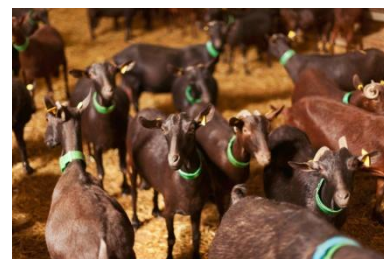
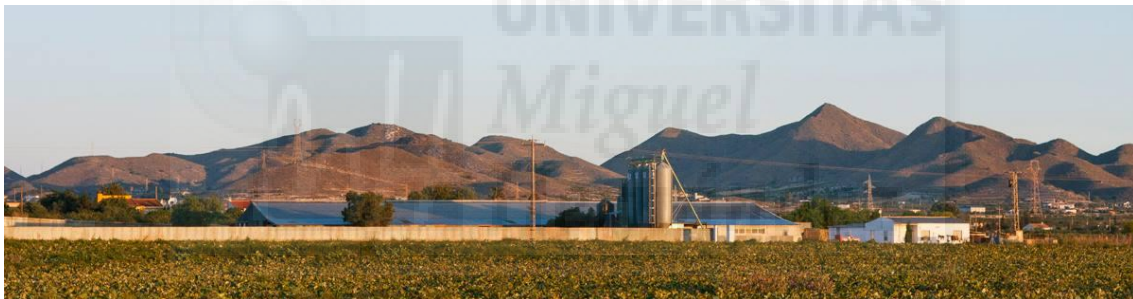


CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS PROCEDENTES DE UNA GRANJA Y QUESERÍA DE CAPRINO DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICA



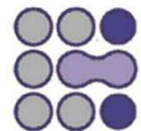
M. TERESA FERNÁNDEZ SUÁREZ

2014



ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

**Máster Universitario de Investigación en
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos**



CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS PROCEDENTES DE UNA GRANJA Y QUESERÍA DE CAPRINO DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICA

Vº Bº DIRECTOR

M^a Pilar Bernal Calderón

VºBº CODIRECTOR

José Antonio Sáez Tovar

ALUMNO

M^a Teresa Fernández Suárez



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D^a. M^a Teresa Fernández Suárez**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Caracterización de los residuos orgánicos procedentes de una granja y quesería de caprino de producción ecológica”, bajo la dirección de D^a. M^a Pilar Bernal Calderón y la codirección de D. José Antonio Sáez Tovar, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 30 de julio de 2014

La Directora del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos

Fdo.: Concepción Paredes Gil

Miguel Hernández
DE ELCHE
CAMPUS DE ORIHUELA
DEPARTAMENTO DE
AGROQUÍMICA Y
MEDIO AMBIENTE

TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESIDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES

Autor: M^a Teresa Fernández Suárez

Título: Caracterización de los residuos orgánicos procedentes de una granja y quesería de caprino de producción ecológica.

Title: Characterization of organic waste from a dairy goat farm and organic production.

Director/es del TFM: M^a Pilar Bernal Calderón y José Sáez Tovar

Año: 2014

Titulación: Máster universitario en gestión, tratamiento y valorización de Residuos orgánicos.

Tipo de proyecto:

Palabras claves: Ganado caprino, agricultura ecológica, gestión de residuos, aguas de lavado, suero de queso y estiércol de cabra.

Keywords: Goats, organic farming, waste management, water washing, whey and goat manure.

Nº citas bibliográficas: 60

Nº de planos: 0

Nº de tablas: 31

Nº de figuras: 14

Nº de anexos: 2

RESUMEN

En este trabajo se pretende identificar los flujos de residuos que se generan en la producción de queso asociada a una granja caprina, ambas enmarcadas dentro de la producción ecológica. Para ello se han cuantificado los residuos generados en cada fase de producción y se han caracterizado químicamente mediante la determinación de: pH, conductividad eléctrica, humedad, materia seca, materia orgánica, carbono orgánico

total, nitrógeno total, nitrógeno inorgánico, C y N hidrosoluble, y elementos minerales como macro- (P, Ca, Mg, Na, K) y micro-elementos (Fe, Cu, Mn y Zn). Mediante correlaciones lineales se han identificado los factores clave de variación de la composición. Una vez obtenida la caracterización se plantean opciones de tratamiento y gestión para esos residuos dentro del marco de la agricultura biológica.

ABSTRACT

This work seeks to identify waste streams generated in the production of cheese associated with a goat farm, both framed within organic production. This could have quantified the waste generated at each stage of production and have been chemically characterized by determination of: pH, electrical conductivity, moisture, dry matter, organic matter, total organic carbon, total nitrogen, inorganic nitrogen, C and N soluble, as macro elements (P, Ca, Mg, Na, K) and microelements (Fe, Cu, Mn and Zn). By linear correlations were identified key factors of variation in the composition. Once the characterization posed and treatment options for this waste management within the framework of organic farming.





INDICE

INDICE

1.	RESUMEN.....	3
2.	PALABRAS CLAVE.....	3
3.	INTRODUCCIÓN.....	7
3.1	La ganadería ecológica.....	8
3.1.1	Alojamientos.....	9
3.1.2	Pastoreo.....	10
3.1.3	Reproducción.....	10
3.2	La ganadería en la Región de Murcia.....	10
3.3	Características de la ganadería caprina.....	14
3.4	Características de las industrias lácteas.....	14
4	OBJETIVOS.....	20
4.1	Objetivo general.....	20
4.2	Objetivos específicos.....	20
5	MATERIAL Y MÉTODOS.....	24
5.1	Toma de muestras.....	24
5.2	Flujo de residuos en la granja-quesería.....	25
5.3	Métodos utilizados en la caracterización de los residuos.....	27
5.3.1	Preparación de las muestras.....	27
5.3.2	Humedad.....	28
5.3.3	Humedad operativa.....	28
5.3.4	Cenizas.....	28
5.3.5	Materia orgánica.....	29
5.3.6	Determinación de pH.....	29
5.3.7	Determinación de la conductividad eléctrica.....	29
5.3.8	Carbono orgánico total (COT), Nitrógeno total (NT).	30

5.3.9	Mineralización de la muestra	30
5.3.10	Nitrógeno en forma amónica ($N-NH_4^+$).....	31
5.3.11	Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)	32
5.3.12	Determinación del Carbono y Nitrógeno hidrosolubles (C_{hidro} y N_{hidro})..	34
5.3.13	Determinación biológica de oxígeno (DBO).....	34
5.4	Análisis Estadístico	36
5.5	Caracterización de los residuos.....	37
5.5.1	Suero.....	37
5.5.2	Estiércol.....	37
5.5.3	Agua residual.....	38
6	RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
6.1	Identificación y cuantificación de los flujos de residuos en la granja-quesería	42
6.1.1	Residuos líquidos.....	42
6.1.2	Residuos sólidos	43
6.2	Caracterización de los residuos.....	43
6.2.1	Suero.....	43
6.2.2	Estiércol.....	48
6.2.3	Agua residual.....	53
6.3	Opciones de reciclado.....	57
6.3.1	Opciones de tratamiento de las aguas residuales.	57
6.3.2	Opciones de tratamiento de los sueros.	59
6.3.3	Opciones de tratamiento del estiércol.....	62
7	CONCLUSIONES.....	78
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	83
	ANEXO I.....	91
	ANEXO II.....	92

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

1. RESUMEN

En este trabajo se pretende identificar los flujos de residuos que se generan en la producción de queso asociada a una granja caprina, ambas enmarcadas dentro de la producción ecológica. Para ello han cuantificado los residuos generados en cada fase de producción y se han caracterizado químicamente mediante la determinación de: pH, conductividad eléctrica, humedad, materia seca, materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno total, nitrógeno inorgánico, C y N hidrosoluble, y elementos minerales como macro- (P, Ca, Mg, Na, K) y micro-elementos (Fe, Cu, Mn y Zn). Mediante correlaciones lineales se han identificado los factores clave de variación de la composición. Una vez obtenida la caracterización se plantean opciones de tratamiento y gestión para esos residuos dentro del marco de la agricultura biológica.

2. PALABRAS CLAVE

Ganado caprino, agricultura ecológica, gestión de residuos, aguas de lavado, suero de queso y estiércol de cabra.

INTRODUCCIÓN



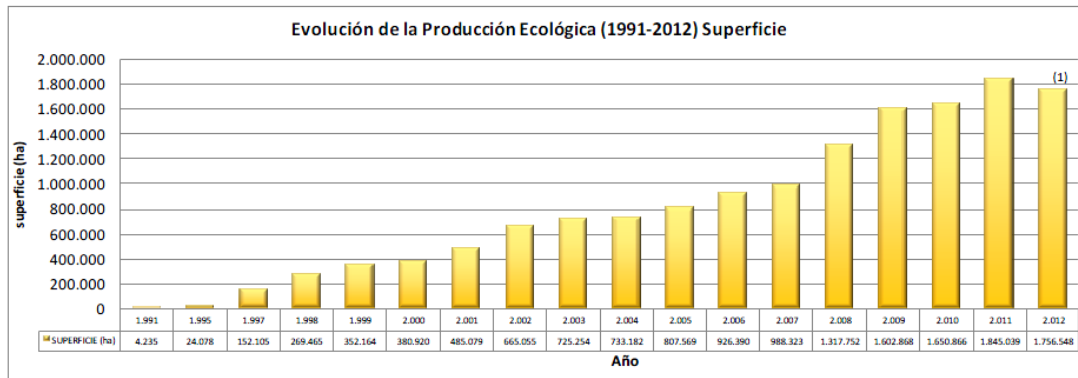
3. INTRODUCCIÓN

La producción ecológica viene experimentando en Europa un crecimiento muy importante en los últimos años, empujado por la demanda de los consumidores de productos libres de contaminación química y de calidad y con el apoyo brindado por las administraciones que pretenden fomentar métodos de cultivo respetuosos con los recursos naturales y la conservación del medio ambiente.

La Comisión Europea determina que la agricultura ecológica es un sector de la UE que está creciendo rápidamente. Durante la última década, la superficie de la UE dedicada a la producción ecológica ha aumentado a un ritmo medio de 500.000 hectáreas al año y en la actualidad hay en toda la UE 186.000 explotaciones agrícolas ecológicas.

Según el Reglamento (CE) nº 834/2007 la producción ecológica viene definida como un sistema de gestión agrícola y producción de alimentos que combina el uso de métodos de producción conformes a las normas establecidas en el presente Reglamento en todas las etapas de la producción, preparación y distribución, específicamente las mejores prácticas ambientales, un elevado nivel de biodiversidad, la preservación de recursos naturales, la aplicación de normas exigentes sobre bienestar animal y una producción conforme a las preferencias de determinados consumidores por productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales.

Observando la evolución de la producción ecológica de la Figura 1, se puede ver como cada vez hay más hectáreas dedicadas a este sector de la agricultura y la ganadería ecológica, significando esto que existe un gran interés tanto por parte de consumidores como por parte de los agricultores y empresarios, ya que el número de hectáreas ha llegado a duplicarse en los últimos 6 años.



(1) Hasta el año 2.011 se han incluido en los totales el apartado "6 Otras superficies". A partir del año 2012 se excluyen de los totales este apartado para homologarlo con los datos de Eurostat.

NOTA: Según la definición de Eurostat en el apartado "6 Otras superficies (Cultivos específicos)" se incluyen las superficies correspondientes a: Terreno forestal y plantas silvestres (sin uso ganadero), Rosa de Damasco, Árboles de navidad, y Otras superficies no incluidas en ningún otro lugar.

Figura 1. Evolución de la producción ecológica (1991-2012) expresada en hectáreas (MAGRAMA, 2013).

Debido al creciente interés en la producción ecológica los organismos competentes se han visto obligados a promulgar una serie de leyes, tanto a nivel comunitario, con el Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de productos ecológicos, como a nivel nacional, con el Real Decreto 1852/1993 sobre la producción ecológica en España. También a nivel autonómico hay promulgadas una serie de leyes, en el caso de la Región de Murcia está la Orden de 14 de junio de 1999 por la que se crea el Consejo Regulador de la Agricultura ecológica de Murcia y la Orden de 23 de julio de 2012, y en la que se aprueba el Reglamento de Régimen Interno del Consejo de Agricultura Ecológica de la Región de Murcia.

3.1 La ganadería ecológica

Por otra parte, la ganadería ecológica se puede definir como un sistema de producción ligado a la tierra que tiene como objetivo principal ofrecer a los consumidores alimentos de origen animal de gran calidad tanto desde el punto de vista sanitario como del nutritivo. Para conseguir estos objetivos la ganadería ecológica se enmarca en un ámbito legislativo que define su funcionamiento y facilita los procesos de control.

En la siguiente figura (Figura 2) se pueden observar, en términos generales, los principales principios de la ganadería ecológica.

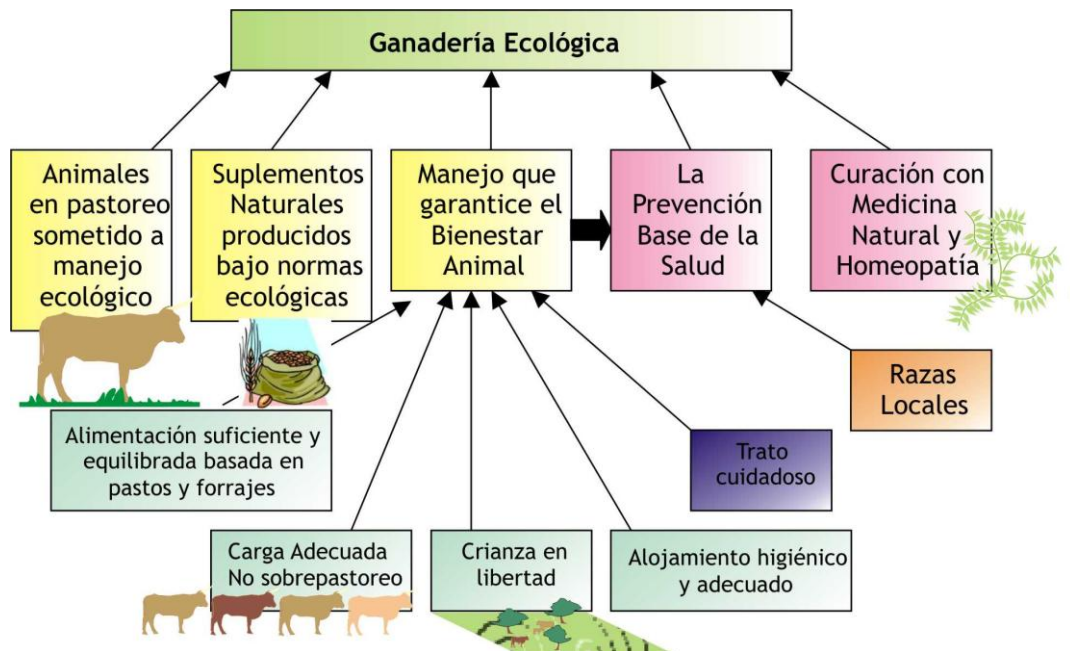


Figura 2. Principios de la ganadería ecológica (García y Banda, 2006).

Uno de los pilares fundamentales de la ganadería ecológica es el bienestar animal, esto se debe a que existe una estrecha relación entre la forma de criar a los animales y la calidad y seguridad de los alimentos. Además existen evidencias de que los animales con mejores situaciones de bienestar pueden mejorar su comportamiento y reducir las necesidades de medicación (García y Banda, 2006).

Para conseguir el bienestar animal el Reglamento 1804/1999 dicta una serie de normas que deben cumplir las explotaciones, en materia de alojamientos, pastoreo y reproducción. En nuestro caso nos centraremos en los requisitos necesarios para ganadería caprina de producción de leche.

3.1.1 Alojamientos

Según el reglamento 1804/1999, las condiciones de alojamiento tendrán que cumplir los siguientes requisitos:

- Disponer del espacio suficiente para sus necesidades biológicas y etológicas.
- Tener fácil acceso a la alimentación y al agua.
- Se debe garantizar la circulación de aire, un nivel bajo de polvo, una temperatura y humedad adecuada y un nivel adecuado de la concentración de gases nocivos.

- Los suelos deberán ser lisos pero no resbaladizos y como mínimo la mitad de la superficie total deberá ser firme.
- Los alojamientos deberán disponer de una zona cómoda, seca y limpia para el descanso de los animales. Estas zonas deberán disponer de camas de paja u otro material natural adecuado.
- Instalación formada por una zona cubierta con 1,5m²/cabeza y una zona al aire libre de 2,5m²/cabeza.
- Alimentación: tiempo mínimo de destete de 45 días.
- Periodo de conversión de convencional a ecológico, en el caso de la producción de leche, de 6 meses.

3.1.2 *Pastoreo*

El reglamento establece, que los animales deberán tener acceso a los pastos, siempre que las condiciones ambientales, fisiológica o de salud, lo permitan.

La carga máxima permitida en ganadería ecológica es el equivalente a una excreción anual de 170 kg de N/ha. La equivalencia en carga animal de esta cifra, que se establece para evitar la contaminación de las aguas subterráneas principalmente por lixiviación de nitratos, en ovinos y caprinos es de 13,3 animales por hectárea.

3.1.3 *Reproducción*

La ganadería ecológica estipula que la reproducción de los animales debe basarse en métodos naturales, no obstante se permite la inseminación artificial, pero no otros métodos de reproducción asistida como la transferencia de embriones.

