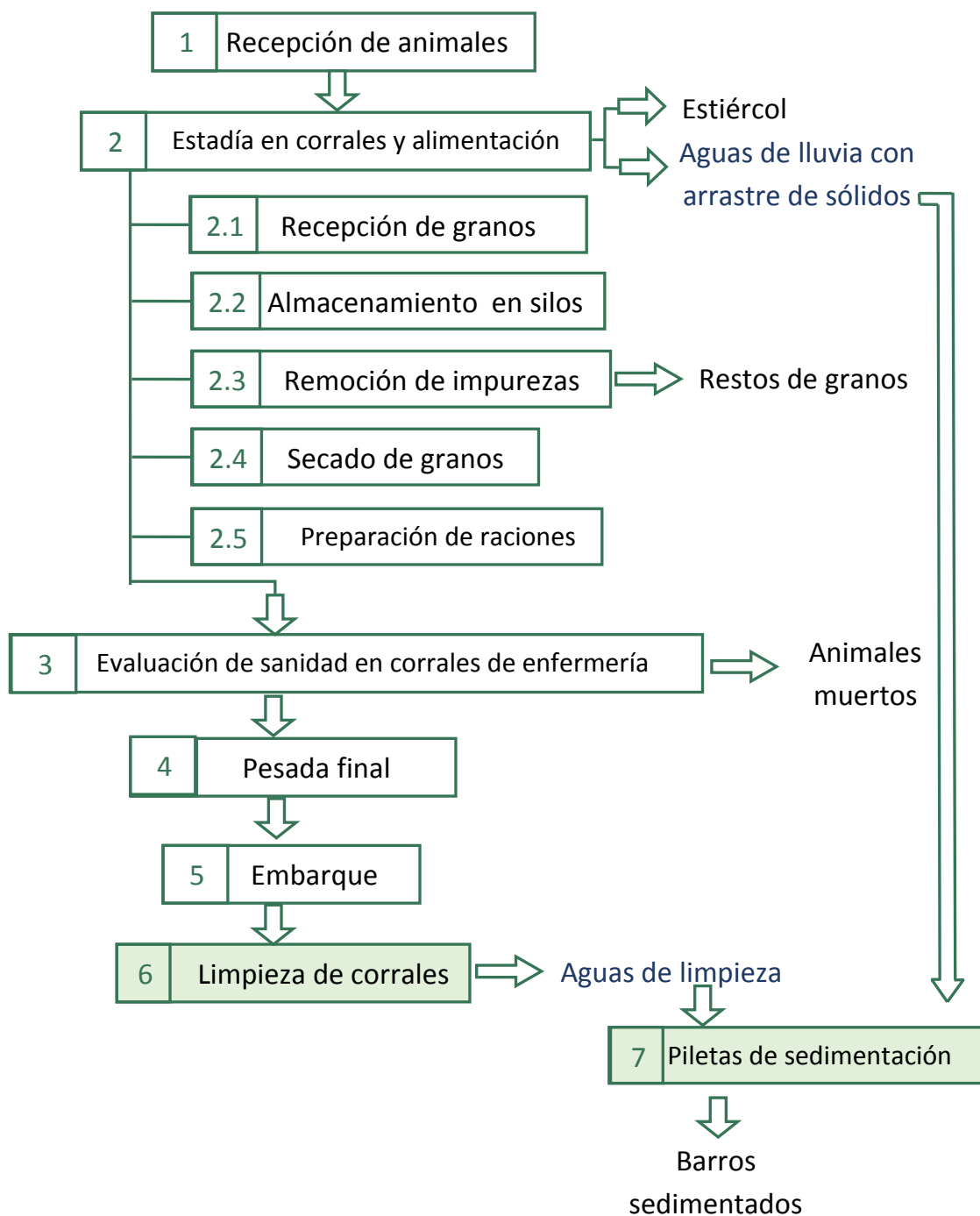


Figura 6-4 Diagrama de flujo del proceso de cría de ganado en corrales

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Los principales residuos generados en los establecimientos de engorde de animales son:

Líquidos

- Aguas de lluvia y lavado con arrastre de materia orgánica

Sólidos

- Estiércol
- Restos de alimentos y camas
- Animales muertos
- Sólidos retenidos en sedimentador de líquidos

Para el cálculo de los índices de generación de estos residuos por UP (cabeza engordada) se tomaron las siguientes fuentes:

- Aguas de lluvia y estiércol: se tomaron los valores informados en el informe de proyecto industrial del establecimiento del departamento de Río Negro (Cancela *et al.*, 2013).
- Animales muertos: se utilizaron los porcentajes de mortalidad de un feedlot ubicado en La Plata, Argentina, donde se informa que el porcentaje de mortalidad es de aproximadamente un 0.69%. Teniendo en cuenta dicho % y el peso promedio de los animales se calculó el valor informado.
- Restos de alimentos y camas: el valor se obtuvo en base a datos proporcionados por BIOVALOR a partir de datos de establecimientos.
- Sólidos retenidos en sedimentador de líquidos: se tomaron los valores informados en el informe de proyecto industrial del establecimiento del departamento de Río Negro (Cancela *et al.*, 2013).
- Estiércol: se consideran como base los cálculos incluidos en el informe de la División Control y Desempeño Ambiental de la DINAMA, realizado en 2009. En el mismo se toman como base índices de producción por peso de animal de la NSW Agriculture (1998). Dichos índices se resumen en la tabla 6.2 a continuación. Considerando un peso de animal vivo promedio de 385kg (ingreso con 350 y salida con 420 durante aproximadamente 90 días) se puede calcular la generación diaria de residuos por animal (Apa y Del Campo, 2009).

Tabla 6.2 Parámetros estimados de producción de estiércol

Producción de heces (%PV)	Producción de orina (%PV)	Contenido de MS en heces	Contenido de MS en orina
3.4 – 3.8	1.2 – 1.8	20 – 30%	3 – 4%

Las tablas 6.3 y 6.4 a continuación incluyen el índice de generación por UP promedio de cada residuo (líquido y sólido respectivamente), el punto de generación en el proceso, así como la caracterización principal de ellos.

Tabla 6.3 Residuos líquidos de feedlot

Residuo	Generación (L/(UPdía))	Punto de generación	Materia orgánica (kgDQO/m ³)	Sólidos suspendidos (kgSST/m ³)	Componentes principales
Efluentes líquidos	24	6.6	2.4-40	1-13.4	Nitrógeno (0.1- 2.1 g/L) Fósforo (0.02 - 0.48 g/L)

Tabla 6.4 Residuos sólidos de feedlot

Residuo	Generación (kg _{ds} /UP/día)	Punto de generación	Materia orgánica(%SV/ST)	Humedad (%)
Estiércol	3	2 3	80	80
Restos de alimentos y camas	0.8	2 3	-	-
Animales muertos	0.3	3	-	-
Sólidos retenidos en sedimentador de líquidos	0.275	7	-	-

Actualmente la mayoría de los establecimientos (especialmente los de gran porte) tienen piletas de decantación para separar los sólidos suspendidos en los efluentes líquidos previo a su vertido a curso de agua. Sin embargo, el tiempo de residencia en las lagunas no es el suficiente para permitir un tratamiento del agua y la reducción de la materia orgánica se produce por acumulación de los sólidos arrastrados. Los residuos sólidos por el momento no reciben tratamiento en la mayoría de los establecimientos. El tratamiento del estiércol no es planificado en la mayoría de los casos, siendo apilado en sectores no adecuados (suelo no

impermeabilizado y cercano a cursos de agua) y dispuesto en suelo pero sin regulación ni criterio agronómico (Apa y Del Campo, 2009).

La Tabla 6.5 a continuación resume el potencial de generación de metano de los residuos mayoritarios generados en el proceso de engorde en corrales. Los datos de potencial del residuo líquido fueron estimados a partir de la concentración de DQO considerando una generación de 350L de metano a PTN por kg de DQO tratado mientras que los sólidos se obtuvieron de referencias internacionales (Hashimoto *et al.*, 1981). Para el cálculo de los totales del país se consideró una operación durante 300 días anuales, para el engorde de 440.000 animales con un período de estadía aproximado de 90 días. En dicho contexto hay unos 132.000 animales en situación de encierre en corral a la vez en el país.

Tabla 6-5 Potencial de metanización de residuos de feedlot

Residuo	Potencial de metanización (LCH ₄ /kgSV o m ³)	Potencial de metanización (LCH ₄ /UP/d)	Total de CH ₄ anual en el país (millones de Nm ³)
Efluente líquido	670 - 8400	13 – 165	0.6 – 8.0
Estiércol	160-240	384 – 576	15.2 – 22.8
Totales		397 – 741	15.8 – 30.8

Considerando los datos anteriores se puede estimar la generación de biogás promedio por establecimiento en función de la cantidad de cabezas en engorde. A modo de ejemplo, uno con 1000 cabezas podría producir como máximo entre 400 y 740 m³/d, lo que resulta en 120000 – 220000 m³ anuales de metano.

7. CADENA LÁCTEA

Descripción del sector

Se realizó el relevamiento del sector desde la producción de leche (Tambos) hasta la industrialización de la misma (Industria Láctea). A su vez, dentro del sector tambos se hace hincapié en el relevamiento de los productores de quesos debido a que generan un residuo específico y de difícil disposición como lo es el suero de leche.

En la Figura 7.1 se observa el régimen de producción de leche en Uruguay en distintos años, con un pico máximo de producción en primavera (Setiembre a Noviembre) y un mínimo en verano (Febrero a Abril). La producción mínima mensual representa un 50-70 % de la producción máxima mensual.

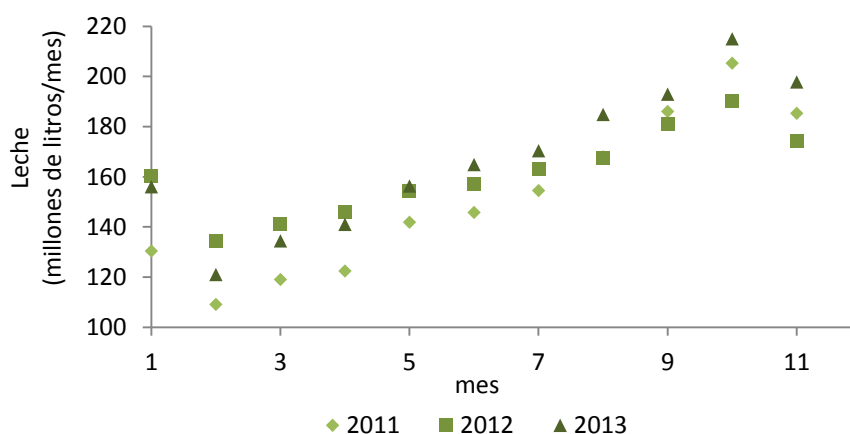


Figura 7.1. Distribución mensual de la leche recibida en plantas industrializadoras para distintos años.
Fuente: MGAP-DIEA, Anuario estadístico agropecuario 2014.

Tambos

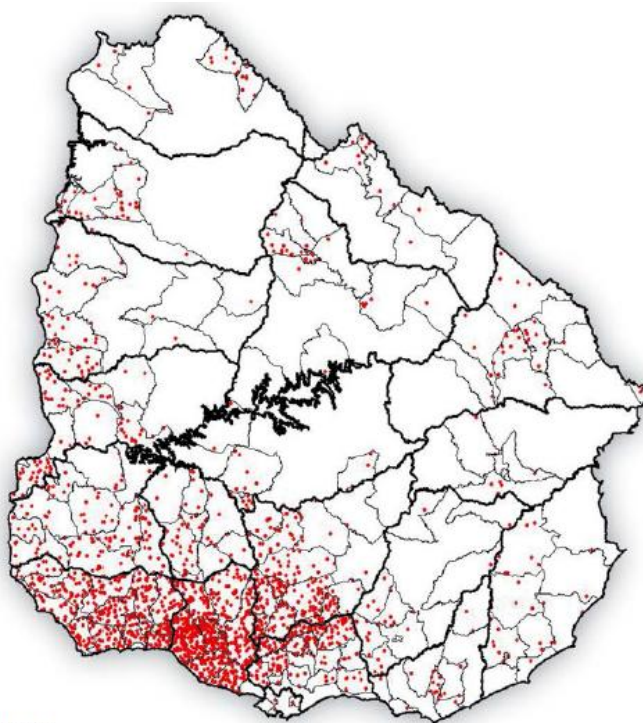
En el país existe un gran número de establecimientos productores de leche de diversos tamaños; en la Tabla 2.1 se resume la distribución de tambos y su producción. Se observa que el 80% de las vacas en ordeño se encuentran en establecimientos que tienen la lechería como rubro principal, el 7% de estos tambos son mayores a 500 Ha y concentran el 34% de las vacas en ordeño.

Tabla 7.1. Número de tambos, producción de leche y vacas en ordeño según el tamaño del establecimiento (Est.).

Tipo de establecimiento	Tamaño de Est. (Ha)	N° Est.	Vacas en ordeño (V.O.)		Producción de leche promedio (L/d/V.O.)
			Total	Por Est.	
Lechería rubro principal	0 a 19	286	6,146	21	21
	20 a 49	676	15,416	23	15
	50 a 99	844	34,925	41	15
	100 a 199	770	54,706	71	19
	200 a 499	489	66,457	136	18
	> 500	246	93,980	382	19
Lechería rubro secundario	Todas	994	67,211	68	14
Total Promedio	Todas	4305	338,841	79	17

Fuente: datos que surgen de la declaración jurada anual 2012 de DICOSE-MGAP.

Los productores de lechería comercial se concentran mayoritariamente en la zona sur-oeste del país (Figura 7.3) y en menor medida en el litoral.



Nota: cada punto son dos productores
Fuente: MGAP-DIEA, en base a DICOSE.

Figura 7.2. Productores con lechería comercial por seccional policial. Año agrícola 2010/2011. Fuente: MGAP-DIEA, Anuario estadístico agropecuario 2014.

Tambos queseros

De acuerdo a datos de DICOSE del 2004 (MGAP y OEA 2009, Habilitación de tambos y queserías artesanales) en Uruguay existían 1219 productores de quesos artesanales. A su vez, las declaraciones juradas del 2012 presentadas a DICOSE muestran que se procesaron 126 millones de litros de leche para quesos en el año.

Industria Láctea

El rubro comprende las industrias que se dedican a la producción de productos lácteos, no se incluyen tambos queseros. Los principales productos comercializados incluyen: leche en polvo, quesos y leche pasteurizada. Además, la industria produce: leche larga vida, caseína, manteca, postres, helados, dulce de leche, yogurt, crema, ricota, entre otros.

El Instituto Nacional de la Leche (INALE) publicó el informe “Situación y perspectivas de la lechería uruguaya”, donde informa que la producción nacional en 2014 alcanzó 2300 millones de litros, con una remisión a planta de 2004 millones de litros. En el mismo informe se muestra que existen 40 industrias habilitadas por el MGAP, y que las 7 principales captaron el 93% de la leche que ingresó a planta.

Descripción del proceso

Tambos

La producción comercial de leche en Uruguay es mayoritariamente a pastoreo, pudiendo emplear suplemento de alimentos. Las etapas del proceso de producción de leche en los tambos con sistemas a pastoreo se listan y describen a continuación.

1. Cría y pastoreo: crianza artificial de terneros y alimentación de vacas y terneros de recría con pasturas.
2. Corral de espera: encierro previo al ordeño.

3. Sala de ordeño: extracción de leche. Algunos establecimientos suministran suplementos nutricionales durante el ordeño. En términos generales se producen 2 ordeños por día.
4. Tratamiento primario: separación de residuos sólidos (no todas las explotaciones cuentan con esta etapa).
5. Tratamiento secundario: tratamiento biológico de residuos (no todas las explotaciones cuentan con esta etapa).

En el diagrama de flujo de la Figura 7.3 se muestran los puntos de generación de residuos en la producción de leche en tambos. Los residuos generados están constituidos mayoritariamente por excretas que se acumulan en el corral de espera y la sala de ordeño, éstas se mezclan con las aguas de limpieza del corral y de lavado de ubres, tanques y maquinarias.

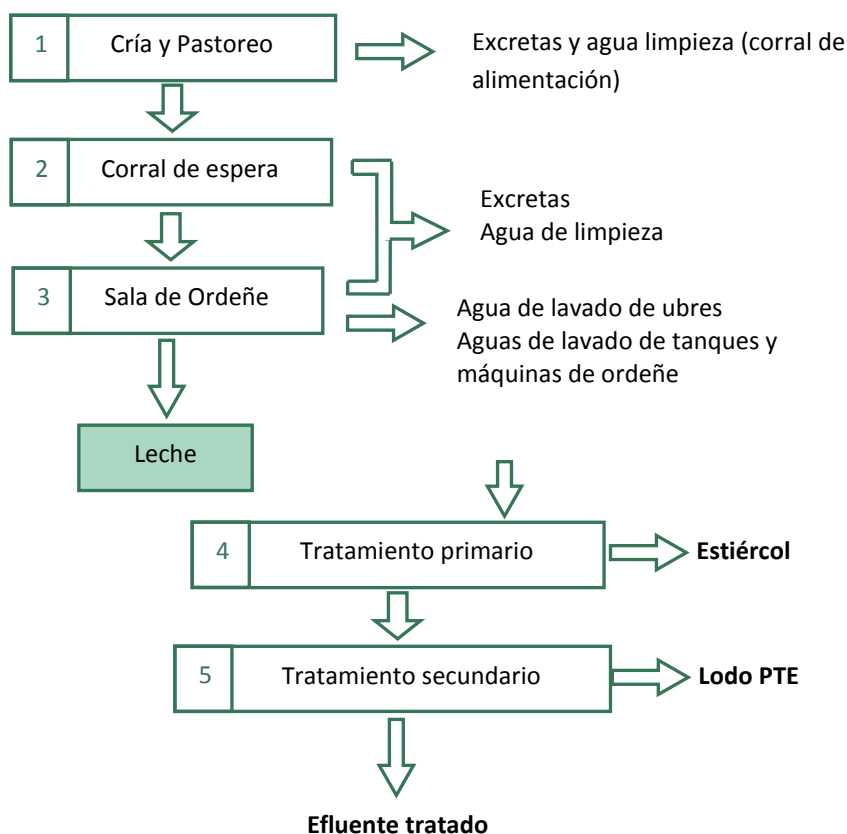


Figura 7.3. Diagrama de flujo de tambos

Otros residuos que pueden ser generados durante dicho proceso son agroquímicos, restos de camas, restos de alimentos, residuos generados durante el parto, animales muertos, residuos provenientes de la atención veterinaria.

