



ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

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



**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO PARA LA
CREACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE A
PARTIR DE ESTIERCOL DE UNA EXPLOTACIÓN DE
CEBO DE GANADO PORCINO EN TORO (ZAMORA)**



Vº Bº DIRECTOR
Mercedes Sánchez Báscones

ALUMNO
Daniel Ruiz Sánchez



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza al alumno **D. Daniel Ruiz Sánchez**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: "Estudio de viabilidad técnica para la creación de una planta de compostaje a partir de estiércol de una explotación de cebo de ganado porcino en Toro (Zamora)", bajo la dirección de D^a Mercedes Sánchez Báscones (Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid), debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 6 de septiembre de 2018

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

[Firma manuscrita]
UNIVERSITAS
Miguel Hernández
DE ELCHE
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN
AGROQUÍMICA Y
MEDIO AMBIENTE

TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

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



**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO PARA LA
CREACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE A
PARTIR DE ESTIERCOL DE UNA EXPLOTACIÓN DE
CEBO DE GANADO PORCINO EN TORO (ZAMORA)**



Vº Bº DIRECTOR
Mercedes Sánchez Báscones

ALUMNO
Daniel Ruiz Sánchez

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES

Autor: Daniel Ruiz Sánchez

Título: Estudio de viabilidad técnico para la creación de una planta de compostaje a partir de estiércol de una explotación de cebo de ganado porcino en Toro (Zamora)

Title: Technical feasibility study for the creation of a composting plant from manure from a pig bait farm in Toro (Zamora)

Director/es del TFM: Mercedes Sánchez Báscones

Año: 2.018

Titulación: Máster Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos

Tipo de proyecto: Estudio

Palabras claves: Compostaje, estiércol, porcino.

Keywords: Composting, manure, porcine

Nº citas bibliográficas: 33

Nº de planos: 0

Nº de tablas: 40

Nº de figuras: 22

Nº de gráficos: 10

Nº de ecuaciones: 3

Nº de anexos: 3

RESUMEN

A lo largo de las últimas décadas, el sector ganadero en España ha sufrido una evolución marcada por el incremento del número de cabezas de ganado en las explotaciones, y la concentración de éstas en determinadas áreas geográficas. Esto conlleva a un problema de gestión de los residuos orgánicos generados, ya que los estiércoles no son asumibles por la agricultura local. Además, no están estabilizados y su composición nutricional suele estar descompensada frente a las necesidades reales de los cultivos, por lo que la aplicación de altas cantidades en suelos genera problemas medioambientales ligados principalmente a la contaminación de éstos y de aguas.

Para evitar esto, gobiernos y administraciones están regulando la aplicación directa de estiércoles en agricultura marcando nuevas pautas y directrices, y que generalmente suponen un coste de inversión muy alto para los ganaderos con la consiguiente pérdida de rentabilidad de sus explotaciones.

Lo que se acaba de exponer, es lo que ha impulsado la elaboración de este proyecto que tiene por finalidad estudiar la viabilidad técnica y económica para cambiar la actual forma de gestión de los residuos orgánicos generados en la finca Miralmonte S.A. en Toro (Zamora). Esta finca genera 6.450 metros cúbicos de estiércol al año, y el objetivo marcado es valorizarlo a través del compostaje y convertirlo en un fertilizante con un mayor valor económico, a la vez de solucionar los problemas medioambientales asociados a la aplicación de estiércol en la agricultura.

Este nuevo modelo de gestión se ajusta al concepto de economía circular, ya que la valorización a través del compostaje aboga por utilizar estos residuos como un recurso y transformarlos en un producto para que pueda volver a la naturaleza, sin causar daños medioambientales al agotar su vida útil.

ABSTRACT

The Spanish livestock industry has experienced an evolution over the last few decades. This evolution has been tremendously influenced by the increase in the number of livestock units in the farms, and the concentration of farms in certain regions. This new scenario has brought in a new problem: the organic waste management. Local agriculture cannot use this manure, since its composition does not satisfy the needs of the crops. Therefore, its use results in environmental hazards like the contamination of soils and local waters.

To prevent such issues, local and national authorities are regulating the direct use of manure in agriculture by establishing new standards. These new standards usually translate in a very high investment cost for the farmers, who usually see their profit rates decrease to very low levels.

The aforementioned dilemma has driven this study, which goal is to evaluate the feasibility to change the organic waste management of the farm 'Finca Miralmonte S.A.' in Toro (Zamora), both from a technical and an economic perspective. This farm generates 6.450 cubic meters of manure every year. The study proposes to optimize the value of this manure through the process of composting, transforming it into a fertilizer of a higher economic value, while mitigating the environmental hazards mentioned above.

This new organic waste management model adjusts to the concept of 'circular economy'. The process of composting allows us to use the manure byproduct as a resource for another process, instead of letting it become waste, extending this way its lifecycle and mitigating the resulting environmental problems that otherwise would generate.

AGRADECIMIENTOS

Para comenzar, quiero agradecer a los profesores del Máster Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos el trato recibido y predisposición que han tenido para resolver cualquier duda.

Asimismo, agradecer a Concepción Paredes Gil las facilidades y la atención que demostró hacia mi persona ante cualquier sugerencia.

A Mercedes Sánchez Báscones, tutora de mi proyecto, que desde el primer momento estuvo aconsejándome y ayudándome con la elaboración de este trabajo.

No quisiera olvidarme de GRUPO VALORA GESTIÓN DE RESIDUOS S.L., empresa en la que trabajé y la cual siempre mostró facilidades para que pudiera desarrollar este máster.

Y por último a mi pareja, Lorena Rodríguez, que como siempre ha estado a mi lado mostrándome su apoyo y paciencia, siempre con una sonrisa, en un año muy complicado.

ÍNDICE

1	Antecedentes	1
1.1	Importancia del sector porcino	2
1.2	Modernización de las explotaciones.....	7
1.3	Residuos orgánicos ganaderos	9
1.4	Problemática de la gestión de estiércol.....	11
1.4.1	Contaminación del suelo.....	14
1.4.2	Contaminación del agua	15
1.4.3	Contaminación del aire	16
1.5	Necesidad de añadir materia orgánica en los suelos	18
1.6	Descripción del proceso de compostaje	21
1.6.1	Definición	21
1.6.2	Requisitos de los materiales a utilizar	22
1.6.3	Etapas del proceso de compostaje	23
1.7	Condiciones para el proceso de compostaje.....	25
1.7.1	Condicionante del sustrato.....	26
1.7.2	Condicionantes durante el proceso.....	30
2	Objetivos del estudio	34
3	Legislación y Requisitos de la administración	36
3.1	Legislación	37
3.2	Requisitos técnicos exigidos por la Junta de Castilla y León .	38
3.2.1	Equipamiento mínimo para el desarrollo de una actividad de compostaje en pilas dinámicas volteadas.	38

3.2.2	Requisitos mínimos de diseño para la protección del suelo y de las aguas subterráneas.	41
3.2.3	Equipos y Maquinaria de proceso.	43
3.2.4	Equipos mínimos para el control de proceso.....	44
4	Análisis de viabilidad técnico.....	45
4.1	Descripción de las instalaciones	46
4.2	Caracterización y producción del estiércol.....	51
4.3	Residuos y Subproductos complementarios locales	53
4.3.1	Espumas de azucarera	53
4.3.2	Paja de cereal.....	55
4.3.3	Sarmientos.....	56
4.3.4	Vinazas.....	58
4.3.5	Alperujo	59
4.3.6	Resumen de los Residuos y Subproductos complementarios locales.....	60
4.4	Mezcla para la elaboración del sustrato a compostar	60
4.4.1	Ajuste de pH	61
4.4.2	Ajuste de C/N.....	62
4.4.3	Ajuste la humedad	64
4.5	Dimensionamiento de la planta de compostaje	64
4.5.1	Zona de Recepción / mezcla.....	65
4.5.2	Era de Fermentación / compostaje	65
4.5.3	Era de Maduración.....	71
4.5.4	Recogida y Almacenamiento de Lixiviados.	74

4.5.5	Sistema de riego.....	74
4.5.6	Almacén de producto terminado	75
4.5.7	Equipos necesarios para el proceso y su control	75
4.6	Características del compost y producción.....	76
4.6.1	Cantidad de compost producido.....	78
5	Análisis de viabilidad económica.....	80
5.1	Introducción.....	81
5.2	Criterios de evaluación financiera de inversiones.....	81
5.2.1	Valor actual neto (VAN)	81
5.2.2	Relación Beneficio Inversión (Q).....	82
5.2.3	Tasa interna de rendimiento (TIR)	82
5.2.4	Relación Beneficio/Inversión (B/I)	83
5.2.5	Plazo de recuperación (Pay-Back).....	83
5.2.6	Vida útil del proyecto.....	83
5.2.7	Inversión a realizar.....	83
5.3	Pagos	84
5.3.1	Pagos ordinarios	84
5.3.2	Personal	85
5.3.3	Pagos debidos al mantenimiento de instalaciones.....	85
5.3.4	Pagos por seguros e impuestos.....	86
5.3.5	Resumen de pagos ordinarios	86
5.4	Pagos extraordinarios.....	86
5.5	Cobros.....	87

5.5.1	Cobros ordinarios.....	87
5.5.2	Cobros extraordinarios.....	87
5.6	Plan de financiación y evaluación económica	88
5.6.1	Flujos de caja.....	88
5.6.2	Parámetros de evaluación de la inversión.....	91
5.6.3	Representación gráfica de los flujos de caja	92
5.6.4	Análisis de sensibilidad	93
6	Conclusiones.....	96
7	Bibliografía.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Censo de animales por CCAA.	4
Tabla 2.	Número de animales por km ²	6
Tabla 3.	Composición de purines procedentes de tres tipos de granjas	11
Tabla 4.	Perspectiva general de la población de vacas, cerdas y aves en los principales Estados miembros europeos.	12
Tabla 5.	Cantidad Estimada de Estiércol en la UE-28 (miles de toneladas/año).....	13
Tabla 6.	Parámetros de humedad óptimos	28
Tabla 7.	Composición química del estiércol de cerdo	52
Tabla 8.	Composición tipo de las espumas de azucarera.....	55
Tabla 9.	Composición de la paja de Trigo	56
Tabla 10.	Composición química de los sarmientos	58
Tabla 11.	Composición química de las vinazas	59

Tabla 12.	Composición del alperujo	60
Tabla 13.	Resumen de los Residuos y Subproductos complementarios locales	60
Tabla 14.	Condiciones óptimas para el proceso de compostaje	61
Tabla 15.	Comparativa de Estiércol de cerdo con sustrato ideal	61
Tabla 16.	Mezcla de Estiércol de cerdo con Espuma de Azucarera ..	62
Tabla 17.	Residuos y Subproductos complementarios para ajustar C/N	62
Tabla 18.	Resumen de las mezclas para ajustar C/N	64
Tabla 19.	Ajuste de humedad.....	64
Tabla 20.	Mezcla con residuos complementarios por limpia.....	66
Tabla 21.	Cantidad de mezcla generada en 6 semanas.....	67
Tabla 22.	Volumen generado en 4 meses de mezcla fermentada	72
Tabla 23.	Pila en era de maduración.....	73
Tabla 24.	Límite de metales pesado en el compost.....	78
Tabla 25.	Coste de inversión	84
Tabla 26.	Costes operacionales para la formación de una pila.....	84
Tabla 27.	Costes operacionales anuales para una producción media de estiércol de 6.450m ³	85
Tabla 28.	Costes de mantenimiento	86
Tabla 29.	Resumen de costes ordinarios	86
Tabla 30.	Pagos extraordinarios.....	86
Tabla 31.	Resumen de pagos extraordinarios	87
Tabla 32.	Cobros extraordinarios	88

Tabla 33.	Resumen de cobros extraordinarios	88
Tabla 34.	Condicionantes económicos	88
Tabla 35.	Tabla de flujo de caja.....	89
Tabla 36.	Estructura de los flujos de caja	90
Tabla 37.	Flujos anuales (incluyendo inversión y financiación).....	91
Tabla 38.	Resultados de la evaluación de inversión	92
Tabla 39.	Datos para el estudio del análisis de sensibilidad	93
Tabla 40.	Árbol de consecuencias.....	95

ÍNDICE DE ECUACIONES

[Ec. 1.1.]	Ajuste de C/N	27
[Ec. 1.2.]	Cálculo del VAN	82
[Ec. 1.3.]	Cálculo de la Relación Beneficio Inversión.....	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Producción de Carne en la Unión Europea durante el año 2.017..	2
Gráfico 2.	Porcentaje Producción de Carne en la Unión Europea durante el año 2.017	3
Gráfico 3.	Evolución del censo porcino.	3
Gráfico 4.	Porcentaje Censo de animales por CCAA. F	5
Gráfico 5.	Distribución del Censo Porcino en Castilla y León.....	6
Gráfico 6.	Evolución del número de explotaciones.	8
Gráfico 7.	Evolución del número de cabezas por explotación.....	8

Gráfico 8. Evolución de la relación C/N de un estiércol de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente.	27
Gráfico 9. Valor nominal de los flujos anuales	92
Gráfico 10. Valor real de los flujos anuales según inflación	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contenido de materia orgánica en los suelos españoles. .	19
Figura 2. Fases del proceso de compostaje y las poblaciones microbianas asociadas	25
Figura 3. Evolución de la temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.	32
Figura 4. Finca Miralmonte S.A.....	46
Figura 5. Imágenes de las naves.....	48
Figura 6. Estercolero 1	49
Figura 7. Estercolero 2	50
Figura 8. Silo de heno.....	50
Figura 9. Parideras	51
Figura 10. Estiércol de la explotación porcina.....	52
Figura 11. Espuma de azucarera.....	54
Figura 15. Sección de pila para era de fermentación	67
Figura 16. Era de fermentación	68
Figura 17. Volteos de las pilas.....	69
Figura 18. Volteos en la era de fermentación	70

Figura 19. Cubierta de la era de fermentación	70
Figura 20. Planta de la cubierta de la era de fermentación	71
Figura 21. Era de maduración	72
Figura 22. Planta de la era de maduración	73





1 Antecedentes

1.1 Importancia del sector porcino

España actualmente es la cuarta potencia mundial del sector de producción de carne de cerdo, con más de 49,6 millones de animales sacrificados y unos 4,25 millones de toneladas de carne producida en el año 2.017 según datos obtenidos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, cifras que tan solo son superadas por China, Estados Unidos y Alemania. La producción de carne de cerdo en la Unión Europea fue de 23.312 millones de toneladas, como se puede ver en la Gráfico 1 “Producción de Carne En La Unión Europea durante el año 2.017”, situando a España como el segundo productor, con un 18,2% de la producción comunitaria, tan solo por detrás de Alemania, que se mantiene en primer lugar con un 23,4% de la producción de la Unión Europea. La importancia de la producción española en el conjunto de la Unión Europea se ha ido incrementando durante los últimos años , ya que hace solo 5 años la producción española apenas superaba el 15,5% del total de la Unión Europea. Esto es consecuencia del espectacular desarrollo de dicho sector en España, claramente por encima de la media de la Unión Europea.

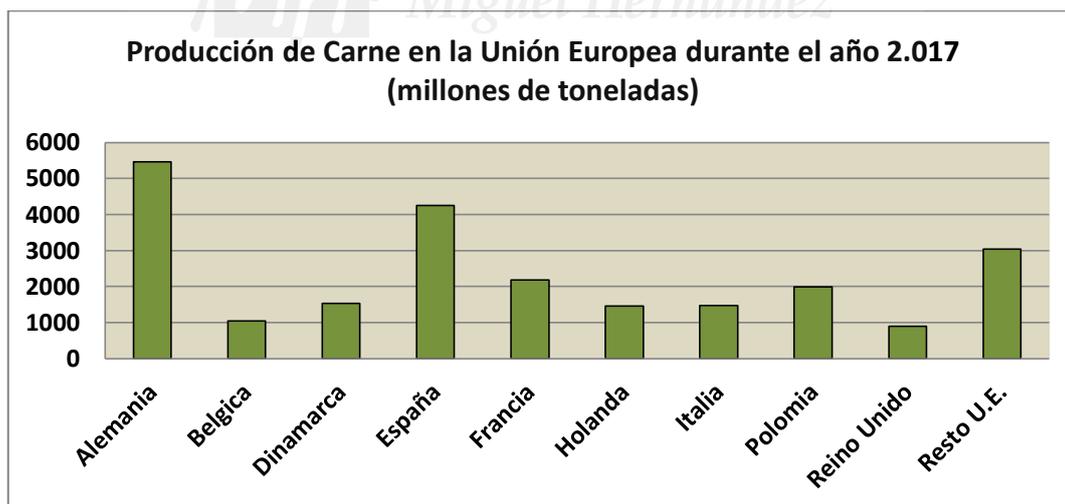


Gráfico 1. Producción de Carne en la Unión Europea durante el año 2.017. Fuente: EUROSTAT y SG Estadísticas MAPAMA Elaboración: SG Productos Ganaderos MAPAMA.

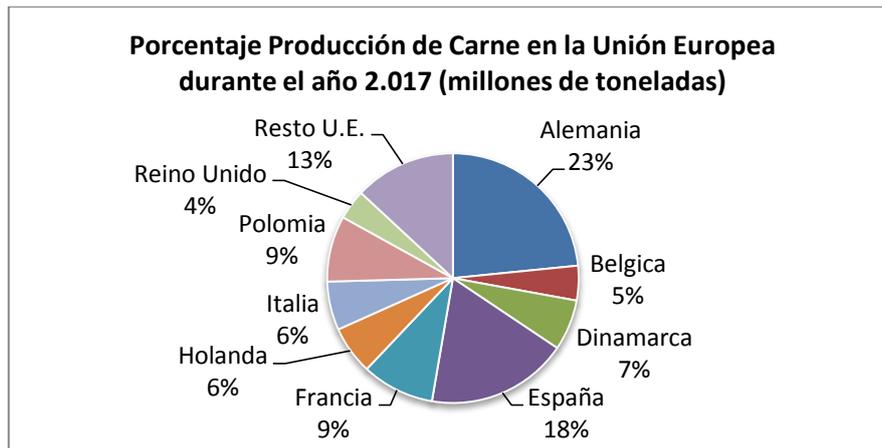


Gráfico 2. Porcentaje Producción de Carne en la Unión Europea durante el año 2.017 (millones de toneladas). Fuente: EUROSTAT y SG Estadísticas MAPAMA Elaboración: SG Productos Ganaderos MAPAMA.

Respecto al censo de animales, España se sitúa en tercer lugar a nivel mundial, desde que en 2015 superó a Alemania en población porcina. El incremento de censo de las últimas campañas se ha evidenciado en todas las categorías de animales, pero especialmente en lechones, lo que permite constatar el incremento de la producción propia de lechones. El incremento de los animales de cebo también ha sido notable durante estos años, aunque más variable como se puede ver en el gráfico 3 “Evolución del censo porcino”



Gráfico 3. Evolución del censo porcino. Fuente: EUROSTAT y SG Estadísticas MAPAMA Elaboración: SG Productos Ganaderos MAPAMA.