También se prohíbe por el actual reglamento el uso de hormonas u otras sustancias similares para el control de la reproducción.

3.2 **La ganadería en la Región de Murcia**

A lo largo de la historia, en la Región de Murcia, tradicionalmente han desatado las cabañas caprina y ovina, debido a la escasez de pastos producido por las continuas sequías que caracterizan ese territorio. En las últimas décadas hay que destacar un gran

aumento de la ganadería porcina y también una disminución del número de explotación por un aumento de la superficie y modernización de las mismas (Espejo, 1996).

En la actualidad, la ganadería murciana es un referente a nivel europeo. La Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia estima que el valor de la producción animal asciende a 426 millones de euros, lo que supone el 3% del total nacional.

Hay que destacar por encima de todo el ganado porcino, que ocupa el primer lugar en la cabaña ganadera de la Región. Además, existen razas autóctonas como el Chato Murciano, la Cabra Murciano-Granadina y el Cordero de Segura y La Sagra.

En la Figura 3 se puede observar como en los últimos siete años el papel más importante dentro de la ganadería corresponde a la porcina, llegando a superar los dos millones de cabezas en el año 2008 y bajando hasta un millón setecientas mil cabezas en el año 2013. En cuanto al ganado caprino, se encuentra estable a lo largo de los años con un valor medio aproximado de 200.000 cabezas. De esta gráfica cabe destacar el aumento del número de ponedoras a lo largo de la serie histórica hasta llegar a triplicarse su valor.

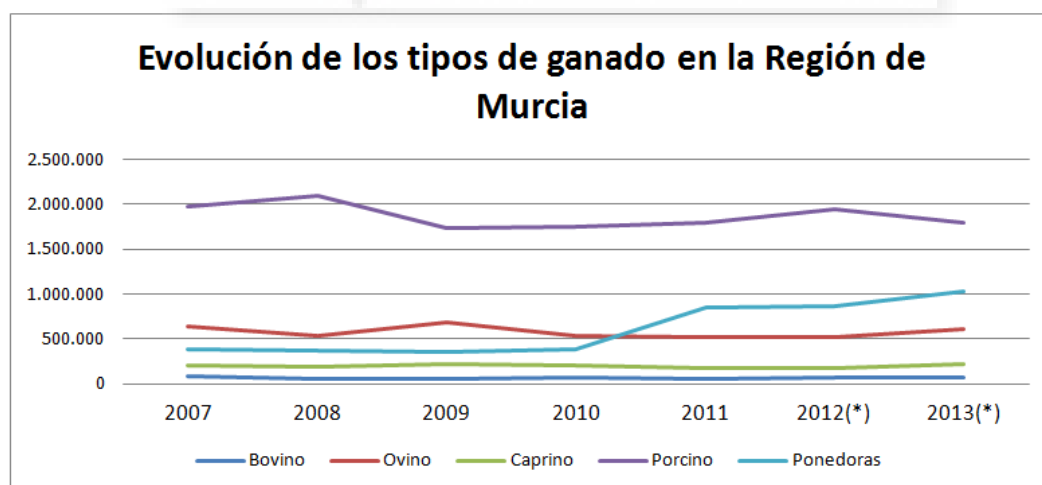


Figura 3. Serie histórica de la cabaña ganadera por tipos de ganado en la Región de Murcia (Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, 2014)

Como se puede observar en la Figura 4, el número de cabezas de ganado en producción ecológica en la Región de Murcia aumenta con el paso de los años, esto

quiere decir que la ganadería ecológica está en aumento. Esto a su vez provoca una importante concentración de los residuos generados por dichas actividades y nos da idea de la necesidad de evaluar tecnologías de tratamiento alternativas o nuevos métodos de gestión, que faciliten un crecimiento sostenible del sector e intenten minimizar los riesgos ambientales que provoca la acumulación de estos residuos. Es importante estudiar qué hacer con los residuos que genera porque debido a su origen esos residuos se pueden considerar “residuos ecológicos” y su uso es apto para agricultura y ganadería ecológica.

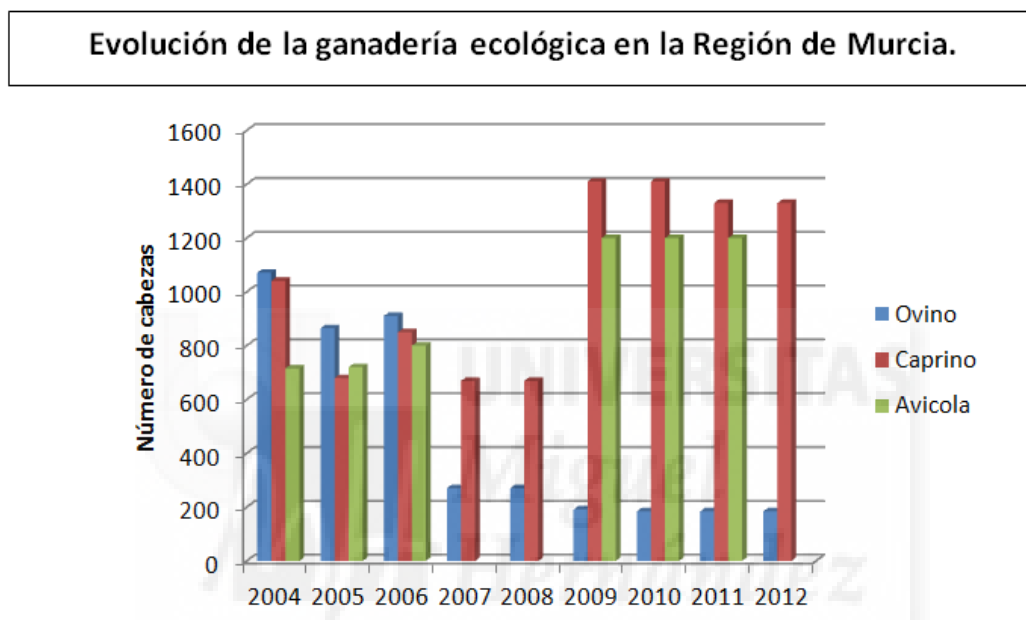


Figura 4. Evolución del número de cabezas dedicadas a ganadería ecológica en la región de Murcia. (INE, 2013).

En el caso particular de la Región de Murcia (Figura 5) solo se encuentran tres tipos de ganado en producción ecológica: el ovino destinado principalmente a la obtención de carne, el caprino destinado a la producción de leche y el avícola para la producción de huevos. Como se puede observar en la figura anterior el mayor número de cabezas pertenece a la ganadería caprina. Al ser una de las ganaderías más amplia en este sector, nos encontramos con el problema de qué realizar con los residuos generados por este tipo de ganadería, en este trabajo se buscarán alternativas a la gestión de estos residuos.

Número de cabezas ganaderas en agricultura ecológica. Año 2011

Distribución por tipo de ganado

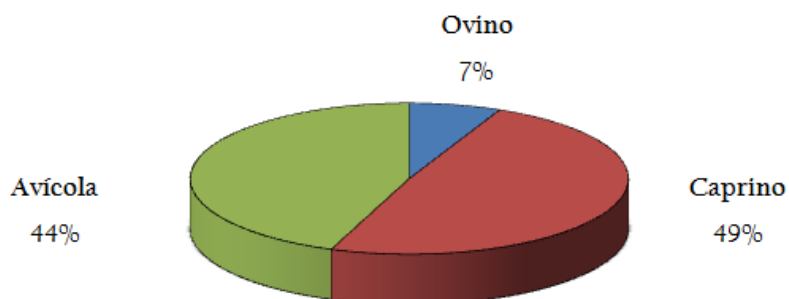


Figura 5. Distribución porcentual de la ganadería ecológica por especie en la Región de Murcia en el 2011. (INE, 2013).

El organismo encargado de regular la ganadería ecológica en la Región de Murcia es el denominado Consejo de Agricultura Ecológica. Este consejo es un órgano desconcentrado y consultivo de la Conserjería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, que se encarga de aplicar el Sistema de Control establecido en el Reglamento (CE) 834/2007, para la producción, transformación, envasado, comercialización e importación de países terceros, de productos agroalimentarios ecológicos.

El Consejo está formado por diez miembros, dentro de los cuales se representa la Conserjería de Agricultura Agua y Medio Ambiente, los productores y las empresas elaboradoras e importadoras.

Entre sus funciones destacan:

- Aplicar lo establecido en el Reglamento (CE) 834/2007 y Reglamento (CE) 889/2008.
- Difundir el conocimiento y la aplicación de los sistemas de producción ecológica.
- Orientar y proponer actuaciones en cuanto a la producción ecológica.
- Resolver sobre conformidad o disconformidad con el régimen de control de los operadores de productos ecológicos.
- Velar por el uso correcto de las indicaciones de identificación.

3.3 Características de la ganadería caprina

Con respecto al ganado caprino, la mayor parte del censo caprino mundial se encuentra en las regiones menos desarrolladas y su principal objetivo es la producción de carne. Sin embargo, en los países de la Cuenca Mediterránea, especialmente los europeos, la explotación caprina está orientada fundamentalmente a la producción de leche y generalmente a su transformación en queso (Falagán y Mateos, 1996).

Particularmente, en la Región de Murcia el ganado caprino se caracteriza por ser de la raza Murciana-Granadina. Morfológicamente hablando estas cabras son de un tamaño pequeño-mediano (alrededor de 45kg de peso vivo), de capa negra o caoba, con piel fina y pelo corto. Son cabras típicas de aptitud lechera dando altas producciones de leche (Falgán, 1991) que se caracteriza por un elevado rendimiento quesero.

3.4 Características de las industrias lácteas

En España, en el año 2012, se recogieron unos 7.309.156 m³ de leche, de los cuales 443.625 m³ pertenecen a leche de cabra. A nivel nacional 560 son el número de empresas que se dedican a la fabricación de quesos, de las cuales 128 se dedican a la elaboración de productos lácteos de manera ecológica. La producción total de queso en España asciende a 322.600 toneladas, siendo el 7,6% queso de cabra. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014).

Tabla I. Volumen de leche producido en España y Región de Murcia por tipo de leche (miles de litros) (INE, 2013).

	Total	Leche de vaca	Leche de oveja	Leche de cabra
España	7.309.156	6.313.014	552.517	443.625
Región de Murcia	80.886	45.570	...	35.317

En la Región de Murcia se producen 80.886 m³ de leche, de los cuales 35.317 m³ son de cabra. La leche de cabra que se obtiene se destina casi en su totalidad a la fabricación de queso y cuajada y otros productos fermentados. La producción del consumo de leche líquida respecto al total sigue siendo muy baja y está limitada a determinadas zonas de demanda tradicional (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011).

Actualmente, en la región se encuentran 20 queserías de las cuales solo dos son ecológicas. Una es Biogeminis, especializada en yogurt y kéfir, y la otra Caprilac especializada en elaboración de quesos y la cual será objeto de estudio en el presente proyecto (Tabla 2).

Tabla 2. Número de industrias sometidas a control en Agricultura Ecológica relacionadas con la producción animal en el 2012. (MAGRAMA, 2013)

	Región de Murcia	España
Relacionadas con la producción animal	16	766
Elaboración y conservación de carne y productos cárnicos	7	332
Elaboración de aceites y grasas animales	0	7
Elaboración de productos lácteos	2	128
Manipulación y conservación de pescados, crustáceos y moluscos	1	28
Elaboración de otros productos alimenticios de origen animal	6	271

La producción de queso a partir de leche de cabra en la Región de Murcia tiene una tradición antigua y son muchas las casas de campo que conservan los útiles que usaban y que datan de principio del siglo pasado. Para su coagulación utilizaban zumo de limón o vinagre que mediante calentamiento producía la precipitación de la caseína, formando la cuajada que depositaban en moldes o recipientes. Pero es a principios de la década de los 80 cuando la transformación de leche de cabra en queso comienza a adquirir importancia (Falgán y col., 2003).

Las características técnicas de las queserías artesanales, que se iniciaron con pasteurización en cuba y cuajado en la misma, han ido mejorando sus instalaciones y en gran medida se han acompañado de una mejora y diversificación de los productos artesanales. De la fabricación del queso fresco casi como producto único, se ha pasado a en la actualidad dedicar al menos el 20% a fabricar queso al vino y curado, productos que han conseguido tener a partir del 2001 la “Denominación de Origen”.

Este trabajo se centrará en la granja-quesería Caprilac que se sitúa en San Isidro un pueblo que se encuentra muy cerca La Aljorra y que pertenece a la comarca del campo de Cartagena (Figura 6). En esta explotación se realiza todo el proceso de producción del queso, desde el ordeño de las cabras hasta su embasado y distribución. La principal característica de Caprilac es la elaboración de productos artesanos con leche ecológica, dentro de esos productos podemos encontrar yogurt, kéfir y una gran gama de quesos desde queso fresco hasta queso curado.

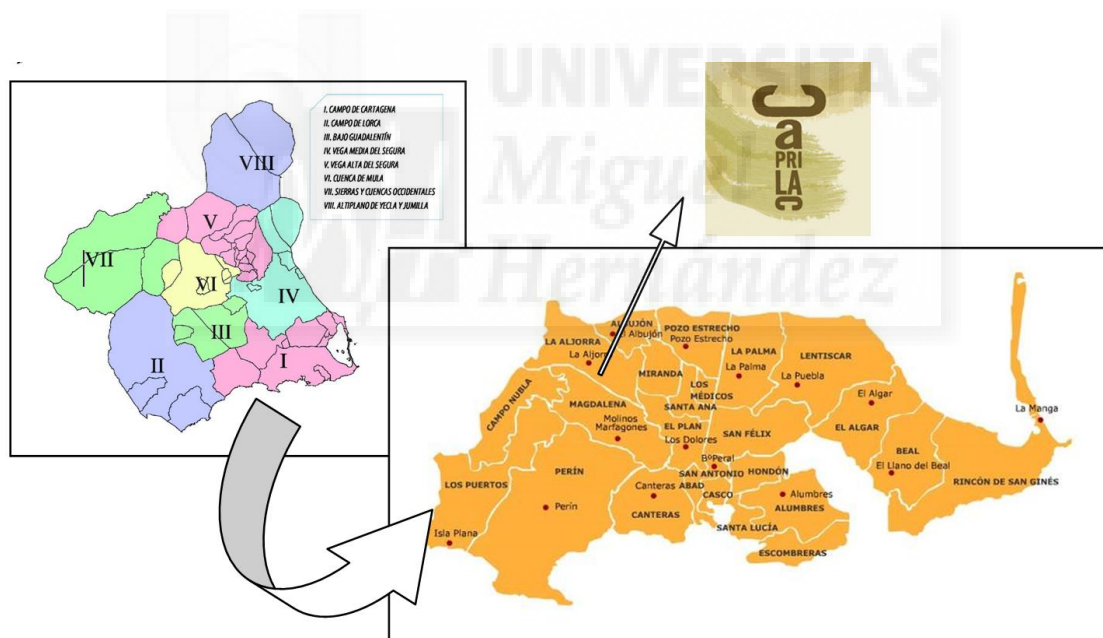


Figura 6. Localización de la granja-quesería.

Esta explotación maneja una producción de leche de 31.200 litros al año de la cual se obtienen 6.240 kg queso ya que para realizar 1 kg de queso se necesitan 5 litros de leche.

OBJETIVOS



4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Estudiar y caracterizar el flujo de residuos resultantes de la transformación de los quesos producidos en Caprilac, una granja-quesería de ganado caprino con producción ecológica situada en San Isidro (Cartagena), a través de la medición de las propiedades fisicoquímicas: acidez, conductividad eléctrica, materia orgánica, amonio, carbono e hidrogeno hidrosoluble, nitrógeno total, carbono orgánico, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno y proponer alternativas al tratamiento de esos residuos.

4.2 Objetivos específicos

Describir los procesos de obtención de los diferentes residuos en la producción de queso fresco.

Evaluar los parámetros fisicoquímicos de los residuos orgánicos generados en la granja-quesería.

Proponer diferentes alternativas de tratamiento para los residuos de aguas de lavado, suero de queso y estiércol de cabra.

MATERIAL Y MÉTODOS



5 MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Toma de muestras

Para llevar a cabo el estudio se tomaron muestras de los principales residuos que se generan tanto en el mantenimiento de los animales como en la fabricación del queso. Estos residuos son:

- La cama de las cabras.
- El suero derivado de la fabricación del queso.
- El agua de lavado procedente de la limpieza de la maquinaria y del material utilizado en la fabricación del queso.

Con el fin de obtener muestras representativas del flujo normal de residuos generados en la granja, se tomaron muestras de los residuos generados en la explotación. Estas muestras eran:

- Seis muestras del suero producido en la fabricación de queso fresco.
- Una muestra de la fabricación del queso de leche cruda.
- Seis muestras de agua de lavado en diferentes días durante la fabricación del queso.
- Cinco muestras de cama del interior de las cuadras.
- Una muestra de cama del exterior de las cuadas.

Para asegurar la representatividad de las muestras de cama, estas se tomaron de diferentes cuadras y estaban compuestas de cinco submuestras de varias zonas de la cuadra.

Las fechas de recogida fueron:

Tabla 3. Fechas y la tipología de residuos recogidos.