La práctica más comúnmente utilizada en Uruguay para la disposición de los residuos tratados es la infiltración al terreno de los efluentes. De acuerdo con los datos publicados en la “Evaluación de los sistemas de tratamiento de tambos” (Convenio DINAMA-CONAPROLE-IMFIA 2008) el 78% de los tambos relavados realizan infiltración al terreno, el 11% disponen el efluente a curso de agua, el 8% riego y el restante 3% tienen un ciclo cerrado.

Tambos queseros

Este rubro incluye a los tambos que además de producción de leche tienen elaboración de quesos. Los tambos queseros tienen el mismo esquema de producción de leche presentado anteriormente (Figura 7.3) al que se le adiciona la producción de quesos mostrada más adelante, en la Figura 7. 4.

Industria láctea

En la industria láctea, tal como se describió anteriormente, se elaboran una gran variedad de productos y esto que hace más complejo el análisis del sector. En la Figura 7. 4 se muestra un diagrama de flujo que de los procesos productivos que pueden llevarse a cabo en la industria láctea; no se incluye el tratamiento de efluentes.

Algunos de los residuos generados en la industria son muchas veces considerados como subproductos y tienen opciones de revalorización. El suero de leche proveniente de la producción de caseína, queso y manteca, es un ejemplo de estos residuos, que en muchas industrias se seca y se comercializa como suero en polvo siendo un alimento rico en proteínas. La producción de éste se realiza a partir de suero de queso y manteca mediante sucesivos procesos de transformación: filtrado, centrifugado (separación de crema para manteca), pasteurización, enfriado, nanofiltración (descarte de permeado), evaporación y por último se seca en una torre spray para obtener el suero en polvo.

Otro subproducto elaborado en algunas industrias lácteas es el butter oil, producido a partir de crema. El proceso productivo consta de varias etapas: enfriado de la crema, pasteurización,

maduración, pre-calentamiento, clarificación, concentrado de material graso (adición de manteca fundida), pasteurización, vacío y enfriado.

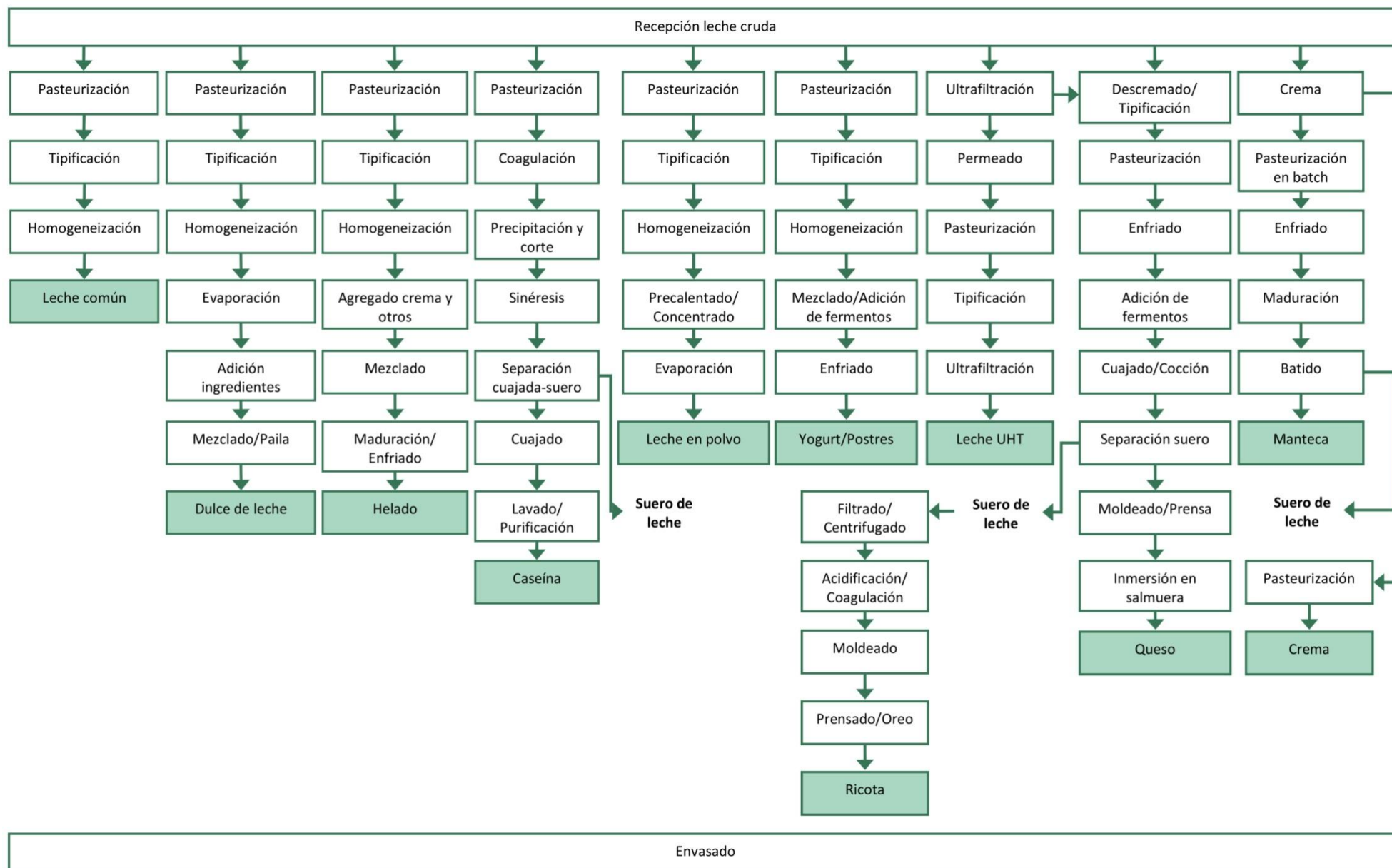


Figura 7. 4. Diagrama de flujo de elaboración de productos lácteos

En términos generales, en el proceso productivo se genera un efluente lácteo proveniente de pérdidas de productos, limpieza y refrigeración, este es tratado en plantas de tratamiento de efluentes (PTE) que generan lodos biológicos y barros grasos provenientes del desengrasador (residuos).

Otros residuos de la industria láctea son los materiales inadecuados para el consumo o la elaboración que deben ser descartados y los residuos propios del proceso. De acuerdo a datos proporcionados por BIOVALOR de producción de residuo en el año 2013 de diferentes industrias lácteas, el 100% del material inadecuado y el 83% de los residuos del proceso son utilizados para el consumo animal.

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Índices de generación

Tambos

La cantidad diaria total de excretas que produce un animal depende del consumo de alimento (volumen, régimen y digestibilidad) y del organismo del animal. La vaca produce mayor cantidad de excretas en sistemas estabulados que a pastoreo; esto se debe a que, en términos generales, en sistemas a pastoreo el animal está subalimentado y la composición de su dieta no necesariamente completa los requisitos nutricionales (Gutiérrez y Cabrera, 2006). Por otro lado, la cantidad de excretas vertidas en el área de colección (corral de alimentación, corral de espera y sala de ordeño) es proporcional al tiempo de permanencia en la misma. Para estimar el tiempo medio que una vaca permanece en la zona de ordeño (corral de espera y sala de ordeño) es necesario conocer el tiempo de ordeño, el número de órganos utilizados en la sala de ordeño, el número de vacas por lote y el tiempo que los animales pasan en el área de ordeño antes de comenzar el mismo (tiempo muerto). El tiempo muerto solamente es considerado en caso que el piso del corral de espera sea de hormigón; en Uruguay existen tambos con piso de tierra donde no se colecta la excreta. Por otro lado, en caso de contar con un corral de alimentación con piso de hormigón donde se colecte la excreta se debe adicionar

el tiempo que en promedio pasan los animales en este corral al tiempo que permanecen en la zona de ordeño.

Se calculó la producción de excretas diarias por vaca en ordeño en base a expresiones analíticas presentadas por Gutiérrez y Cabrera (2006) y se evaluó la variación de producción con la digestibilidad del alimento y la producción diaria de leche por vaca en ordeño. El rango de evaluación de digestibilidad se tomó considerando los valores máximo y mínimo de forrajes empleados en bovinos a pastoreo presentados por Bavera (2000), 34% para rastrojo de centeno (*Secale cereale*) y 83% para elongación de triticale (*Triticum aestivum* x *Secale cereale*). Los resultados presentados en la Figura 7. 5 muestran la alta variabilidad en la producción de excretas en base al alimento suministrado, y no así con la producción de leche.

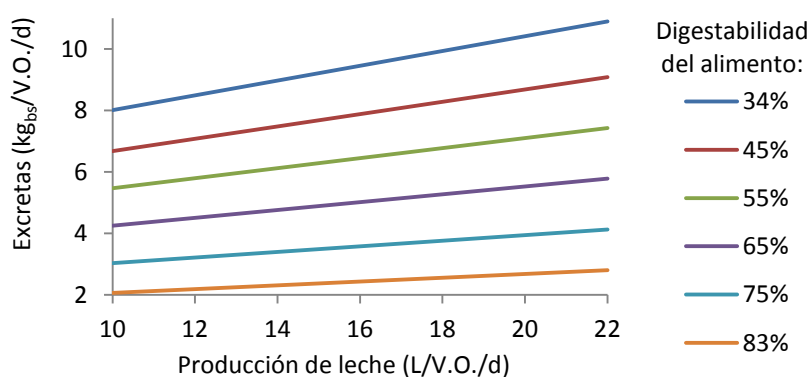


Figura 7. 5. Estimación de producción diaria de excretas por animal en función de la digestibilidad del alimento (D) y la producción de leche (PL): $\text{Excretas} = (8.5 + 0.364 \cdot \text{PL}) \cdot (1 - D)$. Fuente: Gutiérrez & Cabrera (2006).

Considerando una digestibilidad de 60% (promedio de los datos presentados en Bavera (2000)) y una producción de leche de 17 L/d/V.O. (promedio nacional, Tabla 2.1) se obtiene una producción de excretas totales de 5.9 $\text{kg}_{\text{bs}}/\text{V.O.}/\text{d}$. Luego, para estimar la producción de excretas colectables, se consideró un tiempo medio (tiempo que pasa en promedio una vaca en el área de colección) de 3 horas diarias (Gutiérrez y Cabrera, 2006) y por lo tanto las excretas colectables representan un 12.5% de las totales, esto es, 0.73 $\text{kg}_{\text{bs}}/\text{V.O.}/\text{d}$. Análogamente, tomando el rango de producción de leche para tambos en Uruguay de la Tabla 2.1, de 14 a 21 L/d/V.O., se estima un rango de producción de excretas en el área de colección desde 0.61 hasta 0.83 $\text{kg}_{\text{bs}}/\text{V.O.}/\text{d}$.

Por otro lado, se relevaron datos proporcionados por BIOVALOR de 13 empresas con más de 500 vacas en ordeño, que representan el 3% del rodeo lechero uruguayo. Según estos datos, el índice promedio de generación de excretas colectables en las empresas relevadas es 0.82 $\text{kg}_{\text{bs}}/\text{V.O.}/\text{d}$ en base seca y 7.8 $\text{L}/\text{V.O.}/\text{d}$ en base húmeda; los índices de las empresas varían desde 0.62 hasta 0.94 $\text{kg}_{\text{bs}}/\text{V.O.}/\text{d}$ y 2.4 hasta 9.4 $\text{L}/\text{V.O.}/\text{d}$. Si comparamos este valor con la estimación analítica, considerando una digestibilidad de 60%, una producción de leche de 21 $\text{L}/\text{d}/\text{V.O.}$ (calculada con datos de PGRSI) y un tiempo medio de 3 horas, se obtiene que la producción de excretas vertidas en el área de colección es de 0.81 $\text{kg}_{\text{bs}}/\text{V.O.}/\text{d}$, siendo este valor muy similar al estimado con los datos de las empresas.

Los planes de gestión de las empresas también contienen datos de generación de lodos. Analizado estos datos se observa que el índice de generación de lodos es similar en todas las empresas relevadas encontrándose entre 0.63 - 0.64 $\text{L}/\text{V.O.}/\text{d}$ con una humedad del 90% (63 - 64 $\text{g}_{\text{bs}}/\text{V.O.}/\text{d}$).

El efluente de tambos se compone de una mezcla de excretas y aguas de distintos procesos de limpieza (Figura 7.3). En el Manual para el Manejo de Efluentes de Tambo elaborado por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca en conjunto con la Fundación Julio Ricaldoni (MGAP & FJR, 2008) se expresa que el consumo de agua para el lavado de ubres se puede estimar en 5 $\text{L}/\text{V.O.}/\text{d}$ y que no varía demasiado entre predio y predio. Por otro lado, se informa que el consumo de agua para limpieza es muy variable entre establecimientos en Uruguay y que el valor internacionalmente considerado estándar es de 50 $\text{L}/\text{V.O.}/\text{día}$. Sería muy importante considerar la reducción del uso excesivo de agua para limpieza en algunos predios.

En la siguiente tabla se resumen los datos mostrados en esta sección. En sistemas intensivos (animales estabulados) la generación de excretas es mayor dado que se colecta toda la excreta generada por los animales diariamente.

Tabla 7.2. Índices de generación de residuos en tambos por vaca en ordeño (V.O.), resumen.

Residuo	Generación por V.O.	Referencia
Excretas colectables	0.61 – 0.83 $\text{kg}_{\text{bs}}/\text{d}$	Estimado (con 3h tiempo medio y D = 60%)
Agua utilizada en la limpieza	50 L/d	MGAP y FJR (2008)
Agua de lavado de ubres	5 L/d	MGAP y FJR (2008)
Lodo PTE	63 – 64 $\text{g}_{\text{bs}}/\text{d}$	Datos PGRSI de 13 empresas

Tabla 7.3 . Índices de generación de residuos en tambos por vaca en ordeño (V.O.).

Referencia →	Gutiérrez y Cabrera (2006)				Roos (2005)	MGAP y FJR (2008)
Unidades →	Colectables (g/V.O./d)				Totales (kg/V.O./d)	Colectables (g/V.O./d)
Componente ↓	NZAEI	NZAEI	ASAE	La estanzuela	USDA	Tambos uruguayos
Sólidos totales	360	550	750	1050	6.4	s/d
Sólidos volátiles	250	400	625	600	5.4	s/d
DQO	330	537	688	800	5.7	s/d
DBO ₅	80	123	100	210	s/d	s/d
Nitrógeno	10	30	28	45	0.29	28
Fósforo	2	3	6	5	0.044	3
Potasio	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	28

Nota: DQO: demanda química de oxígeno; DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno en 5 días;. (NZAEI) New Zealand Agricultural Engineering Institute (1993). Agricultural Waste Manual, Wrigley R, Report No. 32, NZAEI. Lincoln College, New Zealand; (ASAE) Manual American Society of Agricultural Engineers (2003), ASAE D384.1; (USDA) U.S. Department of Agriculture (1992); (La Estanzuela): tambo Uruguayo.

Por otro lado, en sistemas a pastoreo es una práctica usual suministrar suplementos nutricionales o ración a los animales durante el ordeño; esto puede generar desechos de alimentos que acaban en el efluente. Generalmente se considera un 3% de desechos respecto a la alimentación suministrada (MGAP y FJR, 2008). Estos residuos suelen ser de difícil biodegradabilidad (especialmente los granos) y pueden dificultar el tratamiento, y a su vez las características físicas de los mismos pueden dañar el sistema de bombeo (MGAP y FJR, 2008).

Tambos queseros

Los tambos queseros, además de los residuos descriptos en el punto anterior (Tambos), generan un desecho específico de la producción de quesos que es el suero de leche. Si no es utilizado con alguna finalidad específica constituye un residuo con un alto contenido de materia orgánica. El alto contenido graso del suero deriva en la necesidad de un sistema de tratamiento más complejo.

Para estimar la generación de suero se define como unidad de producción el litro de leche procesada para la elaboración de quesos. En términos generales se producen 0.85 - 0.90 litros de suero por litro de leche procesada.

Tabla 7.3. Generación de suero por litro de leche utilizada para la elaboración de queso

Referencia	Generación de suero (L/L _{leche})
DINAMA 2005	0.85
Carvalho <i>et al.</i> 2013	0.87 ± 0.03
De Jesús <i>et al.</i> 2015	0.85 – 0.90

Industria láctea

Se relevaron datos de 18 industrias que procesan desde 0.28 hasta 45 millones de litros de leche mensualmente, información proporcionada por BIOVALOR. Si bien estas empresas procesan el 91% de la leche remitida a planta, los datos de generación de residuos no son completos para todas ellas, y por ende no se puede afirmar que se está relevando el 91% de producción de residuos en el rubro. En la Tabla 7.4 se muestra un resumen de los datos estimados a partir de la información disponible. Se puede observar que los datos tienen una alta variabilidad, que depende en gran medida del tipo de producto producido, y esto hace que sea imprescindible el análisis específico de la industria que se quiere estudiar.

Tabla 7.4. Índice de generación de residuos en la industria láctea, expresados en $g_{\text{residuo,bs}}/L_{\text{leche utilizada}}$

Residuo	Medio	Min	Max	% alcanzado
Barros grasos PTE	0.24	0.06	3.75	50%
Lodos PTE	0.16	0.002	6.24	63%
Material inadecuado	4.75	0.04	7.10	26%
Residuos propios del proceso	0.09	0.02	0.38	21%

Valores estimados a partir de datos de distintas industrias lácteas proporcionados por BIOVALOR. El valor Medio se calcula como la suma de residuos producidos por industrias dividida la suma de leche utilizada por industrias que producen el residuo; los valores extremos son el mínimo y máximo de los índices calculados para cada empresa. El % alcanzado es la cantidad de leche procesada por las industrias que presentan el dato de generación de residuo respecto a la producción total de leche remitida a planta el mismo año.

El índice de generación de suero en estas industrias es igual al analizado para tambos queseros, esto es, 0.85 - 0.90 litros de suero por litro de leche procesada.

En la industria láctea la generación de efluentes ocurre en general de manera intermitente, por lo que el flujo de efluentes varía significativamente. El índice de generación de efluentes lácteos se estimó a partir de un relevamiento de datos, bajo un acuerdo de confidencialidad con la Fundación J. Ricaldoni, de informes presentados a DINAMA entre 2009 y 2011 por las principales industrias lácteas del país. Dado que los datos no son completos en todos los informes, se estima el índice de producción de efluentes por litro de leche utilizada para 7 industrias, se calculan valores desde 1.0 hasta $4.8 \text{ L}_{\text{efluente}}/\text{L}_{\text{leche}}$, y el promedio ponderado por el volumen de leche utilizado es $3.1 \text{ L}_{\text{efluente}}/\text{L}_{\text{leche}}$.