Respecto al reparto de la ganadería porcina en el territorio español, se puede ver que dicho contingente no es homogéneo por todo el país, sino que más del 50% de la producción se encuentra repartida entre dos comunidades autónomas que son Cataluña y Aragón, seguida de Castilla y León, como se puede ver en la tabla 1” *Censo de animales por CCAA*”, lo indica que este sector puede generar problemas ambientales locales por la alta cantidad de residuos generados en su actividad y a los que se debe prestar atención.

Comunidades Autónomas	Total	Lechones	Cerdos de 20 a 49 kg de peso vivo	Cerdos para cebo de 50 o más kg de peso vivo
Galicia	1.078.554	297.871	277.553	419.878
P. De Asturias	14.790	4.200	3.172	5.316
Cantabria	2.331	509	230	1.329
País Vasco	32.348	2.669	10.280	17.924
Navarra	647.096	75.539	137.284	367.015
La Rioja	97.387	13.394	22.233	56.333
Aragón	7.047.768	2.064.560	1.697.406	2.785.939
Cataluña	7.616.974	2.132.606	1.818.836	3.046.689
Baleares	48.433	21.015	4.460	10.023
Castilla y León	3.894.516	1.156.915	613.866	1.741.379
Madrid	18.483	6.587	3.796	5.420
Castilla-La Mancha	1.670.008	524.834	311.103	669.373
C. Valencia	1.142.761	307.291	204.205	555.576
R. De Murcia	1.862.519	286.473	442.050	1.002.188
Extremadura	1.438.088	492.134	189.733	609.598
Andalucía	2.563.274	700.264	648.366	970.295
Canarias	56.266	13.598	12.696	21.195

Tabla 1. Censo de animales por CCAA. Fuente: Anuario de estadística del ministerio de agricultura, pesca y ganadería.

Porcentaje Censo de animales por CCAA

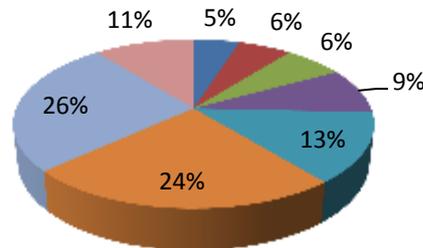
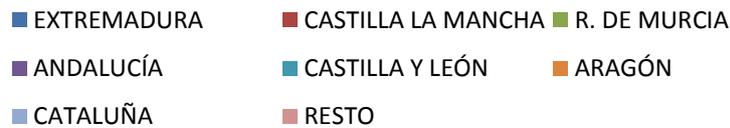


Gráfico 4. Porcentaje Censo de animales por CCAA. Fuente: Anuario de estadística del ministerio de agricultura, pesca y ganadería.

Esta distribución desigual del reparto de las explotaciones por el territorio se acentúa aún más si tenemos en cuenta la extensión de las CCAA en referencia a su superficie, destacando Cataluña con 237 animales por km² de extensión, como podemos ver la siguiente tabla 2 “Número de animales por km²”.

Provincias y Comunidades Autónomas	Extensión superficial total (km2)	Número de animales por km2
Galicia	29.574	36
P. De Asturias	10.604	1
Cantabria	5.321	0
País Vasco	7.234	4
Navarra	10.391	62
La Rioja	5.045	19
Aragón	47.720	148
Cataluña	32.114	237
Baleares	4.992	10
Castilla y León	94.223	41
Madrid	8.028	2
Castilla-La Mancha	79.463	21
C. Valenciana	23.255	49
R. De Murcia	11.313	165
Extremadura	41.634	35

Provincias y Comunidades Autónomas	Extensión superficial total (km ²)	Número de animales
Andalucía	87.597	29
Canarias	7.447	8

Tabla 2. Número de animales por km².

La distribución de cerdos en Castilla y León, que es la Comunidad Autónoma en la que se encuentra la explotación de Miralmonite, tiene un reparto un tanto heterogéneo, destacando Segovia que concentra un 27% de las cabezas de ganado. Zamora, Soria, Salamanca y Burgos se reparten equitativamente el número de Cerdos.

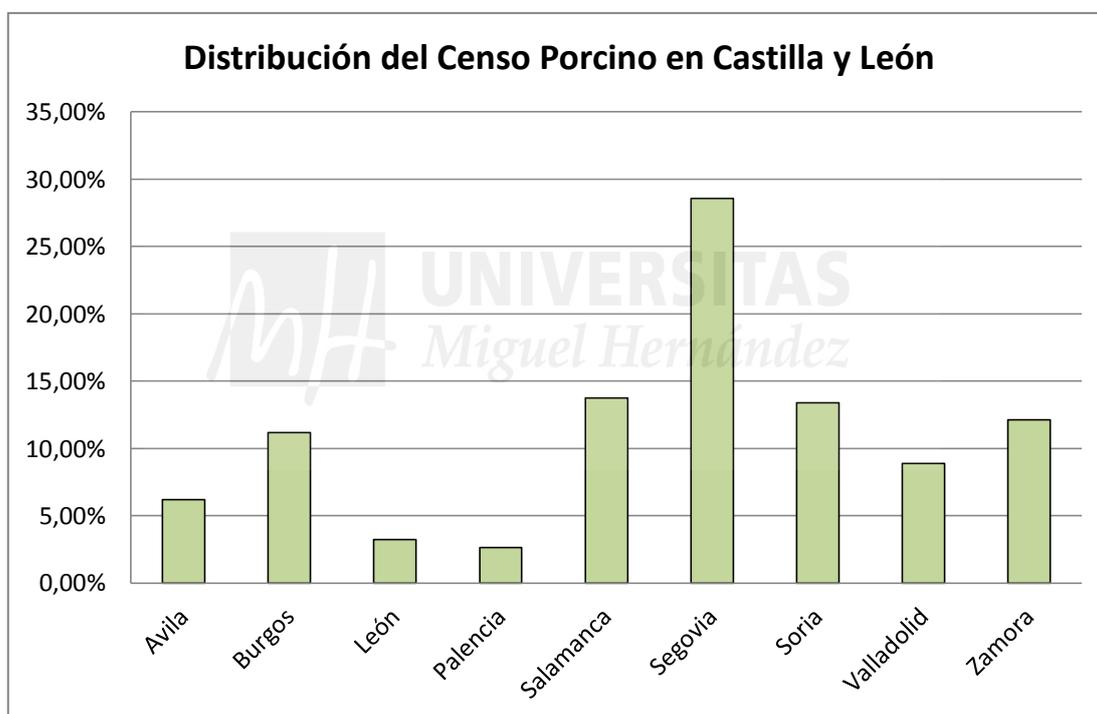


Gráfico 5. Distribución del Censo Porcino en Castilla y León. Fuente: Directorio de explotaciones de ganado porcino de Castilla y León publicados el 7 de Junio de 2017.

EL municipio de Toro se encuentra en la comarca denominada “Campos-Pan” y según los datos del directorio de explotaciones de ganado porcino de Castilla y León publicados el 7 de Junio de 2017, dicha comarca presenta 13

explotaciones con un total de 121.176 cabezas, concentrando un 40% de la producción de cerdos de la provincia zamorana.

Durante los últimos años el sector porcino español ha continuado con su expansión y consolidación como uno de los líderes en el mercado mundial de la carne de porcino, lo cual es importante para el país ya que es clave en la economía, suponiendo el 12,7% de la producción final agraria y dentro de las producciones ganaderas, que representa en torno al 38% de la producción final agraria, siendo el sector porcino el que ocupa el primer lugar en cuanto a su importancia económica, alcanzando el 36,4 % de la Producción Final Ganadera.

Debido a todo lo anterior comentado, debemos de prestar atención a los impactos ambientales que este sector genera y buscar alternativas sostenibles para nuestro entorno y que sean rentables para nuestros ganaderos, sobre todo para aquellas regiones con una alta densidad de ganado por km².

1.2 Modernización de las explotaciones

Desde los años 80 las explotaciones ganaderas del sector porcino han sufrido cambios bruscos al igual que está ocurriendo en el sector agrícola. El número de explotaciones se ha reducido drásticamente como se puede ver en el gráfico 6 “Evolución del número de explotaciones” pasando en 30 años de más de 350.000 explotaciones de porcino a 44.931. Sin embargo, el número de cabezas de ganado se duplicó en esas mismas fechas, pasando de 15 millones a casi 30 millones como se puede ver en el gráfico 3 “Evolución del censo porcino”.

Esto quiere decir que las explotaciones ganaderas son más grandes, pasando de una media de 32 animales por explotación según el estudio elaborado por caja mar en el año 1.984 denominando “Crecimiento y competitividad en el sector ganadero”, hasta una media de 650 cabezas por explotación como se puede ver en la gráfico 7 “Evolución del número de cabezas por explotación”, según datos del anuario de estadística del 2.017.

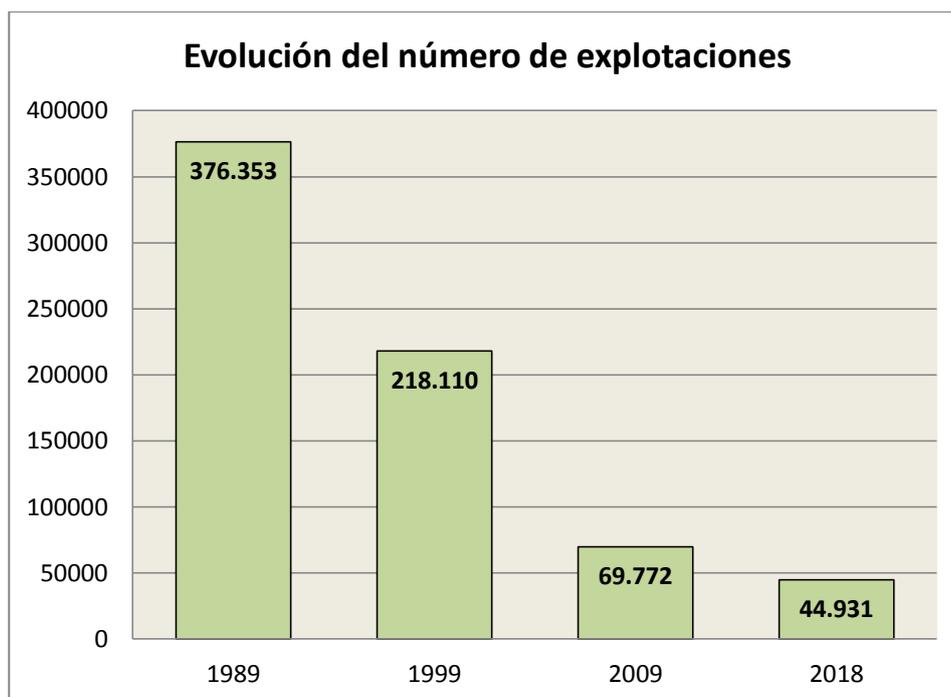


Gráfico 6. Evolución del número de explotaciones. Fuente: estudio elaborado por caja mar en el año 1.984 denominando Crecimiento y competitividad en el sector ganadero.



Gráfico 7. Evolución del número de cabezas por explotación. Fuente: estudio elaborado por Cajamar en el año 1.984 denominando Crecimiento y competitividad en el sector ganadero.

Las principales razones de este cambio de modelo vinieron por las primeras imposiciones de bien estar animal y otras directivas ambientales que provocaron que pequeñas explotaciones ganaderas se vieran obligadas hacer inversiones importantes y que con una población envejecida en el medio rural no se llevaran a cabo. Además, para poder conjugar el trabajo que requiere una granja de porcino con una vida familiar/social se requiere de explotaciones que permitan el empleo de más de una persona. Esto se traduce en que el tamaño mínimo de una explotación moderna debe estar por encima de las 1.000 plazas de cebo, según lo establecido en el informe del 16 de octubre de 2.014 del Grupo Cooperativo Cajamar, lo cual va generar una serie de residuos a los que se debe de prestar atención y buscar la mejor solución, pues la concentración de granjas unida al aumento del tamaño de las mismas puede ser un foco de contaminación local si los residuos orgánicos generados no se gestionan de la manera correcta.

1.3 Residuos orgánicos ganaderos

Los residuos orgánicos ganaderos son los excrementos generados por los animales de las explotaciones agropecuarias, solos o mezclados, aunque estos se hubieran transformado. También se engloban los residuos zoonos, así como aquellos de origen animal no destinados a consumo humano (Sandch).

En el caso de los excrementos generados en la explotación de cerdos suelen ser de dos tipos de forma general:

- **Purines** : Es una mezcla de heces y orinas producidas por el ganado estabulado, mezclado generalmente con un poco de cama, restos de comida y agua durante su manejo para dar un estiércol con un contenido del 1 al 10 % de materia seca.

- **Estiércol**: Son las heces y la orina mezcladas con la cama de paja y cuyo contenido en materia seca es mucho más alto y es apilable.

De forma general, los purines y estiércoles son residuos orgánicos fermentados o capaces de fermentar que se generan en las granjas y que

provocan un gran impacto ambiental. Están formados por dos fases: una líquida y otra sólida. Por una parte, la fase líquida está constituida por la orina del animal y el agua de lavado. Por otra parte, la fase sólida la componen los excrementos animales, restos de alimentos y el material vegetal fibroso que cubre el suelo

La composición química varía en función de las particularidades de cada explotación ganadera: categoría del animal, tipo de alimentación, estructura de la granja, sistema de limpieza, etc. Otros factores que influyen en la variabilidad de la composición del purín es la época del año o las aguas pluviales. Estas últimas aumentan el contenido en agua de los purines almacenados en balsas y alteran la distribución de los nutrientes de dicho purín (Fuente: Blanco Lucinda. “Análisis y caracterización de purines para la obtención de estruvita y biogás”).

Las características de los diferentes purines se pueden ver en tabla 3 “Composición de purines procedentes de tres tipos de granjas”, y presentan un buen potencial fertilizante para los suelos, debido al contenido en materia orgánica y por su sustentado contenido en nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes. Por lo que su uso para agricultura de forma eficiente puede ser un beneficio para nuestros suelos y generar un ahorro económico a los agricultores locales.

	Maternidad	Ciclo cerrado	Engorde
M. Seca (%)	3,24	5,2	8,49
M. mineral (%)	3,29	3,37	26,33
M. Orgánica (%)	2,24	3,55	6,3
Total-N (Kg.m⁻³)	3,4	4,28	5,95
Org-N (Kg.m⁻³)	0,87	1,28	2,53
NH4-N (Kg.m⁻³)	2,53	3	3,42
P2O5 (Kg.m⁻³)	1,81	3,18	5,27
K2O (Kg.m⁻³)	2,31	2,76	3,64
Ca (0/00)	1,2	2,1	3,5
Mg (0/00)	0,3	0,5	0,7
Na (0/00)	0,7	0,9	1,2
Cu (ppm)	3,2	34,5	61,7
Zn (ppm)	18,8	38,7	47,7

	Maternidad	Ciclo cerrado	Engorde
Fe (ppm)	30,2	59,1	88,7
Mn (ppm)	8,3	15	27,9

Tabla 3. Composición de purines procedentes de tres tipos de granjas (Todas las variables se expresan sobre materia fresca excepto la materia mineral sobre materia seca.). Fuente : Sanchez. M. (1999).

1.4 Problemática de la gestión de estiércol

El estiércol se utiliza como fertilizante orgánico en la agricultura ya que tiene un alto contenido en nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, entre otros.

Sin embargo, como se comentó anteriormente, la gran intensificación que la ganadería ha experimentado en las últimas décadas ha generado grandes cantidades de estiércol en zonas muy concretas y que dificultan su manejo.

Para entender la magnitud de la problemática que presenta la generación de estiércol, en el documento “Evaluación de sistemas de gestión de estiércol en Europa” elaborado como resultado de los trabajos realizados dentro del proyecto LIFE + MANEV: “*Evaluación de la gestión y tecnologías de tratamiento de estiércol para la protección medioambiental y la sostenibilidad de la ganadería en Europa (LIFE09 ENV/ES/000453)*”, se calculó la producción europea de estiércol de ganado vacuno, porcino y avícola, dado que estas tres categorías son las que lo producen en mayor cantidad y donde se indica que la mayor parte de la gestión de estiércol es con destino agricultura. En la tabla 4 “*Perspectiva general de la población de vacas, cerdas y aves en los principales Estados miembros europeos*” se puede ver la cantidad de cabezas de ganado de cada especie y en la tabla 5 “*Cantidad Estimada de Estiércol en la UE-28*” la cantidad estimada de estiércol producido según datos de población de ganado en la UE-28 en 2014 y los factores de producción de estiércol por plaza y por año propuestos en el

Inventario de las actividades de procesamiento de estiércol en Europa (Foged et al., 2011).

País	Cerdos	Vacas	Aves
Austria	2.868	1.961	13.300
Bélgica	6.350	2.477	36.219
Bulgaria	553	562	13.837
Croacia	1.156	441	8.716
Chipre	342	60	3.150
República Checa	1.607	1.373	23.265
Dinamarca	12.709	1.553	14.241
Estonia	358	265	2.103
Finlandia	1.223	907	6.861
Francia	13.293	19.253	167.635
Alemania	28.339	12.742	160.774
Grecia	1.046	659	34.000
Hungría	3.136	802	30.075
Irlanda	1.506	6.243	15.000
Italia	8.676	6.125	136.000
Letonia	349	422	4.100
Lituania	714	737	8.820
Luxemburgo	93	201	111
Malta	47	15	1.000
Países Bajos	12.065	4.169	97.719
Polonia	11.266	5.660	123.512
Portugal	2.127	1.549	43.000
Rumania	5.042	2.069	80.136
Eslovaquia	642	466	11.365
Estonia	282	468	3.172
España	26.568	6.079	138.000
Suecia	1.468	1.436	8.582
Reino Unido	486	9.693	152.000
Total	144.311	88.387	1.336.693

Tabla 4. Perspectiva general de la población de vacas, cerdas y aves en los principales Estados miembros europeos. Fuente: Eurostat y Faostat 2014.

País	Estiércol Porcino	Estiércol Vacuno	Estiércol de Ave
Francia	15.348	237.606	15.931
Alemania	32.721	157.254	15.279
Reino Unido	5.180	119.623	14.445
España	30.675	74.907	13.115
Italia	10.018	75.595	12.925
Polonia	13.007	69.855	11.738
Irlanda	1.738	77.047	1.426
Países Bajos	13.930	51.451	9.287
Belgica	7.332	30.572	3.442
Rumania	5.821	25.533	7.616
Dinamarca	14.674	19.166	1.353
Otros	20.796	152.091	20.761
Total	171.240	1.090.700	127.318

Tabla 5. Cantidad Estimada de Estiércol en la UE-28 (miles de toneladas/año).