Fecha	Suero queso fresco	Suero queso leche cruda	Cama dentro	Cama fuera	Agua de lavado
31/03/2014	X		X		X
7/04/2014	X		X	X	X
23/04/2014		X			
28/04/2014	X		X		X
05/05/2014	X		X		X
12/05/2014	X		X		X
19/05/2014	X		X		X

5.2 Flujo de residuos en la granja-quesería

El proceso de la fabricación del queso comienza en el momento en el que se ordeña la cabra, en esta granja-quesería las cabras se ordeñan todos los días y la leche se dispone en tanques fríos de almacenamiento ya que normalmente solo se realiza queso un día o dos a la semana.

La leche se pasteuriza y posteriormente se introduce en la cuba de cuajar junto con el fermento y el cuajo donde pasados 30 minutos se procede al corte y al batido. Al salir de la cuba de cuajar se separa el suero de la cuajada y se le da la forma final en moldes especializados. En esta fase se realizan una serie de volteos. Al día siguiente el queso se introduce en los tanques de salmuera para parar el proceso de fermentación. Por último, se coloca el queso en cámaras de maduración donde se mantiene el tiempo necesario para su maduración. Para la fabricación del queso fresco, el proceso termina en los volteos, no se introduce en el tanque de salmuera ni se deja madurar.

A continuación en la Figura 7 se puede observar el flujo de residuos de la granja quesería.

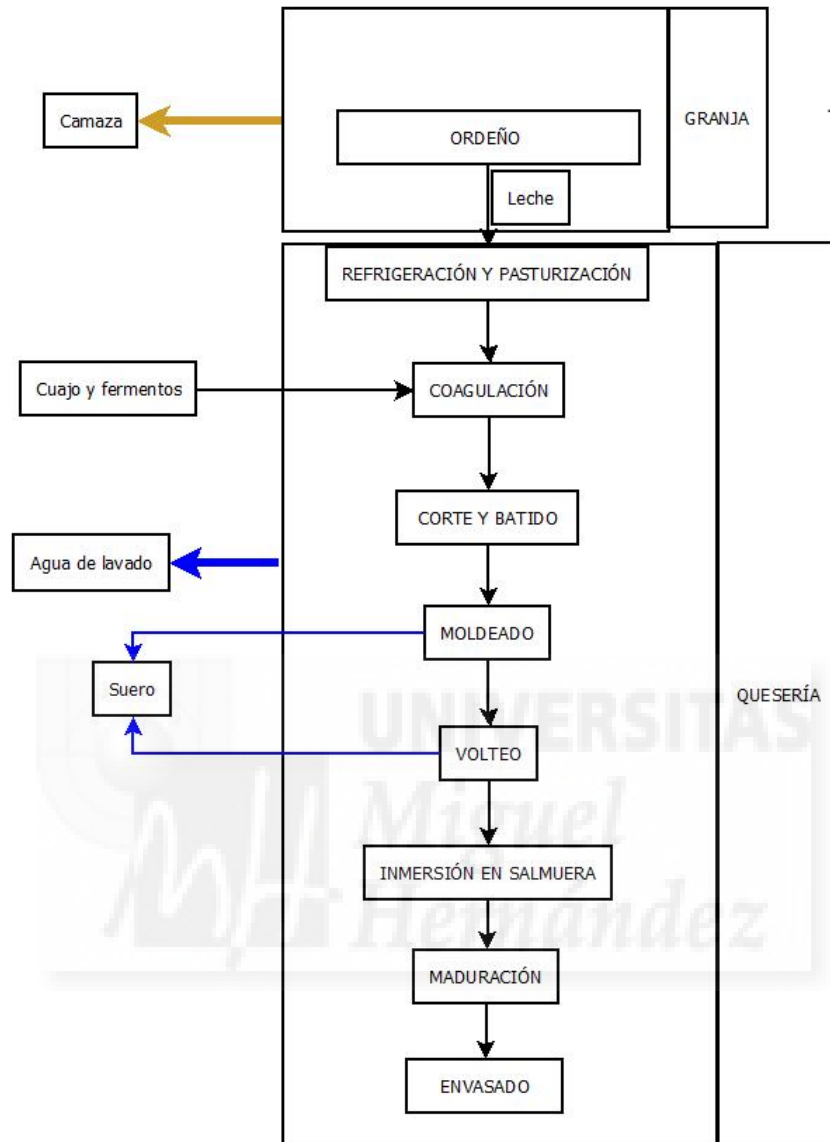


Figura 7. Flujo de residuos de la explotación (Fuente: elaboración propia).

Esta instalación se caracteriza por esta formada por dos partes, una es la granja donde se encuentran las cabras y la otra la quesería donde se realizan los productos lácteos (Figura 8).

En primer lugar, la granja está formada por tres cuadras (10), una zona de ordeño (3), una zona de almacenaje de material (4), una zona de almacenaje de leche (2) y un patio exterior. Dentro de ella se encuentran 400 hembras de cabra de la especie murciano-granadina. El único residuo generado en esta parte de la explotación es el estiércol de las cabras principalmente compuesto por heces y paja.

Por otra parte, la quesería está formada por una oficina (1), una zona de vestuarios (8), un área de fabricación del queso (5), dos salas refrigeradas (6, 7) y una zona de envasado y preparación de pedidos (9). En esta zona se generan los otros dos residuos estudiados en el presente trabajo, el cuero y el agua residual.

En la zona exterior de la explotación se encuentra el almacén de paja (11) y la residencia de los granjeros (12)

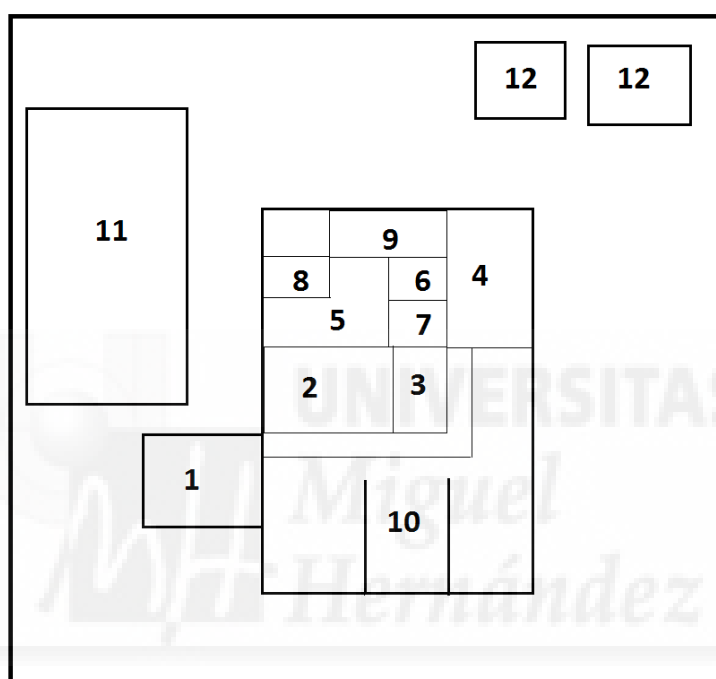


Figura 8. Plano de la explotación (Fuente: elaboración propia)

5.3 Métodos utilizados en la caracterización de los residuos

5.3.1 Preparación de las muestras

Al encontrarnos con dos tipos de muestras diferentes, líquidas y sólidas, se procede de manera distinta para su preparación. Las muestras sólidas se homogeneizan mediante un molino, una parte de estas muestras se dejan secar al aire durante una semana para facilitar su homogeneización mediante el molino ya que algunas técnicas precisan del material muy fino. En el caso de las muestras líquidas, estas se homogeneizan utilizando una batidora.

Por último, las muestras sólidas se envasan en bolsas herméticas y las líquidas se

almacenan en botes herméticos para su posterior análisis.

5.3.2 *Humedad*

Fundamento:

Determinación del porcentaje de agua con respecto a la muestra húmeda por diferencia de pesadas.

Procedimiento:

Se pesan aproximadamente 10 g de muestra húmeda (secada al aire) en un pesasustancias previamente pesado (precisión 0,0001) y se seca en una estufa a 105 °C durante 12 horas. Se deja enfriar en un desecador y se pesa. La pérdida de peso se da como humedad, expresada en porcentaje respecto a peso de muestra húmeda.

$$\%H_2O = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} \times 100$$

Donde:

- P1: peso del pesasustancias vacío.
- P2: peso del pesasustancias con muestra húmeda.
- P3: peso del pesasustancias con muestra seca.

En el caso de las muestras líquidas se introducen entre 10-20ml de la muestra en los crisoles y se realiza la misma operación.

5.3.3 *Humedad operativa*

La misma operación anterior se repite con las muestras de estiércol seco al aire (previamente molido) tomando entre 3 y 6 g de muestra en crisoles de peso conocido para calcular su humedad residual (Humedad operativa) y poder así expresar los resultados analíticos sobre peso seco.

5.3.4 *Cenizas*

Fundamento

Se toma como cenizas el residuo obtenido de la calcinación de la muestra a 550 °C durante 24 h según el método modificado de Navarro y col. (1993). El contenido en cenizas se expresa en porcentaje respecto de muestra seca.

Procedimiento

Una vez que la muestra ha sido secada a 105 °C para calcular su humedad operativa (en crisol), se calcina durante 24 horas a 550 °C. Dejar enfriar en un desecador y pesar. El contenido en cenizas se expresa en porcentaje respecto de muestra seca.

5.3.5 *Materia orgánica*

Fundamento

Se considera como materia orgánica la pérdida de peso por calcinación a 550 °C de la muestra previamente seca a 105 °C (Navarro y col., 1993).

Procedimiento

Se procede igual que en el apartado anterior. La pérdida de peso se expresa como porcentaje en peso de la muestra seca.

$$100 = \%cenizas + \%MO$$

5.3.6 *Determinación de pH*

Fundamento

Determinación del pH en extracto acuoso utilizando un pH-metro con electrodo de vidrio.

Procedimiento

En un tubo de centrifuga pesar 3 g de muestra y añadir 30 ml de agua destilada (relación 1:10 p/v). Agitar mecánicamente durante 2 horas. El pH se mide en el sobrenadante con un electrodo de vidrio.

5.3.7 *Determinación de la conductividad eléctrica*

Fundamento

Determinación de la conductividad en extracto acuoso mediante un puente de conductividad.

Procedimiento

Pesar en un tubo de centrifuga 3 g de muestra y añadir 30 ml de agua destilada (relación 1:10 p/v). Agitar mecánicamente en un agitador durante 1 hora, centrifugar y filtrar el extracto con un papel de filtro. Determinar la conductividad del extracto con un conductímetro.

5.3.8 *Carbono orgánico total (COT), Nitrógeno total (NT).*

Fundamento

Medida del CO₂ y N₂ producido al quemar la muestra a 1020 °C en un analizador elemental (Navarro y col., 1993).

Reactivo: Patrón de Atropina.

Procedimiento

Se pesan alrededor de 8 mg de muestra (finamente molida en el molino de bolas) en una cápsula de estaño con una precisión de 0,001 mg.

En el caso de residuos líquidos introducir entre 50-100 µl en una cápsula de estaño a la que se le ha adicionado previamente un absorbente inerte de tierra silíceo y se deja secar en estufa a 40 °C durante 12 horas para que la muestra esté totalmente seca. Se procede al análisis una vez calibrado el analizador con patrón Atropina.

5.3.9 *Mineralización de la muestra*

Fundamento

Digestión del material con peróxido de hidrógeno y ácido nítrico.

Reactivos:

- H₂O₂
- HNO₃

Procedimiento

Se pesan unos 0,2 g de la muestra de cama seca (con una precisión de 0,0001g) en un vaso de microondas, y se añaden con dispensador 2 ml de H₂O₂ esperar unos minutos y añadir 8 ml de HNO₃. Mezclar cuidadosamente y dejar reposar unos minutos antes de cerrar los vasos. Colocar los vasos en sus respectivas estructuras y cerrar con la llave neumática. Colocar las estructuras dentro del microondas, engancharlas en los resortes y poner la tapa superior para asegurarlas. Las muestras se digieren mediante una rampa de temperatura de 0 a 170 °C durante 10 minutos y a 170 °C 15 minutos más. Una vez finalizado el programa, se abren cuidadosamente los tubos de microondas bajo campana. Filtran las digestiones en matraces aforados de 25 ml con papel de filtro lavado a ácidos y se enrasa con agua destilada. Guardar las digestiones filtradas en botes estériles de 50 ml.

Para las muestras líquidas se añaden 2.5 ml de muestra en el vaso de microondas y pasados unos minutos 1.5 ml de H₂O₂ y 6 ml de HNO₃. El resto se procede igual que para muestras sólidas.

5.3.10 Nitrógeno en forma amónica (N-NH₄⁺)

Fundamento

Extracción con cloruro potásico y determinación colorimétrica del N-NH₄⁺ del extracto (Sommers y col, 1992).

La determinación colorimétrica se realiza mediante medida espectrofotométrica de la intensidad de coloración del complejo producido por la reacción de Berthelot, usando salicilato sódico en presencia de dicloroisocianurato sódico como fuente de cloro, nitroprusiato sódico como catalizador y citrato sódico como complejante de calcio y magnesio, para evitar su precipitación como hidróxidos a valores de pH mayores de 12 en que sucede la reacción (Kempers y Zweers, 1986).

Reactivos:

- KCl 2 M.
- (NH₄)₂SO₄.
- Reactivo A:
 - Salicilato sódico 7,813 g.
 - Nitroprusiato sódico 20 mg.
 - Agua destilada hasta 100 ml.
- Reactivo B:
 - Dicloroisocianurato sódico 0,5 g.
 - NaOH 4,0 g.
 - Agua destilada hasta 100 ml (pH 13).
- Reactivo C:
 - Citrato sódico. 9,33 g/100 ml.

Procedimiento

Se realiza una extracción de la muestra fresca con KCl 2 N en proporción 1:20, peso/volumen. Se agita mecánicamente durante 2 horas, se centrifuga y se filtra con papel lavado a los ácidos.

Curva patrón

Se pesan 1,88 g de sulfato amónico, se disuelven y se llevan a 1000 ml con agua destilada. Esta disolución contiene 400 ppm de nitrógeno en forma amónica. Se preparan nuevas disoluciones que contengan exactamente 5, 10, 15, 20 y 25 ppm de nitrógeno en forma amónica, respectivamente. En matraces aforados de 25 ml se toma 1 ml de las disoluciones anteriores, 4 ml de reactivo A, 2 ml de reactivo C, agua destilada hasta aproximadamente 20 ml, 2 ml de reactivo B y se enrasa hasta 25 ml con agua destilada. Estas disoluciones contienen 5, 10, 15, 20 y 25 µg de nitrógeno en forma amónica.

Los matraces se mezclan bien y se dejan en reposo en la oscuridad durante 45 minutos, para un adecuado desarrollo del color. Pasado este tiempo, se mide la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 660 nm.

Determinación de la muestra:

Se toman de 0,2-0,4 ml del extracto de la muestra, dependiendo de la concentración de nitrógeno en forma amónica que se espera contenga, se añaden los mismos reactivos que para la recta patrón y en el mismo orden y se completa con agua destilada hasta 25 ml en matraz aforado. Se mezcla bien y se procede de igual forma que para la recta patrón. La concentración de $N-NH_4^+$ se calcula según su absorbancia respecto de la recta patrón.

5.3.11 *Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)*

Fundamento:

La DQO hace referencia a la cantidad de oxígeno consumida por la materia oxidable (bajo unas determinadas condiciones) contenida en el agua; tanto orgánica como inorgánica.

Como oxidante se usa dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$) en medio ácido (H_2SO_4). Para asegurar la oxidación de toda la materia se añade dicromato en exceso. Además,

también se añade plata en forma de Ag_2SO_4 , como catalizador y para precipitar los cloruros.

Como se añade dicromato en exceso, se valora el dicromato no reducido con sulfato ferroso amónico (Sal de Mohr), usando ferroína como indicador. Hay que tener en cuenta que la Sal de Mohr debe ser factorada previamente con el dicromato para poder calcular la normalidad de la misma.

Reactivos:

- Disolución $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Ag}_2\text{SO}_4$: se disuelven 10,12 g de Ag_2SO_4 en un litro de ácido sulfúrico concentrado.
- Sal de Mohr 0,10 M
- Disolución $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,0167 M.
- Disolución indicadora de ferroína:
 - 1,485 g de 1-10 fenantrolina.
 - 0,695 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
 - Diluir a 100 ml.

Procedimiento:

Si se utilizan para la digestión tubos de 25 x 150 mm, se añade a cada uno de ellos 1-0,5 ml de muestra, y se completa hasta 10 ml con agua destilada; en otro tubo se adiciona 10 ml de agua destilada (ensayo en blanco).

A cada uno de los tubos anteriores se les adiciona 6 ml de reactivo de digestión y 14 ml de $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Ag}_2\text{SO}_4$, además de un núcleo de agitación. Si para la digestión se emplean tubos de 20 x 150 mm los volúmenes a adicionar serán la mitad de los comentados en 1 y 2, y si se emplean los de 16 x 100 mm, la cuarta parte.

Se agitan con cuidado y se cierran los tubos. A continuación se introducen en una estufa a 150 °C durante dos horas. Transcurridas las dos horas, se sacan de la estufa y se dejan enfriar hasta temperatura ambiente.

A continuación se procede a la valoración del dicromato en exceso de cada una de las digestiones utilizando la Sal de Mohr 0,1 M y ferroína como indicador. En el punto de equivalencia se observa un cambio de color verde a pardo rojizo.