Caracterización de residuos

Tambos

Los efluentes provenientes de los corrales de alimentación y espera y la sala de ordeñe están mayoritariamente compuestos por excretas y agua. Las excretas vacunas se componen de carbohidratos, lípidos, aminoácidos, proteínas, urea y compuestos azufrados, y tienen contenidos elevados de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio. En la Tabla 7.5 se muestran caracterizaciones de efluentes de tambos presentadas en distintas biografías nacionales e internacionales (Nueva Zelanda y Estados Unidos). De acuerdo a lo expuesto por Gutiérrez y Cabrera (2006) los valores relativamente menores en los parámetros (relativos a los ST) se pueden deber a que en los tambos uruguayos se presentaría un mayor contenido de sólidos totales en los efluentes.

Tabla 7.5. Composición de efluente de tambos, expresados en g/gST.

Referencia →	Gutiérrez y Cabrera (2006)				Roos (2005)	MGAP y FJR (2008)
Componente ↓	NZAEI	NZAEI	ASAE	La Estanzuela	USDA	Tambos uruguayos
DQO	0.92	0.98	0.92	0.76	0.89	
DBO ₅	0.32	0.31	0.16	0.35		
SV	0.69	0.73	0.83	0.57	0.84	
Nitrógeno	0.029	0.055	0.037	0.043	0.045	0.038
Fósforo	0.005	0.006	0.008	0.005	0.007	0.004
Potasio						0.038

Nota: DQO: demanda química de oxígeno; DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno en 5 días; ST: sólidos totales; SV: sólidos volátiles; (NZAEI) New Zealand Agricultural Engineering Institute (1993). Agricultural Waste Manual, Wrigley R, Report No. 32, NZAEI. Lincoln College, New Zealand; (ASAE) Manual American Society of Agricultural Engineers (2003), ASAE D384.1; (USDA) U.S. Department of Agriculture (1992); (La Estanzuela): tambo Uruguayo; (Tambos uruguayos) datos originales en g/V.O./d, se usa el valor 0.73 kgST/V.O./d para conversión.

Es importante destacar que cuando se planea diseñar o evaluar un tratamiento en un tambo específico se debe realizar la caracterización y el estudio del efluente particular del establecimiento. En términos generales, para la estimación de la producción nacional de residuos, se consideraron los valores de contenido de materia orgánica de La Estanzuela.

La excretas vacunas pueden tratarse anaeróbicamente para producir metano; el potencial bioquímico de metano (PBM) varía de acuerdo a la alimentación de la vaca, comúnmente se maneja un rango que va desde 160 hasta 240 L_{CH₄}/kg_{SV} alimentado.

Por otro lado, en el “Manual para el Manejo de Efluentes de Tambo” (MGAP y FJR, 2008) se presentan rangos de concentración de nutrientes hallados en lodos de lagunas anaerobias uruguayas de más de 3 años de operación que pueden emplearse como referencia (datos de 7 muestreos) de acuerdo a lo expresado en el manual. Estos valores de caracterización de lodo de PTE son 2.5 - 3.5 gN/L para nitrógeno, 0.19 – 0.29 gP/L para fósforo y para potasio 0.9 – 1.7 gK/L.

Tambos queseros

En la Tabla 7.6 se muestra la composición de suero de leche presentada en distintas bibliografías. Carvalho *et al.* (2013) presentan caracterizaciones de suero presentadas por distintos investigadores, en la tabla se muestra un resumen de ésta información. Se observa

que el suero es un efluente ácido con un elevado contenido de materia orgánica (52 gSV/L en promedio), esta materia orgánica es mayoritariamente lactosa (48 g/L en promedio) y proteínas (5 g/L en promedio).

Tabla 7.6. Composición de suero de leche.

Referencia →	Carvalho et al. (2013)			De Jesús et al. (2015)	Demirel et al. (2005)	
Componente ¹ ↓	Promedio	Min.	Máx.		Ref1	Ref2
pH	4.9	3.8	6.5			
DQO (g/L)	74	60	102	89 - 95	69	61
DBO5 (g/L)	39	27	60	40 - 48		
Sólidos totales (g/L)	61	55	71			
Sólidos volátiles (g/L)	52	48	56			
SST (g/L)	12	1	22			1.8
Grasas y aceites (g/L)	4.7	0.9	9.4			
Lactosa (g/L)	48	39	60	75% de ST		
Proteínas (g/L)	5	1	8			
Nitrógeno (mg/L)	1015	200	1760		1462	980
N-amoniaco (mg/L)	143	60	270			
Fósforo (mg/L)	393	124	540		379	510

¹ DQO: demanda química de oxígeno; DBO5: demanda bioquímica de oxígeno en 5 días; SST: sólidos suspendidos totales.

El suero de leche puede ser tratado anaeróbicamente para producir metano; Demirel *et al.* (2005) muestran datos de funcionamiento de reactores escala piloto de tratamiento de suero de queso que presentan rendimientos de metano entre 0.21 y 0.26 L_{CH4}/g_{DQO} y eficiencias de remoción de materia orgánica entre 75 y 97%.

Industria láctea

En la Tabla 7.7 se resumen los valores de caracterización de residuos a partir de información proporcionada por BIOVALOR. Se debe tener en cuenta que muchos de estos valores son puntuales y es importante relevar el residuo para cada industria donde se planea diseñar un tratamiento o estudiar el potencial del mismo.

Tabla 7.7. Composición de residuos sólidos reportados por la industria láctea

Residuo ↓	Componente →	Humedad (%)	Densidad (kg/L)	Grasas y aceites (g/L)
Barros grasos PTE		71 [15 , 95] ²	0.7 [0.1 , 1.0] ²	10 y 9.3 ¹
Lodos PTE		88 [80 , 98] ²		
Material inadecuado		42 y 40 ¹		
Residuos propios del proceso		35, 50 y 60 ¹		

1 valores puntuales; 2: Promedio[min , max].

El efluente lácteo se compone de carbohidratos, proteínas y lípidos; los carbohidratos son mayoritariamente lactosa y son fácilmente biodegradables. La variedad de productos que se producen en la industria láctea se refleja en las características del efluente generado. A su vez, el uso de limpiadores ácidos y básicos también influye en el efluente, principalmente en el pH del mismo, obteniéndose un rango de pH bastante amplio. En la Tabla 7.8 se muestra un resumen de datos de composición de efluentes lácteos tomados de empresas nacionales (Relevamiento DINAMA) y de referencias bibliográficas de otros países; a su vez, de los datos tomados de Demirel *et al.* (2005) se discrimina la composición del efluentes según el producto que se produce. Los valores presentados para industrias uruguayas son comparables con los datos bibliográficos.

De acuerdo a lo presentado por Demirel *et al.* (2005) un reactor anaerobio escala piloto de tratamiento de efluente proveniente de una industria que produce helado genera 0.32-0.34 litros de metano por gramo de DQO removido y tiene una eficiencia de remoción de 85%, por lo tanto se producen 0.27-0.29 litros de metano por gramo de DQO presente en el efluente.

Tabla 7.8. Composición de efluente lácteo.

Referencia →	Relevamiento DINAMA (2011)				Danalewich <i>et al.</i> (1998)				Demirel <i>et al.</i> (2005), Producto:		
Componente ↓	Promedio	Desv.Est.	Min.	Máx.	Promedio	Desv.Est.	Min.	Máx.	Manteca	Varios	Queso
pH					8.4	1.8	6.2	11.3	8 - 11	6 - 11	5.5 - 9.5
DQO (g/L)	3.2	2.4	0.7	11.0	2.9	1.6	0.8	7.6	2 - 6	1.2 - 9.2	1.0 - 7.5
DBO5 (g/L)	1.7	1.4	0.3	6.9	1.9	1.3	0.6	5.7	1.2 - 4.0		0.6 - 5.0
Sólidos totales (g/L)					4.5	3.1	1.8	14.2		2.7 - 3.7	
Sólidos volátiles (g/L)					2.8	2.9	562.0	11.0			
Sólidos suspendidos (g/L)	0.8	0.4	0.1	1.5	0.27	0.43	0.03	1.63	0.35 - 1.0	0.34 - 1.73	0.5 - 2.5
Grasas y aceites (g/L)	0.4	0.5	0.03	2.3							
Ácidos grasos volátiles (mg _{HAC} /L)					147	115	< 1	431			
Alcalinidad (mg _{CaCO3} /L)					652	382	225	1550	150 - 300	320 - 970	
Nitrógeno (mg/L)	84	52	14	153	91	39	14	140	50 - 60	14 - 272	
N-amoniaco (mg/L)	22	15	5	53	9	8	1	34			
Fósforo (mg/L)	29	22	7	69	71	40	29	181		8 - 68	
Potasio (mg/L)					47	35	9	156	35 - 40	8 - 160	
Sodio (mg/L)					544	252	263	1265	170 - 200	123 - 2324	720 - 980
Calcio (mg/L)					49	15	1	59	35 - 40	12 - 120	530 - 950
Magnesio (mg/L)					21	12	7	46	5 - 8	2 - 97	

Producción nacional de residuos

Tambos / Tambos queseros

Se estimó la generación diaria de excretas colectables, agua de limpieza (incluye agua de lavado de ubres) y lodos en la planta de tratamiento de efluentes para tambos, discriminando por el tamaño del establecimiento.

Tabla 7. 5. Generación de residuos en tambos: promedios a nivel nacional (Nac.) y por establecimiento (Est.).

Tipo de establecimiento	Tamaño de est. (Ha)	Excretas colectables		Agua limpieza		Lodo PTE	
		Nac.	Est.	Nac.	Est.	Nac.	Est.
		ton _{bs} /año	ton _{bs} /año	miles de m ³ /año	m ³ /año	ton _{bs} /año	ton _{bs} /año
Lechería rubro principal	0 a 19	1791	6	123	431	142	0.5
	20 a 49	3973	6	309	458	357	0.5
	50 a 99	8911	11	701	831	809	1.0
	100 a 199	15373	20	1098	1426	1268	1.6
	200 a 499	18172	37	1334	2728	1540	3.1
	> 500	26279	107	1887	7669	2178	8.9
Lechería rubro secundario	Todas	16667	17	1349	1357	1558	1.6
Total Promedio	Todas	91165	21	6802	1580	7853	1.8

¹ La estimación de producción diaria de excretas se calculó en función de producción de leche (PL) y la cantidad de vacas en ordeño (V.O._{total}) de la Tabla 2.1, se consideró D = 60% y un t_{medio} de 3 horas: Excretas colectables Nac. = (8.5+0.364*PL) * (1-D) * t_{medio}/24 * V.O._{total} *365 (Gutiérrez y Cabrera, 2006).

El efluente generado en el tambo se compone de las excretas (91.1 mil tonST/año) y el agua de limpieza (6802 mil m³/año). Considerando la densidad de sólidos en las excretas igual a 1 kg/L, la generación nacional de efluentes resulta de 6893 millones de litros por año. Tomando la proporción 0.57 gSV/gST de La Estanzuela (Tabla 7.7), la concentración de sólidos volátiles en el efluente resulta 7.56 gSV/L; esto equivale a una generación de 52 miles de toneladas de sólidos volátiles anuales.

Tomando el rango de potencial de biometanización presentado anteriormente, 160 a 240 L_{CH4}/kgSV_{tratado}, el potencial nacional de obtención de metano mediante tratamiento anaerobio

de las excretas es del orden de 8.3 a 12.5 millones de metros cúbicos normales de metano por año.

Por otro lado, para tambos con producción de quesos, considerando un índice de generación de $0.87 \text{ L}_{\text{suero}}/\text{L}_{\text{leche}}$ y tomando como referencia los 126 millones litros de leche procesados para quesos en el año 2012 (DICOSE), se estima una producción anual de suero de 110 millones de litros, esto equivale a 8159 toneladas anuales de DQO. A su vez, si se mantuvieran los 1219 productores artesanales de queso declarados a DICOSE en el 2004, la producción anual de suero por tambo sería de 90 metros cúbicos (6.7 tonDQO/año/tambo).

El potencial de producción nacional de metano a partir del tratamiento anaerobio del suero es de 1.91 millones de metros cúbicos normales por año (1.6 miles de metros cúbicos en promedio por productor por año).

Industria láctea

Se estima la producción nacional de residuos considerando los índices presentados anteriormente y el total de leche remitida a planta en el año 2014 (INALE). El índice de producción de suero se calculó respecto al volumen de leche utilizada para la producción de queso (Tabla 7.3), por lo tanto se estima el consumo nacional anual de leche para queso como el cociente entre la producción de quesos en el año 2014 (INALE) y el rendimiento de producción presentado por Carvalho *et al.* (2013), $9.86 \text{ kg}_{\text{queso}}/100\text{kg}_{\text{leche}}$. En la Tabla 7. 6 se resume la producción nacional anual de residuos en la industria láctea.

Tabla 7. 6. Generación de residuos en la industria láctea a nivel nacional.

Residuo sólido	Volumen ¹ (ton _{bh} /año)	Masa seca (tonST/año)
Barros grasos PTE	3651	475
Lodos PTE	2241	315
Material inadecuado	16152	9509
Residuos propios del proceso	505	175
Residuo líquido	Volumen (m ³ /año)	Materia orgánica (tonDQO/año)
Suero ²	698752	52007
Efluente	6255072	20016

Estimación en base a total de leche remitida a planta en el año 2014 (INALE), excepto para suero.

¹ Los volúmenes de residuos sólidos se calculan con valores de humedad de la Tabla 7.7.

² Se estima el total de leche usada para producción de quesos con la producción de quesos en el 2014 (INALE) y el rendimiento de producción, $9.86 \text{ kg}_{\text{queso}}/100\text{kg}_{\text{leche}}$ (Carvalho *et al.*, 2013).

Si se tratan los efluentes con tecnología anaerobia se tiene un potencial de producción de metano anual de 5.61 millones de metros cúbicos normales, considerado un rendimiento de metano de $0.28 \text{ LCH}_4/\text{gDQO}$. Análogamente para el suero, con un rendimiento de $0.23 \text{ LCH}_4/\text{gDQO}$ se obtendrían 12.18 millones de metros cúbicos normales de metano al año.

En la Tabla 7.7 se resume el potencial de metanización de toda la cadena láctea a nivel nacional.

Tabla 7. 7. Potencial de metanización de la cadena láctea a nivel nacional.

Residuo	Total de CH_4 anual en el país (millones de Nm^3)
Barros grasos de PTE	0.2 - 0.3
Suero de leche	14.1
Efluentes	5.6
Excretas	8.2 – 12.4
Total	28.2 – 32.2

8. LAVADEROS Y PEINADURÍA DE LANAS

Descripción del sector

La industria de lavaderos y peinaduría de lanas es la primera etapa en la cadena industrial textil. La industria recibe la producción primaria de lana nacional o importada (conocida como lana sucia) y realiza el lavado y posteriormente el peinado de la misma para la fabricación de tops. Los principales productos de este sector son la lana peinada (tops) y en menor medida la lana lavada. Además, se obtienen diversos subproductos que también son comercializados como la lanolina. El destino de estos productos es tanto la industria textil nacional como la exportación.

De acuerdo a la información presentada por las empresas en sus planes de gestión de residuos sólidos industriales (PGRSI) el sector procesa aproximadamente 33000 toneladas de lana sucia por año. La industria está concentrada en pocas empresas grandes, según el informe final “Caracterización del sector textil-vestimenta y análisis productivo” publicado por la OPP, en 2011 existían en Uruguay 5 empresas peinadoras. Sin embargo, a diferencia del resto de la cadena textil, las mismas no estaban concentradas en Montevideo y alrededores, sino que se encuentran dispersas en el interior, debido a razones de proximidad con la materia prima. A lo largo de este capítulo se utilizará como unidad productiva la tonelada lana sucia tratada.

Proceso productivo

Un diagrama del proceso industrial de lavado y peinado de lana se puede observar en la Figura 8.1. El proceso de lavado se realiza habitualmente en continuo con agua caliente y detergentes. Antes del lavado la lana se somete a un proceso de apertura que tiene como fin el retiro de tierra acumulada. El objetivo del proceso de lavado es retirar de la lana sucia sus principales contaminantes: tierra, grasa de lana y suarda. Por grasa de lana se entiende la fracción grasa extraíble de la lana sucia mientras que la suarda es el sudor seco de la oveja que

permanece adherido a la fibra y es soluble en agua fría. Posteriormente la lana lavada es sometida a los procesos de cardado, peinado y enfardelado, obteniéndose como producto final tops de lana.

En la mayoría de los casos se comercializa como producto final la lana peinada o tops. Sin embargo también se comercializan la lana lavada, aunque en menor cantidad. Asimismo, en el cardado y peinado de la lana se generan distintos tipos de fibras cortas (bajo carda, noil y blousse) que son comercializados para distintos usos. La grasa de lana es normalmente recuperada mediante sistemas de centrifugación y comercializada como subproducto.