Fuente: Foget et al, 2011 Eurostat.

Como se puede ver en el apartado 1.2 “Modernización de las explotaciones”, hace unas décadas, la agricultura tradicional se basaba en pequeñas instalaciones en las que los problemas medioambientales que podían derivar de la acumulación de estiércol eran mínimos, dado que los excrementos de animales fertilizaban el suelo mientras que los animales se alimentaban de pasto, con una integración total entre el ganado y la agricultura. Los actuales sistemas de producción intensiva, como se puede ver en los apartados anteriores, han motivado el aumento de tamaño de las granjas y como consecuencia, se han generado grandes cantidades de residuos en áreas localizadas, ocasionado un exceso de estiércol que no puede absorber la agricultura local.

La generación de un exceso de estiércol en áreas específicas, su acumulación y uso indiscriminado en los campos plantea graves riesgos de contaminación los cuales los podemos englobar en:

1.4.1 Contaminación del suelo

Los estiércoles no son materiales fertilizantes equilibrados, por lo que su aplicación agronómica basada en el aporte de un nutriente específico, puede implicar la aplicación de otros nutrientes en exceso para los requisitos de los cultivos y que se pueden ir acumulando en el suelo.

Un exceso de nitrógeno puede provocar pérdidas tanto por volatilización en forma de amoníaco como de filtración de los nitratos, con el consecuente riesgo de contaminación del agua.

Otro de los problemas de contaminación del suelo, es la incorporación de cantidades excesivas de materia orgánica sin que estos hayan sido estabilizados, y que puede provocar condiciones de anoxia debido a su rápida degradación microbiana (consumo de O_2 y producción de CO_2). En condiciones anaerobias, la degradación de la materia orgánica produce compuestos que son tóxicos para las plantas (ácidos orgánicos) o contaminantes para la atmósfera, en cuyo caso la falta de oxígeno en el suelo y la presencia de ácidos orgánicos afectan de forma adversa a la respiración de las raíces, su crecimiento y desarrollo

Otro riesgo es la acumulación de metales pesados. La dinámica de los metales pesados en el suelo depende de las características del estiércol, y del suelo (pH, textura, materia orgánica y de la presencia de óxidos de hierro, aluminio y manganeso). Por tanto, el riesgo asociado a la aplicación de metales pesados es mayor en suelos ácidos con una baja capacidad de intercambio de cationes. Cuanto mayor sea la retención de metales pesados en el suelo, menor será tanto la absorción por la planta como su filtración a las aguas subterráneas.

No se deben olvidar los riesgos asociados a la incorporación de semillas de malas hierbas que compiten con los cultivos o la presencia de compuestos xenobióticos a nivel de trazas (restos de aditivos y medicamentos) que se pueden encontrar en las deyecciones y que se pueden acumular en el suelo causando

problemas de contaminación. Además, el estiércol y los purines no son materiales microbiológicamente estériles y contienen la flora bacteriana típica del tracto digestivo de los animales, que a su vez contiene bacterias patógenas vegetativas, esporas, virus con diversas resistencias químicas y térmicas, así como parásitos en diferentes estados infecciosos. Todos ellos representan un riesgo epidemiológico alto (Martens y Böhm, 2009). Los parámetros principales que determinan el riesgo de que se dispersen los agentes patógenos del estiércol son: la cantidad de excreta, el número de bacterias presentes en las deyecciones, el grado de dilución y la capacidad de los microorganismos de sobrevivir en el estiércol, el suelo, el agua o el medio ambiente (Burton y Turner, 2003).

1.4.2 Contaminación del agua

Las masas de agua se contaminan principalmente por la infiltración y la escorrentía, fenómenos que provocan la contaminación de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales respectivamente.

La contaminación de la superficie debida a la escorrentía tiene lugar, principalmente, en los primeros días tras la aplicación del estiércol al suelo, durante precipitaciones intensas. La fracción orgánica de los residuos llega a las aguas superficiales, por este motivo, en la mayoría de los países, la legislación regula los periodos de aplicación de estiércoles y purines.

La acumulación de nitratos es el problema más acuciante de la contaminación de las aguas subterráneas, debido a las infiltraciones de nitratos como consecuencia de la gran movilidad de este anión en el perfil del suelo. En ciertas áreas específicas la concentración puede sobrepasar el límite establecido para el consumo humano. La cantidad de estiércol que se aplique, unida al tipo de suelo y sus propiedades físicas, pueden influir en la movilidad de los iones en el perfil (permeabilidad, textura), así como la climatología del lugar de aplicación y las prácticas agronómicas (tipo de cultivo y tiempo de aplicación) condicionarán el riesgo de que se produzcan lixiviaciones de nitratos.

Con respecto al riesgo de eutrofización de las aguas superficiales debido a la escorrentía, tanto la materia orgánica como los nutrientes (especialmente el nitrógeno y el fósforo) del estiércol y los purines son responsables de esta contaminación. Eventos como las lluvias intensas inmediatamente tras la aplicación de estiércol o purines al suelo se asocian, principalmente, con la pérdida de nutrientes debida a la escorrentía superficial, en vez de a la lixiviación.

Además, la incorporación de materia orgánica procedente del estiércol y los purines a cursos de agua puede causar una falta de oxígeno en el medio acuático, con el consecuente desarrollo de olores y la reducción de la biodiversidad. La contaminación por escorrentía se produce, principalmente, mediante el arrastre del material articulado, de modo que las concentraciones de nitrógeno soluble en suspensión y el tipo de estiércol son particularmente determinantes en el riesgo de este tipo de contaminación.

1.4.3 Contaminación del aire

Entre los impactos ambientales más importantes producidos por el ganado se encuentran las emisiones de amoníaco y de gases de efecto invernadero (metano, óxido nitroso y dióxido de carbono), así como las de olores, polvo, compuestos orgánicos volátiles y microorganismos en forma de aerosoles.

El amoníaco además de ser un contaminante atmosférico, contribuye significativamente a la lluvia ácida. La pérdida de amoníaco a la atmósfera se produce en la estabulación, en las instalaciones de almacenamiento de estiércol y en la aplicación de éste en el suelo.

El sector ganadero representa una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, generando dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) durante el proceso de producción.

Las emisiones de olores y polvo son las más sensibles para la población debido a que son percibidas por ésta directamente. Su origen puede identificarse

claramente en las naves y el sistema de almacenamiento, o bien ser temporales, como los olores y polvo producidos durante la aplicación agrícola del estiércol o durante su tratamiento.

Los olores se originan esencialmente a partir de la degradación biológica de las sustancias contenidas en los excrementos del ganado por formación de diferentes gases en cantidades muy diversas (Batlló, 1993). Las emisiones de olores dependen de la composición del estiércol, las características de la granja, las condiciones climáticas del área y los procedimientos de distribución y aplicación de los estiércoles.

Respecto a los agentes patógenos presentes en el estiércol se transmiten por el aire debido a los aerosoles, procedentes de las granjas y durante la aplicación de las deyecciones en el campo. En condiciones específicas (de viento y lluvia) los microorganismos pueden dispersarse a grandes distancias (Salmonella puede sobrevivir hasta 2 horas en los aerosoles).

Para evitar los riesgos anteriormente citados, Europa y España están regulando la de la aplicación de los estiércoles y purines de manera directa. Ya en el Real Decreto 980/2017, de 10 de noviembre, por el que se modifican los Reales Decretos 1075/2014, 1076/2014, 1077/2014 y 1078/2014, todos ellos de 19 de diciembre, dictados para la aplicación en España de la Política Agrícola Común , y el Real Decreto 50/2018, de 2 de febrero, por el que se desarrollan las normas de control de subproductos animales no destinados al consumo humano y de sanidad animal, en la práctica cinegética de caza mayor, se indican nuevas pautas para la gestión agrícola de los estiércoles y purines donde se cita expresamente que “La aplicación de purín en las superficies agrícolas no podrá realizarse mediante sistemas de plato o abanico ni cañones, pudiendo las comunidades autónomas establecer excepciones, atendiendo a las características específicas de las superficies afectadas, incluidas las condiciones orográficas y climáticas, u otros motivos, debiendo las mismas quedar debidamente justificadas.” Y que “Los estiércoles sólidos deberán enterrarse después de su

aplicación en el menor plazo de tiempo posible. No obstante, se podrán exceptuar de esta obligación, si la comunidad autónoma así lo establece, los tipos de cultivo mediante siembra directa o mínimo laboreo, los pastos y cultivos permanentes, y cuando la aportación del estiércol sólido se realice en cobertera con el cultivo ya instalado". Además, a las nuevas ganaderías se les exige la que ejecución de estercoleros o balsas para almacenar el residuo al menos seis meses y se prohíbe el acopio en finca por tiempos prolongados.

Por todo esto, los ganaderos deben de hacer frente a gastos importantes para poder ejercer su actividad y realizarla de una manera sostenible, pero que económicamente no es rentable.

Es por ello, que nuevas formas de gestión de los estiércoles donde se valoricen los residuos, tanto medioambientalmente, pero que además se revaloricen económicamente, puede ser una solución al problema, y es ahí donde el compostaje puede encajar, como una solución más a un problema tan complejo.

1.5 Necesidad de añadir materia orgánica en los suelos

El suelo de cultivo está formado por materiales minerales y orgánicos. Se puede afirmar que si en el suelo no aparecen estas últimas no presenta las características adecuadas para ser soporte de la práctica agrícola.

La materia orgánica aparece en el suelo de forma natural, como consecuencia de la actividad de los seres vivos y está constituida en el sentido más amplio por mezcla de microorganismos, residuos vegetales y animales. En suelos de labor, puede haber, aportes de materia orgánica de origen y características muy diversas que vienen a sumarse a los residuos antes citados.

De forma general, los suelos agrícolas presentan mucha menos cantidad de materia orgánica que los suelos forestales. En una revisión sobre los niveles críticos de materia orgánica en suelos agrícolas del área templada, sugirieron que un contenido de materia orgánica de 1% podría representar el umbral por debajo

del cual el funcionamiento del sistema suelo-cultivo podría quedar comprometido, incluso cuando se suministraran los fertilizantes minerales adecuados (Avilés, et al., 2011). Fuentes del actual Ministerio de Medio Ambiente establecen que más del 50 % de los suelos de España se encuentran en fase de desertificación avanzada como se puede ver en la figura 1 “*Contendió de materia orgánica en los suelos españoles*” y se estima que, en Europa, el 16% del territorio cultivado es vulnerable a la desertización (Holland, 2004), si bien este porcentaje puede ser superior en la zona mediterránea, como ocurre en España.

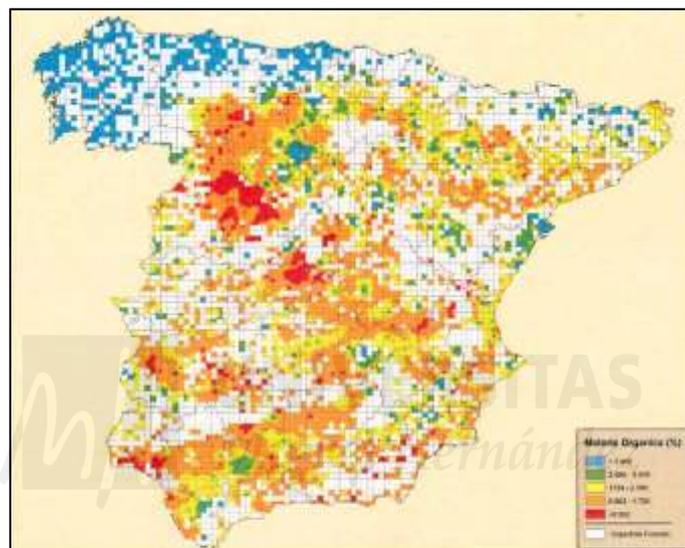


Figura 1. Contendió de materia orgánica en los suelos españoles. Fuente: Ministerio de medio ambiente.

Gran parte de esta desertización y pérdida de materia orgánica de nuestros suelos viene por la actual agricultura moderna, ya que la mayoría de los especialistas en fertilidad de suelos pusieron su énfasis en la productividad agrícola y que sería posible mantenerla a partir de una exclusiva fertilización con de fertilizantes inorgánicos , lo cual ha inducido a un desgaste de la materia orgánica nativa del suelo, lo que ha provocado un deterioro de las propiedades del suelos, afectando principalmente a la porosidad, la retención de humedad, la velocidad de infiltración, a la estructura y aireación del suelo. Todo esto afecta significativamente al crecimiento de raíces, lo que a su vez deteriora el

crecimiento aéreo y la calidad de los frutos cosechados (García P. 2.017). Además, al perder capacidad los suelos de retención hídrica en un país con una precipitación media baja como España, provoca que la aridez de nuestros suelos sea mayor, incrementando aún más este problema en los periodos de sequía. Por esto, la pérdida de materia orgánica es uno de los problemas ambientales más graves de los que afectan al medio natural en España.

Por estas razones hay cambiar el enfoque de producción agraria, y se debe de empezar a fertilizar los suelos en vez de abonar los cultivos, ya que este cambio de concepto produce efectos muy positivos en los cultivos, de manera que aumentando la materia orgánica en los suelos, se incrementa la fertilidad de los mismos y se pueden obtener de las explotaciones agrícolas producciones óptimas y de forma sostenible, al menos a medio-largo plazo. No olvidar, que al aporte de materia orgánica hay que acompañarlo con otras medidas que se engloban dentro de prácticas de manejo respetuosas con el medio ambiente.

Con la incorporación de materia orgánica a través de enmiendas orgánicas o residuos orgánicos en nuestros suelos, se mitigará y corregirá el problema que estamos generando con la agricultura actual, y se conseguirán las siguientes mejoras (P. Roman, FAO).

- a) Mejorar las propiedades físicas:
 - a. Aumentar la capacidad de retención de la humedad del suelo.
 - b. Reducir el riesgo de erosión.
 - c. Ayudar a regular la temperatura del suelo.
 - d. Reducir la evaporación del agua y regular la humedad.
- b) Mejora las propiedades químicas:
 - a. Aportar macronutrientes, como N, P, K y micronutrientes.
 - b. Mejorar la capacidad de intercambio de cationes.
- c) Mejora la actividad biológica:

- a. Aportar organismos (como bacterias y hongos) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para las plantas y degradar sustancias nocivas.
- b. Mejorar las condiciones del suelo y aportar carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna.

Es por ello que el reciclaje de los residuos orgánicos generados en el proceso productivo de una explotación agropecuaria, convierte los residuos en insumos que pueden regresar al suelo en forma de materia orgánica, nutrientes y microorganismos benéficos mejorando lo comentado anteriormente.

El compostaje ayuda a dicha incorporación de los residuos en los suelos y es una práctica ampliamente aceptada como sostenible y utilizada en todos los sistemas asociados a la agricultura climáticamente inteligente. Ofrece un enorme potencial para las fincas agrícolas y la combina con la protección del medio ambiente con una producción agrícola sostenible. Destacar, que con el proceso de compostaje de residuos orgánicos se reduce la aparición de malos olores, la eliminación insectos, patógenos humanos, bacterias contaminantes de alimentos, las semillas y otras plantas no deseadas, que a veces aparecen lo la aplicación de diversos residuos orgánicos ganaderos o agroindustriales cuando se aplican de forma directa.

1.6 Descripción del proceso de compostaje

1.6.1 Definición

El compostaje es un tratamiento biológico al que se pueden someter los residuos, y consiste en un proceso bio-oxidativo controlado sobre un sustrato orgánico, sólido y heterogéneo, que evoluciona a través de una fase termófila y temporal, liberando fitotoxinas. Es descompuesto por la acción de los microorganismos, obteniéndose como productos CO₂, H₂O, minerales y materia estabilizada, libre de compuestos fitotóxicos y patógenos (Soliva y col., 2008).

Aunque el compostaje es tan antiguo como la agricultura, es una tecnología vigente por la eficiencia que ha mostrado en el tratamiento de residuos orgánicos sólidos. Esta vigencia ha impulsado a conocer sus fundamentos con mayor profundidad, lo que ha permitido sistematizar y optimizar su aplicación a diferentes residuos y situaciones.

El compostaje puede ser considerado como una biotecnología ya que supone una explotación industrial del potencial de los microorganismos. También puede considerarse como una ecotecnología dado que permite retornar al suelo la materia orgánica y los nutrientes vegetales, introduciéndolos nuevamente en los ciclos biológicos.

El resultado del proceso de compostaje es la formación de un producto llamado compost, relativamente estable como el humus, conservando los nutrientes químicos del residuo fresco, a la vez que intensifica su asimilabilidad para las plantas y destruye los microorganismos patógenos, las malas hierbas y las larvas de insectos

Para alcanzar un equilibrio que permita el desarrollo de los microorganismos responsables del proceso de compostaje se necesita esencialmente una relación adecuada de materias carbonadas como fuente de energía y materias nitrogenadas para la formación de biomasa (Dalzell et al., 1991; Frioni, 1999).

1.6.2 Requisitos de los materiales a utilizar

Según la asociación ORCA (Organic Reclamation and Composting Association) para determinar la capacidad de un residuo para ser aceptado en un tratamiento de compostaje, debe tenerse en cuenta la biodegradabilidad, la compatibilidad con todas las operaciones del proceso, la seguridad ambiental durante el tratamiento y la influencia en la calidad del compost (Soliva y col., 2012).

Un residuo para ser compostado debe cumplir unos requisitos, tanto para posibilitar el proceso, como para poder generar un producto con una determinada calidad. Así, parece no tener sentido compostar un residuo con poca materia orgánica ya que obliga a invertir energía en voltear y trasladar un material que después, en la aplicación en el suelo, aportaría poca materia orgánica estabilizada.

El tipo de materia inicial seleccionado en el proceso de compostaje incide en la calidad del producto final obtenido, por lo que se hace necesario un análisis previo que permita establecer características específicas del mismo. Para este proyecto se utilizarán datos ya establecidos.

Los residuos previamente seleccionados deben cumplir con requisitos adecuados para el proceso de compostaje, pero para alcanzar un equilibrio que permita el desarrollo de los microorganismos responsables del proceso de compostaje, se necesita esencialmente una relación adecuada de materias carbonadas como fuente de energía y materias nitrogenadas para la formación de biomasa (Dalzell et al., 1991; Frioni, 1999). Por lo que se deberá de establecer cuál es la mezcla mas idónea para que el compostaje se desarrolle en las mejores condiciones.

1.6.3 Etapas del proceso de compostaje

La descomposición es un proceso de simplificación, en el que la materia orgánica se degrada en moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas, principalmente por la actividad biológica. El proceso de estabilización o humificación radica en la formación de macromoléculas nuevas a partir de moléculas sencillas generadas durante la descomposición o bien directamente de moléculas ya existentes en los sustratos a compostar.