Cálculo de resultados: con los datos obtenidos, la DQO de cada muestra se calcula empleando la siguiente expresión:

$$DQO(mg \cdot L^{-1}) = \frac{(A - B) \cdot N_{sal\ de\ Mohr} \cdot 8000}{mL\ de\ muestra}$$

Donde:

A = ml de Sal de Mohr utilizados para el blanco

B = ml de Sal de Mohr utilizados para valorar la muestra

N sal de Mohr = normalidad de la Sal de Mohr (corregida con el factor)

5.3.12 *Determinación del Carbono y Nitrógeno hidrosolubles (C_{hidro} y N_{hidro}).*

Fundamento

Se determina el carbono y nitrógeno orgánicos extraído con agua destilada en un analizador elemental de líquidos TOC-TN.

Procedimiento

Se extrae la muestra con agua desionizada en proporción 1:20 (p/v) durante 2 horas. Centrifugar y filtrar con una malla de fibra sintética, para eliminar las partículas sólidas que pudieran haber quedado flotando. Se realizan diluciones 1:20 para el suero y 1:50 para el estiércol y se filtra usando filtros de PTFE 0,45 μ m. Medir en el analizador de líquidos TOC-TN.

5.3.13 *Determinación biológica de oxígeno (DBO)*

Fundamento:

La DBO se trata de una prueba empírica en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas. La prueba mide la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos incluidos para la degradación bioquímica de la materia orgánica (requerimiento de carbono), así como el oxígeno requerido en la oxidación de materia inorgánica, como los sulfuros o el ión ferroso.

Puede medir también el oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas del nitrógeno a menos que se impida la oxidación por medio de un inhibidor.

El ensayo se realiza bajo unas condiciones estándar: incubación durante 5 días, a 20 °C, y en la oscuridad. Con esta última condición se pretende evitar la proliferación de

algas, las cuales consumirían CO_2 y generarían O_2 en la fotosíntesis, falseando así los resultados obtenidos.

En la determinación de la DBO_5 por el método manométrico, el proceso de digestión aerobia se desarrolla directamente en el agua residual. El agua se introduce en un frasco de color topacio junto con un agitador magnético y unas gotas de inhibidor de la nitrificación, cerrándose herméticamente dicho frasco mediante un tapón electrónico; lo que se mide entonces es la caída de presión que, a lo largo de los cinco días de ensayo, tiene lugar en el volumen del frasco sin ocupar por el líquido debido al consumo de O_2 por parte de los microorganismos.

Procedimiento:

Según la DBO_5 esperada se añade una cantidad de muestra u otra, en nuestro caso se añaden para cada una de las muestras 22,7 ml y en sus repeticiones se añaden 43,5 ml, estos volúmenes corresponderían con un valor esperado de DBO_5 de entre 0-2000 y 0-4000 respectivamente.

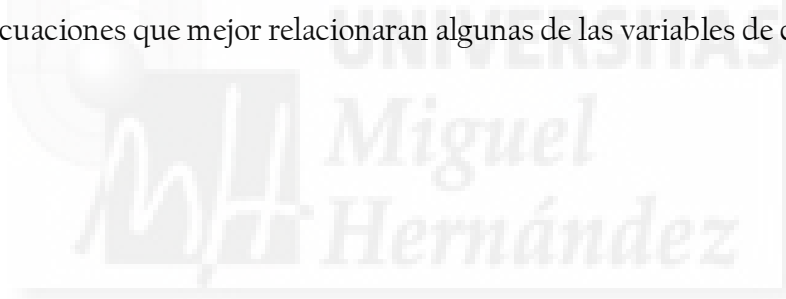
A los frascos de topacio se les introducen unas lentejas de sosa en el tapón para evitar que llegue humedad al tampón electrónico, el tapón electrónico se inicia y se colocan en la estufa. Tras 5 días y mediante el tapón electrónico se mide la caída de presión al consumo de O_2 .

5.4 Análisis Estadístico

Para la realización de los análisis estadísticos se ha utilizado el paquete estadístico SPSS versión 19.0 (SPSS Inc.) para Windows.

Con este programa se realizaron los análisis descriptivos de los parámetros analizados en los tres tipos de muestras a fin de conocer su media, máximo, mínimo y desviación típica.

Para estudiar la relación y grado de asociación entre variables, se llevó a cabo una correlación de Pearson con prueba de significación bilateral para el contraste de la hipótesis nula (coeficiente=0). Además para encontrar una relación funcional entre variables se realizó una regresión lineal múltiple utilizando cada uno de los parámetros analizados como variable dependiente frente a todas las demás como independientes, a través del método “*backward*” (hacia atrás) y el método “*Forward*” (hacia delante) a fin de obtener las ecuaciones que mejor relacionaran algunas de las variables de cada residuo.



5.5 Caracterización de los residuos.

5.5.1 Suero

El suero es el residuo líquido generado en el cuajado de la leche. Se recogieron un total de 7 muestras, semanalmente durante un periodo de tiempo de 50 días. Una vez recogida la muestra se procedía a su inmediata homogeneización y medida de los parámetros: Humedad, M.O., pH, C.E.. Mientras otra parte de la muestra era congelada para su posterior filtrado y análisis del NT y COT en un analizador elemental. Además, se procedía a la mineralización de la muestra para la determinación de macro, microelementos y metales pesados mediante Espectroscopia Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).



Figura 9. Recogida de residuo de suero de la cuba de cuajado.

5.5.2 Estiércol

El estiércol es el residuo generado en la limpieza del establo, está compuesto por heces procedentes de las cabras y cama formada principalmente por paja. Se recogieron un total de 7 muestras, semanalmente durante un periodo de tiempo de 50 días. En

primer lugar se homogeneizaron las muestras al máximo posible, se midió la humedad, el porcentaje de cenizas y el pH y la conductividad. A continuación, las muestras se secaron al aire libre y se trituraron lo máximo posible.

Estas muestras se sometieron al análisis del nitrógeno total y el COT en un analizador elemental, realizando un extracto acuoso para su medida. También se analizó el carbono y el nitrógeno hidrosoluble en el Analizador Automático para muestras líquidas. Por último, se realizó el análisis del amonio mediante un espectrofotómetro.



Figura 10. Recogida de estiércol.

5.5.3 Agua residual

El agua de lavado o agua residual es el residuo procedente de la limpieza de los moldes y utensilios utilizados en la fabricación del queso. Procede de un tanque donde se introducen los útiles de fabricación y se mantienen durante un plazo de tiempo necesario para la eliminación de suciedad y posibles microorganismos. Este agua residual, está formada por agua y detergente ácido en ciertas proporciones. Se recogieron un total de 6 muestras, semanalmente durante un periodo de tiempo de 50 días. Para el agua residual se realizaron los mismos análisis que en el caso del estiércol,

exceptuando el análisis del amonio. Además se midió la demanda química de oxígeno y la demanda biológica de oxígeno.



Figura 11. Recogida de agua de lavado del tanque de limpieza.

RESULTADOS Y DISCUSION

Marta Hernández

6 RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Identificación y cuantificación de los flujos de residuos en la granja-quesería

Como ya se ha comentado anteriormente en este trabajo, los residuos generados en la quesería son: suero, agua residual y estiércol.

6.1.1 Residuos líquidos

Dentro de los residuos líquidos hablaremos del suero y del agua de lavado.

En la fabricación del queso fresco, se genera un 60-70% de suero dependiendo de la época del año, ya que en verano la leche de las cabras tiene más contenido en agua y por lo tanto se genera más suero. Berruga (1999) en su tesis doctoral explica que se generan 9 L de suero por cada kg de queso que se fabrica. En el caso de Caprilac, la maestra quesera afirma que son 5 L de suero por kilo de queso fresco fabricado.

Para saber los litros de suero aproximado que se generan en la quesería hay que tener en cuenta los kilos de queso que se producen y la cantidad de leche que se utiliza. En la quesería se fabrican 130 kg de queso fresco a la semana y para realizar un kg de queso se necesitan 5 litros de leche. En este caso se utilizan 2.600 L de leche al mes y el 70% de esa leche es suero, por lo tanto, en la quesería se generan 1.820 L de suero al mes que serían 21.840 L al año.

El agua de lavado procede de un tanque donde se introducen los moldes, las bandejas y todos los utensilios de plástico que se utilizan para fabricar el queso. El agua, está formada por agua y detergente ácido en ciertas proporciones. En cuanto a la generación de agua de lavado en la quesería: se generan 1.040 m³ cada vez que se fabrica queso y se le adiciona entre el 1 y el 3% de detergente según la suciedad que tengan los moldes. El queso fresco se fabrica una vez a la semana, por lo que al mes se generan 4.160 m³ que al año suponen 49.920 m³.

En resumen, la cantidad de agua residual que se genera es 8 m³/kg queso y el suero generado es 3,5 L / kg de queso.

6.1.2 Residuos sólidos

Los residuos sólidos que se generan en la granja proceden del estiércol y la cama de las carbas, la cantidad de este residuo que se produce al año en la granja se calcula aproximadamente utilizando los datos proporcionados por la Diputación Foral de Guipúzcoa en su proyecto sobre la cuantificación y caracterización de los residuos ganaderos de Guipúzcoa. En el Anexo I de ese documento se encuentran las equivalencias entre la producción de estiércol o purín según el tipo de animal. En el caso de las hembras de cabra la producción es de 1,1 m³ o tn de estiércol al año por cabra. Teniendo en cuenta que en la explotación de Caprilac hay un total de 200 cabras, la producción aproximada de estiércol al año es de 220 tn.

6.2 Caracterización de los residuos

6.2.1 Suero

El Código Alimentario Español, define como sueros lácteos “los líquidos formados por parte de los componentes de la leche que resultan de diversos procesos de elaboración de productos lácteos”. Dentro de estos sueros lácteos se encuentra el suero de queso definido como el líquido residual de la elaboración de queso.

El suero de queso es un líquido blanco-amarillento que se obtiene tras la separación de la cuajada.

La composición del suero varía mucho según diferentes condiciones, en la Tabla 4 se muestra una relación de los principales factores que influyen en la composición del suero.

Tabla 4. Factores que afectan a la composición química del suero de quesería. (Fuente: Castillo y col., 1996)

Composición de la leche cruda	Proceso de elaboración empleado
<p>Factores genéticos</p> <p>Especie animal</p> <p>Raza</p> <p>Mejora genética</p> <p>Individuo</p> <p>Factores ambientales</p> <p>Edad</p> <p>Alimentación</p> <p>Número de partos</p> <p>Fase de lactación</p>	<p>Tratamiento previo de la leche</p> <p>Pasterización</p> <p>Filtración</p> <p>Refrigeración</p> <p>Modo de obtención de la cuajada</p> <p>Cultivos iniciadores</p> <p>Empleo de ácidos</p> <p>Tipos de enzimas</p> <p>Manipulación de la cuajada</p> <p>Tamaño del corte</p> <p>Temperatura/tiempo</p> <p>Agitación</p> <p>Desuerado</p>

A la hora de estudiar el suero derivado de la fabricación de queso, se han definido dos tipos de sueros, los ácidos y los dulces. En nuestro caso tenemos un suero dulce ya que su pH se encuentra entre 5.9-6.6 (Gösta, 2003).

El rango de la conductividad eléctrica del suero de Caprilac es 9-16 dS/m, autores como Méndez y col. (2009) obtienen una conductividad media de 26,7 para sueros dulces y sin embargo Callejas (2012) obtuvieron valores de 8,76 dS/m inferior al mínimo de la conductividad detectada en nuestro suero.

En la Tabla 5 se presentan las características del suero en las diferentes muestras recogidas.

Tabla 5. Características fisicoquímicas del suero obtenido en la fabricación de queso fresco.

Muestra	M.O (%)	pH	CE (dS/m)	COT (g/L)
1	87,1	6,3	12,3	29
2	87,6	6,3	14,5	29
3	90,1	5,2	9,4	30
4	88,1	6,5	12,5	25
5	86,7	6,3	14,2	31
6	87,4	6,3	15,8	9
7	87,8	6,6	16,1	8
Media	87,8	6,2	13,5	23
Máximo	90,1	6,59	16,1	31
Mínimo	86,7	5,23	9,4	8
Desv. Típ.	1,1	0,45	2,3	10,1

Dentro de las características fisicoquímicas del suero (Tabla 5) cabe destacar la homogeneidad en la cantidad de materia orgánica de las muestras, con una del 87,8% de materia orgánica, el pH también tiene unos valores similares entre muestras, en este caso la media del pH es de 6,2. La conductividad eléctrica de los sueros se encuentra en un rango entre 9,4 y 16,5 dS/m, con una media de los valores de 16,1 dS/m. Por último, el contenido en carbono orgánico total tiene grandes diferencias entre muestras, contando un mínimo de 8 g/L y un máximo de 31 g/L dentro de las muestras.

Tabla 6. Macronutrientes y sodio de las muestras de suero

Muestra	NT (g/L)	Ca (g/L)	Na (g/L)	P (g/L)	K (g/L)
1	1,9	0,41	1,84	0,36	2,17
2	1,9	0,42	1,72	0,34	1,95
3	1,9	0,40	0,91	0,34	1,49
4	1,3	0,38	1,61	0,32	1,89
5	1,9	0,45	1,86	0,34	2,18
6	0,6	0,29	1,17	0,23	1,27
7	0,6	0,40	1,55	0,33	2,08
Media	1,4	0,39	1,52	0,32	1,86
Máximo	1,9	0,45	1,86	0,36	2,18
Mínimo	0,6	0,29	0,91	0,23	1,27
Desv. Típ.	0,62	0,05	0,36	0,04	0,35

Respecto a la concentración de macronutrientes y sodio (Tabla 6), el potasio es el elemento que se encuentra en mayor concentración, sin embargo, el calcio y el sodio son

los que tienen las concentraciones menores. Tanto el contenido de sodio como el de nitrógeno total varía mucho entre las distintas muestras, esto hace que su desviación típica sea de las más altas dentro de los macronutrientes.

Comparando los resultados de la composición del suero generado en Caprilac con los resultados obtenidos por Callejas (2012) y Gösta (2003) podemos decir que el suero de Caprilac se encuentra dentro de los rangos de los sueros dulces, a excepción del sodio, que en nuestro caso es más del doble del obtenido en Gösta (2003).

Tabla 7. Comparación de la composición promedio de diferentes sueros dulces.

	Suero dulce (g/L)	Suero dulce (g/L)	Suero Caprilac (g/L)
Calcio	0,43	0,4-0,6	0,39
Fósforo	0,4	0,4	0,32
Sodio	0,5	-	1,52
Potasio	1,6	1,4-1,6	1,86
Cloruro	1,1	2,0-2,2	-
Referencia	Gösta (2003)	Callejas y col. (2012)	

En resumen, los elementos más abundantes son K, Na, P y Ca que son oligoelementos, esto puede ser debido a que la leche de cabra tiene mayores contenidos en Ca, K, Mg y P que la leche de vaca (Park y col., 2007).

A la hora de gestionar los sueros como un residuo es importante tener en cuenta su contenido en metales pesados porque si se quiere verter directamente al suelo o si se quiere mezclar con otro residuo para realizar compost es necesario cumplir los límites máximos de vertido de estos metales. Como se puede observar en la Tabla 8 los metales que presentan mayor concentraciones son el hierro y el cinc. La cantidad de cromo o de níquel de algunas muestras es inferior al límite de detección y el resto tienen muy bajas concentraciones.

Dentro de los microelementos y los metales pesados las mayores concentraciones corresponden al hierro y al cinc, siendo este primero el que tiene mayor heterogeneidad entre la concentración de las distintas muestras. Las menores concentraciones

corresponden al cadmio 0,03 mg/L y el níquel, que solo se detectó en una de las muestras (0,08 mg/L) en muy baja concentración.

Tabla 8. Concentración de microelementos y metales pesados en las muestras de suero.

Muestra	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Ni (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)
1	0,68	4,59	1,12	nd	0,08	0,40	0,49
2	0,55	2,53	2,74	nd	0,02	nd	0,62
3	0,20	1,58	1,03	nd	0,02	nd	0,39
4	0,30	1,50	0,45	nd	0,02	0,16	0,66
5	0,35	1,24	0,30	nd	nd	nd	0,46
6	0,05	nd	0,08	nd	0,02	nd	0,26
7	0,55	2,18	1,87	0,08	nd	nd	0,38
Media	0,38	2,27	1,08	0,08	0,03	0,28	0,47
Máximo	0,68	4,59	2,74	0,08	0,08	0,40	0,66
Mínimo	0,05	1,24	0,08	0,08	0,02	0,16	0,26
Desv. Típ.	0,22	1,23	0,95	-	0,03	0,17	0,14

Nd: no detectado, valores obtenidos inferiores a 0,001.

Estadísticamente se ha realizado una matriz de correlación de Pearson entre los diversos parámetros que caracterizan el suero (Anexo II, Tabla 30). Al examinar los datos se ha encontrado una alta correlación entre las variables nitrógeno total y carbono orgánico total, el coeficiente de correlación de Pearson para estas variables es de 0,986, con una significación menor a 0,001 y grado de libertad de 6. La ecuación lineal obtenida del análisis multivariable se escribe como en la *Ecuación 1*:

$$N_{tot} = 0,006 + 0,59COT \quad \text{Ecuación 1}$$

Como la correlación entre ambas variables es positiva, un aumento en el N_{total} vendrá acompañado de un aumento en el COT y viceversa.