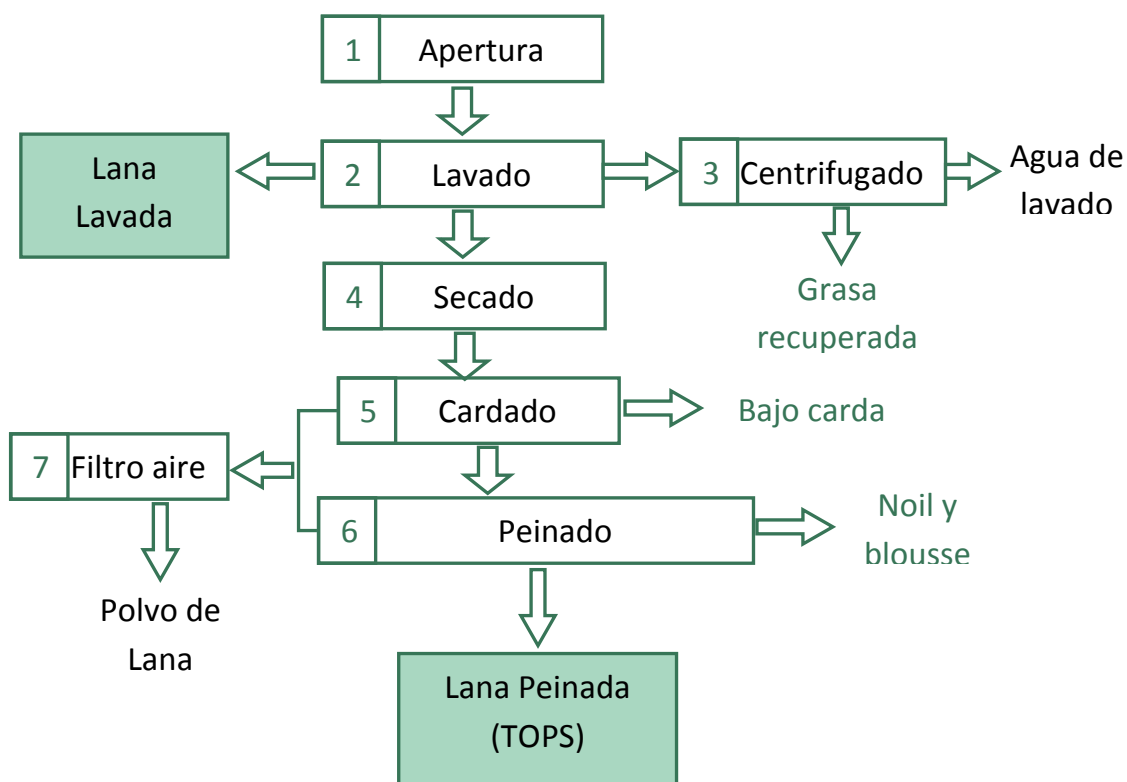


Figura 8.1 - Diagrama del proceso de lavado y peinado de lana

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Los principales residuos generados en el proceso de lavado de lana son:

- Agua de lavado
- Polvo de lana
- Lodos biológicos de limpieza de lagunas

Como se señaló anteriormente, la grasa de lana y las fibras cortas son comercializadas como subproductos y por lo tanto no se consideran en el análisis de los residuos generados por la industria.

En la Tabla 1.3 se lista el índice de generación por UP de cada residuo, así como el punto de generación en el sistema y las características principales de los mismos. La información de índices de generación de los residuos sólidos (polvo de lana y lodos de laguna) fue obtenida de un relevamiento de datos realizado por BIOVALOR a partir de datos de las empresas del sector. El índice de generación del agua de lavado fue tomado de Gutiérrez (2010).

Tabla 8.1 – Residuos de lavado de lanas

Residuo	Índice de generación	Unidades	Punto de generación
Agua de lavado	8.5	m ³ /UP	3
Polvo de lana	25	kgST/UP	7
Lodos biológicos de limpieza lagunas	2.2	kgST/UP	PTE

De los residuos listados anteriormente, el polvo de lana no presenta características que indiquen que tiene buen potencial para ser tratado anaeróbicamente. Por otra parte, los lodos biológicos de limpieza de lagunas suelen tener muy bajos contenidos de sólidos volátiles y son retirados esporádicamente por lo que tampoco serían un sustrato adecuado para la digestión anaerobia. Además, si el agua de lavado, que si es un buen residuo para ser tratado anaeróbicamente, es efectivamente tratada de esta manera la producción de lodos biológicos seguramente se vería disminuida.

En la

Tabla 8.2 se puede ver la caracterización del agua de lavado, los datos fueron tomados de Gutiérrez et al. (1999). El agua de lavado contiene todos los residuos eliminados de la lana sucia (suarda, grasa de lana y tierra) con la excepción del porcentaje de grasa de lana que logra ser recuperada y se comercializa como subproducto. Se debe destacar que los valores tomados para el potencial de metanización son concordantes con datos reportados internacionalmente, aunque se encuentran en el rango inferior de los mismos (Schoen y Bagley, 2012).

Tabla 8.2– Caracterización de los residuos de lavado de lanas

Residuo	Sólidos Totales (g/L)	DQO (g/L)	DBO ₅ (g/L)	Lípidos (%ST)	Potencial de metanización (m ³ CH ₄ /m ³ agua de lavado)
Agua de lavado	15 - 80	30 - 150	15 - 40	9 - 50	3.2-8.5

Producción nacional de residuos

En la Tabla 8.3 se presenta una estimación de la producción anual de agua de lavado en las así como el potencial de generación de metano a nivel nacional.

Tabla 8.3 – Producción de agua de lavado y potencial de producción de metano en la industria de lavado de lanas a nivel nacional

Residuo	Producción de residuos (m ³ /año)	Potencial de producción de CH ₄ en el país (millones Nm ³ /año)
Agua de lavado	28.500	0.9 – 2.4

9. INDUSTRIA ACEITERA

Descripción del sector

La industria aceitera en Uruguay puede ser dividida en dos grandes grupos, las que producen aceites refinados y las que extraen aceite de oliva extra virgen, los procesos productivos difieren considerablemente así como el tipo de residuos que se obtienen y los volúmenes de producción que se manejan en cada industria.

En Uruguay se producen aceites refinados a partir de semillas oleaginosas y afrechillo de arroz. Las semillas desde las que se producen aceites son canola, soja y girasol. La canola se siembra desde abril hasta junio en el oeste, centro, este y sur del país, la soja se siembra en noviembre en el litoral sur y en centro del país y el girasol en octubre y noviembre en el norte, este, centro y sur. En la Tabla 9.1 se muestra la producción nacional de aceites de semillas oleaginosas y el consumo de semillas necesario para la elaboración del aceite. De acuerdo a estos datos, se producen 35 mil toneladas de aceite anualmente en el país, el 70% producidos por COUSA+ALUR.

Tabla 9.1. Producción de aceites de semillas oleaginosas en Uruguay.

Industria ↓ Semilla →	Consumo semillas (ton/año)			Producción de aceite (ton/año)		
	Soja	Canola	Girasol	Soja	Canola	Girasol
COUSA y ALUR	60000	25000	10000	10800	10000	3800
Mundirel	33000			5940		
Panarmix	10000			1400		
Biogran	18000			3240		
Subtotal	121000	25000	10000	21380	10000	3800
Total		156000			35180	

Fuentes: ALUR+COUSA página web ALUR, otros de Comercio de soja en Uruguay (REDES - AT Uruguay, 2014)

¹ Los números en cursiva son estimados a partir de los rendimientos de aceite desde semillas publicados por COUSA en su página web (38% girasol, 40% canola y 18% soja).

De acuerdo al Anuario OPYPA (MGAP/OPYPA 2014) la producción proyectada de COUSA y ALUR conjuntamente es de 200.000 toneladas de semillas de canola, girasol y soja para la elaboración de aceite; esto corresponde a un aumento en la producción de aceite de aproximadamente 19 mil toneladas por año, ALUR+COUSA pasaría a producir un total de 78 mil toneladas anuales de aceite de girasol, soja y canola. La producción nacional se incrementará a 54 mil toneladas anuales.

En lo que respecta a la producción de aceite de arroz, Arroz S.A. tiene una capacidad anual de 2000 toneladas de aceite refinado (web CASARONE) y SAMAN en el año 2004 producía 2400 ton de aceite anualmente según el “Diagnóstico Nacional de Residuos Sólidos Industriales y Agro Industriales por Sector Productivo” (MVOTMA/DINAMA 2005). Por lo tanto la producción anual nacional de aceite de arroz se estima en 4400 toneladas.

La producción de aceite de oliva en Uruguay ha venido creciendo en los últimos años. De acuerdo a la información publicada por la Asociación Olivícola Uruguay (ASOLUR) en su sitio web, actualmente existen 18 almazaras (plantas de extracción de aceite de oliva extra virgen) en funcionamiento en Uruguay. La producción alcanzada hasta el momento es de 750 toneladas de aceite por año, pero se proyecta una producción de 10000 toneladas. La extracción de aceite debe realizarse inmediata a la recolección de las olivas, por ende la producción de está concentrada durante la cosecha de los olivares, normalmente realizada de abril a junio.

Descripción del proceso

Etapas del proceso

Aceites refinados

El proceso de producción de aceites refinados puede dividirse en dos etapas, la obtención del aceite crudo de las semillas oleaginosas o el afrechillo de arroz y el posterior refinamiento de este para obtener el producto final a comercializar.

Como se muestra en la el proceso de obtención de aceite crudo comienza con el acondicionamiento de la materia prima para el prensado mediante descascarado (únicamente para semillas), secado y calentamiento con vapor. Las cáscaras de las semillas se queman en caldera. Luego, en la etapa de prensado/molienda se separa el aceite crudo de la torta, el aceite se filtra y almacena para su posterior refinamiento. La torta de filtración obtenida de semillas oleaginosas se utiliza como harina proteica para alimentación animal. En la obtención de aceite de arroz la torta pasa a una etapa de extracción por solvente del aceite que está aún

Tabla 9.2. Índices de generación de residuos sólidos en producción de aceite.

Residuo ↓ Aceite →	Soja/Girasol/Canola	Arroz	Oliva	Unidades
Tierras de blanqueo	4	78	NA	kg/tonAc
Barros PTE	37	37	NA	kg/tonAc
Alperujo	NA	NA	5 - 6	ton/tonAc

Fuente: residuos de producción de aceite de oliva de PROSODOL, otros aceites Informe DINAMA (MVOTMA/DINAMA, 2005).

Caracterización de residuos

De acuerdo al informe de DINAMA (MVOTMA/DINAMA, 2005) los barros de la PTE contienen 80% de humedad y las tierras de blanqueo contienen 30 – 50% de aceites.

En la producción de aceite de oliva, los residuos de almazara se caracterizan por tener un alto contenido de sólidos y una alta carga orgánica, alcanzando hasta 220 g_{DQO}/L (PROSODOL). La composición de los residuos es variable debido a que las aceitunas procesadas diariamente pueden ser diferentes en su origen, tratamiento y variedad. A su vez, las características del residuo dependen de la tecnología de la almazara utilizada para la extracción. En la Tabla 9.3 se muestra la caracterización de residuos de almazaras para España, Italia (PROSODOL) y Túnez (Fezzani y Cheikh, 2008), observándose la alta variabilidad de las propiedades; puede constatarse que se trata de un residuo con un alto contenido de materia orgánica.

Tabla 9.3. Caracterización de residuos de almazaras.

Referencia →	Prosodol.gr	Fezzani y Cheikh, 2008
--------------	-------------	------------------------

Componente (mg/gST) ↓	España	Italia	Residuo sólido
DQO	1373	1101	1180 ± 2
DBO5	118	158	
Sólidos volátiles			970 ± 0.5
Carbohidratos			365 ± 10
Lignina total			450 ± 10
Proteínas totales			125 ± 5
Lípidos totales			110 ± 5
Polifenoles totales			23 ± 5
Nitrógeno NTK			20 ± 1.5
Sólidos totales (g/L)	35.7	73.0	970
pH	4.9	5.2	

El tratamiento anaerobio de los barros grasos generados en la planta de tratamiento de efluentes también es factible de realizarse. El grupo Bioproa realizó un trabajo de codigestión de residuos de diferentes industrias en un reactor piloto instalado en la Facultad de Ingeniería; uno de los residuos utilizados fue el lodo biológico proveniente de la planta de tratamiento de efluentes de COUSA. En la Tabla 9. 4 se muestra la caracterización realizada de éste residuo. El ensayo de biodegradabilidad del mismo resultó en un potencial bioquímico de metano (BMP por sus siglas en inglés) de 206 L_{CH4}/kg_{SV}alimentado en condiciones normales (PTN).

Tabla 9. 4. Caracterización barros PTE Couse (análisis realizados por Bioproa).

Componente	Promedio	Desv.Est.	Min	Max
Sólidos totales (mg/g)	264	92	142	461
Sólidos volátiles (mg/g)	203	82	97	376
Grasas y aceites (mg/gSV)	238	127	65	513
DQO (g/gSV)	2.1	0		
Nitrógeno NTK (mg/gSV)	17	9	11	23

Producción nacional de residuos

Para los lodos grasos de la planta de tratamiento de efluentes, considerando un contenido de sólidos volátiles 203 mg/g en los residuos y un potencial de producción de metano de 206 L_{CH_4}/kg_{SV} alimentado, se obtendrían 61 miles de metros cúbicos normales de metano anualmente.

Las tierras de blanqueo tienen un alto contenido de aceites 30 – 50%, por lo tanto podrían ser consideradas para la producción de biogás mediante digestión anaerobia. Considerando una metanización del 90% y una relación DQO/SV del aceite de 2.8, se obtendría un rendimiento de metano de 882 L_{CH_4}/kg_{SV} . Con este rendimiento se estima un potencial de producción anual de metano de 128 a 213 miles de metros cúbicos normales.

La producción anual de 750 toneladas de aceite de oliva genera aproximadamente 4125 toneladas de residuos de almazaras, aproximadamente 229 toneladas por almazara por año. Considerando la caracterización presentada por PROSODOL (Tabla 9.3), se generan entre 11 y 18 toneladas de DQO por año en el país.

Dada que la generación de residuos en la producción de aceites de oliva se concentra en unos pocos meses del año, podría no ser adecuado realizar un tratamiento anaerobio del residuo usándolo como único sustrato, pero sí se podría considerar la codigestión con residuos de otras industrias. Considerando un rendimiento de producción de metano e 330 L_{CH_4}/kg_{DQO} alimentado (valor estimado con resultados de pruebas de Fezzani y Cheikh (2008), el potencial de producción de metano por digestión anaerobia es de 67 a 109 miles de metros cúbicos normales en el país.

Tabla 9.5. Producción nacional de residuos y potencial de metanización de la industria aceitera.

Residuo	Producción de residuos (ton/año)	Potencial de producción de CH_4 en el país (millones m^3 /año)
Tierras de blanqueo	484	0.14 - 0.17
Barros PTE	1464	0.04 - 0.06
Alperujo	4125	0.07 - 0.09
Total	6073	0.2 - 0.3

10. INDUSTRIA SUCROALCOHOLERA

Descripción del sector

La industria está fuertemente concentrada en dos empresas, Azucarlito y ALUR. La Azucarera del Litoral S.A. (AZUCARLITO) produce azúcar blanco refinado a partir de azúcar crudo importado. Los residuos considerados para el tratamiento anaerobio en este sector se generan en una etapa distinta del proceso (no en el refinamiento de azúcar crudo), por lo que no se consideró la producción de AZUCARLITO en éste análisis.

Por otro lado, Alcoholes del Uruguay S.A. (ALUR) es una empresa sucroalcoholera que elabora principalmente azúcar y etanol a partir de caña de azúcar y sorgo dulce entre otras materias primas. Esta empresa cuenta con diversos emprendimientos en el Uruguay, cada uno de ellos con diferentes tecnologías aplicadas.

ALUR cuenta con una planta de bioetanol en Paysandú que procesa cereales para producir bioetanol, alimento animal seco denominado DDGS y alimento animal húmedo, DWGS. Posee una capacidad de producción de 70 millones de litros de bioetanol y 50 miles de toneladas de DDGS al año. La planta de Paysandú tiene efluente de vinaza (residuo líquido) cero dado que emplea la misma dentro del proceso industrial (CSI Ingenieros, 2015).

La Agroindustria Bella Unión de ALUR produce bioetanol y azúcar a partir de caña de azúcar y sorgo dulce, cuenta con una capacidad instalada de producción de 24 millones de litros de etanol anuales (web ALUR). En el año 2013 la producción de bioetanol alcanzó solo en Bella Unión los 30368 miles de litros (Anuario OPYPA 2014), trabajando por encima de su capacidad nominal. Este emprendimiento cuenta con un proceso productivo con una alta generación de vinaza. El procesamiento de caña de azúcar es de mayo a octubre, por lo que la planta opera aproximadamente 190 días al año.

Descripción del proceso

Etapas del proceso

A continuación se describe el proceso de producción de azúcar y etanol a partir de caña de azúcar llevado a cabo en el emprendimiento de ALUR instalado en Bella Unión.

La caña de azúcar se cosecha y se transporta a la industria para ser procesada, en la recepción de la misma se pesa y se descarga con grúas. Durante el proceso de molienda de caña de azúcar se obtiene el jugo de caña utilizado en la elaboración de azúcar, en este proceso se genera un residuo sólido denominado bagazo. Este residuo generalmente se quema en calderas para generación de vapor, pero otra alternativa podría ser la producción de metano mediante la digestión anaerobia (UdelaR/Bioproa, 2013).

Durante el proceso de clarificación del jugo se eliminan la mayor cantidad de impurezas presentes en el mismo; inicialmente se realiza el encalado mediante la adición de hidróxido de calcio y ácido fosfórico, luego se realiza un calentamiento, con posterior decantación y filtración de los barros. Estos barros son llamados torta de filtración o cachaza y constituyen un residuo sólido que generalmente se dispone como bioabono, aunque podría considerarse un tratamiento anaerobio de la cachaza para producción de biogás.

Posteriormente el jugo clarificado se concentra mediante el proceso de evaporación, donde se elimina cerca del 80% del agua y se obtiene un jarabe. Este se transforma en cristales mediante una combinación determinada de presión y temperatura en los procesos de cocimiento y cristalización. Luego se separan los cristales de azúcar crudo (azúcar rubio) de la melaza mediante centrifugación. El azúcar rubio se refina para obtener el principal producto comercializado, azúcar blanco refinado.

La melaza se utiliza para la producción de alcohol mediante la fermentación del azúcar remanente y separación del alcohol de la vinaza por destilación. La vinaza es un residuo líquido con un alto contenido de materia orgánica que puede ser tratado anaeróbicamente. Durante el proceso de fermentación también se obtiene un residuo compuesto por las levaduras responsables de llevar a cabo la reacción.