Estas transformaciones consumen energía y en ellas intervienen procesos biológicos, físicos y químicos. Las macromoléculas resultantes de la humificación reciben el nombre de sustancias húmicas y tienen como característica más

destacable una gran resistencia a la descomposición. Cada uno de estos procesos se llevará a cabo mediante transformaciones distintas, dependiendo de la etapa en la que se encuentre el compostaje, ya que cada una de estas etapas está caracterizada por la actividad de diferentes grupos de microorganismos. De acuerdo con Chen e Inbar (1993), las etapas del compostaje son cuatro (Figura 2. “Fases del proceso de compostaje y las poblaciones microbianas asociadas”):

- 1- **Fase inicial o mesofílica:** La pila está a temperatura ambiente y comienzan a desarrollarse bacterias y hongos mesófilos que descomponen los carbohidratos y las proteínas más fácilmente degradables. A temperaturas superiores de 40 °C, la actividad mesofílica cesa y la degradación entra en la fase termófila.
- 2- **Fase termofílica:** Los microorganismos son reemplazados por actinomicetos, hongos y bacterias termofílicas, las cuales degradan las proteínas y los carbohidratos no celulósicos, posiblemente los lípidos y la hemicelulosa, pero no atacan la celulosa ni la lignina.
- 3- **Fase de enfriamiento:** Existe un descenso de la temperatura así como de la velocidad de descomposición. Comienza una recolonización de la masa por microorganismos mesófilos, los cuales llevarán a cabo la degradación de azúcares, hemicelulosa y celulosa. Estas tres fases constituyen lo que se denomina la fase bio-oxidativa del proceso de compostaje.
- 4- **Fase de maduración:** Se produce la estabilización y también una cierta mineralización de la materia orgánica con la producción de un producto final altamente humificado.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE A PARTIR DE ESTIERCOL DE UNA EXPLOTACIÓN DE CEBOS DE GANADO PORCINO EN TORO (ZAMORA)

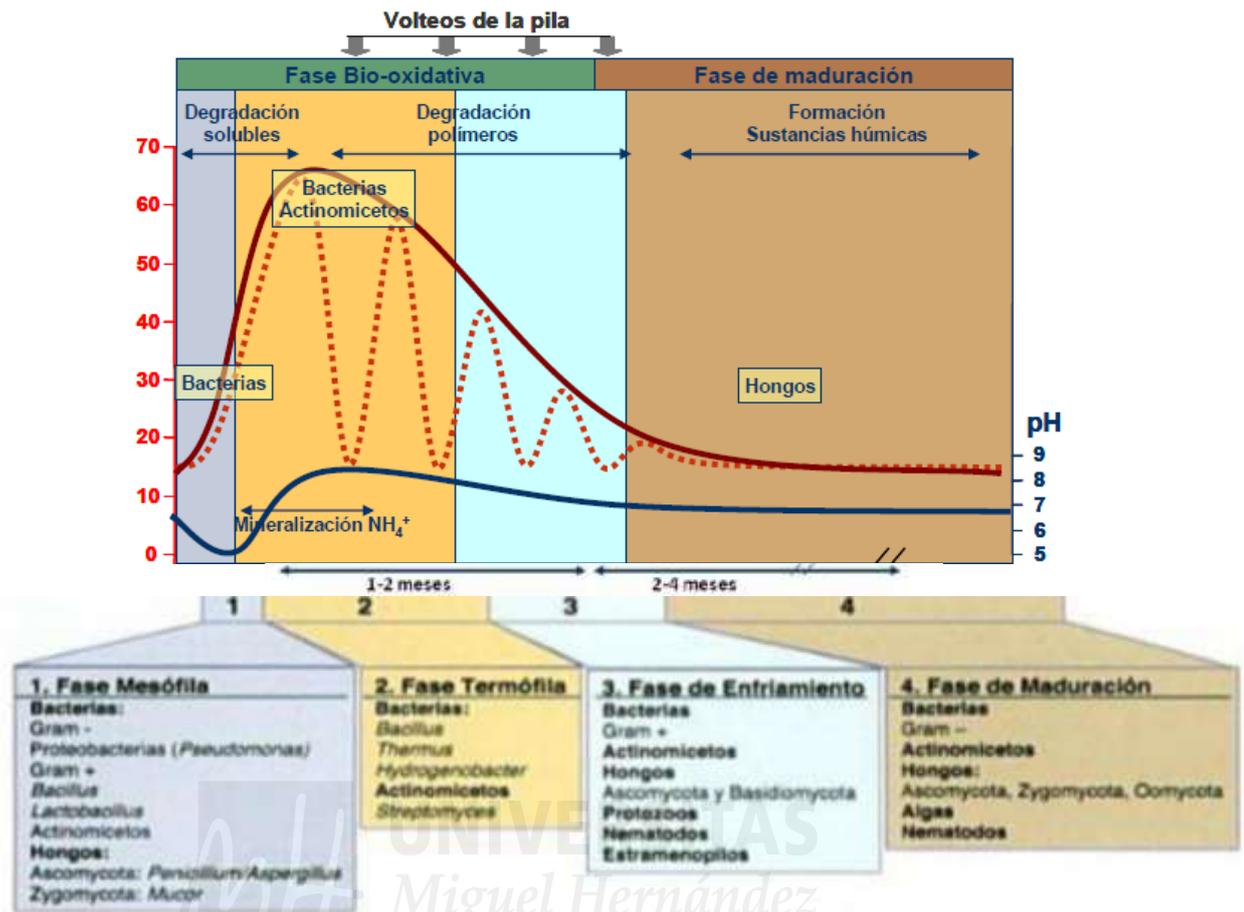


Figura 2. Fases del proceso de compostaje y las poblaciones microbianas asociadas Fuente: Moreno Casco y Mormeneo, 2008.

1.7 Condiciones para el proceso de compostaje

Para una adecuada evolución del proceso de compostaje se deben dar una serie de condiciones iniciales para que el proceso comience, que son parámetros relativos al sustrato a compostar, como es la correcta relación C/N, humedad, tamaño de partículas. Además, durante el proceso de compostaje se deben de controlar una serie de variables que van a garantizar un adecuado proceso, como es la temperatura, la humedad, la aireación, el pH.

1.7.1 Condicionante del sustrato

1.7.1.1 Relación C/N

Todos los organismos necesitan de nutrientes para crecer y reproducirse. La falta de algunos elementos esenciales dificultará el desarrollo de los organismos con lo que afectará la evolución del compostaje. Las cantidades de nutrientes que necesitan los microorganismos varían para cada elemento, sin embargo, si se mantienen unas proporciones o relación constante de unos nutrientes con respecto a otros, se garantiza un correcto desarrollo de las poblaciones. Es aquí donde la relación carbono-nitrógeno (C/N) constituye uno de los aspectos más importantes en el balance de nutrientes totales para los sustratos de compostaje.

Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del carbono (C) y del nitrógeno (N), la relación entre estos dos componentes, denominado relación C/N, debe ser adecuada de partida. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de carbono por una de nitrógeno. Por ello, el intervalo óptimo para el compostaje es una relación de 25-35 (Jhorar y col. 1991).

Además, la relación C/N influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje, y si esta relación no es adecuada ocasionará las siguientes consecuencias:

- Una relación C/N demasiado elevada (>30, exceso de carbono) provoca una ralentización del proceso debido a la falta de nitrógeno para la síntesis proteica de los microorganismos.
- Una relación C/N baja (<20, exceso de nitrógeno) acelera inicialmente el crecimiento microbiano y la descomposición de la materia orgánica lo que agotaría rápidamente las reservas de oxígeno, dando lugar a condiciones de anoxia.

Con el progreso del compostaje, la proporción de C/N gradualmente disminuye de 30:1 a 10:1-15:1 para el producto acabado, como se puede ver en el gráfico 8 “Evolución de la relación C/N de un estiércol de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Comas-1980)”. Esto ocurre porque a medida que los compuestos orgánicos son consumidos por los microorganismos, parte del carbono se emite como anhídrido carbónico y el resto se incorpora junto con el nitrógeno en las células microbianas.

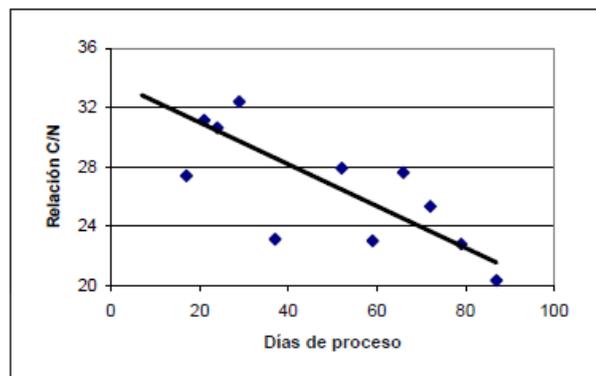


Gráfico 8. Evolución de la relación C/N de un estiércol de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente. Fuente Comas-1980.

Para calcular las proporciones en que dos o más residuos orgánicos deben mezclarse para alcanzar la relación C/N adecuada es preciso conocer sus contenidos en carbono y nitrógeno, además de su humedad. Sustituyendo en la ecuación 1.1 se puede conocer la composición de la mezcla:

$$R = \frac{W1 * [C1] + W2 * [C2] + ..}{W1 * [N1] + W2 * [N2] + ..}$$

[Ec. 1.1.] Ajuste de C/N

R: Relación C/N de la mezcla

W: masa del material (peso seco)

Cn: carbono (%) del material n

N: nitrógeno del material

1.7.1.2 Humedad

La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que todos los seres vivos usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular.

El compostaje es un proceso biológico de descomposición de materia orgánica en el que la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de la fauna micobiana, gracias a que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de deshecho de las reacciones que tienen lugar durante el proceso. También es considerada por algunos autores como la variable más importante del proceso de compostaje (Haug, 1993; Madejón y col., 2002).

La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de la masa (Miyatake y col., 2006), para que permita la circulación tanto del oxígeno (proceso aerobio) como de otros gases producidos en la reacción. El rango óptimo para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%. La actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30% y por encima del 70% el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose anaerobiosis, la cual origina malos olores y afecta a la velocidad del proceso disminuyéndola.

Porcentaje de humedad		Problema
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos
45% - 60% Rango ideal		
>60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.

Tabla 6. Parámetros de humedad óptimos.

Para poder ajustar la humedad a los niveles óptimos debe medirse primero la humedad de los materiales a compostar. El ajuste de la humedad en los materiales muy secos es fácil, basta con incorporar la cantidad de agua necesaria, teniendo en cuenta la humedad que ya presenta el material.

En el caso de materiales con excesiva humedad la corrección es más difícil. Se pueden mezclar con otros residuos más secos o bien se dejan secar antes de su compostaje.

La dinámica del agua en la pila de compostaje tiende a disminuir durante el compostaje, ya que la cantidad eliminada continuamente por el aire o el calor es significativamente superior a producción de agua por los microorganismos como consecuencia de sus procesos metabólicos aerobios, de modo que la humedad tiende a disminuir durante el compostaje desde valores de 50-70% hasta alrededor de 30%. Esto conduce a una reducción de la actividad microbiana y por lo tanto debe de medirse y corregirse durante el compostaje para asegurar un correcto desarrollo del mismo.

1.7.1.3 Tamaño de partículas

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Las partículas pequeñas tienen mayor superficie por unidad de masa o volumen que las partículas grandes. Por ello, si la aireación es adecuada y hay suficiente cantidad de agua, las partículas pequeñas se degradan más rápidamente que las de mayor tamaño. Además, un menor tamaño de partícula facilita la homogenización y mezcla de los materiales y favorece el aislamiento térmico, lo que ayuda al mantenimiento de las temperaturas óptimas durante todas las etapas del proceso.

Dependiendo del tipo de material o del sistema de compostaje elegido se recomiendan tamaños de partícula entre 0,5 y 5 cm, correspondiendo el límite inferior a compostajes en pilas volteadas o con aireación forzada y el superior para pilas estáticas o aireadas pasivamente.

Una de las operaciones de pretratamiento que se recomiendan para adecuar los sustratos para compostaje consiste en triturarlos, procedimiento que puede doblar la tasa de descomposición respecto a la obtenida en sustratos no triturados.

1.7.1.4 pH

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. Se considera que el rango óptimo se encuentra entre 5.5 y 8.0, ya que es el intervalo en la que se desarrollan la mayoría de los microorganismos. Por un lado, las bacterias prefieren los valores de pH comprendidos entre 6 y 7,5, mientras que los hongos toleran un rango más amplio que puede oscilar entre 5,5 y 8. Si el pH desciende por debajo de 6 los procesos de descomposición microbianos, especialmente por parte de las bacterias, se detienen. Los valores de pH cercanos o superiores a 9, favorecen la conversión del nitrógeno en amonio, afectando en general de forma negativa al crecimiento de los microorganismos y deteniéndose también el proceso biodegradación de la materia orgánica.

Debido a las características que tiene el estiércol de cerdo, este puede estar por debajo de las condiciones óptimas de compostaje, por lo que se deberá de estudiar si esto es un problema y se deberá de corregir.

1.7.2 Condicionantes durante el proceso

El compostaje es un proceso de transformación biológica, aerobia y controlada de los residuos orgánicos del que se obtiene el compost (producto final higienizado y estabilizado).

El origen de los microorganismos en el proceso de compostaje es debido a que la pila de compost es una granja microbiológica en la que las bacterias representan el 80 a 90 % del billón de microorganismos presentes. Estas especies de microorganismos aerobios, facultativos y obligados, pueden sucederse o coincidir durante el tiempo de compostaje.

Durante el proceso de compostaje se lleva a cabo una compleja sucesión de poblaciones de microorganismos, que varían continuamente en función de la evolución de la temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de oxígeno, contenido de agua, pH, acumulación de compuestos antibióticos, etc. En esta sucesión de microorganismos cada población se adecúa al ambiente creado por la población anterior.

1.7.2.1 Temperatura

La sucesión de poblaciones en el proceso de compostaje generalmente se asocia a la temperatura, la cual es una variable muy importante en el compostaje, pues en función de ella diferentes especies bacterianas serán más o menos activas. A medida que se va elevando la temperatura, las poblaciones microbianas son reemplazadas por otras mejor adaptadas y cada una de ellas posee una duración limitada.

Es por ello, que es imprescindible monitorizar y controlar la evolución de las temperaturas para asegurar que el proceso se está desarrollando en las condiciones adecuadas, y poder tomar medias correctoras durante el proceso para asegurar un producto final adecuado.

Debido a la cantidad de microorganismos que existen en los residuos y que muchos de ellos son patógenos para el ser humano y el medioambiente, es necesario controlar este proceso aerobio que combina las fases mesófilas (15 a 45 °C), donde actúan microorganismos que inician el proceso de descomposición de la fracción más degradable de la materia orgánica, provocando un descenso del pH debido a la formación de ácidos orgánicos. Como resultado de la oxidación de los distintos compuestos orgánicos se genera energía que incrementa la temperatura hasta alcanzar condiciones termófilas (45 a 70 °C) para conseguir la reducción de patógenos en los residuos orgánicos su transformación para obtener un producto estable y la eliminación de semillas. Esta fase es la más activa y exigente del proceso y si no se realiza en condiciones adecuadas

provocará la aparición de problemas de lixiviados y malos olores, además de influir en la calidad del producto final. Su duración depende del mantenimiento de las condiciones y de la degradabilidad de los componentes del material inicial (ver figura 3. “Evolución de la temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje”).

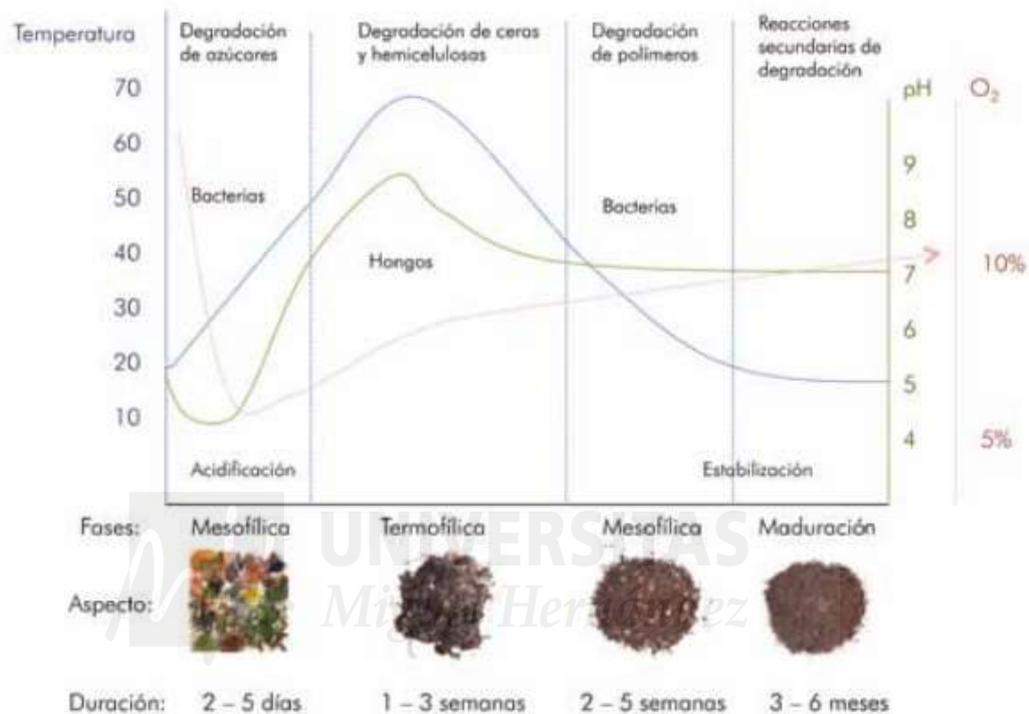


Figura 3. Evolución de la temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje. Fuente P. Roman, FAO.

La tasa de degradación decrece al ir quedando los materiales más resistentes. Si las condiciones de humedad y aireación han sido correctas, cuando la materia orgánica más degradable se va agotando, disminuye la actividad de los microorganismos termófilos y los organismos mesófilos reconozcan la pila, iniciándose una fase denominada de maduración en la que la actividad general y los cambios son mucho más ralentizados, considerándose una etapa de síntesis.

Fase de maduración o de humificación, la materia orgánica se estabiliza y se construyen nuevas macromoléculas a partir mayoritariamente de las moléculas

sencillas obtenidas en las fases anteriores y se constituyen las llamadas sustancias húmicas precursoras del humus.

1.7.2.2 pH

En los primeros estadios del proceso el pH se acidifica (ver figura 3. “Evolución de la temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje”) por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila debido a la conversión del amonio en amoniaco el pH sube y se alcaliniza el medio para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. Es por ello que se debe controlar dicho valor durante el proceso.

1.7.2.3 Aireación

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO_2) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica (ver Figura 3. “Evolución de la temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje”)

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación El exceso de aire podría provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos (Zhu, 2006). Por el contrario, una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores (Bidingmaier. 1996).