Existe otra ecuación, con una correlación más pequeña que relaciona las variables materia orgánica y pH. La correlación entre ambas variables en este caso es negativa y tiene un valor de $r = -0,829$, siendo significativa ($P < 0,05$) y con grado de libertad 6. La ecuación de la recta quedaría de la siguiente manera (*Ecuación 2*):

$$MO = 100,490 - 2,030pH \quad \text{Ecuación 2}$$

6.2.2 Estiércol

Thibaudeau (1997) agrupa los residuos producidos en una explotación ganadera en tres clases según su cantidad de humedad:

- Estiércol sólido y semilíquido o pastoso: el sólido tiene una proporción menor al 85% de agua y está formado por una mezcla de excrementos de animales y de cama más o menos descompuesta; el semilíquido contiene aproximadamente un 85% de agua y la cantidad de cama es menor que en los sólidos.
- Lisier: contenido en agua superior al 85% y la mezcla contiene poco o nada de cama.
- Purín: es la parte líquida que fluye de la pila de estiércol.

Según los datos de humedad obtenidos de las muestras de Caprilac (Tabla 9) el estiércol de la explotación se puede agrupar dentro de los estiércoles sólidos, ya que su contenido en agua es siempre menor al 85%.

Tabla 9. Humedad de las muestras de estiércol recogidas en la explotación de Caprilac.

Muestra	Humedad (%)
1	49
2	40
3	15
4	18
5	18
6	17
7	35

Las características fisicoquímicas de este residuo son las que se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 10).

Tabla 10. Características fisicoquímicas del estiércol generado por el ganado caprino en la granja (Datos sobre materia seca).

Muestra	MO (%)	pH	CE (dS/m)	C _{hidro} (g/kg)	N _{hidro} (g/kg)	COT (g/kg)	N-NH ₄ (g/kg)
1	86	7,8	3,1	40,2	5,7	310	3,80
2	90	8,6	5,2	28,9	3,8	172	1,91
3	76	8,8	7,7	35,9	4,8	373	2,02
4	88	8,9	7,0	37,5	5,8	193	2,60
5	87	6,6	10,4	37,3	5,3	178	1,90
6	87	6,8	9,8	34,3	4,7	367	1,73
7	86	7,2	8,4	28,7	4,0	330	3,32
Media	85,7	7,8	7,4	34,7	4,9	275	2,50
Máximo	90	8,95	10,36	40,2	5,8	373	3,80
Mínimo	76	6,65	3,1	28,7	3,8	172	1,73
Desv. Típ.	4,50	0,96	2,55	4,4	0,8	90,42	0,81

El estiércol de la granja se caracteriza por altos contenidos en materia orgánica, entre 76 y 90%, con un pH más bien cercano a la neutralidad aunque en algunas muestras tiende a básico con valores de hasta 8,95 y una conductividad eléctrica media de 7,4 dS/m. Respecto a los contenidos en carbono, el estiércol contiene 275 g/kg de carbono orgánico total de los cuales 34,7 son carbono hidrosoluble. El nitrógeno en forma de amonio tiene un valor medio de 2,5 g/kg y el nitrógeno hidrosoluble varía entre 5,8 y 3,8 g/kg.

Al observar los datos del coeficiente de Pearson que arroja la matriz de correlación se encuentra que hay una elevada correlación entre: el C_{hidrosoluble} y N_{hidrosoluble} (r=0,946) el fósforo y el cinc (r=0,956), el fosforo y el cobre (r=0,984) y por último el cinc y el cobre (r=0,939), como todas las correlaciones son positivas, la relación entre las variables también lo será, al aumentar una de ellas aumentara la otra y al revés.

Estadísticamente se ha obtenido una ecuación (Ecuación 3) que relaciona las variables C_{hidrosoluble} y N_{hidrosoluble}, con una significación menor a 0,001 y un grado de libertad de 5.

$$N_{hidro} = -975,078 + 0,169C_{hidro}$$

Ecuación 3

En cuanto a los macro y micronutrientes, el estiércol de cabra tiene altas concentraciones de calcio 26,6 g/kg aunque es un valor que cambia mucho según la muestra ya que sus valores se encuentran entre un rango de 8,7 y 33,3 g/kg. El nitrógeno total también se encuentra en altas concentraciones (17,8 g/kg de media) llegando incluso hasta los 25,2 g/kg. En cambio, tiene bajas concentraciones de sodio (3,64 g/kg) y manganeso (0,2 g/kg) (Tabla II).

Tabla II. Macro y micronutrientes de las muestras de estiércol.

Muestra	NT (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Na (g/kg)	Mn (g/kg)
1	21,2	5,4	13,1	30,9	4,5	3,37	0,2
2	11,8	1,6	11,0	8,7	1,7	1,32	0,1
3	17,9	5,6	23,7	33,3	6,0	6,07	0,2
4	13,4	5,4	13,4	31,4	4,5	3,59	0,2
5	12,2	5,4	13,1	26,3	4,7	3,24	0,2
6	25,2	5,7	12,9	24,2	4,7	3,17	0,2
7	22,6	6,6	16,7	29,1	6,1	4,73	0,2
Media	17,8	5,1	14,8	26,3	4,6	3,64	0,2
Máximo	25,2	6,6	23,7	33,3	6,1	6,07	0,2
Mínimo	11,8	1,6	11,0	8,7	1,7	1,32	0,1
Desv. Típ.	5,42	1,60	4,25	8,35	1,45	1,47	0,04

Dentro del contenido de micronutrientes del estiércol cabe destacar la alta concentración de Fe. Según Nicholson (1999) en su estudio sobre el contenido de metales pesados en estiércoles de diferentes animales, las concentraciones de Zn (180 mg / kg dm) y Cu (50 mg / kg dm) en estiércol de ganado lechero son generalmente más altas que en el estiércol del ganado vacuno. Estas diferencias pueden ser debidas al uso de suplementos minerales en el alimento del ganado lechero, cuya composición se basa en el empleo de compuestos a base de estos metales. El contenido de metales pesados de estiércoles de la explotación son en gran parte un reflejo de sus concentraciones en los alimentos consumidos y la eficiencia de conversión de alimento por los animales. Sin embargo, las concentraciones en metales pesados que se obtienen en el estiércol de cabra son bajas y debidas en su mayor parte a la alimentación que reciben las cabras. La

mayor parte del cinc y el cobre que se aporta en el alimento no es absorbido por los animales, por lo que se excreta haciendo que la concentración de estos metales en el estiércol sea mayor (Han y col., 2008).

Tabla 12. Metales pesados presentes en las muestras de estiércol.

Muestr a	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)
1	38	1.184	103	12,6	0,1	13,4	4,6
2	10	196	20	0,7	0,2	2,3	2,2
3	42	2.839	137	16,6	0,2	26,8	6,7
4	39	1.225	116	8,7	0,3	14,3	6,1
5	35	962	125	4,4	0,2	6,6	5,6
6	39	750	108	3,5	0,2	5,7	2,8
7	51	1.395	134	5,7	0,2	6,8	6,8
Media	36	1.222	106	7,5	0,2	10,8	5,0
Máx.	51	2.839	137	16,6	0,3	26,8	6,8
Mín.	10	196	20	0,7	0,1	2,3	2,2
Desv. Típ.	12,65	815,39	40,03	5,56	0,06	8,24	1,85

Los valores más altos de concentraciones de metales pesados corresponden al hierro y al cinc. El contenido en hierro oscila entre un amplio rango de concentraciones 2839- 196 mg/kg. Al igual sucede con el cinc que tiene como máximo valores de 137 mg/kg y como mínimo 20 mg/kg. Probablemente debido al porcentaje variable de paja de cereal que se encontró en las muestras y que se usa como cama en el estabulado de las cabras.

Las menores concentraciones detectadas fueron las del cadmio y las de plomo con 0,2 y 5 mg/kg de media respectivamente.

Azeez (2010) en su estudio sobre el potencial de mineralización del nitrógeno del estiércol de diferentes animales hace una comparativa entre estiércol de aves de corral, ganado y cabra. En la Tabla 13 podemos comparar los datos obtenidos en ese estudio con los datos obtenidos en la caracterización del estiércol de cabra de Caprilac.

Tabla 13. Comparación de las características fisicoquímicas del estiércol de ganado vacuno, caprino y aviar con el ganado caprino de Caprilac.

Parámetro	G. aviar	G. bovino	G. Caprino	G. Caprino Caprilac
MO (%)	72	38	47	86
pH	6,8	8,4	9,3	7,8
CE (dS/m)	9,4	1,9	6,5	0,73
N total (g/kg)	37,1	17	22,2	17,8
COT (g/kg)	355	174	250	275
Ca (g/kg)	24,90	19,20	23,20	26,28
Mg (g/kg)	6,49	9,10	9,99	4,61
P (g/kg)	14,65	4,19	4,27	5,09
K (g/kg)	17,95	16,80	41,14	14,84
Na (g/kg)	4,80	2,61	3,66	3,64
Fe (g/kg)	1,88	11,25	10,4	1,22
Cu (mg/kg)	99	34,9	39	36,6
Mn (mg/kg)	759	336	309	160
Zn (mg/kg)	545	99	94	106
N-NH ₄ (g/kg)	3,34	0,07	0,16	2,47

Comparando los datos, el ganado caprino tiene la mayoría de las características cercanas a los valores obtenidos en el estudio para ganado caprino, pero también tiene otras variables como la materia orgánica, el pH y el amonio que se asemejan mucho al ganado aviar. Según Azeez (2010), la cantidad de amonio puede ser reflejo del bajo pH del ganado aviar, en nuestro caso, el pH no se corresponde con el del ganado caprino, sino más bien con el ganado aviar y también se ve puede observar un alto contenido en amonio debido al pH bajo. En dichas condiciones de pH el nitrógeno en forma amónica se encuentra principalmente en forma protonada, como catión soluble, frente a la forma gaseosa amoniaco, por lo que las pérdidas por volatilización serán muy bajas.

6.2.3 Agua residual

Las aguas residuales son el principal residuo que se genera en la industria láctea.

Tabla 14. Características fisicoquímicas del agua residual generada en la quesería.

Muestra	MO (%)	pH	CE (dS/m)	C _{hidro} (mg/L)	N _{hidro} (mg/L)	DQO (mg/L)
1	53	3,6	0,9	417	54	1.841
2	68	3,8	0,9	362	50	1.932
3	56	3,8	0,9	287	39	1.776
4	63	2,7	1,2	782	205	1.384
5	77	2,4	4,2	1.270	380	3.528
6	45	6,7	0,7	104	32	674
Media	60,3	3,8	1,5	537	127	1.856
Máximo	77	6,73	4,17	1270	380	3528
Mínimo	45	2,42	0,71	104	32	674
Desv. Típ.	11,41	1,53	1,34	422	140	941

El uso de productos de limpieza y desinfectantes ácidos y alcalinos influye en las características del agua y por lo general, produce un pH muy variable. Danalewich y col. (1998) es su estudio sobre la caracterización de los flujos de residuos lácteos concluyó que los detergentes aumentan significativamente la alcalinidad, los fosfatos y las concentraciones de ácidos. En Caprilac el tipo de detergente utilizado es ácido (PINARAN® ESPUMA eco), que podría explicar los valores bajos de pH que se obtuvieron durante el estudio, en contadas ocasiones la limpieza en vez de con un limpiador ácido se realiza con un limpiador neutro (BETELENE® F3), a ello puede deberse el pH obtenido en la muestra 6, más alto que le de las demás muestras.

Los altos porcentajes en materia orgánica (60%), C hidrosoluble (537 mg/L) y N hidrosoluble (127 mg/L) de las aguas residuales son debido a los restos de leche y queso que contienen. El nitrógeno procede principalmente de las proteínas de la leche y se presenta de diversas formas, tanto como nitrógeno orgánico como en forma de ion amonio (Demirel y col., 2005). Estos altos contenidos en materia orgánica también se traducen en una alta DQO (1.856 mg/L) (Tabla 14). Sarkar (2006) calcula el rango de DQO entre 1.500-3.000mg/L. En el agua residual derivada de la fabricación de queso el

97,7% del DQO se deriva de la lactosa, el lactato, las proteínas y las grasas (Hwang y Hasen, 1998). Aunque el ensayo de la DBO se llevó a cabo, so se obtuvieron datos de él. Posiblemente la acidez y el contenido en detergentes no permitió a los microorganismos realizar la degradación.

Al analizar la matriz de correlación de las variables del agua residual se han obtenido altas correlaciones para los conjuntos de variables: C_{hidro} y N_{hidro} ($r=0,98$), pH y fosforo ($r=-0,977$), MO y C_{hidro} ($r=0,836$) y CE y N_{hidro} ($r= 0,930$). Todas las relaciones entre estas variables son positivas excepto la relación entre el pH y el fósforo, que es inversa, cuando aumente el pH disminuirá y fosforo y al revés.

Al realizar la regresión lineal entre las variables se obtienen dos ecuaciones con altos coeficientes correlacionales, en la primera se relaciona el pH, C_{hidro} y el N_{hidro} ; y en la segunda la conductividad eléctrica y el N_{hidro} . La primera ecuación es:

$$C_{hidro} = 485,093 + 2,469N_{hidro} - 67,917pH \quad \text{Ecuación 3}$$

Esta ecuación tiene una significación menor a 0,001 y un grado de libertad de 5. La segunda ecuación también tiene un grado de significación menor a 0,001 y un grado de libertad de 5. Esta ecuación es:

$$CE = 0,333 + 0,009N_{hidro} \quad \text{Ecuación 4}$$

Tabla 15. Concentración de macro y micronutrientes de las muestras de agua residual

Muestra	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)
1	6,32	2,45	82	24	35
2	6,09	1,52	81	24	35
3	6,63	0,84	75	24	37
4	7,81	0,24	75	20	25
5	9,04	0,37	99	23	40
6	2,89	nd	63	20	19
Media	6,46	1,08	79	23	32
Máximo	9,04	2,45	99	24	40
Mínimo	2,89	0,24	63	20	19
Desv. Típ.	2,07	0,91	12	2	8

nd: no detectado

Respecto a la concentración de macro y micronutrientes (Tabla 15), las máximas concentraciones corresponden al calcio (79 mg/L) y al sodio (32 mg/L). Los compuestos con menores concentraciones son el potasio (1,08 mg/L) y el fósforo (6,46 mg/L).

Son importantes también, las concentraciones de metales pesados tales como el cobre, níquel y cinc (Demirel y col., 2005). En el caso de Caprilac el jabón que utilizan habitualmente es un detergente higienizante ácido espumante. Este detergente llamado PINARAN® ESPUMA eco está compuesto por una disolución de ácido sulfámico y ácido cítrico, y se caracteriza por un pH de 2,1. Además su conductividad específica es la marcada por la siguiente tabla:

Tabla 16. Conductividad específica a 25°C marcada por el fabricante según la variación de la concentración.

CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA A 25 °C					
% p/p	1,0	2,0	2,5	3,0	5,0
C (mS)	3,2	7,22	8,86	10,44	15,99

Además del detergente ácido, también alternan de vez en cuando con detergente neutro, en este caso utilizan el detergente neutro espumante BETELENE® F3 que tiene un pH de 7,4 y una baja alcalinidad y está formado por una mezcla de tensioactivos espumantes, agentes secuestrantes y emulsificantes.

Tabla 17. Metales pesados presentes en las muestras de agua residual

Muestra	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Ni (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)
1	0,11	0,50	0,42	nd	<0,01	0,01	0,05
2	0,25	1,27	0,47	nd	<0,01	0,02	0,06
3	0,20	0,83	0,48	nd	<0,01	nd	0,04
4	0,28	0,18	0,29	0,04	<0,01	<0,01	0,06
5	0,17	0,57	0,25	0,12	<0,01	0,03	0,05
6	0,10	0,36	0,19	nd	<0,01	0,01	0,05
Media	0,19	0,62	0,35	0,08	-	0,02	0,05
Máximo	0,28	1,27	0,48	0,12	-	0,03	0,06
Mínimo	0,10	0,18	0,19	0,04	-	0,01	0,04
Desv. Típ.	0,07	0,39	0,12	0,06	-	0,01	0,01

nd: no detectado

Dentro de los tres residuos principales que se generan en la explotación, las aguas residuales son las que menor contenido en metales pesados tienen, seguidas del suero. Por ejemplo, para el cadmio los valores que tienen son menores a 0,01 mg/l y el suero llega a tener hasta 0,08 mg/L de máximo. Por otro lado, los valores de Pb también son muy inferiores al resto de residuos (Tabla 17).

En general, las aguas residuales de la industria láctea se caracterizan por una alta carga orgánica, pH variable, altos niveles de N y P y restos de los productos químicos empleados durante los procesos de limpieza de equipos (Demirel y col., 2005).

En cuanto a la cantidad de metales pesados presentes en ellas, cabe destacar que las concentraciones de estos metales son bastante inferiores a las detectadas en el resto de residuos estudiados en este trabajo. Las mayores concentraciones corresponden al hierro y al cinc, al igual que en el resto de residuos aun que en este caso ambas concentraciones son menores a 1 mg/L. Por otro lado, las menores concentraciones corresponden al cadmio (<0,01 mg/L) y al cromo (0,02 mg/L).