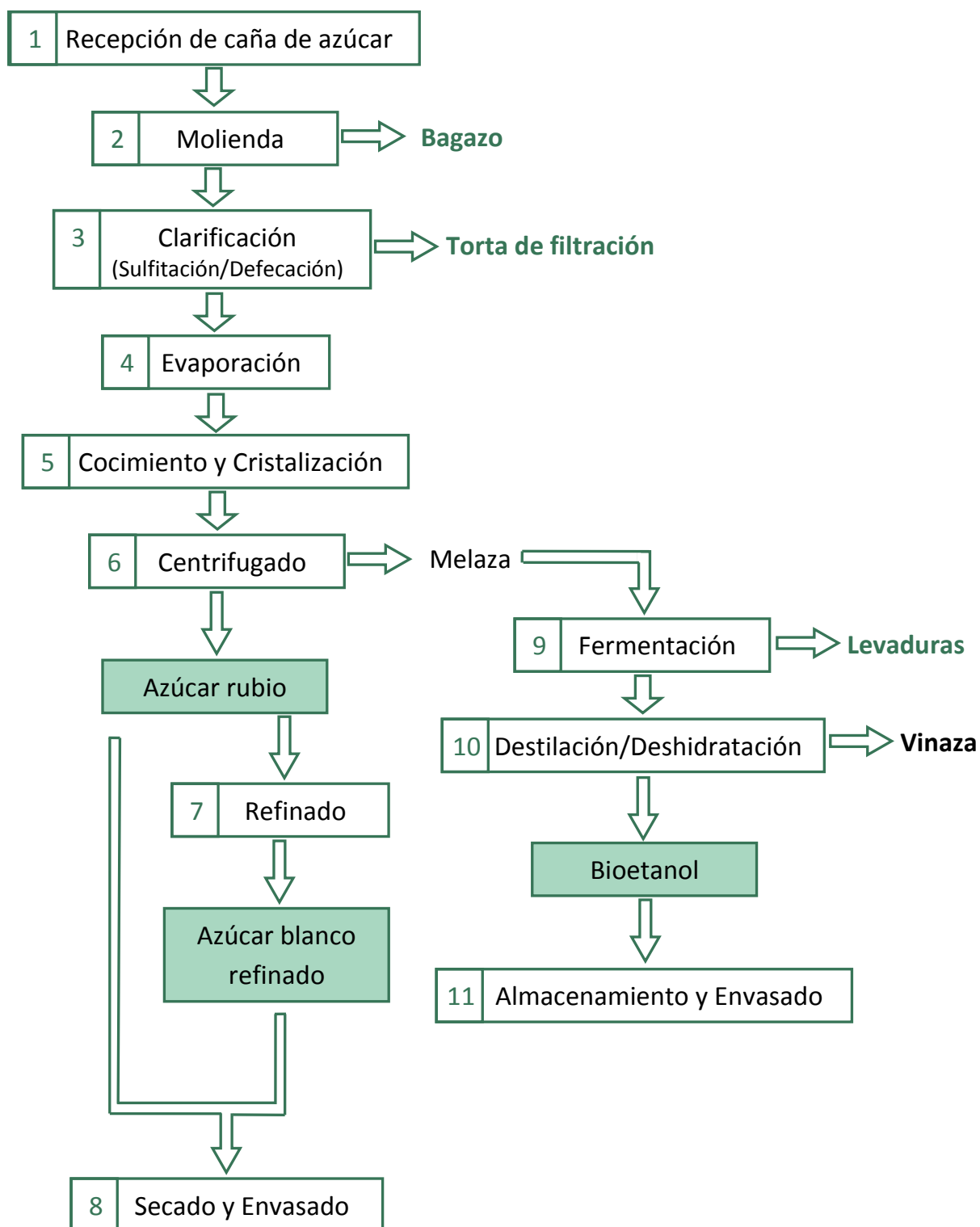


Figura 10.1. Diagrama de flujo de producción de azúcar y bioetanol a partir de caña de azúcar.

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Índices de generación

El bagazo puede alcanzar entre un 26 % a un 29 % del peso de la caña molida (Alarcon *et al.* 2006). De acuerdo a lo publicado en el Anuario de OPYPA (MGAP/OPYPA, 2014) ALUR produjo 30368 metros cúbicos de bioetanol e ingresaron 434069 toneladas de caña de azúcar al proceso. Por lo tanto, se estimó un índice de generación de bagazo de caña de 3.9 toneladas por metro cúbico de etanol producido, Tabla 10. 1.

La empresa ALUR Bella Unión proporcionó datos, en agosto del 2015, sobre generación de residuos anuales y producción de bioetanol. En base a esta información se estimaron los índices de generación de la Tabla 10. 1. Se sabe además que, de acuerdo a la bibliografía, por litro de etanol producido se generan unos 13 a 15 litros de vinaza (UdelaR/Biopropa, 2013).

Tabla 10. 1. Índices de generación de residuos en producción de azúcar y alcohol a partir de caña

Residuo	Índice de generación	Referencia
Vinaza	12.5 m ³ /m ³ _{etanol}	Datos proporcionados por ALUR (agosto 2015)
Torta de Filtración (Cachaza)	0.90 ton/m ³ _{etanol}	
Levaduras	7.5 kg/m ³ _{etanol}	
Bagazo de caña (quema)	3.9 ton/m ³ _{etanol}	Alarcon et al. (2006)

La empresa también informa la generación de lodos de sedimentación de las piletas que reciben el agua de lavado de la caña y está mayoritariamente compuesto por tierra y restos de caña. Por lo tanto, este es un residuo estabilizado que se dispone en terreno sin inconvenientes, y no será considerado en el estudio.

Caracterización de residuos

De acuerdo a lo publicado por Alarcon *et al.* (2006), el bagazo de caña tiene una humedad entre 46 a 52%, sólidos particulado entre 40 y 46% y sólidos solubles de 6 a 8%.

La cachaza es un residuo rico en materia orgánica y tiene una humedad del entorno de 70%, se puede estimar un contenido de materia orgánica de hasta $0.85g_{sv}/g_{st}$ como máximo.

La composición de la vinaza depende del proceso que se emplee así como de la materia prima desde la cual se parte, en la Tabla 10. 2 se muestra un resumen de caracterizaciones de vinazas de distintos orígenes. Por otra parte, se ha realizado el seguimiento del reactor piloto anaerobio instalado en ALUR Bella Unión, el valor de DQO medio presentado durante 106 días de operación fue de $36 g_{DQO}/L$ y la eficiencia de remoción fue de 65%. Asumiendo una metanización (fracción de la DQO removida que pasa a metano) del 80% (López et al., 2012), se estimó un índice de producción de metano respecto al DQO alimentado de $0.182 Nm^3/kg_{DQO}$.

Tabla 10. 2. Índices de generación de residuos en producción de azúcar y alcohol a partir de caña

Parámetro	Melaza de caña	Jugo de caña	Melaza de remolacha	Otros celulósicos
DBO5 (g/L)	39	17	45	28
DQO (g/L)	85	30	91	61
Nitrógeno NTK (g/L)	1.2	0.6	3.6	2.8
Fósforo total (mg/L)	190	130	160	30
Potasio (g/L)	5.1	2	10	0.04
Sulfato (g/L)	3.5	1.47	3.7	0.7
pH	4.46	4.04	5.35	5.35

Fuente: López et al. (2012)

Producción nacional de residuos

Se estimó la producción nacional anual de residuos en la industria sucroalcoholera como los residuos producidos por la planta industrial de ALUR ubicada en Bella Unión, Tabla 10.3.

Se estima una producción anual de vinaza a nivel nacional de 300 millones de litros, producidos por el emprendimiento ALUR Bella Unión. Luego, considerando un índice de producción de metano de $0.182 m^3N/kg_{DQO\text{alimentado}}$ y una concentración de vinaza de $36 g_{DQO}/L$,

la producción de biogás a partir del tratamiento anaerobio de vinaza resultaría de 1.96 millones de metros cúbicos normales de gas por año para el emprendimiento de ALUR Bella Unión.

Tabla 10.3. Generación nacional de residuos y potencial de metanización en la producción de azúcar y alcohol a partir de caña

Planta Industrial →	Bella Unión	Unidades ↓	Potencial de producción de CH ₄ en el país (millones m ³ /año)
Producción →	24000	m ³ _{etanol} /año	
Generación residuos			
Vinaza	300000	m ³ /año	1.6 - 2.2
Torta de Filtración (Cachaza)	21600	ton/año	3.2 - 3.7
Levaduras	180	ton/año	-
Bagazo (subproducto - quema)	94338	ton/año	-

Nota: Para el cálculo se utilizaron los índices de la Tabla 10. 1

La cachaza es un residuo rico en materia orgánica que actualmente se utiliza para compostaje. Considerando un contenido de materia orgánica de 0.49 g_{SV}/g (70%SV/ST, 70%Humedad), una metanización del 90% y una relación DQO/SV de 1.1, se obtiene un rendimiento de metano de 0.35 L/g_{SV}. Por lo tanto, el potencial de producción de metano por digestión de cachaza podría ser de 3.7 millones de metros cúbicos normales de metano.

11. VINERÍAS Y SIDRERÍAS

Descripción del sector

El Uruguay se encuentra en una zona privilegiada para la producción de vinos debido al clima subtropical húmedo. La mayoría de las bodegas se ubican en los departamentos de Canelones y Montevideo, seguidos por San José y Colonia (ver figura 11.1).



Figura 11.1. Principales zonas vitivinícolas en Uruguay. Fuente: INAVI

En cuanto a las cantidades producidas, cabe destacar que en su gran mayoría son consumidas por el mercado interno y por tanto su variabilidad depende en forma importante de los precios de mercado de la oferta de vinos importados.

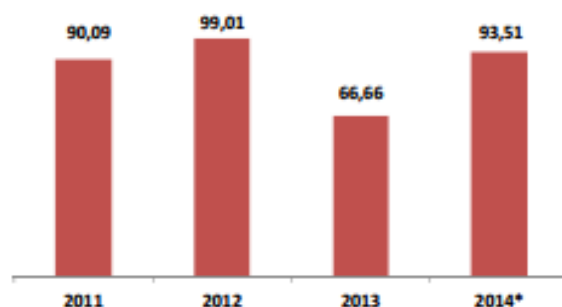


Figura 11.2. Producción de vinos en Uruguay en millones de litros. Fuente: INAVI-datos a nov-2014

En base a los datos obtenidos en el anuario estadístico agropecuario 2014 (DIEA-MGAP), se estima la producción de vinos anual en Uruguay en 83.000 m³ (promedio año 2006-2013), valor distribuido entre un total aproximado de 240 bodegas.

En cuanto a los tamaños de producción de dichos establecimientos pueden establecerse rangos para categorizar a las distintas bodegas, y las mismas se distribuyen como se describe en la tabla 11.1 a continuación. De dicha tabla puede observarse que si bien hay un gran número de empresas en los rangos I y II, más del 70% de la producción total se concentra en los rangos IV y V que abarcan apenas más del 20% de las empresas totales del sector.

Tabla 11.1. Distribución de la producción de vino por rangos, año 2012. Fuente: INAVI, Elaboración de vino año 2012, a partir de declaración jurada proporcionada al 30/06/2009

	Cantidad (L)	Total (L)	% del total	Empresas	%empresas
Rango I	<100.000	3485429	4%	78	32%
Rango II	100.001-250.000	10910630	11%	67	28%
Rango III	251.000-500.000	14981889	15%	42	17%
Rango IV	500.001-1.000.000	19259499	20%	29	12%
Rango V	>1.000.000	49727514	51%	25	10%
Totales		98364961	100%	241	100%

Respecto a la producción de Sidra en el país, las frutas más utilizadas con dicho fin son las peras y manzanas con una importante preponderancia de estas últimas. De acuerdo a la Encuesta Agroindustrial Hortifrutícola 2010 (datos 2009/10), se utilizan unas 8850 toneladas anuales de manzana para la producción de esta bebida.

Los datos de producción anual de sidras (tabla 11.2), son también obtenidos de INAVI, dado que es este mismo organismo quien las regula. Esto se relaciona con el hecho de que muchas de las bodegas identificadas como vinícolas, tienen producción paralela de sidras. La tabla a continuación resume los metros cúbicos anuales producidos en Uruguay de sidra (ya sea a base de manzana o peras). En base a los datos presentados en la tabla, el promedio utilizado para la estimación de los residuos sería de unos 7000 m³. Sin embargo, cabe hacer la salvedad de que aproximadamente el 70% de la sidra producida anualmente se hace en época de zafra y esto hace que la generación de residuos de este origen no mantenga niveles parejos a lo largo del año.

Tabla 11.2. Producción de sidra en Uruguay. Fuente: INAVI, Ventas y existencias de vino 2011-2014

Año	2014	2013	2012	2011
Elaboraciones de sidra	2360813	2279568	2494920	3245311
Sidra elaborada zafra	5033660	4449455	3223123	5022169
Total de elaboración de sidra	7394473	6729023	5718043	8267480

En cuanto a los datos de consumo de energía promedio del sector, se tomó información de origen chileno (Manual de mejores técnicas disponibles, Sector vitivinícola en la región del Maule) correspondientes al año 2010, donde se indica que aproximadamente por m³ de vino producido se consumen 200kWh.

Al respecto del consumo de agua, se tienen referencias de bodegas argentinas (Nazralla *et al.*, 2003) que informan valores promedio 3.1 m³ por unidad de producción (UP= 1 m³ de vino o sidra).

Descripción del proceso

En este caso, es necesario describir independientemente la producción de vinos de la sidra ya que parten de una materia prima distinta y además las etapas de los procesos difieren significativamente

Producción de vinos

Previo al comienzo del proceso de producción de vino se encuentra la etapa de vendimia que principalmente se extiende entre los meses de febrero y abril. Luego la producción puede llegar a ocupar el resto del año, dependiendo del tipo de vino fabricado (Diagnóstico DINAMA, 2005).

Dado que existen muchas variedades de vino, a modo de abarcar los procesos mayoritarios de producción se distingue el de los vinos blancos y tintos. El diagrama de flujo incluido (figura 11.3) es el correspondiente a la producción de vino tinto, y se hace la aclaración de las diferencias para el caso del vino blanco.

Etapas del proceso

Molienda

Es la etapa en la que se produce la ruptura de la uva segregándose el primer residuo del proceso que comprende los tallos del racimo que lo unen a los granos, denominado escobajo (aproximadamente un 3% en peso). El producto de esta etapa es el jugo con pulpa de uva molida conocido como mosto.

Encubado

El mosto proveniente del proceso de molienda es trasvasado a cubas en las que se le agregan levaduras y dióxido de azufre (antiséptico selectivo de levaduras, antioxidante).

Fermentación

En esta etapa los azúcares contenidos en el mosto son transformados a etanol mediante la acción de las levaduras. Este proceso se ve acompañado de liberación de dióxido de carbono y calor.

Prensado

Mediante la acción de filtros se separan la piel y semillas del jugo obteniéndose un nuevo residuo denominado orujo. En el caso del vino blanco esta etapa se realiza posterior a la molienda.

Clarificación

Se agregan sustancias coadyuvantes (bentonita, caseína) y se dejan decantar los sólidos que constituyen la borra.

Añejado o agregado de tartratos

Este proceso se realiza principalmente en vinos tintos de buena calidad y el añejamiento se lleva a cabo de preferencia en cascos de roble. Los vinos blancos también pueden ser añejados y si esto se realiza en frío, los sólidos son separados simplemente por sedimentación.

Para los vinos que se comercializan jóvenes es necesario eliminar el excedente de tartratos y esto puede hacerse por enfriamiento junto con el agregado de materiales gelatinosos. Estos tartratos podrían considerarse otro residuo del proceso o en algunos casos un subproducto ya que es comercializable.

Filtración

Previo al embotellado se realiza la filtración del vino mediante ayuda filtrante (principalmente tierras diatomeas) para evitar cualquier tipo de turbidez en el producto. Las tierras diatomeas son por tanto otro residuo generado en este proceso.

11.1 Elaboración de vinos

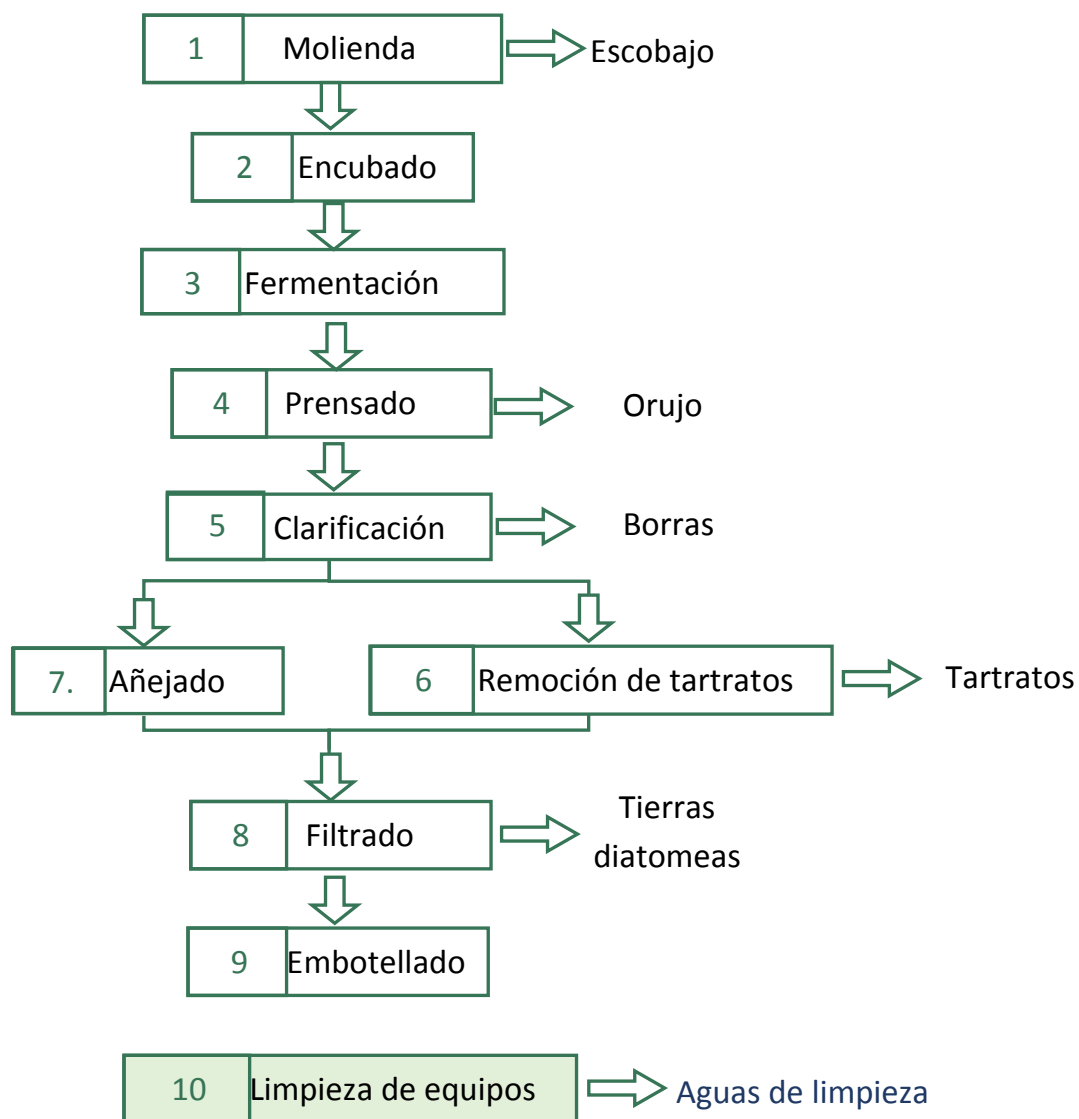


Figura 11.3. Diagrama de flujo del proceso de producción de vinos

Producción de sidras

La primera etapa previo al comienzo de la fabricación de sidra es la cosecha de la fruta (manzana o pera), sin embargo en este análisis no se incluyen los residuos generados en el campo por lo que se comienza por la recepción de la materia prima a utilizar, más precisamente, por la selección de la misma.