2 Objetivos del estudio

Los objetivos por los que se realiza el trabajo fin de master son los siguientes:

- 1- Estudiar la viabilidad técnica de la elaboración de compost en una explotación ganadera de porcino a través del estiércol generado como alternativa para la gestión de estos residuos.
- 2- Identificar la legislación vigente que se debe de tener en cuenta en la construcción de una planta de compostaje.
- 3- Determinar la viabilidad económica que tendría la modificación de ciertos elementos constructivos de la explotación y la ejecución de nuevas obras para el correcto desarrollo del compostaje en la propia instalación.
- 4- Al final del trabajo, decidir si la modificación a realizar para la elaboración de compost resulta una buena opción para la gestión del estiércol generado por parte de la explotación.
- 5- Por parte del alumno, la obtención de la titulación “Máster Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos “





3 Legislación y Requisitos de la administración

3.1 Legislación

En este apartado se expone unas de las principales leyes que se debe de regir una explotación ganadera que desea hacer la construcción de una planta de compostaje:

- Ley 5/1999 de Urbanismo de Castilla y León.
- Ley 22/2011 de Residuos y suelos contaminados.
- Ley 11/2003 de Prevención ambiental de Castilla y León, modificada parcialmente por la Ley 8/2014.
- Reglamento de Urbanismo de Castilla y León.
- Plan General de Ordenación Urbana del municipio de Toro.
- Directrices de Ordenación Provincial de Zamora.
- Decreto 24/2013 modificado por el Decreto 32/2014 sobre composición y atribuciones de las Comisiones Territoriales de Medio Ambiente y Urbanismo.

Todos los residuos y subproductos que serán empleados en los distintos procesos descritos, deberán cumplir con los límites en cuanto a contenido en metales pesados, compuestos orgánicos y otros posibles contaminantes, así como, a lixiviación, fijados por las distintas normativas de referencia relativas al uso de residuos en agricultura:

- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por las que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. BOE 19/02/2003. (Incluye la corrección de errores de BOE 12/03/02).
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.
- Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.
- Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real
- Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

- Real Decreto 1528/2012, de 8 de noviembre, por el que se establecen las normas aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano. SANDACH.
- SANDACH, Nuevo Marco Legal, abril, 2013.
- Decreto 4/2018, de 22 de febrero, por el que se determinan las condiciones ambientales mínimas para las actividades o instalaciones ganaderas de Castilla y León, se modifica el Anexo III del Texto Refundido de la Ley de Prevención Ambiental de Castilla y León aprobado por el Decreto Legislativo 1/2015, de 12 de noviembre, y se regula el régimen de comunicación ambiental para el inicio del funcionamiento de estas actividades. - Boletín Oficial de Castilla y León de 26-02-2018.
- Real Decreto 980/2017, de 10 de noviembre, por el que se modifican los Reales Decretos 1075/2014, 1076/2014, 1077/2014 y 1078/2014, todos ellos de 19 de diciembre, dictados para la aplicación en España de la Política Agrícola Común.

3.2 Requisitos técnicos exigidos por la Junta de Castilla y León

Los requisitos establecidos en este apartado son de aplicación sin perjuicio de los requisitos específicos establecidos en la reglamentación sectorial para el compostaje en la comunidad de Castilla Y León.

3.2.1 Equipamiento mínimo para el desarrollo de una actividad de compostaje en pilas dinámicas volteadas.

3.2.1.1 Zona de Recepción / mezcla.

Estas zonas pueden organizarse por separado o bien existir una única zona que cumpla ambas funciones: recepción de los residuos y mezcla de los mismos. Será preciso disponer de una zona con solera impermeabilizada capaz de recibir el volumen previsto considerando el flujo de entrada proyectado para la zona de mezclado e inicio del proceso de compostaje. Para residuos líquidos se

deberán diseñar balsas o tanques impermeabilizados y estancos. En caso de tratarse de residuos que generen especialmente malos olores, se podría establecer como medida correctora una cubrición de estas balsas con cubiertas rígidas o flexibles o bien con cubiertas flotantes (materiales naturales, paja, pellets.....).

La zona de recepción / mezcla dispondrá de medidas tales como muros laterales para el control de lixiviados que se produzcan durante el almacenamiento y retener las aguas de lluvia. La zona de recepción deberá considerar el cumplimiento de los requisitos mínimos de protección del suelo y de las aguas subterráneas (3.2.2 “*Requisitos mínimos de diseño para la protección del suelo y de las aguas subterráneas*”)

En la zona de mezcla de materiales en proporciones adecuadas, la superficie se diseñará teniendo en cuenta que usualmente deberá funcionar en esta zona un tractor con pala o una volteadora para la formación de pilas de sección trapezoidal y el volteo de las mismas.

3.2.1.2 Era de Fermentación / compostaje

Esta zona deberá contar con solera hormigonada .La altura de las pilas puede oscilar entre 1,5 y 3 m y su anchura dependerá de la altura alcanzada, siendo habitual que vaya de 2,5 a 4 m. Si se dispone de volteadora que permita su utilización en plataformas tipo meseta, la altura de la misma vendrá sujeta a las características de esa maquinaria. En este sentido, en la documentación técnica se justificará adecuadamente las características de esta zona en función de la maquinaria disponible. La altura de las pilas es un factor fundamental para garantizar las condiciones necesarias de contenido de oxígeno en las pilas que permitan una adecuada degradación aeróbica. La anaerobiosis es la principal responsable de la generación de malos olores.

La zona de fermentación / compostaje deberá considerar el cumplimiento de los requisitos mínimos de protección del suelo y de las aguas subterráneas.

(3.2.2“Requisitos mínimos de diseño para la protección del suelo y de las aguas subterráneas”)

3.2.1.3 Era de Maduración.

Zona donde se realiza la maduración final del compost. Dicha zona no será necesario que esté provista de muros laterales, y la solera podrá ser de zahorras compactadas con propiedades mecánicas adecuadas para soportar el tráfico de maquinaria pesada (aproximadamente 98 % en el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501).

Se podrá considerar los áridos artificiales procedentes del tratamiento de residuos de construcción y demolición como zahorra artificial para los usos anteriores.

No es necesario que dicha zona cuente con solera hormigonada. Es importante que se diseñe de tal forma que no se produzcan encharcamientos en la misma y que existan sistemas que impidan por una parte la entrada de aguas pluviales del exterior y por otra la evacuación de estas aguas cuando caen sobre dicha superficie.

3.2.1.4 Recogida y Almacenamiento de Lixiviados.

La instalación deberá disponer de sistemas de recogida y almacenamiento de lixiviados para las zonas de recepción/mezcla y fermentación/compostaje según los requisitos mínimos establecidos.

El titular documentará (descripción en texto y gráfica), el sistema previsto de recogida y gestión de las aguas pluviales caídas sobre estas zonas, así como sobre la zona de maduración. Asimismo, deberá documentar el sistema de recogida separada de aguas pluviales no contaminadas en caso de que existan cubiertas o zonas libres de residuos orgánicos.

El proyecto deberá recoger un anexo técnico justificativo del sistema de recogida de lixiviados, que tenga en cuenta el apartado de requisitos mínimos de diseño para la protección del suelo y de las aguas subterráneas.

El anexo técnico justificativo contendrá entre otras cuestiones, las siguientes:

- Cálculos de dimensionamiento de la balsa o tanque de almacenamiento de lixiviados en función de la pluviometría de la zona, superficie, pendientes, tratamiento previsto de los lixiviados.
- El titular justificará técnicamente y administrativamente el sistema previsto de gestión de los lixiviados recogidos en la instalación.
- Si los lixiviados se tratan en una instalación “in situ” se deberá asegurar que se cumplen las condiciones de vertido a cauce fijadas en la correspondiente autorización por el correspondiente organismo de cuenca.

3.2.1.5 Sistema de riego.

El titular documentará el sistema previsto para el riego de las pilas de compostaje. Deberá constar en la documentación presentada, un anexo justificativo de cálculo de necesidades de riego, y volúmenes de lixiviados disponibles.

3.2.2 Requisitos mínimos de diseño para la protección del suelo y de las aguas subterráneas.

Los lixiviados y todas las aguas que entren en contacto con los residuos se almacenarán y se tratarán antes de su vertido de modo que cumplan los límites de vertido a cauce fijados en virtud de la correspondiente autorización del texto refundido de la ley de aguas.

El proyecto técnico contendrá un estudio específico del sistema de evacuación y almacenamiento de lixiviados, que tenga en cuenta las condiciones

climatológicas (pluviometría, etc), superficie de las áreas de drenaje, caudales, y otras variables con objeto de garantizar un drenaje adecuado de lixiviados.

Las superficies de trabajo, tales como la zona de recepción / mezcla de los residuos de entrada, la plataforma de fermentación / compostaje activo deben:

- Estar provistas de barreras, muros y zanjas para prevenir la entrada de aguas de escorrentía superficiales.
- La solera debe estar diseñada y fabricada con hormigón sobre una base compactada capaz de soportar, sin sufrir daños, el tránsito de maquinaria pesada.
- Ser capaz de soportar todas las estructuras, maquinaria y vehículos y permitir el acceso a cualquier parte de la instalación, independientemente de las condiciones meteorológicas.

Estas áreas deben disponer de un sistema de recogida de lixiviados que reúna los siguientes requisitos:

- Sistema de conducción de lixiviados en la zona de recepción, mezcla y fermentación de materia prima.
- Diseño y mantenimiento de una pendiente adecuada en las hileras de compostaje a efectos de que drenen los lixiviados a la balsa de lixiviados. El diseño y disposición de las hileras de compostaje vendrá recogido en el proyecto técnico.
- Diseño de pilas e hileras para maximizar la escorrentía superficial y minimizar la infiltración.

El sistema de almacenamiento de lixiviados se diseñará siguiendo los siguientes requisitos:

- Los lixiviados deberán ser recogidos y almacenados, bien en tanques/depósitos de superficie o en balsas de lixiviados.

- Los tanques/depósitos de almacenamiento superficiales deberán estar rodeados por un muro tipo cubeto que permita recoger el 110 % de la capacidad total de los tanques de almacenamiento.
- Las balsas de lixiviados deben estar adecuadamente impermeabilizadas y valladas.

El volumen tanto de los tanques/depósitos de almacenamiento superficial como de las balsas de lixiviados, vendrá adecuadamente justificado en función de la pluviometría de la zona, diseño separativo de aguas pluviales, superficie, pendientes, tratamiento previsto de los lixiviados.

Como medida preventiva ante posibles desbordamientos, la balsa de lixiviados deberá mantener en todo momento un volumen libre de seguridad correspondiente a 3 veces el caudal generado por la precipitación máxima diaria absoluta recogida en la superficie de recepción/mezcla y fermentación/compostaje.

3.2.3 Equipos y Maquinaria de proceso.

Las instalaciones de compostaje dispondrán como mínimo de los siguientes equipos y maquinaria:

Trituradora con las especificaciones técnicas necesarias para obtener estructurante según el sistema de explotación planteado por el titular. La disponibilidad de la trituradora será opcional. En todo caso, el titular deberá acreditar mediante contratos de alquiler, o similar que dispondrá de los equipos necesarios para disponer de estructurante adecuadamente acondicionado.

- Tractor con pala o volteadora para las pilas.
- Línea de Cribado

La instalación dispondrá de una estación meteorológica para el control de las condiciones meteorológicas, principalmente de viento, de forma que se pueda incorporar este parámetro en el sistema de operación de la planta y se puedan

establecer medidas para minimizar las molestias por olores en las poblaciones cercanas.

3.2.4 Equipos mínimos para el control de proceso.

Las instalaciones de compostaje deben disponer de los medios adecuados para realizar el seguimiento de una serie de parámetros de proceso. Deberán controlar de forma obligatoria la temperatura y proponer además otro parámetro de control. Los equipos de control y seguimiento deberán ser adecuadamente para el seguimiento de:

- Relación C/N al principio y final del proceso de compostaje.
- Humedad.
- Temperatura de las pilas.
- Grado de oxigenación de las pilas

El solicitante documentará cómo va a realizar el seguimiento y evaluación de la madurez del compost, indicando metodología y equipamiento disponible para su seguimiento.



4 Análisis de viabilidad técnico

4.1 Descripción de las instalaciones

Las instalaciones están ubicadas en el Término Municipal de Toro (Zamora) situada fuera del casco urbano en la parcela nº 5006 del polígono 5 y pose el nombre de Finca Miralmonte S.A.



Figura 4. Finca Miralmonte S.A.

En la actualidad la finca posee una explotación de ganado porcino con un manejo de “todo dentro-todo fuera”. Los animales entran en la explotación con un peso vivo aproximado de 25 Kg y permanecen allí hasta los 150 Kg de peso vivo, aproximadamente durante 6 meses. Una vez alcanzado el peso son recogidos y llevados al matadero y se procede a una limpieza y desinfección de las instalaciones hasta que entre el nuevo lote, que suele ser 2 meses después.

Durante la estancia en el cebadero los animales se alimentan con piensos compuestos a libre disposición. El tamaño de la explotación en cebo es de 2.000 cabezas, por lo que se necesita un buen plan para la mejora del estiércol.

La explotación cuenta con:

-8 naves de cebo con las siguientes características:

Nave de cebo 1

Longitud (m): 29,35

Anchura (m): 17,25

Altura (m): 3,20

Superficie Útil (m²): 484,75

Nave de cebo 2 y 3

Longitud (m): 55,00

Anchura (m): 20,75

Altura (m): 3,50

Superficie Útil (m²): 1.080,18

Nave de cebo 4

Longitud (m): 50,00

Anchura (m): 20,00

Altura (m): 3,50

Superficie Útil (m²): 972,16

Nave de cebo 5

Longitud (m): 50,00

Anchura (m): 8,00

Altura (m): 3,50

Superficie Útil (m²): 575,36

Nave de cebo 6

Longitud (m): 60,10

Anchura (m): 4,20

Altura (m): 3,20

Superficie Útil (m²): 575,36

Nave de cebo 7 y lazareto

Longitud (m): 60,10

Anchura (m): 4,20

Altura (m); 3,20

Superficie Útil (m²): 238,80

Nave de cebo 8

Longitud (m): 69,70

Anchura (m): 4,00 y 7,00

Altura (m): 3,20

Superficie Util (m²): 355,00



Figura 5. Imágenes de las naves.

Las divisiones interiores en las naves están realizadas con vallas metálicas para dividir en diferentes lotes el conjunto de los animales. Respecto a las aguas residuales que se generan, son las aguas sucias de los patios de ejercicio. El sistema de saneamiento recoge las aguas de los patios, estercolero y se canalizan a la fosa de purines.

Además de las naves, la instalación consta de:

Fosa de Purín

La fosa de tiene una capacidad de almacenamiento de 600 m³ y con unas dimensiones de 29,50m x 4,50 m x 4,50m . Esta realizada bajo nivel con solera y muros de hormigón armado y forjado en la parte superior.

Estercolero 1

El estercolero dispone de una capacidad de 1,500,00 m³ , y presenta unas dimensiones de 30,00 m de largo por 16,00 metros de ancho y una altura de 3,00 metros. La solera presenta un desnivel de 20 %. El estercolero está realizado mediante una solera de hormigón y muros de contención de hormigón.



Figura 6. Estercolero 1.

Estercolero 2

El estercolero 2 dispone de una capacidad de 480 m³, y presenta unas dimensiones de 30,00 m de largo por 16,00 metros de ancho y una altura de 1,00 metros. La solera presenta un desnivel de 5 %. El estercolero está realizado mediante una solera de hormigón y muros de contención de hormigón.



Figura 7. Estercolero 2.

Silos de heno

Dispone de dos silos que están en desuso en la actualidad, y servían para ensilar el alimento de los animales. Esta ejecutado sobre una solera de hormigón y muros de hormigón. Presentan unas dimensiones de 20 metros de largo, 3 de ancho y 2,5 m de alto.



Figura 8. Silo de heno.

Edificios en fuera de uso

La finca dispone de dos naves que en la actualidad están sin servicio, que son las antiguas parideras y unas naves almacén, y se valorará su posible uso para el proceso de compostaje o para almacenamiento del compost.



Figura 9. Parideras.

4.2 Caracterización y producción del estiércol

Las características de las deyecciones ganaderas pueden ser muy diferentes según la especie, edad del ganado, tipo de granja, alimentación, manejo, etc. Por lo que su composición es difícil de establecer. Existen tablas que proporcionan la producción de excrementos según el tipo de ganado y otras que informan sobre la composición elemental, pero puede ser que tanto unas como otras estén poco actualizadas o no se adecuen a las características de la propia granja.

La explotación de la finca de Miralmonte se realiza sobre cama de ganado de paja, que se suele denominar estiércol de porcino (ver figura 10 “*Estiércol de la explotación porcina*”). Se trata de un sistema de explotación intensiva.



Figura 10. Estiércol de la explotación porcina.

Este tipo de cría de cerdo, con producción de estiércol sólido es absolutamente minoritario frente a la cría "convencional" donde se extraen las deyecciones sin cama y en suspensión líquida (purín).

La composición química de este tipo de estiércol se obtiene del estudio de "Estiércoles. Caracterización, analítica e implicaciones sobre su aprovechamiento fertilizante", elaborado por el gobierno de Aragón y de los datos de "Compost Calculator by Miguel Hernandez de Elche, 2017." Aplicación para dispositivos móviles (APP), que se puede ver en la tabla adjunta.

	M.S.	pH	M.O	C	N	P	K	Na	Ca
Estiércol cerdo	22%	4,50	22,00%	45,00 %	3,77%	11,1 g/kg	40,3 g/kg	17,9 g/kg	44,2 g/gk
	Fe	Cu	Zn	Cd	Ni	Cr	Pb	Densidad aparente	
	1270,0 mg/kg	49,0 mg/kg	379,0 mg/kg	7,3 mg/kg	15,5 mg/kg	16,0 mg/kg	72,0 mg/kg	0,55 kg/L	0,55 K kg/L

Tabla 7. Composición química del estiércol de cerdo

Como puede verse en la tabla 7 "Composición química del estiércol de cerdo" presenta con un alto contenido de humedad, unos valores intermedios en cuanto a contenido de nutrientes. El contenido de agua es muy inferior al habitual en el purín (en torno al 95 %). Y también es muy inferior la proporción de nitrógeno que se encuentra en forma amoniacal (36 %, frente al 70 % habitual en el purín). Fuente: "Estiércoles. Caracterización, analítica e implicaciones sobre su aprovechamiento fertilizante", elaborado por el gobierno de Aragón.

La relación C/N es de 11,9, mucho más equilibrada, debido a la paja, que la que suele presentar el purín (en torno a 6 o más baja).

La cantidad de estiércol generado en este tipo de explotación es de 2,15 m³ cerda y año, entendiéndose 7 meses que es lo que dura su ciclo, por lo que en la explotación se genera por lote 4.300 m³ por ceba, y al año una media de 6.450 m³ pues tras el vaciado de cada lote y desinfección se introduce otro lote, de manera que en 24 meses se ceban 6.000 animales.