Tabla 18. Comparativa de las características de las aguas residuales de las industrias lácteas y las de Caprilac.

	Aguas residuales de las industrias lácteas (Demirel y col., 2005)	Aguas residuales Caprilac
DQO (mg/L)	950-68.814	1.856
pH	4,4-11,00	3,84
NT (mg/L)	14-1.462	-
P (mg/L)	8-510	16,16
K (mg/L)	8-160	3,20
Ca (mg/L)	12-950	198
Mg (mg/L)	2-97	56
Na (mg/L)	123-2324	80
Fe (mg/L)	0,5-6,7	1,55
Mn (mg/L)	0,03-0,43	0,41

En general, como se puede interpretar de la Tabla 18, las aguas residuales generadas en Caprilac se encuentran dentro del rango del resto de aguas residuales de industrias lácteas, los únicos valores que no se encuentran dentro de esos rangos son el

potasio y el sodio, que tienen unos valores inferiores. También hay otras variables como el manganeso que está muy cerca del límite superior o el pH que está muy cerca del límite inferior.

6.3 Opciones de reciclado

6.3.1 Opciones de tratamiento de las aguas residuales.

Como primera opción, ya que es la opción más barata, se valorará su vertido al alcantarillado. Actualmente es la opción que manejan en la explotación. Pero esto genera una serie de problemas, la descarga de aguas residuales con altos niveles de fósforo (P) y nitrógeno (N) puede dar lugar a la eutrofización de las aguas receptoras, en particular los lagos y ríos de movimiento lento (Danalewich y col., 1998). Por ello los residuos deben tener unas características que no superen los valores máximos instantáneos publicados en el Decreto 16/1999, de 22 de abril, sobre vertidos de aguas residuales industriales al alcantarillado de la Región de Murcia.

Tabla 19. Límites establecidos para el vertido de residuos líquidos en alcantarillado de los residuos líquidos que se pueden verter al alcantarillado en la Región de Murcia (Decreto 16/1999).

pH	CE	DQO	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
5,5-9,5	5.000 s/cm	1.100 mg/l	0,5 mg/l	5 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	2 mg/l	10 mg/l	2 mg/l	5 mg/l

Al comparar los valores obtenidos de la caracterización (Tabla 17) con los valores máximos aceptados en la legislación vigente en la Región de Murcia (Tabla 19), estas aguas de lavado no podrían verterse al alcantarillado. Por lo tanto, estas aguas solo podrían ser recogidas por un gestor y llevadas a una planta de tratamiento de aguas residuales. Antes de ser recogidas por el gestor lo primero que se debería hacer es corregir su pH ya que es muy ácido y puede producir problemas de corrosión en las tuberías y en los depósitos donde se almacene.

Brown y Pico (1979) realizaron un estudio de las características de las aguas residuales procedentes de industrias lácteas y llegaron a la conclusión de que los flujos de residuos generados por las plantas de procesamiento de leche deben seguir siendo tratados en plantas de tratamiento municipales.

La segunda opción es realizar un tratamiento anaeróbico, los tratamientos anaeróbicos son más adecuados que los procesos aeróbicos debido al alto contenido en materia orgánica presente en el residuo.

Existen diferentes estudios sobre tratamientos anaeróbicos de las aguas residuales en la producción de queso, en la siguiente tabla hay un resumen de varios de esos estudios:

Tabla 20. Comparativa de tratamientos anaerobios del agua residual de industrias lácteas (Demirel y col., 2005).

Tipo de reactor	TRH	Carga (g COD/día)	Temp (°C)	Eliminación (%)	Estado de aplicación	Referencia
USAB		31		90 (COD)	Escala laboratorio	Rico y col. (1991)
	6	2-7,3		85-99		Demirel y col. (2005)
	10-20	2,3-4,5	35	79-91	Escala laboratorio	Gavala y col. (1999)
UASB	30-40	1.5-1.9		81		Demirel y col. (2005)
UASB				90 (COD)		Cammarota y col. (2001)

Según Rico y col. (1991) el tratamiento anaeróbico de aguas residuales de la producción de queso usando un reactor UASB a escala de laboratorio proporcionan una eliminación de la DQO de alrededor de 90%, a una velocidad de carga orgánica de de 31 g DQO /L (día). Es decir, el mejor tratamiento anaerobio se realiza con un reactor de tipo USAB porque pueden tratar grandes volúmenes de agua en poco tiempo. El problema del tratamiento anaerobio es que los lípidos son unos inhibidores potenciales de los sistemas anaerobios y además las altas concentraciones de sólidos en suspensión también pueden afectar a los tratamientos. Esto se soluciona con el uso de procesos de digestión anaerobia de dos fases, pero estos aún están poco estudiados a escala real (Demirel y col., 2005).

Una última opción de tratamiento de estos residuos puede ser su co-compostaje con el resto de residuos de la granja-quesería, esta opción se valorará más adelante en el apartado de opciones de gestión para el estiércol.

6.3.2 Opciones de tratamiento de los sueros.

Actualmente la explotación cuenta con un tanque de almacenaje donde guarda el suero hasta que el gestor contratado para su recogida se los lleva. Por lo tanto, esto está generando unos gastos que podrían ser menores o no tener importancia si el objetivo es obtener un beneficio económico del suero.

Los tratamientos de los sueros se pueden dividir en tres: tratamientos biológicos sin valorización, tratamientos biológicos con valorización y tratamientos físico-químicos.

Dentro de los tratamientos biológicos sin valorización tenemos la digestión aerobia, este proceso se caracteriza por una rápida degradación de la materia orgánica a temperatura ambiente con tiempos de retención bajos. El problema es que la alta carga orgánica de estos residuos los hacen inapropiados para este tratamiento ya que se pueden generar limitaciones en la transferencia de oxígeno y el crecimiento excesivo de microorganismos filamentosos dificultando la sedimentación de los lodos. Las posibles soluciones para realizar estos tratamientos es la utilización de biorreactores. Estos biorreactores se caracterizan por una alta transferencia de oxígeno y mezcla, además de tener un pequeño tamaño y costes reducidos.

Por otro lado, existen los tratamientos biológicos con valorización como por ejemplo la digestión anaerobia, la hidrólisis de la lactosa o la fermentación. Por lo general, la digestión anaerobia presenta alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica, sin embargo, los valores bajos de alcalinidad pueden producir fallos en los digestores, además también existen problemas a la hora de la degradación de los lípidos. La presencia de grasas puede hacer que los lodos floten. Para solucionar este problema, algunos investigadores proponen la adición de suplementos de alcalinidad (Prazeres y col., 2012). De diversos estudios se ha obtenido la conclusión que el mejor reactor para la digestión anaerobia de suero de queso son los UASB. Estos reactores son los que mejor rendimiento tienen y mayor reducción de la DQO.

En cuanto a la hidrólisis de la lactosa, Berruga y col. (1997) lo describen como el pretratamiento más barato para el suero de queso. El método más adecuado para llevar a cabo la hidrólisis de la lactosa es mediante la acción enzimática de la lactasa, como

realizar el proceso con la enzima en suspensión no es viable económicamente se recomienda realizar el proceso con la enzima inmovilizada en diferentes soportes (Siso, 1996).

La fermentación alcohólica a partir de suero no es viable económicamente si se compara con otros productos como la caña de azúcar o la maicena. Con este proceso la lactosa del suero se convierte en etanol, pero para ello se necesitan e microorganismos que realicen esta fermentación, a escala industrial la fermentación alcohólica se realiza casi exclusivamente empleando levaduras. Este proceso es utilizado para realizar bebidas alcohólicas, vinagre, ácido láctico y proteasas (Laca, 2004).

Los tratamientos fisicoquímicos que se pueden realizar con suero de queso son: la precipitación térmica e isoelectrica, precipitación de proteínas con agentes coagulantes/floculantes y separación por membrana. El objetivo de estos tratamientos no es solo la reducción de contaminantes, tales como la materia orgánica y sólidos en suspensión, sino también es la recuperación de productos valiosos presentes en ellos como las proteínas y la lactosa. Como resultado de estos tratamientos se obtienen sobrenadantes clarificados con bajo contenido en grasa y proteína. Además se puede obtener una tasa de recuperación de proteína de cerca del 90%. Sin embargo, con estos procesos se pierde parcialmente el contenido de lactosa. La mejor alternativa es la filtración por membrana ya que tiene una alta eficiencia en la eliminación de la contaminación y produce concentrados con grandes cantidades de proteína.

Desafortunadamente, debido a razones económicas, no se recomiendan estas tecnologías para queserías pequeñas y medianas. El post-tratamiento de concentrados, el ensuciamiento de la membrana y la producción de permeado contaminante constituyen los factores limitantes (Prazeres y col., 2012).

El último tratamiento que contemplan Prazeres y col. (2012) es la aplicación al suelo. Debido al contenido en nutrientes que contiene el suero es un buen fertilizante, el problema es que la concentración de sólidos en suspensión y su salinidad puede afectar a la estructura química del suelo. Algunos autores como Robbins y Lehrs (1998) sugieren su dilución con agua en proporciones 1:20.

Según dice Gösta (2003) existen diversos métodos de tratamiento de los sueros y junto con ellos diversas formas de utilización (Tabla 21).

Tabla 21. Ejemplos de utilización del lactosuero y productos del mismo (Gösta, 2003).

Productos del lactosuero	Lactosuero	Lactosuero concentrado o en polvo				Seroproteínas concentradas o en polvo		Lactosa		
	Lactosuero líquido	Natural	Azucarado	Deslactosado	Deslactosado	Desmineralizado	Deslactosado	Desmineralizado y deslactosado	Cruda	Refinada
Alimentación natural	•	•	•	•	•					
Consumo humano										
Alimentos infantiles				•		•	•	•		•
Alimentos dietéticos				•		•	•	•	•	•
Salchichas				•		•				
Sopas		•	•	•						
Productos de pastelería	•	•		•		•				
Salsas de ensalada		•		•						
Productos para untar		•								
Queso fundido natural		•	•							
Bebidas	•					•				
Dulces		•	•	•						•
Productos farmacéuticos										•
Productos de levadura	•									
Productos industriales									•	•

En resumen, las opciones para el tratamiento de los sueros son:

- Alimentación animal: Desde la antigüedad se ha utilizado el suero como alimento para cerdos y vacas. Diversos estudios indican que el consumo de suero disminuye la cantidad de heno y agua consumida reduciendo los gastos en alimentación de estos animales (Franchi, 2010).

Dentro de la alimentación animal, otra opción es incorporar suero en polvo dentro del ensilado de maíz, con esta medida se incremento en un 605% la producción de leche y las becerras obtuvieron una ganancia en peso del 7% (Schingoethe, 1975).

- Producción de suero en polvo: cuando se realiza este proceso el producto se suele destinar como sustituto de la leche en polvo para panificadoras o para queso procesado o aderezo de *snaks* (Valencia, 2008).
- Producción de concentrados de proteína del suero: teniendo en cuenta que el componente más valioso a nivel económico son las proteínas del suero, la mayoría de las compañías encargadas del procesado de suero en polvo están estudiando las formas de precipitar dichas proteínas.
- Producción de lactosa: la lactosa obtenía del suero se suele utilizar en la industria farmacéutica como excipiente para comprimidos o como aditivo para medios de cultivo; también se utiliza en la industria alimentaria, para la fabricación de comidas de bebés, productos de repostería y de confitería.
- Producción de bebidas: dentro de la producción de bebidas a partir del suero se pueden producir bebidas alcohólicas, como al cerveza de suero y bebidas no alcohólicas, como el refresco comercializado por Rivella (Figura 12).



Figura 12. Bebidas producidas a partir de suero de la marca Rivella

6.3.3 Opciones de tratamiento del estiércol.

Ancestralmente el estiércol no recibía ningún tratamiento, simplemente se aplicaba directamente al suelo. Hoy en día existen técnicas que pueden mejorar las características del estiércol convirtiéndolo en una buena enmienda para los suelos. En la explotación el tratamiento del estiércol sigue siendo como antiguamente, una vez

recogido el estiércol se coloca en un montón en la zona exterior de la granja donde posteriormente se coge para abonar los campos de las inmediaciones.

Existen dos tipos de tratamientos que se pueden realizar sobre el estiércol: compostaje y digestión anaerobia. La digestión anaerobia es un proceso que, en ausencia de oxígeno, descompone la materia orgánica en biogás (Mata, 2013). Este proceso se lleva a cabo en el interior de un reactor donde una serie de microorganismos anaerobios convierten la materia orgánica en metano. Pero como todo proceso biológico necesita la presencia de una serie de sustancias para su funcionamiento, al igual que hay sustancias tóxicas que pueden inhibir su funcionamiento.

Existe muy poca información sobre la digestión anaerobia de estiércol de cabra, por lo que solo se puede comparar con la información obtenida para el estiércol de ganado vacuno. El tipo de reactor utilizado varía dependiendo el tipo de residuo que se introduzca, en el caso de los residuos ganaderos el más utilizado es el reactor tipo tanque agitado (Mata, 2013). Autores como Cruz y col. (2010) realizan una mezcla de suero de quesería y estiércol de vacuno en proporciones 5/95 y la introducen en un reactor continuo de tipo tanque agitado (CSTR). Estos autores concluyeron que el tiempo de residencia hidráulico (THR) no debía ser inferior a 13.9 días y para obtener mayor cantidad de metano era necesario utilizar relaciones superiores a la 5/95.

En la mayoría de los trabajos se realiza una co-digestión ya que la digestión es inestable cuando se usa solo estiércol de ganado debido a su baja relación C/N (5-8) (Li y col., 2009). Hay diferentes valores para la relación de C/N adecuada, Zhu (2007) sugirió que la digestión puede llevarse a cabo de manera eficiente cuando la relación C/N es 15, otros autores como Kumar y col. (2010) encontraron que esa relación debe estar en un rango entre 13,9 y 19,6.

Además de los tratamientos anaerobios, existen tratamientos aerobios como el compostaje y el vermicompostaje. El compostaje es un proceso biooxidativo controlado mediante el cual los sustratos orgánicos son descompuestos mediante la acción de los microorganismos, obteniéndose como productos CO_2 , H_2O , minerales y compost (Bernal y col., 2009). El compost se puede describir como: materia orgánica que ha sido

estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejada y almacenada sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas (Haug, 1993).

Una instalación de compostaje es un conjunto de operaciones que dan lugar al compost. Estas operaciones no solo están formadas por el proceso de compostaje en sí, sino que este solo es una parte de todo el sistema. Dentro de las operaciones que forman el compostaje se encuentran los pretratamientos (normalmente tratamientos mecánicos) que se encargan del acondicionamiento necesario de los residuos para su posterior compostaje y los post-tratamientos, que suele ser el afino para separar las fracciones no deseadas del producto final y seleccionar solo el compost maduro.

En la siguiente figura se presenta un diagrama de flujo genérico de una instalación de Compostaje.

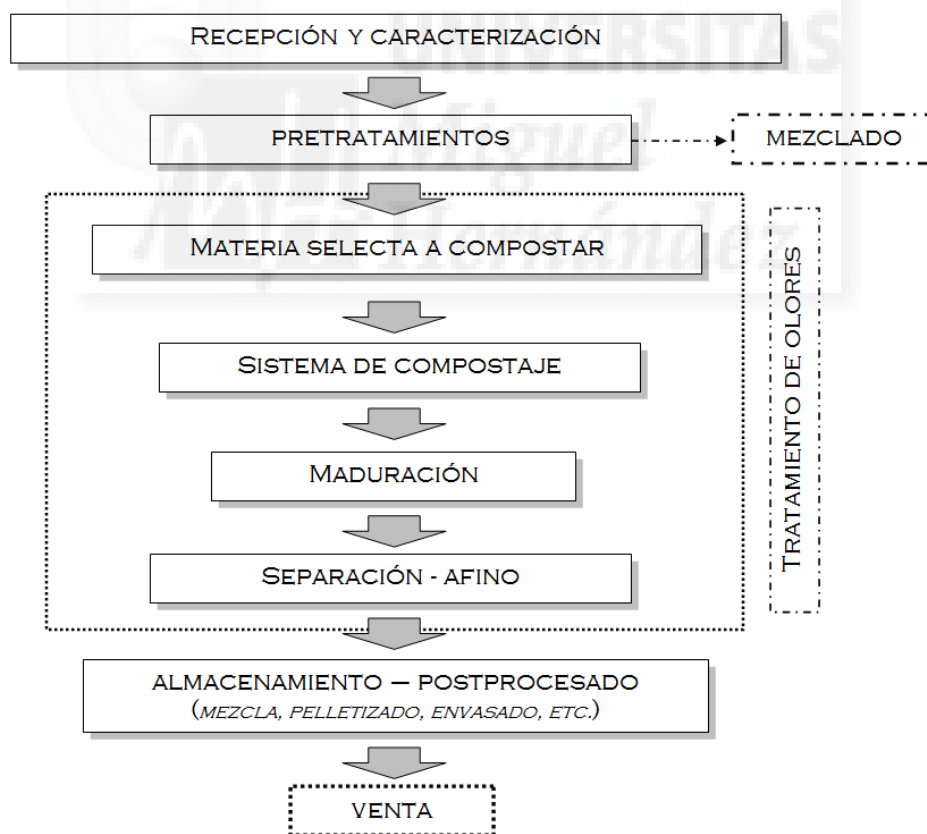


Figura 13. Representación esquemática de las principales etapas de un proceso de compostaje (Moreno y Moral, 2008).