Recepción de materias primas

Las materias primas a granel son descargadas y en esta etapa se elimina todo lo que no es fruta, como restos de tallos, ramas, hojas, etc. Se seleccionan y descartan las frutas de calidad inadecuada, como sobremadura, podrida, machucada, con heridas o inmaduras.

Limpieza e inspección

Consiste en eliminar la mayor cantidad de sustancias extrañas en la fruta, como tierra, residuos y hojas. Si se pasó de alto alguna fruta podrida de la etapa anterior, la misma se descarta en esta etapa. A su vez, se deberán cortar y desechar las partes de la manzana que tengan manchas oscuras o machucones.

Triturado

Una vez que la fruta está limpia puede ser procesada. Es importante triturar la manzana lo máximo posible, ya que de esta manera se obtendrá la mayor cantidad de jugo.

Macerado

La operación consiste en exponer al aire durante cierto tiempo la pulpa triturada de la manzana, en cubas de madera de escasa altura y gran superficie. Dura entre 12 y 24 horas, aunque generalmente no se prolonga por más de 18 horas.

Prensado

Esta es la etapa donde se obtiene el mosto de manzana o mosto dulce. Las manzanas trituradas se vuelcan a la prensa y por la acción de ésta, el jugo fluye desde los trozos de fruta a un recipiente contenedor situado por debajo. El sólido prensado se llama orujo. Contiene la pulpa prensada, cáscaras y semillas.

Corrección del mosto

El mosto, no presenta siempre la misma composición ya que varía con la época del año y con el tipo de manzana utilizada entre otros. Algunas veces el mosto presenta gran cantidad de materias extrañas en suspensión; otras es bastante claro; puede tener también un exceso de

acidez, etc. Los principales tratamientos y correcciones que se hacen a los mostos son los siguientes: filtración; acidificación o corrección de la acidez; tanificación o corrección del tanino; y el empleo del anhídrido sulfuroso.

Fermentación

En esta etapa se adiciona la levadura para que suceda la transformación de los azúcares a alcohol. La presencia de gas indica que se están produciendo las reacciones asociadas a la fermentación alcohólica, que incluyen la conversión de los azúcares del jugo de manzana a alcohol etílico (etanol), anhídrido carbónico (gas carbónico) y calor. Las burbujas de gas, arrastran consigo impurezas menos pesadas que el mosto contiene, así como algunos de sus componentes formando en la superficie una masa espumosa llamada “sombrero”.

Durante la fermentación, además, se produce en los caldos una calma o reposo, debido a la cual se van depositando en el fondo de las impurezas insolubles que todavía se encuentran en suspensión. Estas sustancias constituyen el depósito fangoso denominado heces o borras. Tanto el “sombrero” como las heces son separadas de la sidra mediante trasiego de la misma.

Segunda fermentación

La sidra una vez trasegada experimenta una fermentación complementaria que continúa hasta que toda el azúcar del líquido se haya transformado en alcohol. El tiempo de esta segunda fermentación será hasta que los grados de alcohol (° gl) de la sidra sean los requeridos (entre 4 y 6° gl).

Embotellado gasificación y etiquetado

El embotellado puede realizarse por medio de una máquina embotelladora acoplada a una gasificadora. La gasificación consiste en agregar ácido carbónico al tiempo de embotellar la sidra. La botella debe ser tapada inmediatamente después de la gasificación.

11.2 Fabricación de sidra

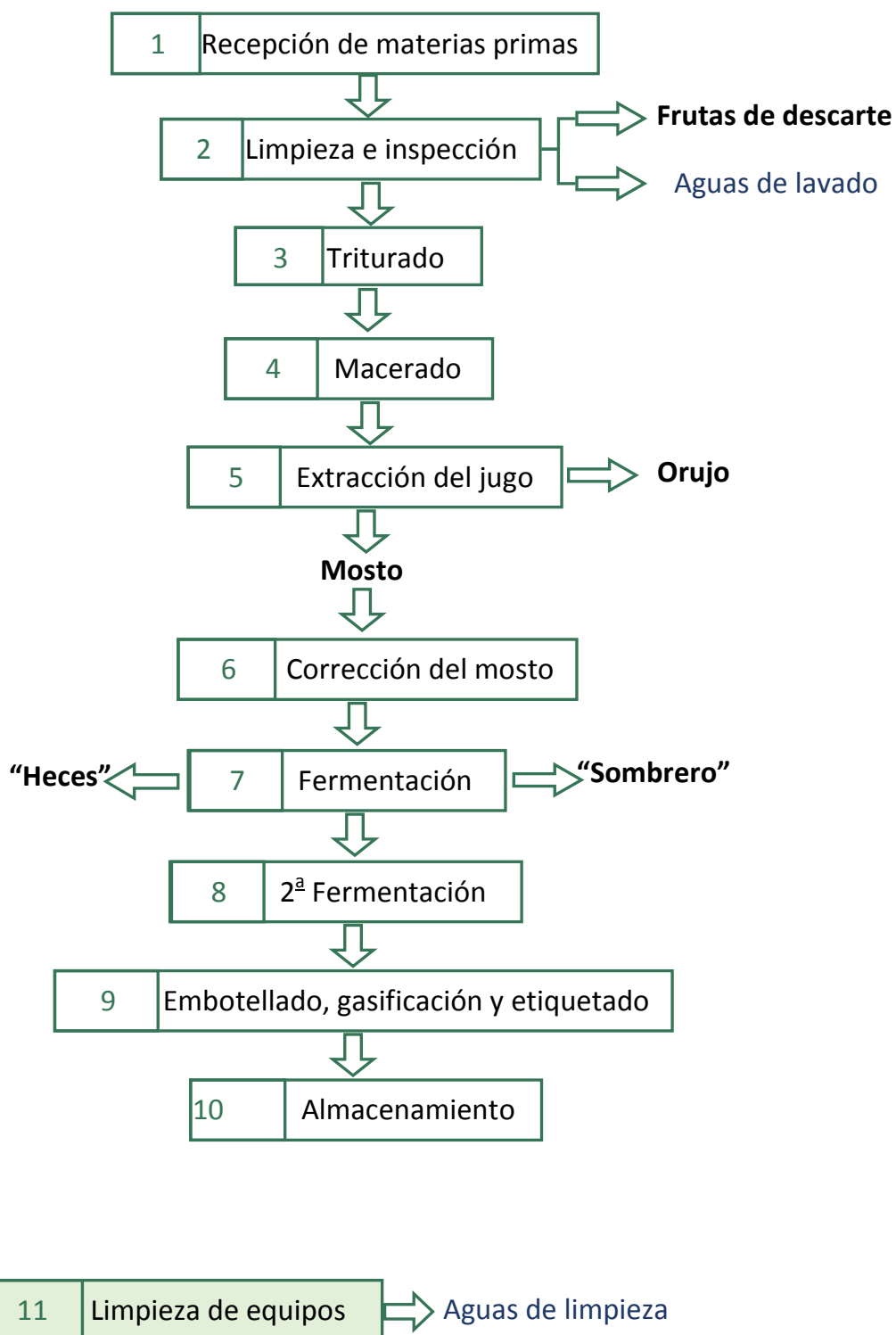


Figura 11.4. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de sidra

Residuos generados

Como fue descripto en cada etapa del proceso correspondiente los residuos generados en la producción de vinos y sidras son los resumidos a continuación:

Líquidos

- Aguas de limpieza de frutas y equipos

Sólidos

- Escobajo: tallos y partes verdes del racimo de uva
- Orujo: piel, semillas, etc.
- Borrás: sólidos de decantación
- Tartratos: sales del ácido tartárico que cristalizan en paredes de los fermentadores
- Tierras diatomeas: obtenidas en el filtrado del vino
- Frutas de descarte: en la selección, principalmente de manzana para sidra
- “Sombrero”: impurezas de la fermentación de sidra flotadas por el dióxido de carbono

Los índices de generación de los efluentes líquidos de ambos sectores se encuentran resumidos en la tabla 11.3 y surgen de un estudio realizado en bodegas argentinas de Mendoza (Nazrala *et al.*, 2003), mientras que los correspondientes a los residuos sólidos generados se incluyen en las tablas 11.4 y 11.5 para vinería y sidrería respectivamente. Cabe destacar que los tartratos y tierras diatomeas no fueron cuantificados ya que por cantidades y propiedades no resultan relevantes para los procesos de digestión anaerobia. La fuente para las cantidades de residuos sólidos generados para el caso de vinería es el diagnóstico nacional de residuos sólidos de DINAMA, 2005. Por otro lado, los de sidrería, dado que no se encontraron datos para el país se tomaron referencias internacionales de Chile.

En cuanto a la disposición de los residuos, de acuerdo al informe de DINAMA del año 2004, el escobajo de vinería tiene como destino su quema o disposición en terreno, y tanto el orujo (que corresponde al residuo mayoritario) como las borras, si no son reutilizados por terceros también son neutralizados con cal y posteriormente dispuestos en terreno. Además, en el caso

de las bodegas de mayor tamaño que cuentan con planta de tratamiento para efluentes, los lodos generados son considerables dado que como parte del tratamiento suele agregarse FeCl_2 lo cual un alto contenido de Fe_2S en dichos lodos.

Tabla 11.3. Residuos líquidos de producción de vinos y sidra

Residuo	Generación ($\text{m}^3/(\text{UP})^1$)	Punto de generación	Materia orgánica (kgDQO/m^3)	Sólidos suspendidos (kgSST/m^3)
Aguas de lavado vinería	3.1	10	3-6	0.2-0.5
Aguas de lavado sidrería	2.9	2 10	0.7	0.1

¹ UP: metros cúbicos de vino o sidra

Tabla 11.4. Residuos sólidos de vinería

Residuo	Generación (kg/UP^3)	Punto de generación	Materia orgánica(%SV/ST)	Humedad (%)
Escobajo	37.5	1	0.9 ¹	75 ¹
Orujo	112.5	4	0.9 ²	80 ²
Borras	37.5	5	0.76 ²	80 ²

¹Ruggieri *et al.*, 2009

² Bustamante *et al.*, 2008

³ Base húmeda

La composición de los distintos residuos en cuanto a sólidos volátiles y materia orgánica fue obtenida a partir de referencias internacionales. Para el caso de sidrería se tomaron valores aproximados, similares a los de vinería.

Tabla 11.5. Residuos sólidos de sidrería

Residuo	Generación (kg/UP^1)	Punto de generación	Materia orgánica(%SV/ST)	Humedad (%)
Frutas de descarte, orujo, borras y "sombbrero"	280	2 5 7	90	80

¹ Base húmeda

Los valores de potencial de metanización para los residuos, en el caso de líquidos fueron calculados a partir de la DQO, considerando un 90% de biodegradabilidad. Por otra parte, los informados para sólidos se obtuvieron de referencias internacionales (Gunaseelan *et al.*, 2004 y Gali *et al.*, 2009 para vinería y sidrería respectivamente).

Tabla 11.6. Potencial de metanización de residuos de vinería y sidrería

Residuo	Potencial de metanización		Potencial de producción de CH ₄ en el país (millones Nm ³ /año)
	(Nm ³ CH ₄ /kgSV)	(Nm ³ CH ₄ /m ³)	
Efluentes líquidos vinería		1.05 – 3.10	0.27 – 0.80
Efluentes líquidos sidrería		0.20 – 0.25	0.004 – 0.005
Escobajo	0.15 – 0.18		0.43 – 0.51
Borras y orujos de vinería	0.25 - 0.28		2.15 -2.43
Sólidos de sidrería	0.15 – 0.18		0.26 – 0.3
Totales			3.4 – 3.7

12. FRIGORÍFICOS

Descripción del sector

La industria frigorífica es uno de los sectores de mayor relevancia a nivel nacional. En 2014 el país contaba con 42 establecimientos frigoríficos, incluyendo dentro de esta categoría aquellos que realizan faena de bovinos, ovinos, porcinos y/o equinos. Dentro de estas categorías, es la faena de bovinos la que tiene mayor porcentaje tanto de cabezas faenadas como de industrias. El promedio de cabezas faenadas anuales, de acuerdo a los datos informados en los respectivos anuarios estadísticos (INAC), asciende a unos 2:200.000 bovinos, 1:500.000 ovinos, 39.000 equinos y 186.000 porcinos.

Con el objetivo de poder cuantificar globalmente los residuos generados en el sector, se utiliza un factor de equivalencias que permite referir ovinos, porcinos y equinos a unidades de ganado bovino (UGM, Unidad de Ganado Mayor) (Tabla 12.1). Los valores tomados como referencia provienen de una fuente española (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2009), y son avalados además aproximadamente por la relación de los pesos promedio de los animales de cada categoría calculados a partir de la información incluida en el anuario estadístico 2014 de INAC. A lo largo de este capítulo se utilizará la UGM como unidad productiva.

Tabla 12.1. Tabla de equivalencias para pasar a base de ganado bovino

Especie	Peso promedio	UGM
Bovino	478.4	1
Equino	391.4	0.9
Ovino	37.7	0.15
Porcino	95.3	0.25

Los residuos de mayor relevancia serán los provenientes de la faena de especies bovinas.

Para el cálculo de los promedios de producción por unidad productiva (UGM) (tablas 12.3, 12.4 y 12.5), resulta necesario realizar una categorización de las mismas, para cada especie faenada dependiendo del número anual de cabezas correspondiente. En el caso de equinos no se realiza clasificación por ser sólo 3 empresas en el sector, y además manejan una cantidad promedio similar entre 8000 y 17000 cabezas anuales.

Tabla 12.2. Producción nacional anual, equivalentes bovinos. Fuente: INAC, anuario estadístico 2014

	Bovinos	Ovinos	Porcinos	Equinos	Totales
Cabezas faenadas anualmente:	2055016	1399608	194068	36185	3684877
UGM:	1	0.15	0.25	0.9	
Equivalente de Cabezas UGM faenadas anuales	2055016	209941	48517	32566	2346041
% de la producción nacional:	87.6%	8.9%	2.1%	1.4%	100%
Número de establecimientos:	35	20	9	3	42¹

El total no se corresponde con la suma de cada sector dado que algunos frigoríficos tienen faena de más de una clase de ganado.

Tabla 12.3. Promedios de producción por tamaño de unidad productiva para bovinos. Fuente: INAC, anuario estadístico 2014

Establecimientos bovinos	Producción anual (cabezas)	N° de establecimientos	Promedio de cabezas	Porcentaje
Grandes	> 90000	11	123933	65%
Medianos	30000 - 90000	11	58323	30.5%
Chicos	< 30000	13	7607	4.5%

Tabla 12.4. Promedios de producción por tamaño de unidad productiva para ovinos. Fuente: INAC, anuario estadístico 2014

Establecimientos ovinos	Producción anual (cabezas)	N° de establecimientos	Promedio de cabezas	Porcentaje
Grandes	> 130000	6	181495	75.5%
Medianos	40000 - 130000	4	67982	19.0%
Chicos	< 40000	10	8450	5.5%

Tabla 12.5. Promedio de producción por tamaño de unidad productiva para porcinos. Fuente: INAC, anuario estadístico 2014

Establecimientos porcinos	Producción anual (cabezas)	N° de establecimientos	Promedio de cabezas	Porcentaje
Grandes	> 20000	2	7301	81%
Chicos	< 20000	7	481	19%

Descripción del proceso

Etapas del proceso

Recepción de ganado y corrales

Incluye la recepción del ganado y el encierro con determinado tiempo de antelación al sacrificio para permitir reposar al animal al cual posteriormente se le harán los estudios necesarios.

Evaluación veterinaria

Esta etapa implica la realización de estudios al animal previo a su muerte con el fin de separar del proceso aquellos animales considerados “enfermos”

Aturdimiento/Noqueo

La gran mayoría de las veces implica un disparo con pistola neumática y/o descarga eléctrica.

Sangría

Mediante un corte en las arterias del cuello, se produce la muerte del animal por desangrado.

Cuereado/Escalado

Una vez provocada la muerte del animal, se les corta las extremidades y cuernos para realizarles el cuereado o escalado. Previamente o a posteriori se les separa las cabezas que son lavados y sometidas a inspección.

Evisceración

Se le realiza un corte longitudinal al animal el cual puede ser complementado con el aserrado del esternón para extraer las menudencias rojas y verdes.

División en media res

Consiste en el corte longitudinal del animal con sierra eléctrica, a lo largo de su columna vertebral, en dos partes. Esta etapa no suele utilizarse en la especie ovina.

Inspección veterinaria

Se inspeccionan las canales, cabeza y vísceras para determinar su aptitud sanitaria y comestible. En caso que no cumplan con la calidad requerida se decomisan y se desnaturalizan para impedir su uso como alimento.

Lavado

Etapa donde se lavan y se pesan las canales. Hasta aquí se generan efluentes denominados aguas rojas.

Enfriado/maduración

Las canales son sometidas a un proceso de enfriado en condiciones controladas para facilitar su conservación y procesamiento posterior.

Desosado

Implica el deshuesado y despiece de cortes, prolijado y desgrase y la consiguiente generación de subproductos (huesos, grasa, etc.).

Procesamiento final

Por último las carnes se cortan, se deshuesan o no, se clasifican y se preparan para la distribución y despacho, que puede incluir empaque al vacío o no, enfriamiento o congelado posterior.