La limpieza se suele hacer 1 vez cada semana a partir del segundo mes, y los dos primeros meses cada 15 días, debido a que los cerdos pequeños realizan menos deyecciones que los grandes. Por lo que la cantidad de estiércol retirada por limpieza estimada es de 179 m³.

4.3 Residuos y Subproductos complementarios locales

Los residuos locales en los que vamos a prestar atención, son aquellos que se producen en la fábrica de azúcar de Toro, restos agrícolas de cereal y viñedos y residuos de las almazaras locales. En ellos nos fijaremos en su composición química en referencia al Nitrógeno, Carbono y Materia seca, para ajustar la mezcla idónea con el estiércol de cerdo para que se pueda desarrollar el proceso biológico de compostaje en las mejores condiciones.

4.3.1 Espumas de azucarera

La espuma de azucarera es un subproducto de la fabricación de azúcar constituida fundamentalmente por carbonato cálcico, destacando su contenido en materia orgánica y en elementos fertilizantes como fósforo y magnesio. Como tal, la normativa de fertilizantes española la considera una enmienda caliza, pudiendo ser usada como corrector de pH en suelos ácidos. Sin embargo, en su precipitación se ocluyen diversos compuestos orgánicos, sulfatos y formas inorgánicas de fósforo por lo que tiene además un moderado contenido orgánico y de otros elementos fertilizantes.



Figura 11. Espuma de azucarera.

La producción de azúcar de remolacha azucarera (*Beta vulgaris L.*) se realiza troceando la raíz y extrayendo la sacarosa con agua caliente. Los compuestos no azucarados de la raíz de remolacha también son extraídos durante el proceso, por lo que el jugo contiene impurezas. Muchos de estos no azúcares son separados mediante un proceso de carbonatación con lechada de cal y dióxido de carbono que forma carbonato cálcico. El CaCO_3 precipita, ocluyendo las sustancias no azucaradas, para posteriormente ser separado por filtración de la solución. El jugo azucarado se procesa a continuación para obtener azúcar cristalizada y melaza. El material precipitado, en su mayoría carbonato cálcico, es denominado espuma de azucarería, que está contemplado como enmienda caliza en el R.D. 824/2005 de 8 de julio de Fertilizantes.

Uno de los usos de la espuma de azucarera es como corrector de pH, debido a que tiene muchos efectos positivos en las propiedades físicas del sustrato obtenido, al mejorar la permeabilidad y conductividad hidráulica, módulo de ruptura y la reducción de la producción de costras. Además, mejora la disponibilidad de fósforo, no sólo a suelos ácidos sino también neutros.

Otros elementos interesantes son aquellas impurezas derivadas del proceso de carbonatación se encuentran compuestos orgánicos como saponinas, proteínas, oxalatos, pectinas y formas inorgánicas de fósforo, magnesio y calcio

que tienden a ser completamente separadas. Otros no-azúcares como citrato, malato y sulfatos pueden ser parcialmente separados (Dutton and Huijbregts (2007)).

Su composición es la siguiente:

	M.S.	C	N
Espuma de azucarera	65%	16,96%	3,20%

Tabla 8. Composición tipo de las espumas de azucarera.

4.3.2 Paja de cereal

Los principales cultivos, especialmente los cereales, producen grandes cantidades de tallos y de hojas, además del producto principal, que por lo general es el grano. La paja constituye casi siempre la mitad de la vegetación que se puede cosechar de un cultivo. Tales materiales no pueden ser consumidos por el ser humano, pero el ganado los puede transformar en productos con valor económico, y en la actualidad somos capaces de valorizarlos en fertilizantes, energía o calor.

La paja (ver figura 12 “Paja de Cereal”) está constituida por los tallos y las hojas de los cereales menores. Las cosechadoras por lo general descargan conjuntamente la paja y la paja triturada.



Figura 12. Paja de Cereal

Los distintos tipos de paja han sido siempre una parte importante de la agricultura. Antes de la aparición de los fertilizantes inorgánicos y de la

mecanización, estos elementos eran una parte integral de la producción agrícola en gran escala como parte de la alimentación de los animales y como base para la producción de abonos orgánicos que eran esenciales para el mantenimiento de la fertilidad. En la pequeña agricultura y en la agricultura a niveles de subsistencia, los residuos agrícolas mantienen y aumentan su importancia en razón del acceso cada vez más limitado a la tierra de pastoreo por el incremento del área cultivada.

La composición química de la paja es variable y dependerá de las características químicas del suelo, de los fertilizantes o la climatología. Presentan un contenido hídrico muy variable, un elevado contenido de materia orgánica, fracción mineral variable en concentración total y tienen una alta relación C/N, aunque con diferencias según la naturaleza y composición del residuo.

La paja que se utiliza en la explotación es mayoritaria de trigo y es de fácil degradación ya que la celulosa y hemicelulosa se encuentran en un porcentaje elevado (30-50 %) y el contenido de lignina, que es material difícilmente biodegradable está entre el 1 y 6 %.

La composición de la paja la podemos ver en la tabla 9 y los datos obtenidos son del temario “Residuos orgánicos de origen agrícola ganadero”, Unidad temática 2: Características y composición.

	M.S.	C	N
Paja de trigo	88%	44%	0,30%

Tabla 9. composición de la paja de Trigo.

4.3.3 Sarmientos

Con objetivo de mejorar el rendimiento de las viñas y la calidad de las uvas, se procede a reducir la parte vegetativa de la vid para limitar su crecimiento, labor que común se le denomina poda, y que genera una serie de residuos lignocelulosicos denominados sarmientos (figura 13 “Sarmientos de vid”), los cuales suelen ser abandonados por los viticultores cerca de las parcelas y durante

un tiempo indeterminado para que sufran un proceso de descomposición descontrolada (no higieniza los sarmientos) y que una vez incorporados de nuevo a la viña como fuente de materia orgánica contribuyen a infectar y extender la contaminación por hongos en plantas sanas.



Figura 13. Sarmientos de vid.

La ganadería objeto del estudio se encuentra ubicada en la zona de producción de los vinos amparados por la denominación de origen (D.O.) Toro, que se encuentra situada al sureste de la provincia de Zamora y suroeste de la provincia de Valladolid. Comprende parte de las comarcas naturales de Tierra del Vino, Valle del Guareña y Tierra de Toro y linda con los páramos de Tierra del Pan y Tierra de Campos.

La extensión total de la zona que ampara la D.O. Toro, abarca 62.000 hectáreas de terreno y la superficie dedicada a viñedo es de 8.000 hectáreas, de las cuales 5.800 están registradas en el Consejo Regulador, que pertenecen a los algo más de 1.200 viticultores inscritos, por lo que el uso de este residuo puede ser muy útil por la cantidad que se genera en la zona.

La característica lignocelulosa del sarmiento indica que presentan una gran resistencia a la biodegradación. Los sarmientos de la vid tienen menos hemicelulosa (67%) que otros residuos agrícolas (paja de trigo, tallos de girasol, tallos de algodón, paja de arroz etc.), pero similar a la del pino y superior al de las

podas de olivo. El contenido de lignina (20%) es similar al del eucalipto y al de los materiales arriba mencionados (Jiménez et al., 2004).

La composición química que presenta el sarmiento según tesis doctoral “Higienización de sarmientos de la poda de vis mediante métodos térmicos y biofungicidas Presentada por Petruta Mihaela Matei y por los de “ Compost Calculator by Miguel Hernandez de Elche, 2017. Aplicación para dispositivos móviles (APP), que se puede ver en la tabla adjunta.

	M.S.	C	N
Sarmiento	92%	44,20%	0,70%

Tabla 10. Composición química de los sarmientos.

Según se puede ver en la tabla superior, el sarmiento presenta unas propiedades buenas como fuente de Carbono.

4.3.4 Vinazas

Las vinazas son el subproducto de la fermentación industrial de la melaza para la obtención de alcohol, levaduras, ácido cítrico, lisina o antibióticos. Proviene de un producto natural sometido a un proceso en el que no tiene que intervenir productos nocivos para el suelo.

En España las vinazas más abundantes son las que proceden de la obtención de alcoholes a partir de la melaza de remolacha y suelen tener un contenido en agua superior al 45%. En Europa se comercializan vinazas con un contenido en sustancia seca en torno al 70% y por tanto más ricas en azúcares, nitrógeno y minerales y de mayor valor energético. Sin embargo, la composición química de la vinaza depende de la materia prima que se utilice, de las condiciones climáticas, del suelo y del proceso de elaboración del alcohol (Rodella et al., 1981).

Las vinazas que se pueden utilizar son la que se producen en la fábrica de azúcar de Toro (Zamora). Como anteriormente se comentó, la vinaza de la

elaboración de azúcar se obtiene de la destilación de la remolacha azucarera, en el proceso de fabricación de alcohol.

Su apariencia es la de un líquido viscoso de color marrón oscuro, con olor a caramelo. Tiene una densidad de 1.15-1.25 gr/cm³, con un pH ligeramente ácido. Respecto a su relación C/N, se encuentra en torno al 7,5. La composición química de las vinazas según los datos obtenidos por Acor y son las siguientes.

	M.S.	C	N
Vinazas	53%	26,25%	3,50%

Tabla 11. Composición química de las vinazas.

4.3.5 Alperujo

El alperujo (figura 14 “Imagen de alperujo”) se genera en las almazaras y es un subproducto semilíquido compuesto por mezcla de aguas de vegetación o alpechines, partes sólidas de la aceituna, como el hueso, el mesocarpio, la piel y restos grasos. Se define como todo aquello que resta de la aceituna molturada si eliminamos el aceite de oliva. En la actualidad, se han instalado en la cercanía a la explotación varias almazaras, que podrían proveer de dicho subproducto.



Figura 14. Imagen de alperujo.

El alperujo está compuesto principalmente por materia orgánica y valores altos de conductividad eléctrica (CE), potasio (K) y relación carbono /nitrógeno (C/N).

	M.S.	C	N
Alperujo	29%	45,20%	0,97%

Tabla 12. Composición del alperujo.

Actualmente, en un número nada despreciable de almazaras, el alperujo producido se dirige a las orujeras dónde se somete a un proceso de secado para la extracción de aceite de orujo. El subproducto resultante de la extracción de aceite de orujo se suele incinerar para la producción de energía en la propia orujera. Sin embargo, el alperujo procedente del decanter, al tener un contenido en agua muy elevado tiene dificultad para el transporte, almacenamiento y secado, y para el propio proceso de extracción, por lo que supone un problema para el sector de las orujeras, y ha supuesto inversiones adicionales en las extractoras.

4.3.6 Resumen de los Residuos y Subproductos complementarios locales

La tabla 13 recoge el contenido en agua y los principales nutrientes de estos materiales estructurante y/o fuentes de nutrientes.

	M.S.	C/N	C	N
Estiércol Cerdo	22	11,94	45,00%	3,77%
Espuma de azucarera	65	5,30	16,96%	3,20%
Paja de trigo	12%	146,67	44,00%	0,30%
Sarmiento	92%	63,14	44,20%	0,70%
Vinazas	53%	7,50	26,25%	3,50%
Alperujo	29%	46,60	45,20%	0,97%

Tabla 13. Resumen de los Residuos y Subproductos complementarios locales.

4.4 Mezcla para la elaboración del sustrato a compostar

Tras lo comentado en los apartados anteriores, para que se dé una correcta evaluación del proceso de compostaje, el estiércol debe de cumplir unas

características iniciales para que el proceso pueda comenzar, y en caso de que estas no se den, debe de mezclarse con materias primas complementarias para que se den las condiciones que podemos ver en la tabla 14 “*Condiciones óptimas para el proceso de compostaje*”

Parámetro	Valor
C/N	30
Humedad (%)	60
pH	5,5-9

Tabla 14. Condiciones óptimas para el proceso de compostaje.

Si comparamos los valores del estiércol porcino de la tabla 7 “*Composición química del estiércol de cerdo*” con la tabla 14 “*Condiciones óptimas para el proceso de compostaje*” observamos que la relación C/N es muy baja, que la humedad es alta y que el pH es muy bajo, lo cual va dar problemas para actividad de los microorganismos, como se comentó en el apartado 1.7.1 “*Condicionante del sustrato*”, punto 1.7.1.4 “*pH*”.

Parámetro	Estiércol porcino	Valor
C/N	11,9	30
Humedad (%)	78%	60
pH	4,5	5,5-9

Tabla 15. Comparativa de Estiércol de cerdo con sustrato ideal.

Para corregir estas deficiencias contamos con las materias primas complementarias descritas en el punto 4.3 “*Residuos y Subproductos complementarios locales*”.

4.4.1 Ajuste de pH

El primer parámetro que se ajustara es el pH, ya que si no está el sustrato en el rango adecuado la actividad microbiana no empezara, o tendrá un desarrollo muy lento. De las 5 posibles materias primas, se va a optar por la espuma de

azucarera ya que está constituida en gran parte con Carbonato Calcio (CaCO_3) el cual presenta un buen valor neutralizante.

Para estimar la mezcla que debemos hacer, se utilizarán los datos facilitados por Acor y por British Sugar, donde para subir un punto el pH se debe de aplicar una dosis de 2-3%. Este dato, va ser muy subjetivo, y durante la explotación se usará un medidor de pH para ajustar adecuadamente la dosis.

Según esta suposición, por cada 1.000 kg de estiércol se debe de incorporar 30 kilos de espuma de azucarera, por lo que tendremos un nuevo residuo con las siguientes características:

	Cantidad	M.S.	C/N	M.O	C	N
Estiércol Cerdo	1000	22	11,94	22,00%	45,00%	3,77%
Espuma de azucarera	30	65	5,3	34,00%	16,96%	3,20%
Mezcla	1030	23,25	11,54	23%	42,70%	3,7

Tabla 16. Mezcla de Estiércol de cerco con Espuma de Azucarera.

4.4.2 Ajuste de C/N

Una vez ajustado el pH se procederá a ajustar la relación C/N a los valores citados en el punto 1.7.1.1 “Relación C/N” del apartado 1.7.1 “Condicionante del sustrato” a un valor de 30.

Para conseguir este valor se aportará más carbono a la mezcla de estiércol con espuma de azucarera, ya que en la tabla 16 se puede ver que la mezcla presenta valores de 11,54.

Las materias complementarias que disponemos son las que se pueden ver en la tabla 17 “Residuos y Subproductos complementarios para ajustar C/N”

	M.S.	C/N	C	N
Paja de trigo	88%	146,67	44,00%	0,30%
Sarmiento	92%	63,14	44,20%	0,70%
Vinazas	53%	7,50	26,25%	3,50%
Alperujo	29%	46,60	45,20%	0,97%

Tabla 17. Residuos y Subproductos complementarios para ajustar C/N.

De los cuatro posibles residuos se desecha las vinazas por su bajo valor de C/N. Para calcular las proporciones y por simplificar el número de materias primas, se estudia la cantidad que deberíamos de mezclar a 1030 kg de la mezcla resultante del apartado 4.4.1. “Ajuste de pH”, para conseguir una relación C/N de 30 con paja de trigo, sarmiento y Alperujo.

Para calcular la cantidad necesaria utilizamos la ecuación [Ec. 1.1.] “Ajuste de C/N”, obteniendo los siguientes resultados:

Paja de trigo

$$30 = \frac{239,47 * [0,427] + W2[0,44]}{239.47 * [0,0377] + W2[0.3/100]}$$

$$W2=481,68$$

Peso bruto=547.37 kg

Sarmiento

$$30 = \frac{239,47 * [0,427] + W2[0,442]}{239.47 * [0,0377] + W2 * [0.7/100]}$$

$$W2=726.8$$

Peso bruto=790 kg

Alperujo

$$30 = \frac{239,47 * [0,427] + W2[0,4609]}{239.47 * [0,0377] + W2 * [0.97/100]}$$

$$W2=1048.85 \text{ kg}$$

Peso bruto=3615

Resumen de las mezclas para ajustar C/N

	Cantidad	M.S.	Volumen	Humedad	C/N	C	N
Mezcla +Paja de trigo	1577,37 kg	721,16 kg	5.490 L	54%	30,00	43,57%	1,45%
Mezcla + Sarmiento	1820 kg	966,27 kg	4.100 L	47%	30,00	43,83%	1,46%
Mezcla + Alperujo	4645 kg	1287,82 kg	7.769 L	73%	30,00	44,74%	1,49%

Tabla 18. Resumen de las mezclas para ajustar C/N.

Tras los datos que se observan en la tabla 18, la materia prima complementaria será el sarmiento, debido las siguientes razones.

- Por volumen, el sarmiento es el que menos espacio necesita para compostar.
- Aunque se necesitan más kilos de sarmiento que de paja, el coste del sarmiento es cero, pues los viticultores de la zona lo ceden gratuitamente y la paja tiene un coste pues es una materia prima cotizada en el mercado.

4.4.3 Ajuste la humedad

Como se explica en el punto 1.7.1.2 “Humedad” del apartado 1.7.1. “Condicionantes del sustrato”, el rango óptimo para el crecimiento microbiano oscila entre el 50-70% y la mezcla de estiércol de cerdo , espuma de azucarera y sarmiento en las proporciones explicadas en 4.4.2 “Ajustes de C/N” presenta una humedad del 47%, por lo que se deberá de humedecer con agua a razón de :

	Cantidad	Kilos materia Seca	Agua de la mezcla	Agua a incorporar	Agua total	Cantidad Mezcla	Humedad
Mezcla + Sarmiento	1.820 kg	966,27 kg	853,72 L	595,67 L	1.449,39 L	2.415,67 L	60,00%

Tabla 19. Ajuste de humedad.

4.5 Dimensionamiento de la planta de compostaje

La prioridad para el dimensionamiento de la planta es intentar mantener las instalaciones existentes, de manera que se reduzca al mínimo las inversiones a realizar.

Según lo descrito en el apartado 3.2 “*Requisitos técnicos exigidos por la Junta de Castilla y León*”, la planta deberá de contar con las siguientes instalaciones:

- Zona de Recepción / mezcla.
- Era de Fermentación / compostaje
- Era de Maduración.
- Recogida y Almacenamiento de Lixiviados.
- Sistema de riego.

4.5.1 Zona de Recepción / mezcla.

Al producirse la mayoría del residuo a compostar en las instalaciones, se van aprovechar los silo de heno para realizar la función de mezcla. Estos silo están descritos en el apartado 4.1. “*Descripción de las instalaciones*”.

Uno de los silos se utilizará para el almacenamiento de los sarmientos y las espumas de azucarera, y el otro silo se utilizará para realizar las mezclas del estiércol según se realizan las limpiezas del estiércol, mezclando la parte proporcional de sarmiento y espuma de azucarera según lo dispuesto en el punto 4.4. “*Mezcla para la elaboración del sustrato a compostar*”.