A la hora de realizar el compostaje de los residuos es importante seleccionar el tipo de sistema de aireación que se va a utilizar. La aireación es un factor clave en el proceso de compostaje ya que controla la temperatura, elimina el exceso de humedad y CO_2 y ofrece el O_2 necesario para los procesos biológicos (Bernal y col., 2009). Existen dos tipos de aireación: la pasiva o natural y la forzada. En instalaciones al aire libre es interesante la aireación natural aunque en la mayoría de las instalaciones se complementa con agitación o volteos periódicos (Moreno y Moral, 2008). Por otro lado, está la aireación forzada, en este tipo de aireación el aire se suministra mecánicamente, utilizando soplantes o aspiración.

Otra característica importante es el tipo de sistema que se va a utilizar para el proceso de compostaje, existen sistemas abiertos, semi-cerrados y cerrados. En los sistemas abiertos las pilas se colocan al aire libre, quedando expuestas a los fenómenos atmosféricos aunque en ocasiones se suele cubrir la zona de maduración para evitar que aumente en exceso la humedad debido a las precipitaciones. En el caso de los sistemas semi-cerrados todas las operaciones se realizan dentro de una nave cubierta y cerrada que dispone de un sistema de extracción de gases del interior. Por último, en los sistemas cerrados, el material a compostar no está nunca en contacto con el exterior, las pilas se colocan en recintos cerrados, aislándolas del exterior facilitando el control de emisiones gaseosas.

En el caso de la explotación de Caprilac, el sistema más adecuado sería un sistema abierto de pilas volteadas, ya que estos sistemas tienen bajo coste y son fáciles de manejar, además debido al clima de la Región de Murcia las condiciones meteorológicas no influirían en gran medida aunque se recomienda tener la zona de maduración cubierta para asegurarse un mejor producto. Con el volteo de las pilas se conseguiría la aireación necesaria para el correcto proceso de compostaje.



Figura 14. Sistema de compostaje en pilas abierto

Existen una serie de factores relativos al proceso de compostaje los cuales son necesarios controlar, los más importantes son: la temperatura, la humedad y la aireación.

La temperatura debe variar dependiendo de la fase en la que se encuentre el compostaje para permitir la vida de los microorganismos que se encargan de la degradación de la materia orgánica pero además se deben mantener durante el tiempo suficiente temperaturas de 60-70°C para asegurarse la higienización del producto.

La humedad óptima para que se realice el compostaje ronda entre el 30 y el 60%. Por último, la aireación debe garantizar la disponibilidad de un mínimo del 5% de oxígeno para evitar que se produzcan condiciones anaerobias que están ligadas a la generación de malos olores.

Los microorganismos que realizan el proceso son aerobios y necesitan de unas condiciones de humedad, aireación, nutrientes y pH que permitan y favorezcan su actividad (Soliva y col., 2013).

Uno de los parámetros más utilizados para valorar la calidad del residuo inicial es la relación existente entre el C (fuente de energía de los microorganismos) y el N (necesario para el desarrollo y actividad de los microorganismos). La relación adecuada del parámetro C/N se establece entre 25 y 30, porque se considera que los microorganismos necesitan 30 partes de C por cada una de N (Bernal y col., 2009). Cuando hay un exceso de C en la mezcla inicial la actividad biológica se reduce haciendo el proceso más lento, en cambio, cuando hay un exceso de N este es eliminado

en forma de amoníaco apareciendo problemas de malos olores (Soliva y col., 2013). La relación C/N se suele ajustar mezclando el material de partida con otros materiales que compensen el exceso.

Otro parámetro a evaluar en el material inicial es el pH. El pH no debe ser un impedimento para el proceso ya que el óptimo se encuentra entre 5,5 y 8,0 (de Bertoldi y col. 1983). Sin embargo, es importante vigilarlo ya que se puede usar para controlar las pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco.

Del tamaño y distribución de las partículas dependerá la porosidad del material. El material debe tener una porosidad adecuada para dejar pasar el aire y favorecer el crecimiento microbiano. Las partículas pequeñas hacen que disminuya la porosidad produciendo anaerobiosis y las partículas excesivamente grandes son más difíciles de degradar. La porosidad óptima está entre el 35 y el 50% (Bernal y col., 2009). El contenido óptimo de humedad en los residuos a compostar varía según el tipo de residuo, pero por lo general ronda entre el 50-60%.

La mejor solución para obtener un material de partida que cumpla las condiciones iniciales necesarias es añadir al residuo un agente estructurante. Este agente estructurante optimiza las propiedades del sustrato dando porosidad, regulando la humedad, la relación C/N, el pH, etc. Normalmente, los estructurantes suelen ser materia vegetal, como por ejemplo: paja de cereales, heno, astillas de madera... Estos materiales se suelen caracterizar por altos contenidos en carbono y baja humedad.

En el material inicial tampoco se puede olvidar el contenido en materia orgánica. Los residuos iniciales deben tener una gran cantidad de materia orgánica ya que esta durante el proceso de compostaje tiende a descender debido a su mineralización. Se ha estimado un descenso de aproximadamente un 50% de la materia orgánica inicial (Stoffella y Kahn, 2005).

Por último, hay que tener en cuenta los metales pesados porque son mucho interés en los materiales iniciales y en el control del producto. Es importante la cantidad que existe en el material inicial porque durante el proceso de compostaje se van a concentrar pudiendo ser un problema en el control del producto final.

A la vista de lo que se ha comentado el compostaje sería una alternativa muy viable para los residuos que se producen en la granja-quesería de Caprilac. Para ello debemos conocer las características que tienen los residuos y así ver si se puede realizar un co-compostaje entre ellos o con otros residuos que no son generados en la quesería.

Tabla 22. Características medias de los residuos de partida para compostaje

	Estiércol	Suero	Agua de lavado
Humedad (%)	29,7	92,2	99,8
pH	7,8	6,2	3,8
MO (%)	85,7	87,8	60,3
CE (dS/m)	7,40	13,50	1,50
COT	275 g/kg	23 g/L	-
N total	17,7 g/kg	1,4 g/L	-
C/N	15,5	16,4	-
Fe	1.221 mg/kg	2,27 mg/L	0,62 mg/L
Zn	106 mg/kg	1,09 mg/L	0,35 mg/L
Cd	0,19 mg/kg	0,03 mg/L	nd

Sobre la base materia seca en el estiércol; nd: no detectable

Al comparar las características de los residuos observamos que el estiércol tiene una humedad muy baja para proceder al compostaje, si se realizara el compostaje de este residuo solo, se debería añadir agua a la mezcla hasta una humedad óptima entre 50-60%. En este caso, debido a la existencia de otros residuos con altos porcentajes de humedad lo más recomendable sería mezclar dos o tres residuos, una forma de hacerlo podría ser rociando la pila de estiércol con cualquiera de los dos residuos líquidos obtenidos en la quesería.

En cuanto al pH, tanto el estiércol como el suero están dentro del rango óptimo de pH, las aguas de lavado tendrían un pH demasiado bajo pero esto no es importante porque cualquiera de los otros dos residuos lo podría tamponar debido a sus pH altos.

Por otro lado, el porcentaje de materia orgánica es adecuado, no hay un óptimo para la cantidad de materia orgánica necesaria para el compostaje, pero es necesario que los residuos tengan buena cantidad para que los microorganismos puedan llevar a cabo su actividad. La materia orgánica del compost final debe oscilar entre un 25 y un 45%

sobre preso seco, por lo tanto, el porcentaje en el material inicial siempre deberá ser mayor a esos porcentajes.

La conductividad más alta se observa en el suero, por lo que podría ser el único que crease problemas de salinidad al emplear en agricultura el compost procedente de él.

La relación C/N es baja en todos los residuos, la relación óptima para realizar el compostaje está entre 25 y 30, por lo tanto sería necesario añadir otro residuo que aporte el carbono que falta en los residuos anteriores. Realizar un compostaje con altas concentraciones de N deriva en pérdidas del nitrógeno por volatilización, es decir, desprendimiento de malos olores a causa del amoniaco.

Por último, una de las principales desventajas del uso de compost como enmiendas orgánica es el contenido en metales pesados. En este caso, los materiales estudiados no presentaron elevadas concentraciones de metales pesados, por lo que su reciclado mediante compostaje no debe crear problemas.

La contaminación por metales pesados puede llevar implícito la difusión de estos en el medio ambiente y su incorporación en la cadena trófica pudiendo afectar incluso a los seres vivos. Por ello el contenido en metales pesados tiene mucho interés, tanto en los materiales iniciales, como en el producto final. Pero no solo es importante la cantidad de metales que contiene el material final, sino que también hay factores que pueden influir en la movilización de los metales haciendo que la asimilación de ellos por parte de las plantas aumente o disminuya, dentro de estos factores están el pH y características del propio cultivo (García, 1990).

En particular es más importante la cantidad que existe en el material inicial porque durante el proceso de compostaje se van a concentrar pudiendo ser un problema en el control del producto final. Por ello se han creado normativas tanto a nivel nacional como europeo para regular las cantidades de estos metales que pueden contener las enmiendas orgánicas.

Lo primero es conocer los residuos que tenemos según la Lista Europea de Residuos (LER). El estiércol se encuentra definido por el código 02 01 06 (Heces de

animales, orina y estiércol y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan) y el suero y agua de lavado dentro del código 02 05 (Residuos de la industria láctea).

A nivel nacional, el Real Decreto 506/2013, sobre productos fertilizantes define el compostaje como: “Proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de materiales orgánicos biodegradables que da lugar a los tipos de abonos o enmiendas orgánicos”. Como bien especifica la definición y la ley, en su artículo 18, para elaborar productos fertilizantes solo está permitida la utilización de materias primas de origen orgánico, animal o vegetal, incluidas en la lista de residuos orgánicos biodegradables del anexo IV de dicha ley. Dentro de ese anexo están los residuos catalogados con los códigos 02 01 06 y 02 05, por lo tanto nuestros residuos son aptos para la realización de compostaje.

Según el nivel de riesgo definido en el reglamento (CE) n.º 1069/2009, el estiércol pertenece a la categoría 2, por lo que solo podrá ser usado para compostaje o transformación en biogás.

El objetivo del compostaje de estos materiales es la creación de enmiendas orgánicas. Los abonos orgánicos y enmiendas son materiales de origen animal utilizados juntos o por separado para mantener o mejorar la nutrición de las plantas y las propiedades fisicoquímicas y la actividad biológica de los suelos (Reglamento (CE) n.º 1069/2009). Estas enmiendas se encuentran reguladas en el RD 506/2013, de junio, sobre fertilizantes, donde quedarían clasificadas dentro del grupo 6 (enmiendas orgánicas). Dentro de este grupo, las enmiendas obtenidas con los residuos de este estudio podrían ser del tipo:

- 02. Enmienda orgánica Compost.
- 04. Enmienda orgánica Compost de estiércol

La diferencia entre ambos tipos es que el segundo solo puede estar formado por estiércol, en nuestro caso como tenemos más de un residuo seguramente estaremos ante el caso de enmienda de tipo 2. Esta clasificación se realiza para marcar las características necesarias que debe cumplir el material para considerarse enmienda. En

la siguiente tabla se pueden observar las características necesarias para las enmiendas de tipo 2 y 4:

Tabla 23. Contenido en nutrientes, parámetros y demás características exigibles para cada tipo de fertilizante (RD 506/2013).

Denominación	02. Enmienda orgánica Compost	04. Enmienda orgánica Compost de estiércol
Informaciones sobre la forma de obtención y los componentes esenciales	Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas, de materiales orgánicos biodegradables del Anexo IV, recogidos separadamente.	Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), exclusivamente de estiércol, bajo condiciones controladas.
Contenido mínimo en nutrientes (porcentaje en masa) Información sobre la evaluación de los nutrientes Otros requisitos	- Materia orgánica total: 35% - Humedad máxima: 40% - C/N < 20 No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25 mm.	- Materia orgánica total: 35% - Humedad máxima: 40% - C/N < 20 No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como: piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos.
Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado	-pH - Conductividad eléctrica - Relación C/N - Humedad mínima y máxima - Materias primas utilizadas - Tratamiento o proceso de elaboración, según la descripción indicada en la columna 3.	-pH - Conductividad eléctrica - Relación C/N - Humedad mínima y máxima - Tratamiento o proceso de elaboración, según la descripción indicada en la columna 3.
Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse. Formas y solubilidad de los nutrientes. Otros criterios	- Materia orgánica total - C orgánico - N total (si supera el 1%) - N orgánico (si supera el 1%) - N amoniacal (si supera el 1%) - P ₂ O ₅ total (si supera el 1%) - K ₂ O total (si supera el 1%) - Ácidos húmicos - Granulometría.	-Materia orgánica total - C orgánico - N total (si supera el 1%) - N orgánico (si supera el 1%) - N amoniacal (si supera el 1%) - P ₂ O ₅ total (si supera el 1%) - K ₂ O total (si supera el 1%) - Ácidos húmicos - Granulometría.

Como se puede deducir a la vista de los datos recogidos en la Tabla 23, legalmente, solo importa el contenido en materia orgánica, la humedad y la relación

C/N. Variables que seguro cumplen los residuos de los que dispone la quesería ya que inicialmente parten de valores superiores.

Según el RD 506/2013 los productos fertilizantes elaborados con materias primas de origen animal o vegetal no podrán superar el contenido de metales pesados indicados en la siguiente Tabla 24:

Tabla 24. Límite máximo de concentración de metales pesados permitidos por el RD 506/2013.

Metal pesado	Límites de concentración		
	Sólidos: mg/kg de materia seca Líquidos: mg/kg		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Cinc	200	500	1.000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)*	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial

Los materiales se dividirán en clase A, B o C siempre que no superen los valores que aparecen en cada columna.

Como ya se ha mencionado anteriormente la degradación de la materia orgánica durante el proceso de compostaje se puede estimar como una pérdida en materia seca, como una pérdida en materia orgánica o como una pérdida de carbono orgánico. Como resultado de la pérdida de peso de masa seca durante el compostaje, la concentración de elementos minerales aumenta (Bernal y col., 2009). La concentración de todos los metales aumentará durante el proceso de compostaje y maduración, debido a la pérdida de peso durante el proceso por degradación de la materia orgánica, quedando enriquecida en su fracción mineral, en la que se encuentran los metales pesados. Para poder saber cuánto aumenta esta concentración debemos saber cuánto disminuye a masa, existen varios estudios que hablan sobre la pérdida de peso (García, 1990).

Como se puede concluir de los datos anteriores la pérdida de peso está muy ligada a la mezcla de residuos que se produzca y a las condiciones en que se realice el proceso.

Eghball y col (1997) realiza el estudio de la pérdida de peso sobre residuos de estiércol de ganado vacuno, mediante un sistema de compostaje abierto en pilas y determina que las pérdidas de masa oscilan entre un 15-20%.

Tabla 25. Contenido en metales pesados para los residuos estudiados.

	Estiércol	Suero	Aguas de lavado
Cadmio (mg/kg)	0,2	0,03	0,002
Cobre (mg/kg)	36	0,4	0,2
Níquel (mg/kg)	7	0,008	0,008
Plomo (mg/kg)	5	0,47	0,05
Cinc (mg/kg)	106	1,1	0,3
Cromo (mg/kg)	11	0,3	0,02

Para realizar un cálculo aproximado podemos aceptar una pérdida de masa del 20%. Con esta pérdida las concentraciones de los metales pesados de la Tabla 25 se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Contenido en metales pesados para mezclas de los residuos estudiados con pérdidas del 20% en masa durante el proceso de compostaje

	Estiércol	Suero	Aguas de lavado
Cadmio (mg/kg)	0,25	0,0375	0,002
Cobre (mg/kg)	45	0,5	0,25
Níquel (mg/kg)	9	0,01	0,01
Plomo (mg/kg)	6	0,6	0,06
Zinc (mg/kg)	132	1,37	0,37
Cromo (mg/kg)	14	0,37	0,02

Como se puede observar ningún elemento superaría los límites marcados para ser un compost de clase A. Como el material más problemático sería el estiércol, realizaremos cálculos para ver que pérdida de peso podría aguantar la mezcla sin sobrepasar los límites exigidos (Tabla 26).

Tabla 27. Contenido en metales pesados para mezclas de los residuos estudiados con pérdidas diferentes en masa durante el proceso de compostaje.

	Estiércol (20%)	Estiércol (50%)	Estiércol (70%)	Estiércol (90%)
Cadmio (mg/kg)	0,25	0,4	0,7	2
Cobre (mg/kg)	45	72	120	360
Níquel (mg/kg)	9	14	23	70
Plomo (mg/kg)	6	10	17	50
Zinc (mg/kg)	132	212	353	1.060
Mercurio (mg/kg)	-	-	-	-
Cromo (mg/kg)	14	22	37	110

A la vista de los resultados obtenidos se necesitarían pérdidas del 90% en masa para que la concentración de metales superase la máxima exigida por ley en el compostaje de estiércol individualmente. Por lo tanto partiendo del estiércol se podría obtener un compost de estiércol con calidad B e incluso A.