12. Frigoríficos

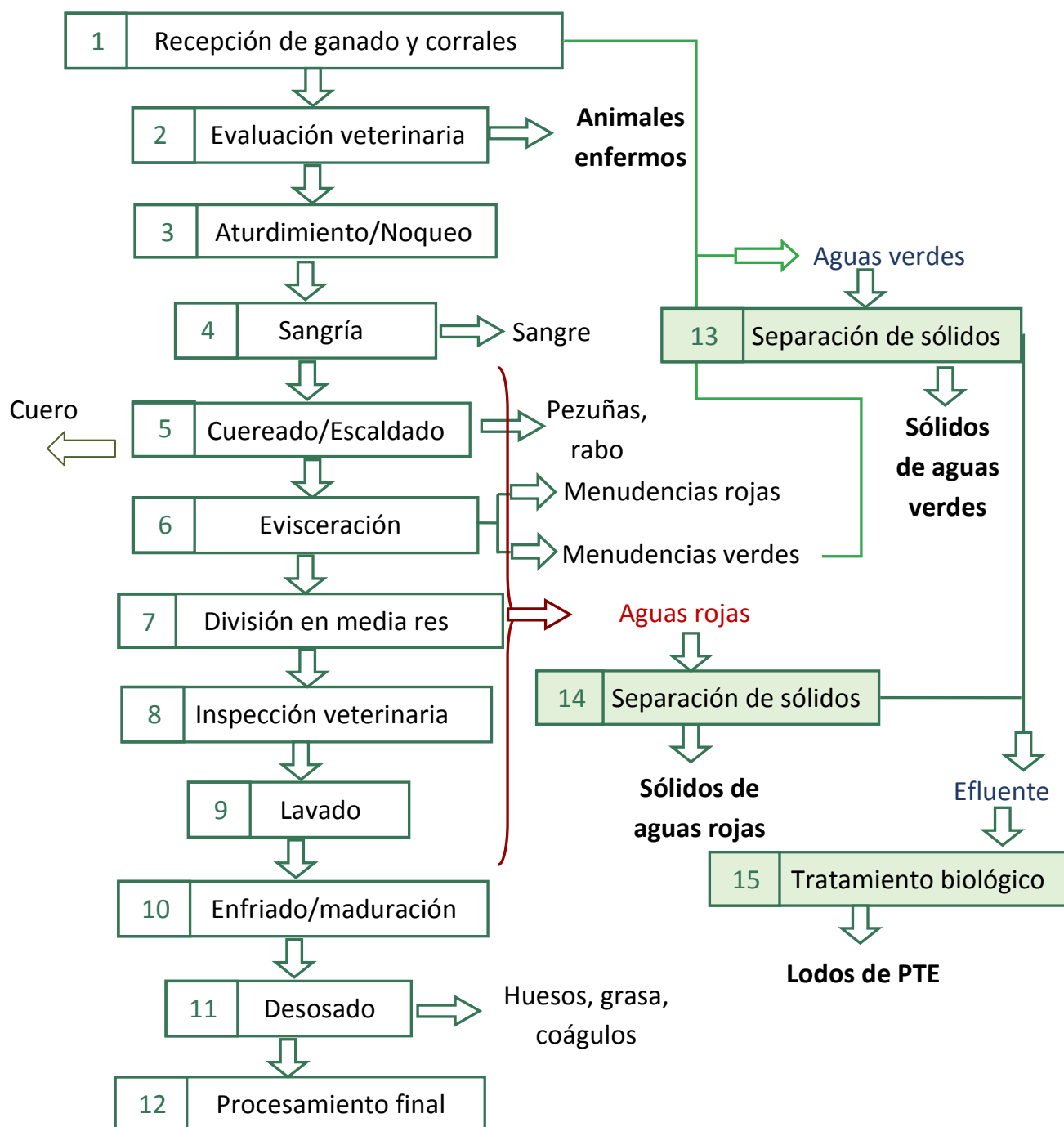


Figura 12.1. Diagrama de flujo del proceso de frigoríficos

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Cabe destacar, que si bien la cantidad de residuos generados dependen de la escala de la unidad productiva, también es fuertemente dependiente de los procesos llevados a cabo y dado que se tiene información muy variada, incluso dentro de una misma categoría de establecimiento, se decide considerar valores promedio de generación para cada sector y no categorizarlos por tamaño. Los principales residuos generados en los establecimientos de faena, con valor interesante para la digestión anaerobia son los siguientes:

Líquidos

- Aguas verdes. Se generan fundamentalmente por el lavado de corrales y en parte en la evisceración.
- Aguas rojas. Se generan en las etapas que van desde el sangrado hasta el lavado de los cortes de carne.

Sólidos

- Sólidos de tratamiento de aguas verdes, estiércol, contenido ruminal e intestinal
- Sólidos de tratamiento de aguas rojas
- Sólidos de laguna de tratamiento de efluentes
- Animales decomisados

Para el cálculo de los índices de generación de estos residuos por UP (UGM) se tomaron datos de las Declaraciones juradas (DJ) de las empresas de las cuales se contaba con información y se calcularon promedios.

Las tablas 12.6, 12.7, 12.8 y 12.9 a continuación incluyen el índice de generación por UP promedio de cada residuo (líquido y sólido respectivamente), el punto de generación en el proceso, así como la caracterización principal de ellos. Debido a la similitud en el proceso de

faena de bovinos, equinos y ovinos, se consideran los mismos índices de residuos líquidos para ambos procesos. Los índices de generación para el caso de porcinos fueron obtenidos de referencias argentinas (Vicari, 2012).

Tabla 12.6. Residuos líquidos de faena

Residuo	Generación bovinos y ovinos (m ³ /(UP))	Generación Porcinos (m ³ /(UP))	Punto de generación	Mat. Org. total (kgDQO/m ³)	Mat. Org. Soluble (kgDQO/m ³)	Sólidos suspendidos (kgSST/m ³)	Componentes principales
Aguas verdes	0.485	2.0	1; 6	21	3.6	12	grasas, proteínas
Aguas rojas	0.97	1.0	4; 5; 6; 9; 11	6.7	2.4	1.9	grasas, proteínas

Para el caso de los residuos sólidos, se presentan tres tablas independientes, que corresponden a bovinos y equinos, ovinos y porcinos. Los animales decomisados no fueron cuantificados dado que por normativa deben ser incinerados al igual que los materiales del sistema nervioso. Los índices de generación corresponden a valores promedio calculados por UGM obtenidos del a partir de los datos obtenidos del Diagnóstico Nacional de Residuos Sólidos de DINAMA, 2005.

Tabla 12.7. Residuos sólidos de faena de bovinos y equinos

Residuo en faena bov/equinos	Generación (kg _{bs} /UP_UGM)	Punto de generación	Materia orgánica (%SV/ST)	Humedad (%)
Sólidos de aguas verdes	5.3	1; 6; 14	90	87
Sólidos de aguas rojas	0.6	13	90	85
Sólidos de tratamiento de efluentes	6.5	15	85	85

Tabla 12.8. Residuos sólidos de faena de ovinos

Residuo en faena ovinos	Generación (kg _{bs} /UP_UGM)	Punto de generación	Materia orgánica (%SV/ST)	Humedad (%)
Sólidos de aguas verdes	3.2	1; 6; 14	90	87
Sólidos de aguas rojas	0.4	13	90	85
Sólidos de tratamiento de efluentes	4.3	15	85	85

Tabla 12.9. Residuos sólidos de faena de porcinos

Residuo en faena porcinos	Generación (kg _{bs} /UP_UGM)	Punto de generación	Materia orgánica (%SV/ST)	Humedad (%)
Sólidos de aguas verdes	6.2	1; 6; 14	90	87
Sólidos de aguas rojas	0.8	13	90	85
Sólidos de tratamiento de efluentes	8.4	15	85	85

De acuerdo a información de INAC, por cabeza bovina se generan 36 kg de contenido ruminal. A esto debemos sumar 5 kg por cabeza de estiércol recolectado en corrales y 4 kg por cabeza de sólidos separados en la línea de aguas rojas. En el contenido ruminal, el contenido medio de sólidos secos es del 13% de los cuales el 90% son sólidos volátiles. Para el resto de los sólidos se asume un 15% de sólidos secos con 80% de sólidos volátiles. La práctica más extendida para disponer estos residuos es su vertido en el campo, aunque existen otras prácticas como la quema, el uso por parte de ladrilleras y para alimento de cerdos.

La tabla 12.10 a continuación resume el potencial de generación de metano de los residuos descriptos en las tablas anteriores, así como la máxima producción de metano por digestión anaerobia a partir de los mismos. Los datos de potencial del residuo líquido fueron estimados a partir de la concentración de DQO considerando una generación de 350L de metano a PTN por kg de DQO tratado y suponiendo un 70% de metanización, mientras que los sólidos se obtuvieron de referencias internacionales (Vivanco y Chamy, 2004; Bioproa, 2011). Para el

cálculo de los totales del país se consideraron las UGM de cada sector y multiplicaron por la generación de cada tipo de residuo por UP.

Tabla 12.10. Potencial de metanización de residuos de frigoríficos

Residuo	Potencial de metanización		Potencial de metanización (Nm ³ CH ₄ /UP)	Potencial de producción de CH ₄ en el país (millones Nm ³ /año)
	(Nm ³ CH ₄ /kgSV)	(Nm ³ CH ₄ /m ³)		
Aguas verdes (tamizadas)		0.76 – 1.00	0.43 – 0.56	1.58 -2.08
Aguas rojas (tamizadas)		0.50 - 0.67	0.49 -0.65	1.79 – 2.40
Sólidos de aguas verdes	0.38 - 0.54		1.75 -2.49	4.12 - 5.85
Sólidos de aguas rojas	0.34 - 0.49		0.18 - 0.26	0.42 - 0.61
Lodo de PTE	0.24 - 0.34		1.29 – 1.83	3.04 - 4.30
Totales				10.9 – 15.2

13. PEQUEÑAS COMUNIDADES

Descripción del sector

Las pequeñas comunidades urbanas presentan una gran oportunidad para la aplicación de tecnología anaerobia como una solución para el tratamiento y posterior disposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU). Los sistemas de tratamiento anaerobios para FORSU tienen la ventaja de ser fácilmente escalables y relativamente simples de operar a pequeñas escalas. Además, la producción de energía en forma de biogás puede ser aprovechada en instituciones comunitarias como ser centros comunitarios o deportivos, resultando en un beneficio para la comunidad en general.

A los efectos de este capítulo, entenderemos por pequeñas comunidades a aquellas comunidades urbanas menores a 5000 habitantes. De acuerdo a datos del Censo Uruguay 2011 del Instituto Nacional de Estadística (INE), la población en centros urbanos menores a 5000 habitantes corresponde a 320869 personas.

Cuantificación y caracterización de los residuos generados

Los residuos que se considerarán en este estudio son los residuos sólidos urbanos y en particular su fracción orgánica. Los datos de generación de residuos se tomaron del Informe 2 del “Estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos con fines energéticos” realizado por la consultora LKSur para ALUR y el MIEM en el año 2013. En ese estudio se releva la producción de residuos sólidos urbanos en seis casos en diferentes áreas del interior del país. A partir de estos datos se estima que el índice de producción de residuos sólidos urbanos en el interior del país es de 0.3 toneladas por habitante por año (0.81 kg/(hab.día)). Cabe destacar que este índice es similar a los registrados en la región. Por otra parte, la fracción orgánica de estos residuos se estimó en 43%, siendo también similar a datos regionales.

En la Tabla 13.1 se puede observar el índice de generación de FORSU, así como su caracterización y potencial de metanización. Se debe notar que la caracterización este tipo de residuos es muy variable, por lo que debe tenerse especial cuidado a la hora de extrapolar resultados de un estudio a otra situación. Los datos de caracterización y potencial de metanización de este residuo fueron tomados de Davidsson *et al.* (2007), que presentan rangos de valores dada la variabilidad de los mismos.

Tabla 13.1 – Caracterización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos

Residuo	Generación (ton/ (hab.año))	Sólidos Totales (%)	Sólidos Volátiles (%ST)	Lípidos (%ST)	Proteínas (%ST)	Carbohidratos (%ST)	Potencial de prod de metano (m ³ /tonSV)
FORSU	0.13	17-37	81-92	10 -18	10-18	1.0-10	298-573

Producción nacional de residuos

En la Tabla 13.2 se presenta una estimación de la producción anual de FORSU en las pequeñas comunidades del país, así como el rango del potencial de generación de metano a nivel nacional.

Tabla 13.2 – Producción de RSU-OF y potencial de producción de metano en pequeñas comunidades en el país

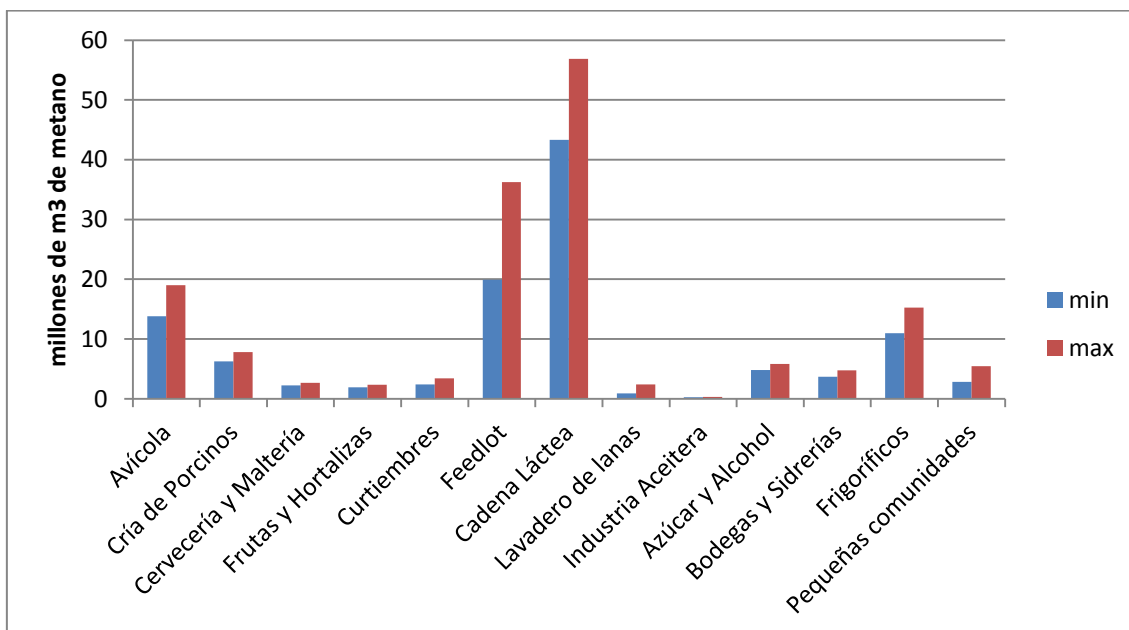
Residuo	Producción de residuos (ton/año)	Potencial de producción de CH ₄ en el país (millones m ³ /año)
FORSU	40532	2.8 – 5.4



RESUMEN FINAL

En este informe se han relevado los principales sectores que generan residuos factibles de ser digeridos anaeróbicamente con producción de biogás. La caracterización de los mismos se ha hecho en base a la información institucional y de la industrias, antecedentes encontrados en la literatura y en algunos casos estudios específicos realizados a nivel local. En la mayoría de los casos la información es solamente indicativa de la caracterización general del tipo de residuo y no de un residuo específico de un productor determinado; habrá que recurrir a muestreos especialmente concebidos para captar la dinámica de la generación de residuos y realizar los análisis que corresponda en cada caso específico. Sin embargo podrá servir de base para una estimación primaria de los volúmenes involucrados y la escala de producción. En la tabla del Anexo se resumen las características principales de los residuos analizados.

Se han estimado los potenciales de producción de metano de los diferentes sectores productivos analizados, sobre la base de cuantificar la producción de residuos y en función de la caracterización de cada residuo estimar el potencial de metanización. Como resumen final se presenta la siguiente gráfica en la que se presentan los valores estimados como mínimo y máximo para el conjunto de cada sector.



Estos valores deben entenderse en general como el rango en el que se encontrarían los topos máximos que podría llegar a obtenerse de cada sector en las condiciones actuales de producción agropecuaria e industrial. En muchos casos los residuos pueden llegar a tener otro destino y por lo tanto no ser pasibles de ser digeridos anaeróbicamente. En varios casos la

capacidad real de colecta de los residuos puede hacer disminuir en forma importante ese tope máximo. En muchos sectores se deberían afinar los índices utilizados pasando experimentalmente por diversas escalas de producción para hacer más seguros los resultados. Los temas de recolección de los residuos, la distribución del digestado y la utilización del biogás incidirán fuertemente en la implementación de cualquier proyecto, siendo difícil establecer a priori soluciones generales. Finalmente, en cualquiera de los casos se debe recordar que, más allá de los aspectos técnicos, la implementación práctica de cualquier proyecto debe satisfacer la ecuación económica para poder ser viable.

Debe tenerse en cuenta asimismo que los sistemas de tratamiento anaerobio y generación de biogás se implementan en general a escala de establecimiento agroindustrial o eventualmente considerando un grupo cercano de productores, no a nivel de sector. Por lo tanto en cada caso habrá que evaluar concienzudamente la situación en cuanto a caracterización de residuos, selección del tipo de tecnología, dimensionamiento de las unidades, factibilidad de operación y estudios de factibilidad económico-financiera, que justifiquen cualquier decisión.

En el sector avícola cabe distinguir dos grandes subsectores con potencial similar, el de ponedoras y el de pollos parrilleros, suficientemente diferenciados como para presentar condiciones diferentes en cuanto a la metanización de los residuos. En el caso de las ponedoras se trabaja fundamentalmente en jaulas y la clave está en la recolección de las excretas. En el caso de los pollos parrilleros la existencia de camas en las que se mezclan las excretas y su renovación o limpieza en períodos de tiempo mayores hace que el manejo sea más complejo. Probablemente en este último caso, y dependiendo del manejo de la cama los potenciales para la metanización del residuo se vean disminuidos debido al ocurrir cierta degradación en la propia cama.

El caso de la cría de porcinos resulta uno de los más prometedores en el caso de las explotaciones de tamaño importante, pudiéndose asociar la metanización de los residuos a las necesidades de energía de los propios establecimientos. Como en este caso las prácticas de colecta de las excretas pueden ser diferentes de un establecimiento a otro, sería importante arealizar en cada caso en que se decida proceder a la instalación de un digestor anaerobio a la caracterización in situ de cantidades y composición antes de realizar el proyecto.

El sector de las malterías y cervecerías se encuentra concentrado en muy pocas empresas de porte importante. En este caso, la implementación de sistemas anaerobios, factible y verificada mundialmente, dependerá de la lógica empresarial de desarrollo de cada empresa.

El sector de frutas y hortalizas resulta muy diverso por la cantidad de actores que concurren y su dispersión geográfica, salvo en el caso de alguna agroindustria procesadora o eventualmente en el caso de una implementación colectiva a nivel de Mercado Modelo. Sin embargo puede aportar material para metanizar en el caso de codigestión con otros materiales. En la integración a nivel local de soluciones para el tratamiento de residuos pueden

concurrir junto con otros sectores agroindustriales e inclusive residuos de pequeñas comunidades.