Los silos disponen de una zona con solera, muros laterales para el control de los lixiviados que se produzcan durante el almacenamiento y retener las aguas de lluvia. La anchura del silo es suficiente para la maniobra con la pala, pues fueron diseñados para el almacenamiento de heno.

Una vez que el materia este mezclado correctamente, se depositará en la era de Fermentación.

4.5.2 Era de Fermentación / compostaje

Esta zona debe presentar una solera hormigonada y cumplir con lo establecido punto 3.2.2 “*Requisitos mínimos de diseño para la protección del suelo y de las aguas subterráneas*”

Aquí se va a desarrollar la fase de fermentativa, la cual suele durar de uno a dos meses, según se explicó en el apartado 1.6.3 *“Etapas del proceso de compostaje”*

Para favorecer esta etapa se va a ejecutar una cubierta sobre la solera, para que las pilas no estén al intemperie, y así reducir el tiempo de compostaje a un periodo medio de 6 semanas, por lo que el tamaño de esta era se va a dimensionar para un periodo máximo de 1,5 meses. Uno de los dos estercoleros se quedará de zona de almacenamiento, por si por alguna causa climatológica no se pudiera desarrollar la fase fermentativa en el tiempo indicado y poder realizar la limpieza de la granja según las necesidades de los cerdos.

Como se detalló en el apartado 4.2 *“Caracterización y producción del estiércol”*, cada vez que se limpian las instalaciones se genera 179 m³ de estiércol. Dicha limpieza se realiza cada 7 días, por lo que la era de fermentación deberá de poder procesar lo generado en 6 semanas.

Para facilitar el control de las pilas y el proceso, cada pila estará formada por la cantidad retirada en cada limpieza, y este será el punto de partida del dimensionamiento de la era de fermentación.

Como se comentó, se genera en cada limpieza 179 m³ de estiércol a la semana, y para que el proceso se desarrolle de manera correcta se deberá de mezclar con la cantidad justa de sarmiento, espuma de azucarera establecida en el punto 4.4. *“Mezcla para la elaboración del sustrato a compostar”*. Para esta cantidad de estiércol la mezcla corresponde con lo expuesto en la tabla 20 *“Mezcla con residuos complementarios por limpia”*.

	Volumen	Peso
Estiércol Cerdo	179,00 m³	98,48 tn
Espuma de azucarera	2,46 m³	2,95 tn
Sarmiento	222,26 m³	77,79 tn
Mezcla	403,72 m³	179,22 tn

Tabla 20. Mezcla con residuos complementarios por limpia.

Las dimensiones de las pilas tendrán forma trapezoidal, con una base de 4 metros, una altura de 2.5 metros y una base menor de 2 metros, de manera que se pueda facilitar los trabajos de la pala para el volteo y evitar dimensiones muy grandes de pila que puedan provocar situaciones de falta de oxígeno.



Figura 15. Sección de pila para era de fermentación.

Por lo tanto, la sección de las pilas tendrá una superficie de $7,5 \text{ m}^2$. El objetivo de la era de fermentación es que sea capaz de tratar 6 semanas de producción de estiércol y por lo tanto la cantidad generada corresponde con lo expuesto en la tabla 21 “Cantidad de mezcla generada en 6 semanas”

	Volumen	Peso
Estiércol Cerdo	1074,00 m ³	590,88 Tn
Espuma de azucarera	14,75 m ³	17,70 Tn
Sarmiento	1333,54 m ³	466,74 Tn
Mezcla	2422,29 m³	1075,32 Tn

Tabla 21. Cantidad de mezcla generada en 6 semanas.

Si se va a tratar 2.422 m^3 y la sección de la pila tiene $7,5 \text{ m}^2$ será necesario 322 metros lineales, lo que equivale a una superficie de 1.288 m^2 . Solo se utilizará un estercolero para el compostaje, que será el denominado estercolero 1 y se incrementara paralelamente la superficie de hormigón necesaria.

Para diseñar el incremento de la era, se hará teniendo en cuenta la operativa de los volteos y del propio estercolero, el cual tienen una superficie de 30 metros de largo y 16 de ancho.

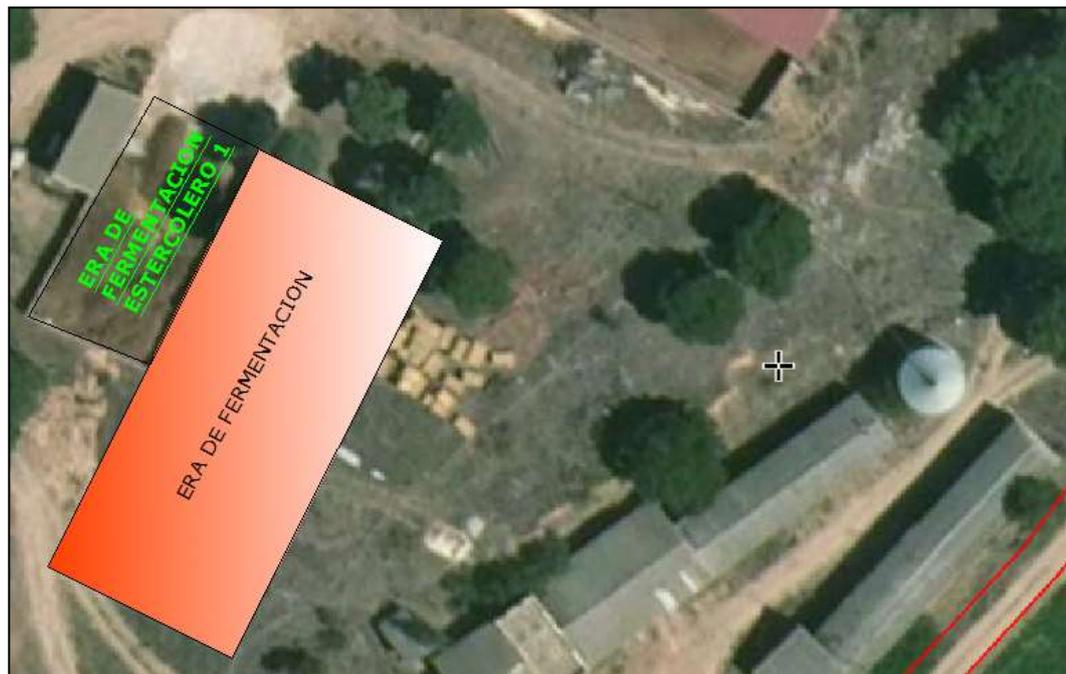


Figura 16. Era de fermentación.

Como se citó, las pilas de compostaje tienen 4 metros de ancho, por lo que el estercolero tendrá 4 pilas en fermentación, las cuales se irán moviendo correlativamente para realizar los volteos necesarios y para optimizar el espacio al máximo, como se detalla en la figura 17.

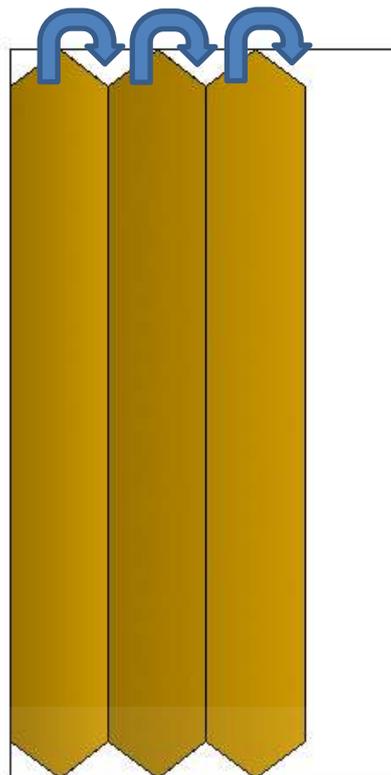


Figura 17. Volteos de las pilas.

Si en cada limpieza se generan 60 metros (57 redondeados) lineales de pila de mezcla a compostar, se procederá a aprovechar las medidas del estercolero, de manera que se van a hacer dos pilas de 30 metros de largo por limpieza.

Para asegurar una correcta manipulación del material, se dimensionarán dos pasillos de las mismas dimensiones de las pilas para favorecer la operativa de la maquinaria.

De manera que será necesario ejecutar 14 calles de 4 metros de ancho, y 30 de largo y un pasillo intermedio como se puede ver en la figura 18. Para cumplir estos requerimientos, se va a construir una losa adyacente al estercolero 1, con una superficie de 1.680 m². Esta losa presenta un desnivel para recoger los posibles lixiviados generados y se conectará con la red de agua que vierte en el depósito de lixiviados.

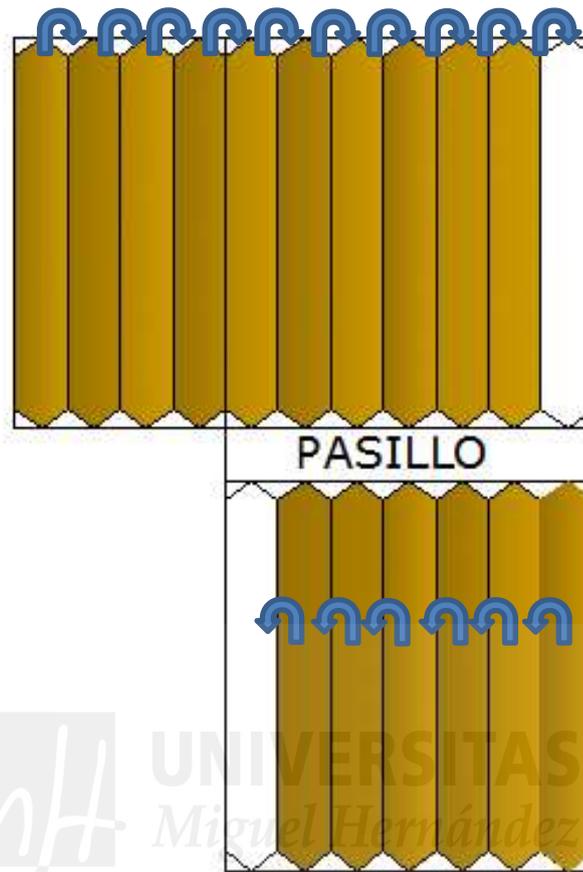


Figura 18. Volteos en la era de fermentación.

Además, se ejecutara una cubierta que tapaná al estercolero 1 y la losa de fermentación para reducir y mejorar las condiciones de la etapa de fermentación, ver figura 19 y 20.

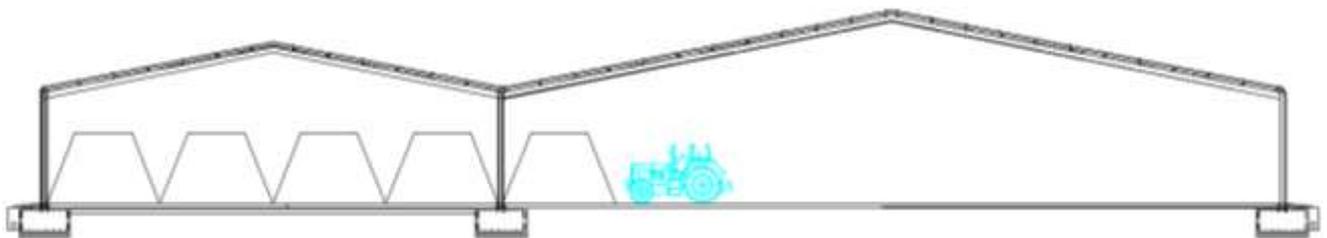


Figura 19. Cubierta de la era de fermentación.



Figura 20. Planta de la cubierta de la era de fermentación.

4.5.3 Era de Maduración.

En esta zona se realiza la maduración final del compost. Dicha zona será construida con zahorras compactadas con propiedades mecánicas adecuadas para soportar el tráfico de maquinaria pesada (aproximadamente 98 % en el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501). Según lo dispuesto en el punto 3.2 "Requisitos técnicos exigidos por la Junta de Castilla y León". Además, esta se ejecutara con una pendiente adecuada para que no se produzcan encharcamientos y se construirá una red de cunetas perimetrales que impedirá por una parte la entrada de aguas pluviales del exterior y por otra la evacuación de estas aguas cuando caen sobre dicha superficie, hacia la fosa de lixiviado (ver figura 21).



Figura 21. Era de maduración.

El periodo medio para una correcta maduración según se indicia en el apartado 1.6.3 “*Etapas del proceso de compostaje*”, es de 2 a 4 meses, por lo que esta era deberá de poder acoger el compost resultante de la fase de fermentación durante 4 meses.

Destacar, que durante la fermentación las pilas suelen presentar una merma de una 40% de su volumen inicial, por lo que las dimensiones serán las siguientes:

	Volumen	Peso
Estiércol Cerdo	1.145,60 m3	630,27 tn
Espuma de azucarera	15,73 m3	18,88 tn
Sarmiento	1.422,45 m3	497,86 tn
Mezcla	2.583,78 m3	1.147,01 tn

Tabla 22. Volumen generado en 4 meses de mezcla fermentada.

Se mantendrán las mismas dimensiones y condiciones de pilas que las expuestas en la Edar de maduración, y las pilas formadas estarán compuestas por la mezcla fermentada en cada retirada. El tamaño de la pila será:

	Pila sin fermentar	Pila fermentada
Mezcla	403,72 m3	161,49 m3

Tabla 23. Pila en era de maduración-

Para mantener una armonía constructiva, la longitud de esta era será igual a la de la era de fermentación y se construirá al lado para facilitar la operativa de manipulación. Para poder cumplir las necesidades de tiempo, las zona de maduración presentara unas dimensiones 30 metros de largo 64m de ancho, es decir, 1.920 m2.

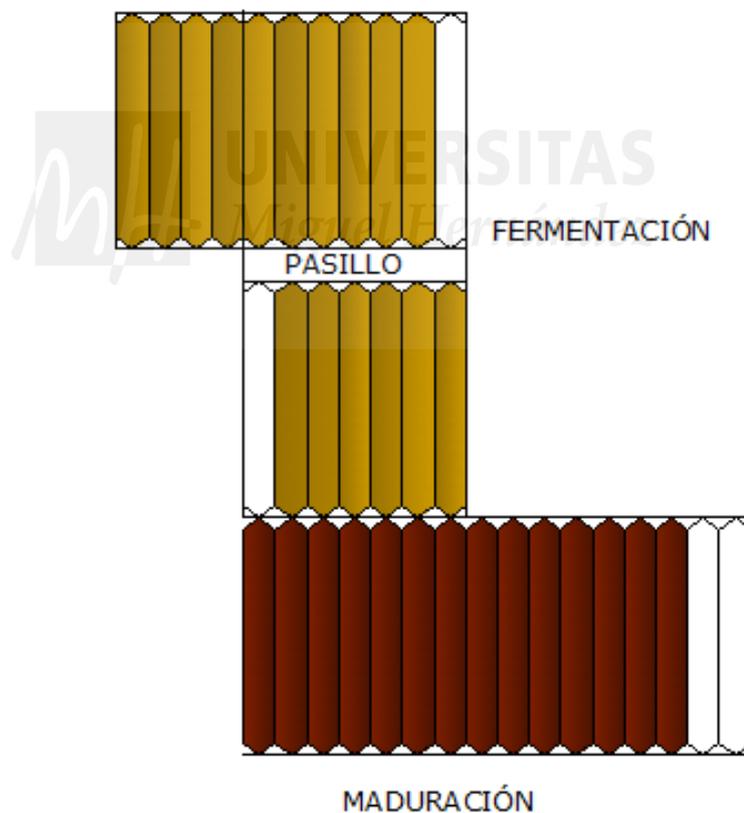


Figura 22. Planta de la era de maduración.

4.5.4 Recogida y Almacenamiento de Lixiviados.

La ganadería dispone de un sistema de recogida de lixiviados para el volumen generado durante la explotación, por lo que se calculara las necesidades para la nueva obra y se ejecutará un sistema de almacenamietno de los lixiviados generados. Como para la zona de fermentación se ejecutará un cerramiento, el agua es recogido por los canalones y es agua limpia, por lo que no se tendrá en cuenta para el cálculo. Sin embargo, la zona de maduración al no disponer de una techado, el nuevo depósito de lixiviados será calculado para recoger las aguas generadas en esta superficie.

La máxima precipitación diaria registrada en los últimos 10 años en la zona Zamora (dato mas cercano) según la AEMET es de 53 litros/m², correspondiente a mayo del año 2.010.

La era de maduración tiene una superficie correspondiente a 1.920 m², por lo que el caudal recogido para la máxima precipitación es de 159.000 litros.

Como medida preventiva ante posibles desbordamientos, la balsa de lixiviados deberá mantener en todo momento un volumen libre de seguridad correspondiente a 3 veces el caudal generado por la precipitación máxima diaria absoluta recogida en la era de compostaje, lo que equivaldría a 477.000 litros. Por lo tanto el sistema de almacenamiento previsto debe contar con un volumen libre de seguridad en todo momento de 477,3 m³ y se colocará al lado del depósito actual.

4.5.5 Sistema de riego.

Para mantener las condiciones de humedad se dispondrá de un sistema de riego para humedecer las pilas cuando estas bajen por valores críticos según lo establecido en el punto 1.7.1 “*Condicionante del sustrato*”.

Inicialmente la mezcla propuesta presenta deficiencias para su correcto compostaje, por lo que deberá de ser mezclada con 32 m³ de agua, según se detalló en el apartado 4.4.3 “*Ajuste la humedad*”. Durante el proceso se llevara un

control de la humedad y cuando esta esté en niveles críticos se procederá a un riego hasta llegar a las condiciones adecuadas.

4.5.6 Almacén de producto terminado

Una vez el compost esté terminado, este se guardará en una de las naves abandonadas, al cual también se le realizará un seguimiento hasta su comercialización final.

4.5.7 Equipos necesarios para el proceso y su control

Para asegurar una correcta operativa del proceso de compostaje, las explotación adquiriría una trituradora con las especificaciones técnicas necesarias para obtener estructurante con el tamaño descrito en el punto 1.7.1 “*Condicionante del sustrato*”. y de una cribadora para un correcto afino del compost final.

La explotación ya cuenta con un tractor con pala, que será suficiente para realizar las tareas necesarias en el proceso.

Además, se construirá una estación meteorológica para el control de las condiciones meteorológicas, principalmente de viento, de forma que se pueda incorporar este parámetro en el sistema de operación de la planta y se puedan establecer medidas para minimizar las molestias por olores en las poblaciones cercanas.

Para asegurar un correcto seguimiento del proceso y de cada una de las etapas del proceso de compostaje y así asegurar un correcto compost de calidad, se deberá adquirir diferentes sondas para controlar la temperatura, la humedad y el pH por las características del estiércol de cerdo. Asimismo, se llevará un control de la relación C/N al principio y final del proceso de compostaje.

4.6 Características del compost y producción

El objetivo del compostaje es obtener un producto final higienizado y estabilizado denominado “Compost”, a través de un proceso de transformación biológica, aerobia y controlada de los residuos orgánico.