Teniendo en cuenta todos los tratamientos posibles para el estiércol, desde mi punto de vista el compostaje es el más adecuado. A continuación enumero las ventajas que tiene el compostaje de estos residuos en contra de otros tipos de tratamiento:

- Tecnología de fácil manejo.
- Bajos costes de montaje.
- Posibilidad de usar más de un tipo de residuo, solucionando el problema de tener diferentes tipos de residuos.
- Posibilidad de obtener un beneficio por la venta del compost, que además no debemos olvidar que podría clasificarse como compost apto para agricultura ecológica ya que todos los residuos proceden de agricultura ecológica.

CONCLUSIONES

 Miguel
Hernández

7 CONCLUSIONES

En este estudio se ha determinado que existen tres flujos de residuos importantes dentro de la explotación de Caprilac. El primero de ellos es un flujo sólido formado por heces y cama de las cabras: el estiércol. Los otros dos flujos son líquidos, uno está formado principalmente por suero proveniente de la fase de desuerado del queso y el otro es el agua de lavado generado en la limpieza del material.

Estos flujos se han cuantificado en 220 tn de estiércol generado al año; 3,5 l de suero y 8 m³ de agua de lavado por kg de queso producido, lo que equivale a una generación anual de 22 m³ y 50000 m³ de agua de lavado, siendo este último el generado en mayor proporción en la granja-quesería de 200 cabras.

El suero generado en Caprilac se puede catalogar como un suero dulce debido a su pH (5,9-6,6), y se caracteriza por altas concentraciones de materia orgánica y baja concentración de COT, siendo el K el elemento mineral principal. Su contenido en materia orgánica está inversamente relacionado con el pH, es decir, a mayor materia orgánica menor concentración de pH. Una opción de gestión alternativa a su recogida por un gestor de residuos autorizado puede ser su co-compostaje, junto con el estiércol generado en la misma granja.

La materia orgánica, el carbono y el nitrógeno de las aguas residuales o de lavado se deben a la presencia de restos de leche. La utilización de detergentes ácidos o alcalinos condiciona su valor de pH, aunque en la instalación de Caprilac evaluada predominan los valores ácidos. Las aguas residuales son los materiales residuales con menor concentración de metales pesados en comparación con los sueros y el estiércol.

Aunque actualmente las aguas residuales son vertidas directamente a la red de alcantarillado, esta opción no es recomendable ya que superan los límites establecidos para tales vertidos. Por lo tanto, se recomienda que estas aguas sean tratadas en una planta de tratamiento de aguas residuales.

El estiércol generado en Caprilac es un estiércol sólido con un alto contenido en materia orgánica y pH neutro. Cabe destacar su alto contenido de hierro y la concentración de micro y macro-elementos son reflejo de los alimentos consumidos por las cabras. Sin embargo, las concentraciones de metales pesados son muy bajas, en comparación con otros estiércoles y purines.

La gestión actual del estiércol consiste en su utilización como abono directamente en campos adyacentes como abono, opción muy adecuada ya que es barata y además permite la reutilización del residuo. Su compostaje se propone con el objetivo de mejorar la calidad del abono. Además también se podrían utilizar otros residuos como el agua de lavado o el suero y además la enmienda obtenida se podría considerar como compost para cultivo ecológico obteniendo con ello un beneficio económico que actualmente no existe.



BIBLIOGRAFÍA

*Mh Miguel
Hernández*

6. BIBLIOGRAFÍA

Azeez, J.O y Van Averbek, W. (2010). Nitrogen mineralization potencial of three animal manures on a sandy clay loam soil. *Bioresource Technol.* 101:5645-5651.

Baisali, S., Chakrabarti, P.P, Vijaykumar, A., Vijay, K. (2006). Wastewater treatment in dairy industries—Possibility of reuse. *Desalination.* 195: 141–152.

Bernal, M.P., Alberquerque, J.A., Moral, M. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology.* 100: 5444-5453.

Berruga, M.I. (1999). Desarrollo de procedimientos para el tratamiento de efluentes de quesería. Madrid (Tesis doctoral)

Betelgeux, S.L. (2012). Información técnica: BETELENE® F3. Gandía, Valencia.

Betelgeux, S.L. (2012). Información técnica: PINARAN® ESPUMA eco. Gandía, Valencia.

Brown H. B. y Pico R. F. (1979). Characterization and Treatment of Dairy Wastes in the Municipal Treatment System. 34th Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, IN. pp. 326-334.

Callejas, J., Prieto, F., Reyes, V.E., Marmlejo, Y., Méndez, M. (2012). Caracterización físicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fosforo. *Acta universitaria. Universidad de Guanajuato, Mexico.* 22 (1):11-18.

Castillo M., MA. Jordán, A. Abellán, J. Laencina y M.B. López (1996). Tecnología de aprovechamiento del lactosuero. *Rev. Esp. Lechería,* mano: 26-30.

Consejo de la Unión Europea. (1999). Reglamento (CE) nº 1804/1999 del consejo, por el que se completa, para incluir las producciones animales, el Reglamento (CEE) nº 2092/91 sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.

Consejo de la Unión Europea. (2007). Reglamento (CE) nº 834/2007 del consejo de 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) nº 2092/91.

Consejo de la Unión Europea. (2009). Reglamento (CE) n.º 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009.

Decisión de la Comisión de 16 de enero de 2001 por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE en lo que se refiere a la lista de residuos

Conserjería de agricultura y agua de la Región de Murcia. (2014). Censo ganadero por especies. Serie histórica. [Consulta: 23 de Julio de 2014]. Texto en PDF. Disponible en: [http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1378&IDTIPO=100&RASTRO=c1415\\$m1174](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1378&IDTIPO=100&RASTRO=c1415$m1174)

Conserjería de agricultura y agua de la Región de Murcia. (2014). Censo industrial y capacidad productiva. [Consulta: 23 de Julio de 2014]. Texto en PDF. Disponible en:

Cruz, B., Muñoz, N., Gómez, B., Rico, C., Rico, J.L., Fernandez, J., Renedo, J. (2010). Digestión anaerobia 35°C de una mezcla de estiércol de vacuno y suero de quesería en un reactor CSTR. Congreso: II Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas. Ecofarm: 287-292.

Danalewicht, 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 (12): 3555-3568.

De Bertoldi, M., Vallini, G., Pera. A. (1983). The biology of composting: a review. *Waste Manage. Res.*, 1: 157-176.

Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T.T. (2005). Anaerobic treatment of dairy wastewaters. *Process Biochem.* 40: 2583-95.

Eghball, B., Power, J.F., Gilley, J.E., Doran, J.W. (1997). Nutrient, carbón, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 26: 198-193.

Espejo, C. (1996). La ganadería en la región de Murcia. Ayuntamiento de Fuente Alamo, Murcia.

Falgán, A. (1991). El ganado caprino de raza Murciana- Granadina. MG Mundo Ganadero (67-72)

Falagán, A. y Mateos, E. (1996). La producción de leche en la cabra. Producción caprina. Zootecnia: bases de producción animal, tomo IX. C. Buxadé, ed. Mundi-Prensa Libros, Madrid.

Flagán, A., Quiles, A., Vacas, C. (2003). Evolución del sector caprino en la Región de Murcia (1986-2000) y su caracterización productiva al final del milenio. Tesis doctoral, Universidad de Murcia. Facultad de Veterinaria.

Franchi, O. (2010). Suero de leche, propiedades y usos. Innovación en la industria láctea. Obtenida el 24 de agosto de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/47261459/Suero-de-leche-propiedades-y-usos>

García, C.J. (1990). Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola. Consejo superior de investigaciones científicas (C.E.B.A.S.). 174-207. 112-115.

García, R., Banda, I. (2006). Manual básico para la producción ganadera ecológica. Andalucía Agroecológica S.L.

Gösta Bylund, M. Sc. (2003). Manual de industrias lácteas. Mundi-Prensa Libros, Madrid.

Gösta, M. (2003). Manual de industrias lácteas. Tetra Pak Processing Systems AB. Lund, Suecia.

Han J.K., Ki Y, K., Hyeon T, K., Chi N, K., Umeda, M. (2008). Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in compost made from animal manure. Waste Manage. 28:813-820.

Haug, R.T. (1993). The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers, Boca Raton, USAHwang, S., Hasen, C.L. (1998). Characterization of and bioproduction of short-chain organic acids from mixed dairy-processing wastewater. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 41: 795-802.

INE (Instituto Nacional de Estadística) (2013), Agricultura y ganadería ecológica. Serie 2001-2012 [base de datos en línea],
<http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft01%2Fp045%2F&file=inebase&L=0> [fecha de consulta: mayo de 2014].

Kumar, M., Ou, Y.L., Lin, J.G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Manage.* 30: 602–609.

Laca, A. Biotratamientos no destructivos para la revalorización de suero lácteo. Congreso Nacional de Biotecnología, Biotec'2004. 19-23 septiembre 2004. Oviedo, Asturias.

Li, X.J., Li, L.Q., Zheng, M.X., Fu, G.Z., Lar J.S. (2009). Anaerobic co-digestion of cattle manure with corn stover pretreated by sodium hydroxide for efficient biogas production. *Energy Fuels*, 23: 4635–4639.

Mata, J. (2013). Temario de asignatura Digestión anaerobia. Máster universitario de investigación en gestión, tratamiento y valorización de residuos orgánicos. Universidad de Elche, Comunidad Valenciana.

Merino, D y Bernao, N. (2006). Cuantificación y caracterización de los residuos ganaderos de Gipuzkoa. Fraisoro: laboratorio agroambiental. Diputación Foral de Guipúzcoa. [Consulta: 11 de agosto de 2014]. Texto en PDF. Disponible en: <http://www.fraisoro.net/FraisoroAtariaDoku/ProyectoAnexol.pdf>

Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. (2013). Agricultura ecológica estadísticas 2012. Madrid. [Consulta: 26 de mayo de 2014]. Texto en PDF. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Estadisticas_AE_2012_ok_tcm7-297880.pdf

Ministerio de Medio Ambiente y medio rural y marino. (2010). Plan de acción para la leche de cabra. [Consulta él: 28 de agosto de 2014]. Texto en pdf. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/Plan_Acci%C3%B3n_Leche_Cabra_tcm7-272657.pdf

Ministerio de medio ambiente. (2002). Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista

Europea de residuos. Boletín Oficial del Estado, 19 de febrero de 2002, núm. 43, pp. 6494-6515.

Méndez, M.E., Briceño, J.I., Gonzalez, A.M. (2009). Oxidación electroquímica de compuestos orgánicos de un efluente proveniente de una planta procesadora de productos lácteos. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Venezuela. 24(2):79-86.

Moreno, J., Moral, R. (2008). Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, J.R., Unwin, R.J. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England y Wales. Bioresource Technol. 70: 23-31.

Prazeres, A.R., Carvalho, F. Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. J. Environ. Manage. 110: 48-68.

Robbins, C.W., Lehrs, G.A. (1998). Cheese whey as a soil conditioner. A. Wallace, R.E. Terry (Eds.), Handbook of Soil Conditioners: Substances that Enhance the Physical Properties of Soil, Marcel Dekker Inc., New York, U. S. A. 167-186.

Schingoethe, D.J. (1975). Feeding value of corn silage containing added urea and dried whey. J. Dairy Sci. 58: 196-201.

Siso, M:I:G (1996). The biotechnological utilization of cheese whey: a review. Bioresource Technol. 57: 1-11.

Thibaudeau, S. (1997). Fumier solide ou liquide: quelle est la différence?. Soil/Fumier. 18: 32-35.

Valencia, J. (2008). El suero de quesería y sus posibles aplicaciones. Mundo lácteo y cárnico.

Zhu, N. (2007). Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. Bioresource Technol., 98: 9-13.



ANEXOS

ANEXO I

Tabla 28. Ecuaciones de las regresiones lineales entre variables

ESTIÉRCOL					
Variable	Ecuación	r	R ²	F	Sig
MO	$M.O = 90,124 + 11,491N_{total} - 0,9COT$	0,849	0,722	14,250	0,01
Ph	$pH = 9,257 - 0,194 CE$	0,556	0,287	4,823	0,048
CE	$CE = 39,834 - 0,001C_{hidro} + 0,007N_{hidro} - 5,868N_{total} + 0,403COT - 0,002A_{onio} - 2,584pH$	0,927	0,86	7,149	0,01
COT	$COT = 71,846 + 1,320N_{tot} - 0,791MO$	0,965	0,932	75,575	0,00
N _{total}	$N_{tot} = -4,543 + 0,68COT + 0,52MO$	0,951	0,905	52,156	0,00
N _{hidro}	$N_{hidro} = -975,078 + 0,169C_{hidro}$	0,946	0,889	95,746	0,001
SUERO					
Variable	Ecuación	R	R ²	F	Sig
MO	$MO = 100,490 - 2,030pH$	0,829	0,687	10,995	0,021
pH	$pH = 35,985 - 0,339MO$	0,829	0,687	10,995	0,021
CE	$CE = 133,125 - 1,433COT - 1,324MO$	0,930	0,865	12,832	0,018
N _{total}	$N_{tot} = 0,006 + 0,59COT$	0,986	0,972	174,569	0,00
COT	$COT = -0,041 + 16,499N_{tot}$	0,986	0,972	174,569	0,00
AGUAS DE LAVADO					
Variable	Ecuación	r	R ²	F	Sig
MO	$MO = 48,145 + 0,23C_{hidro}$	0,836	0,699	9,305	0,038
pH	$pH = 6,868 - 0,013C_{hidro} + 0,031N_{hidro}$	0,967	0,934	21,325	0,017
CE	$CE = 0,333 + 0,009N_{hidro}$	0,930	0,866	25,812	0,07
DQO	$DQO = 950,438 + 620,985CE$	0,883	0,779	14,129	0,02
C _{hidro}	$C_{hidro} = 485,093 + 2,469N_{idro} - 67,917pH$	0,998	0,996	332,577	0,00

ANEXO II

Tabla 29. Matriz de correlaciones del estiércol

		pH	CE	C _{hidro}	N _{hidro}	COT	Amonio	NT	P	K	Zn	Cu
MO	r	-0,355	-0,633	-0,117	0,021	-0,798	0,371	-0,301	-0,318	0,391	-0,343	-0,170
	Sig.	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
pH	r		0,941	-0,302	-0,113	-0,152	-0,809*	-0,707	0,474	0,246	0,507	0,468
	Sig.		**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CE	r			-0,120	-0,013	0,188	-0,746	-0,436	0,480	0,011	0,497	0,420
	Sig.			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C _{hidro}	r				0,946	0,510	0,727	0,705	0,058	-0,649	-0,183	0,004
	Sig.				***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N _{hidro}	r					0,259	0,654	0,459	0,202	-0,486	-0,056	0,190
	Sig.					ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	r						0,138	0,762	-0,013	-0,664	-0,051	-0,180
	Sig.						ns	*	ns	ns	ns	ns
Amonio	r							0,720	-0,188	-0,361	-0,357	-0,166
	Sig.							ns	ns	ns	ns	ns
NT	r								-0,224	-0,677	-0,325	-0,322
	Sig.								ns	ns	ns	ns
P	r									0,441	0,956	0,984
	Sig.									ns	***	***
K	r										0,598	0,524
	Sig.										ns	ns
Zn	r											0,939
	Sig.											**

r: coeficiente de correlación de Pearson, *:p<0,05;**p<0,01,***p<0,001; ns: no significativo (p>0,05)

Tabla 30. Matriz de correlaciones del suero

		pH	CE	COT	NT	P	K	Zn	Cu
MO	r	-0,829	-0,700	0,105	0,113	0,089	-0,527	0,095	-0,353
	Sig.	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
pH	r		0,794	-0,405	-0,454	-0,162	0,480	0,052	0,378
	Sig.		*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CE	r			-0,683	-0,664	-0,467	0,128	0,125	0,091
	Sig.			ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	r				0,986	0,695	0,366	0,085	0,259
	Sig.				***	ns	ns	ns	ns
NT	r					0,703	0,346	0,167	0,299
	Sig.					ns	ns	ns	ns
P	r						0,760	0,478	0,747
	Sig.						*	ns	ns
K	r							0,338	0,843
	Sig.							ns	*
Zn	r								0,666
	Sig.								ns

r: coeficiente de correlación de Pearson, *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; ns: no significativo ($p > 0,05$)

Tabla 31. Matriz de correlaciones del agua residual

		pH	CE	C _{hidro}	N _{hidro}	DQO	P	K	Zn	Cu
MO	r	-0,794	0,775	0,836	0,780	0,861	0,838	-0,064	0,067	0,541
	Sig.	ns	ns	*	ns	*	*	ns	ns	ns
pH	r		-0,541	-0,780	-0,652	-0,730	-0,977	-0,209	-0,298	-0,571
	Sig.		ns	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns
CE	r			0,905	0,930	0,883	0,686	-0,287	-0,386	-0,007
	Sig.			*	**	*	ns	ns	ns	ns
C _{hidro}	r				0,980	0,820	0,871	-0,225	-0,311	0,279
	Sig.				***	*	*	ns	ns	ns
N _{hidro}	r					0,761	0,774	-0,392	-0,471	0,213
	Sig.					ns	ns	ns	ns	ns
DQO	r						0,807	0,118	0,083	0,103
	Sig.						ns	ns	ns	ns
P	r							0,052	0,157	0,507
	Sig.							ns	ns	ns
K	r								0,722	-0,163
	Sig.								ns	ns
Zn	r									0,311
	Sig.									ns

r: coeficiente de correlación de Pearson, *:p<0,05;**p<0,01,***p<0,001; ns: no significativo (p>0,05)