El sector de curtiembre podría implementar soluciones a nivel de empresa, integrando la digestión anaerobia a los sistemas de gestión de residuos y redundando en producción útil de energía y un mejorando las características de los materiales a disponer. No parece haber grandes problemas en el proceso anaerobio de los residuos sin cromo, existiendo ensayos promisorios a escala de laboratorio que habría que verificar a escala piloto.

El sector de feedlots ha tenido una notable expansión en los últimos años y genera una cantidad importante de excretas para gestionar. Más allá de que el potencial de las excretas vacunas no es de los más importantes, la cantidad de animales y su concentración hacen que tenga un potencial importante. No obstante, el principal problema radica en la posibilidad de recolección de los residuos; en la mayoría de los casos no se ha previsto un sistema de recolección con una frecuencia importante y por lo tanto no es factible la digestión de las excretas frescas.

En la cadena láctea cabe distinguir dos subsectores con características muy diferentes: la industria procesadora de leche y los tambos. A su vez dentro de estos últimos cabe distinguir los que solo producen leche de los que también producen queso y eventualmente están asociados a otras producciones. El suero de leche está asociado muchas veces a otros usos, particularmente como alimentación animal y en esos casos no puede considerarse como un residuo factible de metanización. Debido a que por su alta concentración generaría una cantidad muy importante de metano, los números con y sin utilización de suero varían significativamente. En la industria, además de la eventual utilización de suero como sustrato, los efluentes que resultan del lavado de equipos constituyen el principal residuo a metanizar. En este caso hay que poner particular atención en el relativamente alto contenido de material graso que podría hacer fracasar los sistemas convencionales. No obstante, existen en el país experiencias de sistemas anaerobios concebidos para tener en cuenta esa particularidad del efluente.

En los tambos, además del eventual uso de suero en el caso de que exista producción de queso, el principal residuo lo constituyen las excretas de los animales en los corrales de espera y limpieza de las salas de ordeño. Como normalmente se utiliza agua para el lavado la concentración de sólidos puede ser muy variable de acuerdo a las prácticas de cada establecimiento. La escala del establecimiento, así como el hecho cada vez más frecuente de mantener animales estabulados en forma permanente, resultan un factor crítico para la selección del tipo de sistema de tratamiento, por la cantidad de residuos recogida y las necesidades intrínsecas de gestión. En general sistemas con cierto grado de complejidad tecnológica solo son factibles en establecimientos de cierto porte o concebidos de manera que den servicio a un conjunto de productores, eventualmente en codigestión con otros residuos.

Los lavaderos de lanas constituyen otro caso de alta centralización y que en algún caso ya tienen implementado un sistema anaerobio con utilización de biogás. Adicionalmente el efluente presenta otras complejidades debido a la particular composición química de la fracción grasa que no resulta totalmente degradada en condiciones anaeróbicas.

La industria aceitera presenta dos situaciones bien diferentes: la industria aceitera tradicional, fuertemente concentrada y que cuenta con sistemas tradicionales aerobios para el tratamiento de sus efluentes y la industria del aceite de oliva, de reciente aparición y aún en fuerte expansión. En esta última podría pensarse en implementar sistemas de metanización de los residuos, eventualmente en codigestión, aunque hay que tener en cuenta la sazonalidad de la producción.

La industria de producción de azúcar y bioetanol a partir de caña de azúcar y otros substratos está concentrada en el ingenio de Bella Unión. La vinaza de la producción de etanol constituye un efluente muy concentrado y que podría generar una cantidad significativa de biogás. Existen promisorios antecedentes a escala piloto. Eventualmente podrían usarse también para la metanización otros substratos tales como el bagazo que hoy se queman en la caldera; esto implicaría ciertas modificaciones en el proceso industrial pero que podrían justificarse por una mayor producción de energía.

El sector de bodegas y producción de sidra genera efluentes y residuos sólidos factibles de ser metanizados y existen experiencias exitosas en otros países. La principal objeción para su aplicación en un establecimiento es la fuerte sazonalidad de la producción, concentrada en apenas un par de meses en el año. Sin embargo estos residuos podrían ser un aporte muy valioso en una planta centralizada en la codigestión con otros residuos.

El sector frigorífico es uno de los más importantes en la producción nacional y genera residuos líquidos y sólidos factibles de ser digeridos anaeróbicamente y de generar biogás. Existen antecedentes promisorios de tratamiento anaerobio a escala de laboratorio y piloto y sería importante realizar una experiencia funcionando en planta industrial en forma sostenida. Además el sector tiene la ventaja de poder utilizar en forma casi directa en el establecimiento industrial el biogás producido.

Finalmente el caso de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos implica otros componentes que van mucho más allá de la factibilidad técnica de digestión de dichos residuos, solos o en codigestión con residuos agroindustriales. En primer lugar implica la separación de materiales previa al tratamiento y aquí en general radica uno de los principales obstáculos. La aplicación a pequeñas comunidades podría ser exitosa si va acompañada de un programa social de concientización e involucramiento de la población y los gestores locales. En segundo lugar también hay que pensar en los eventuales usos para el biogás producido. Podría ser un buen caso para ensayar codigestión con otros residuos en el caso de existencia de una producción local y eventualmente en asociación con algún sector industrial.

REFERENCIAS

- Abaigar, A., Cordovín, L., and Aguilar, M. (2010) Gestión de estiércol de gallinas ponedoras. Jornadas Profesionales de Avicultura - Pamplona, 1–28.
- Agler, M. T., Aydinkaya, Z., Cummings, T. A., Beers, A. R., & Angenent, L. T. (2010). Anaerobic digestion of brewery primary sludge to enhance bioenergy generation: A comparison between low-and high-rate solids treatment and different temperatures. *Bioresource Technology*, 101(15), 5842-5851.
- Apa, M., Del Campo, M.J. (2009) *Relevamiento del desempeño ambiental del sector engorde a corral*, Dirección Nacional de Medioambiente, División control y desempeño ambiental.
- Arenare, L. (2015) Producción de cerdos en Uruguay. Taller de manejo de residuos porcinos, Proyecto Biovalor, <http://www.upc.edu.uy/component/phocadownload/category/32-taller-biovalor> (acceso 21/12/15).
- Bavera, G. A. (2000). Suplementación mineral del bovino a pastoreo y referencias en engorde a corral, capítulo IX. Edic. del autor, Río Cuarto, 142-145. Argentina.
- Brito, A. G., Peixoto, J., Oliveira, J. M., Oliveira, J. A., Costa, C., Nogueira, R., & Rodrigues, A. (2007). Brewery and winery wastewater treatment: some focal points of design and operation. In *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry* (pp. 109-131). Springer US.
- Bustamante, M. A., et al. (2008) "Agrochemical characterisation of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry." *Waste Management* 28.2: 372-380.
- Caputo, A.C., Scacchia, F., Pelagagge, P.C. (2003). Disposal of by-products in olive oil industry: waste-to-energy solutions. *Applied Thermal Engineering* 23 (2), 197–214.
- Carvalho, F., Prazeres, A.R., Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the Total Environment* 445–446, pg. 385–396.
- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad de Hermosillo del CIAD, A.C. y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2004). *Manual de Buenas Prácticas de Producción de Granjas Porcícolas*. Hermosillo, México.
- Chamy, R., Vivanco, E. (2007) Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás, Proyecto Energías Renovables No Convencionales en Chile (Comisión Nacional de Energía / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Chiappe, G. (2010) Pautas de manejo para crianza de pollos parrilleros: análisis de un caso bajo condiciones reales de producción en galpones con sistema manual y automático de alimentación. [online] <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/pautas-manejo-crianza-pollos-parrilleros.pdf>.
- Costa, J. C., Oliveira, J. V., & Alves, M. M. (2013). Biochemical methane potential of brewery wastes and co-digestion with glycerol.
- CSI Ingenieros (2015). Informe Ambiental Resumen, Ampliación del complejo industrial Paysandú: nueva planta de bioetanol, Alcoholes del Uruguay S.A.. Disponible en: <http://www.mvotma.gub.uy/component/k2/item/10006813-alur-s-a.html>.
- Danalewich, J.R., Papagiannis, T.G., Belyea, R.L., Tumbleson, M.E., Raskin, L. (1998). Characterization of dairy waste streams, current treatment practices, and potential for biological nutrient removal. *Water Research* 32, 3555–68.
- Davidsson, Å., Grubberger, C., Christensen, T. H., Hansen, T. L., & Jansen, J. L. C. (2007). Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*, 27(3), 406–414.
- De Jesus, C. S. A., Ruth, V. G. E., Daniel, S. F. R., & Sharma, A. (2015). Biotechnological Alternatives for the Utilization of Dairy Industry Waste Products. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6 (03), 223.

- Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T.T. (2005). Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. *Process Biochemistry*, 40, 2583–2595.
- Fezzani, B., & Cheikh, R. B. (2008). Implementation of IWA anaerobic digestion model No. 1 (ADM1) for simulating the thermophilic anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a semi-continuous tubular digester. *Chemical Engineering Journal*, 141, 75–88.
- Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., & Daufin, G. (2006). Water, wastewater and waste management in brewing industries. *Journal of Cleaner Production*, 14(5), 463–471.
- Gabinete Productivo, Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), 2009. Informe Fase I – Cadena Avícola, Análisis de la cadena y pronóstico preliminar, Montevideo, Uruguay.
- Gabinete Productivo, Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), 2009. Informe Fase I – Cadena Textil Vestimenta, Montevideo, Uruguay.
- Galí, A., Benabdallah, T., Astals, S., Mata-Alvarez, J. (2009) Modified versión of ADM1 model for agro-waste appliction, *Bioresource Technology*, 100, 2783-2790.
- Gangagni Rao, a., Gandu, B., Sandhya, K., Kranti, K., Ahuja, S., and Swamy, Y. V. (2013) Decentralized application of anaerobic digesters in small poultry farms: Performance analysis of high rate self mixed anaerobic digester and conventional fixed dome anaerobic digester. *Bioresource Technology*, 144, 121–127.
- Gangagni Rao, a., Surya Prakash, S., Joseph, J., Rajashekhara Reddy, a., and Sarma, P. N. (2011) Multi stage high rate biomethanation of poultry litter with self mixed anaerobic digester. *Bioresource Technology*, 102(2), 729–735.
- Gunaseelan, V.N (2004) “Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks”, *Biomass & Bioenergy*, 26, 389-399.
- Gutiérrez, S., Hernández, A., and Viñas, M. (1999) Mechanism of degradation of wool wax in the anaerobic treatment of woolscouring wastewater. *Water Science and Technology*, 40(8), 17–23.
- Gutiérrez, S., Cabrera, N. (2006). Estimación de los Parámetros Nacionales y Básicos para el Procesamiento y Utilización de los Residuos Sólidos y Líquidos de Tambos. Proyecto INIA_FPTA nº 138, Informe final. Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Gutiérrez, S. (2010) Degradación anaerobia de emulsiones de grasa en efluentes de lavadero de lana. Tesis de Doctorado en Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Udelar.
- Hashimoto, A.G., Varel, V.H., Chen, Y.R. (1981) Ultimate methane yield from beef cattle manure: Effect of temperature, ration constituents, antibiotics and manure age. *Agricultural Wastes*, 3(4), 241-256.
- Instituto Nacional de Carnes (INAC) Anuario estadístico 2014: <http://www.inac.gub.uy/> (acceso set.2015)
- Instituto Nacional de la Leche (INALE) (2014). Situación y perspectivas de la lechería uruguaya. Uruguay
- Instituto Nacional de Vitivinicultura, página web: <http://www.inavi.com.uy/> (acceso set.2015)
- International Resources Group (IRG) & Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (CNP+LH) (2009). Guía de Producción más Limpia para la producción porcina. Honduras.
- Kelleher, B. ., Leahy, J. ., Henihan, A. ., O'Dwyer, T. ., Sutton, D., and Leahy, M. . (2002) Advances in poultry litter disposal technology – a review. *Bioresource Technology*, 83(1), 27–36.
- Labatut, R.A., Angenent, L.T., Scott, N.R. (2011) Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates, *Bioresource Technology*, 102(3), 2255-2264.
- López, I., Passeggi, M., Odriozola, M., Borges, L., Borzacconi, L. (2012). Tratamiento Anaerobio de Vinaza de Destilería de caña de Azúcar. V Encuentro Regional, XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Química, Montevideo, Uruguay.
- Manual de mejores técnicas disponibles, Sector vitivinícola en la región del Maule, http://www.redempresarial.cl/manual2/consumo_energia.html
- Markou, G. (2015) Improved anaerobic digestion performance and biogas production from poultry litter after lowering its nitrogen content. *Bioresource Technology*, 196, 726–730.

- Mercado Modelo (2014) Anuario Estadístico.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Presidencia de la Nación, Argentina (s/d) Buenas prácticas de utilización y manejo de cama de pollo y guano.
- Ministerio de Agricultura, Instituto De Investigaciones Agropecuarias (INIA) (2005). Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina. Santiago de Chile, Chile.
- Ministerio de Ciencia e Innovación, Proyecto Singular y Estratégico (PSE) (2009). PROBIOGAS: Cuantificación de materias primas de origen ganadero. España.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) (2007). *Encuesta porcina 2006: caracterización de la situación productiva, tecnológica, comercial y social del sector porcino*. Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA) (2014). Anuario 2014. Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) y Fundación Julio Ricaldoni (FJR) (2008). *Manual para el Manejo de Efluentes de Tambo*. Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Dirección de Estadísticas Agroecuarías (DIEA), 2002. Encuesta Avícola 2002, Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Dirección de Estadísticas Agroecuarías (DIEA), 2010. Encuesta Agroindustrial Hortifrutícola 2009, Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Dirección de Estadísticas Agroecuarías (DIEA), 2012. Encuesta a Productores de Pollos Parrilleros a Façon 2011, Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Dirección de Estadísticas Agroecuarías (DIEA), 2013. Encuesta de Producción de Carne de Ave 2013, Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Dirección de Estadísticas Agroecuarías (DIEA), 2015. Anuario Estadístico Agropecuario 2014, Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA), 2014. *Censo general agropecuario 2011, Resultados definitivos*. Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA), 2014. *Anuario estadístico Agropecuario 2014*. Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) y Organización de Estados Americanos (OEA) (2009). Habilitación de tambos y queserías artesanales, Proyecto Desarrollo Empresarial de los Queseros Artesanales y Mejora de su Potencial para la Exportación. Montevideo, Uruguay.
- Ministerio de Industria Energía y Minería – Dirección Nacional de Energía y Alkoholes del Uruguay SA (2013). Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbano con Fines Energéticos. Informe 2: Canelones, San José, Melo, Tacuarembó, Salto y Paysandú.
- Ministerio de Vivienda, ordenamiento territorial y medioambiente, Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) *Diagnóstico nacional de residuos sólidos industriales y agroindustriales por sector productivo* (2005).
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Cooperativa Nacional de Productores de Leche (CONAPROLE) y Universidad de la República (2008). Evaluación de los sistemas de tratamiento de tambos. Convenio DINAMA-CONAPROLE-IMFIA, Uruguay.
- Ministerio de Vivienda, ordenamiento territorial y medioambiente, Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) *Declaraciones juradas trimestrales e informes ambientales de operación*.
- Ministerio de Vivienda, ordenamiento territorial y medioambiente, Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) "INFORME SECTORES: CURTIEMBRES, FRIGORÍFICOS, ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS, TAMBOS, AVÍCOLA (MATANZA DE AVES)", María José Crovetto, 2014
- Nazralla, J., et al. (2003) "Gestión de efluentes y consumo de agua en bodega." *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo* 35.1 :35-42.

- Petersen, S. O., Sommer, S. G., Béline, F., Burton, C., Dach, J., Dourmad, J. Y., Leip, A., Misselbrook, T., Nicholson, F., Poulsen, H.D., Provolo, G., Sørensen, P., Vinnerås, B., Weiske, A., Bernal, M.-P., Böhm, R., Juhász, C., Mihelic, R. (2007). Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livestock Science*, 112(3), 180-191.
- Raposo, F., De la Rubia, M.A., Fernández-Cegrí, V., Borja, R. (2011) Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 861-877.
- Redes Amigos de la Tierra Uruguay (REDES - AT Uruguay) (2014). El comercio de soja en Uruguay. Disponible en <http://www.redes.org.uy/2014/02/20/el-comercio-de-soja-en-uruguay/>.
- Ruggieri, Luz, et al.(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 (2009): 830-838.
- Salminen, E. and Rintala, J. (2002) Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste--a review. *Bioresource Technology*, 83(1), 13–26.
- Schoen, E. J. and Bagley, D. M. (2012) Biogas production and feasibility of energy recovery systems for anaerobic treatment of wool-scouring effluent. *Resources, Conservation and Recycling*, 62, 21–30.
- Universidad de la República (UdelaR), Facultad de Ingeniería, Biotecnología de Procesos para el Ambiente (BIOPROA) (2013). Potencial de producción de biogás en Uruguay. Montevideo, Uruguay.
- Vicari, M. P. (2012). Efluentes en producción porcina en Argentina : generación, impacto ambiental y posibles tratamientos [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/efluentes-produccion-porcina-argentina.pdf> [Fecha de consulta: 08/2015].
- Yoon, Y. M., Kim, S. H., Oh, S. Y., and Kim, C. H. (2014) Potential of anaerobic digestion for material recovery and energy production in waste biomass from a poultry slaughterhouse. *Waste Management*, 34(1), 204–209.
- Zupancic, G. D. and Jemec, A. (2010) Anaerobic digestion of tannery waste: semi-continuous and anaerobic sequencing batch reactor processes. *Bioresource technology*, 101(1), 26–33. [online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19699632> (Accessed September 15, 2014).
- Zupančič, G. D., Škrjanec, I., & Logar, R. M. (2012). Anaerobic co-digestion of excess brewery yeast in a granular biomass reactor to enhance the production of biomethane. *Bioresource Technology*, 124, 328-337.

Sitios web consultados:

- ALUR - Alcoholes del Uruguay S.A.: www.alur.com.uy/
- Asociación Olivícola Uruguaya (Asolur): <http://www.asolur.org.uy/>
- CASARONE Industrial: <http://www.casarone.com.uy/>
- C.O.U.S.A.: <http://www.cousa.com/>
- INE – Censos 2011: <http://www.ine.gub.uy/web/guest/censos-2011>
- PROSODOL: <http://www.prosodol.gr/?q=es/node/547>
- Esencia de Olivo: <http://www.esenciadeolivo.es/aceite-de-oliva/produccion/>