Para poder obtener un buen compost debemos de cumplir y controlar el seguimiento del proceso según se establece en 1.7.2 “*Condicionantes durante el proceso*” así como elaborar una mezcla idónea según se indicó en el apartado 1.7.1 “*Condicionante del sustrato*”

El Compost producido al final del proceso es un producto estable, de color oscuro y olor a tierra de bosque y con multitud de propiedades beneficiosas para los suelos y plantas. El compost garantiza a las plantas una reserva de sustancias nutritivas, favorece la absorción y retención de agua, mejora la circulación del aire, limita los cambios bruscos tanto de temperatura como de humedad e incrementa los niveles de materia orgánica de nuestros suelos, corrigiendo así la problemática descrita en el apartado 1.5 “*Necesidad de añadir materia orgánica en los suelos*”.

El producto de salida para poder ser comercializado deberá de cumplir con lo establecido en el “Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes” y “Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.” ya que la finalidad es hacer un producto para su uso en agricultura y estos decretos marcan las pautas para la protección del suelo, y garantizar la fertilidad y su valor agronómico.

El producto que se va a elaborar corresponde con los fertilizantes englobados en el Grupo 6 Enmiendas y dentro de estos en el número 4 orgánicas denominadas “Enmienda orgánica Compost de estiércol” del Real Decreto 999/2017.

El contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse al final del proceso es:

- Materia orgánica total.
- C orgánico.
- N total (si supera el 1%).
- N orgánico (si supera el 1%).
- N amoniacal (si supera el 1%).
- P₂O₅ total (si supera el 1%).
- K₂O total (si supera el 1%).
- Ácidos húmicos.

Y debe presentar un contenido mínimo y máximo

- Materia orgánica total: 35%.
- Humedad máxima: 40%.
- C/N < 20
- Además, no podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como: piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos.

Además se tendrán que analizar para informar sobre la denominación del tipo o del etiquetado:

- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Relación C/N.
- Humedad mínima y máxima.
- Tratamiento o proceso de elaboración, que corresponde con “Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), exclusivamente de estiércol, bajo condiciones controladas”

El compost final deberá de pasar en el 90 por ciento por una malla de 10 mm y no tendrá presencia de Salmonella en 25 gramos de producto elaborado y

las Escherichia coli será menos de 1000 por gramo elaborado. También se analizará el máximo de metales pesados, ya que esto englobará dentro de clase:

Metales pesados	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
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)*	No detectable según métodos oficial	No detectable según métodos oficial	No detectable según métodos oficial

Tabla 24. Límite de metales pesados en el compost.

Clase A: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A.

Clase B: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B.

Clase C: Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna C.

4.6.1 Cantidad de compost producido

El objetivo de la planta es tratar los 6.450 m³ de estiércol que se producen anualmente, para lo cual se deben de mezclar con elementos complementarios según se indicó en el punto 4.4. “Mezcla para la elaboración del sustrato a compostar”. Por lo que anualmente se van a compostar 14.605 m³, que equivale en peso a 6.447 toneladas.

Durante el proceso de compostaje existe una reducción de peso de entre el 40 – 60 % por lo que la cantidad de compost finalmente generado se estima entre 2.852 y 3.868 toneladas. Se va a tomar como dato el menor de estos dos para la realización del estudio de viabilidad económica.





5 Análisis de viabilidad **económica**

5.1 Introducción

En el presente apartado se realizará una evaluación financiera de la inversión realizada por el promotor. Para evaluar su rentabilidad, se emplearán los criterios que se describen en el 5.2 “*Criterios de evaluación financiera de inversiones*”.

Se entiende por inversión, el proceso mediante el cual un agente económico inmoviliza unos recursos con el fin de obtener mediante su utilización una corriente de flujos en periodos posteriores.

Para definir una inversión es necesario conocer:

- El pago de la inversión (K): Es el número de unidades monetarias que el inversor debe desembolsar para conseguir que el proyecto llegue a funcionar al completo tal y como ha sido concebido.
- La vida del proyecto (n): Es el número de años durante los cuales la inversión está funcionando y generando rendimientos positivos, de acuerdo con las previsiones realizadas por el inversor.
- Los flujos de caja: Diferencia existente entre la corriente de cobros y la corriente pagos.

El sistema utilizado para calcular la rentabilidad económica del proyecto se basa en el estudio de los flujos de caja.

5.2 Criterios de evaluación financiera de inversiones

5.2.1 Valor actual neto (VAN)

El VAN expresa el valor actualizado de todos los rendimientos financieros que se espera genere la inversión, es decir, la rentabilidad absoluta a precios actuales en euros en el año cero.

Desde el punto de vista económico, se considera viable una inversión cuando su VAN es superior a cero.

Se obtiene restando a la suma actualizada de las unidades monetarias que devuelve la inversión (flujos de caja), las unidades monetarias que el inversor ha dado a la misma. Por lo tanto es la suma de los flujos de caja actualizados menos la suma de los pagos de la inversión actualizados.

Como el pago de la inversión no está fraccionado, su expresión es la ecuación 1.2:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+r)^j} - K$$

[Ec. 1.2.] Cálculo del VAN

Dónde: **K**: es el desembolso inicial

N: es el número de años

R: es el flujo de caja anual originado por la inversión

r: es el tipo de actualización

5.2.2 Relación Beneficio Inversión (Q)

Este índice informa de la rentabilidad relativa de la inversión, proporcionándonos la ganancia generada por el proyecto por cada euro invertido. Se define con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{VAN}{K}$$

[Ec. 1.3.] Cálculo de la Relación Beneficio Inversión.

5.2.3 Tasa interna de rendimiento (TIR)

Informa sobre la rentabilidad relativa de la inversión permitiendo comparar inversiones con desembolsos iniciales muy diferentes. Se define como la tasa de actualización para la que el VAN toma el valor cero. Una inversión es viable

cuando su TIR es superior al coste de oportunidad del inversor o tasa de actualización.

Los criterios VAN y TIR deben emplearse como criterio complementarios y no como alternativas.

5.2.4 Relación Beneficio/Inversión (B/I)

Este índice mide la ganancia neta por cada unidad monetaria invertida. Se obtiene dividiendo el VAN por el pago de la inversión.

5.2.5 Plazo de recuperación (Pay-Back)

Es el número de años que transcurren hasta que el inversor recupera el pago actualizado de la inversión. En esa fecha el VAN se hace cero.

5.2.6 Vida útil del proyecto

Es el tiempo que transcurre desde que se inicia la inversión hasta que tiene lugar el deterioro físico de los activos fijos más importantes, implicando ello una pérdida de producción, rendimiento o calidad del producto. Estos activos fijos son los edificios y las instalaciones. Se estimara un periodo de 25 años.

Los flujos de caja se verán modificados cuando la nave e instalaciones se deterioren. Al construir los activos fijos la mayor parte de la inversión, se toman para determinar la vida útil del proyecto. Por tanto la vida útil del proyecto se considera de 25 años.

La vida útil de la maquinaria y equipamiento será inferior a la del proyecto por lo que deberán ser sustituidos a lo largo de la vida útil.

5.2.7 Inversión a realizar

El pago total de la inversión se realiza en el año cero del proyecto, en ella se encontrará el coste de todas las edificaciones e instalaciones previstas y la maquinaria necesaria.

Actividad	m2	Coste m2	Coste total
Desbroce y acondicionamiento			
Zona de maduración	1.920	1 €/m2	1.920,00 €
Zona de fermentación	1.140	1 €/m2	1.140,00 €
Solera de hormigón	1.140	25 €/m2	28.500,00 €
Depósito de lixiviados 500 m3			25.000,00 €
Estación meteorológica			1.000,00 €
Solera de Zahorra compactada	1.920	5 €/m2	9.600,00 €
Cerramiento de la era de fermentación	1.680	25 €/m2	42.120,00 €
Cribadora			30.000,00 €
Trituradora			18.000,00 €
Equipos de medida			2.000,00 €
Total			159.280,00 €

Tabla 25. Coste de inversión.

5.3 Pagos

5.3.1 Pagos ordinarios

Los pagos ordinarios son los derivados del proceso de compostaje, principalmente del consumo de combustible de la pala cargadora. Los valores de horas de cada operación han sido estimados por la experiencia acumulada por el técnico. Para el coste por hora de la pala se consideró el consumo de una pala cargadora tipo NEW-HOLLAND W230C a razón de 13.38 l/h, y con el precio actual de 1,20, es igual a 16.02 €/h. La estimación de las horas de operación se hizo para la elaboración de una pila de 403,72 m³, equivalente a la producción de una limpieza semanal.

OPERACIÓN	Horas	Coste Hora	Costes total
Montar Pilas	8,00 horas	16,02 €/h	128,16 €
Volteos fermentación (6 a 3 horas por volteo)	18,00 horas	16,02 €/h	288,36 €
Volteo en maduración (5 volteos)	7,50 horas	16,02 €/h	120,15 €
Total	33,50 horas		536,67 €

Tabla 26. Costes operacionales para la formación de una pila.

OPERACIÓN	Horas	Coste Hora	Costes total
Montar Pilas	290 horas	16,02 €/h	4.645,80 €
Volteos fermentación (6 a 3 horas por volteo)	650 horas	16,02 €/h	10.413,00 €
Volteo en maduración (5 volteos)	272 horas	16,02 €/h	4.357,44 €
Total	1.212 horas		19.416,24 €

Tabla 27. Costes operacionales anuales para una producción media de estiércol de 6.450m³.

5.3.2 Personal

Para el adecuado funcionamiento de las instalaciones de la planta de compostaje, es necesaria mano de obra con cualificación de técnico que se encargue de todas aquellas actividades relacionadas con el compostaje. Para lo cual se contratara la asistencia técnica a un Ingeniero cualificado , y que se estima en un coste anual de 13.000 € (520 horas/año).

Para que las tareas relacionadas con el compostaje puedan ser asumidas por los trabajadores de la explotación y no se desatiendan las labores del ganado, se va a proceder a la contratación de un operario a media jornada, para dirigir la pala cargadora y que se encargue del mantenimiento de la planta de compostaje. El sueldo de un operario cualificado a media jornada con sus seguros correspondientes puede oscilar entorno 15.000 €/año.

5.3.3 Pagos debidos al mantenimiento de instalaciones.

Se considera un pago anual de mantenimiento de las instalaciones del 0,5 % del presupuesto material de ejecución.

Al mismo tiempo se consideran los pagos debidos a mantenimiento y reparación de maquinaria, estableciendo el 1% del valor de adquisición.

	Instalaciones	Maquinaria
Valor	83.280 €	138.000 €
Pagos mantenimiento	416.40 €	1110 €
	Total	2.496,46 €

Tabla 28. Costes de mantenimiento.

5.3.4 Pagos por seguros e impuestos

Se estima que el pago de seguros e impuestos será de 400 € anuales.

5.3.5 Resumen de pagos ordinarios

Pago	Anual
Proceso de compostaje	19.416,24 €
Mantenimiento de las instalaciones	416,40 €
Mantenimiento de la maquinaria	1.100,00 €
Asesoramiento técnico	13.000,00 €
Operario	15.000,00 €
Seguros e impuestos	400,00 €
Total	49.332,64 €

Tabla 29. Resumen de costes ordinarios.

5.4 Pagos extraordinarios

Los pagos extraordinarios surgen de la renovación de la maquinaria al final de su vida útil.

En la tabla 30 se expone la maquinaria a renovar con su pago correspondiente y el año de reposición.

	Vida útil	Antigüedad	Año reposición	Pago (€/año)
Pala cargadora	15	5	10	90000
Cribadora	15	0	15	30000
Trituradora	15	0	0	18000
Equipos de medida	8	0	8 y 16	2000

Tabla 30. Pagos extraordinarios.

En la siguiente tabla se resumen los pagos extraordinarios por año de reposición.

Año	Pago extraordinario
8	2.000,00 €
10	90.000,00 €
15	48.000,00 €
16	2.000,00 €

Tabla 31. Resumen de pagos extraordinarios.

5.5 Cobros

5.5.1 Cobros ordinarios

Los cobros ordinarios serán los correspondientes a la venta del compost. El precio que se ha estimado actualmente para este año 2018, después de contactar con varias empresas de venta a granel del compost varía entre 37 y 50 € por lo que para este proyecto se escoge un precio medio de 44 €/tn.

La cantidad anual de compost producido será de 2.852 toneladas, como se explica en el punto 4.6.1 “Cantidad de compost producido”, por lo que los ingresos anuales ascienden a 125.488 €/año.

5.5.2 Cobros extraordinarios

La venta de la maquinaria al final de su vida útil, proporcionará una serie de cobros extraordinarios en los años 10, 15.

Al final de la vida útil de la maquinaria, se estima un valor medio del 15% del valor de adquisición. En el caso de la maquinaria con antigüedad mayor a 10 años se considera un 15% y el 25% para los que tiene una antigüedad entorno a los 5 años.

Se estimará la venta de toda la maquinaria al finalizar el periodo de vida útil del proyecto.

	Valor de adquisición	Vida útil	Antigüedad	Año reposición	Cobro
Pala cargadora	90.000 €	15	5	10	9.000 €
Cribadora	30.000 €	15	0	15	3.000 €
Trituradora	18.000 €	15	0	0	1.800 €

Tabla 32. Cobros extraordinarios.

Año	Cobros extraordinario
10	9.000,00 €
15	4.800,00 €
25	13.800,00 €

Tabla 33. Resumen de cobros extraordinarios.

5.6 Plan de financiación y evaluación económica

En el presente punto se llevará a cabo la evaluación económica realizada con la herramienta informática Valproin. La financiación de la inversión será realizada con capital propio. Para el análisis se tomarán como condicionantes de mercado las siguientes tasas y datos:

Inflación (%)	1,50	Tasa mínima de actualización (%)	
Incremento cobros (%)	1,40	Tasa máxima de actualización (%)	29,00
Incremento pagos (%)	3,60	Incremento (%) (Para 30 tasas)	1,00

Vida del proyecto	25
-------------------	----

Tabla 34. Condicionantes económicos.

5.6.1 Flujos de caja

PAGO DE LA INVERSIÓN	
Nº pagos (Máximo 11)	1
Desembolsos	
Inicial	159.280,00

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE A PARTIR DE ESTIERCOL DE UNA EXPLOTACIÓN DE CEBO DE GANADO PORCINO EN TORO (ZAMORA)

Año	Cobros		Pagos		Flujo inicial
	Ordinarios	Extraordinarios	Ordinarios	Extraordinarios.	
1	125.488,00		36.942,00		3.000,00
2	125.488,00		36.942,00		3.000,00
3	125.488,00		36.942,00		3.000,00
4	125.488,00		36.942,00		3.000,00
5	125.488,00		36.942,00		3.000,00
6	125.488,00		36.942,00		3.000,00
7	125.488,00		36.942,00		3.000,00
8	125.488,00		36.942,00	2.000,00	3.000,00
9	125.488,00		36.942,00		3.000,00
10	125.488,00	9.000,00	36.942,00	90.000,00	3.000,00
11	125.488,00		36.942,00		3.000,00
12	125.488,00		36.942,00		3.000,00
13	125.488,00		36.942,00		3.000,00
14	125.488,00		36.942,00		3.000,00
15	125.488,00	4.800,00	36.942,00	38.000,00	3.000,00
16	125.488,00		36.942,00	2.000,00	3.000,00
17	125.488,00		36.942,00		3.000,00
18	125.488,00		36.942,00		3.000,00
19	125.488,00		36.942,00		3.000,00
20	125.488,00		36.942,00		3.000,00
21	125.488,00		36.942,00		3.000,00
22	125.488,00		36.942,00		3.000,00
23	125.488,00		36.942,00		3.000,00
24	125.488,00		36.942,00		3.000,00
25	125.488,00	13.800,00	36.942,00		3.000,00

Tabla 35. Tabla de flujo de caja.

Cobros		Pagos		Flujo final	Flujo inicial	Incremento de flujo
Ord.	Extraordinarios	Ord.	Extraordinarios.			
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO PARA LA CREACIÓN DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE A PARTIR DE ESTIERCOL DE UNA EXPLOTACIÓN DE CEBOS DE GANADO PORCINO EN TORO (ZAMORA)

Cobros		Pagos		Flujo final	Flujo inicial	Incremento de flujo
Ord.	Extraordinarios	Ord.	Extraordinarios.			
125.488,00		36.942,00	2.000,00	86.546,00	3.000,00	83.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00	9.000,00	36.942,00	90.000,00	7.546,00	3.000,00	4.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00	4.800,00	36.942,00	38.000,00	55.346,00	3.000,00	52.346,00
125.488,00		36.942,00	2.000,00	86.546,00	3.000,00	83.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00		36.942,00		88.546,00	3.000,00	85.546,00
125.488,00	13.800,00	36.942,00		102.346,00	3.000,00	99.346,00

Tabla 36. Estructura de los flujos de caja.

Año	Valor nominal	Valor real según inflación
Inicial	-159.280,00	-159.280,00
1	86.035,66	84.764,20
2	86.503,84	83.965,96
3	86.949,17	83.150,97
4	87.370,28	82.318,90
5	87.765,70	81.469,41
6	88.133,91	80.602,18
7	88.473,34	79.716,85
8	86.128,29	76.457,04
9	89.059,19	77.890,47
10	-28.490,20	-24.549,07
11	89.509,25	75.987,37
12	89.678,66	75.006,11
13	89.808,34	74.004,50
14	89.896,19	72.982,16
15	31.304,78	25.039,18
16	86.415,63	68.098,20
17	89.886,53	69.786,57
18	89.784,36	68.677,10
19	89.628,55	67.544,74
20	89.416,43	66.389,06
21	89.145,25	65.209,57
22	88.812,14	64.005,81
23	88.414,10	62.777,29

<u>Año</u>	<u>Valor nominal</u>	<u>Valor real según inflación</u>
24	87.948,04	61.523,52
25	107.188,63	73.875,03

Tabla 37. Flujos anuales (incluyendo inversión y financiación).

5.6.2 Parámetros de evaluación de la inversión

Tasa Interna de Rendimiento (%) **51,63**

Condiciones del cálculo

Tasa de inflación (%)	1,50
Tasa de incremento de cobros (%)	1,45
Tasa de incremento de pagos (%)	3,60

<u>Tasa de actualización</u>	<u>Valor actual neto</u>	<u>Tiempo recuperación</u>	<u>Relación benef./inv.</u>
	1.537.413,11	2	9,65
1,00	1.343.992,52	2	8,44
2,00	1.181.451,64	2	7,42
3,00	1.044.086,98	2	6,56
4,00	927.345,15	3	5,82
5,00	827.575,82	3	5,20
6,00	741.840,49	3	4,66
7,00	667.763,91	3	4,19
8,00	603.418,19	3	3,79
9,00	547.232,12	3	3,44
10,00	497.919,92	3	3,13
11,00	454.425,07	3	2,85
12,00	415.875,94	3	2,61
13,00	381.550,47	3	2,40
14,00	350.848,12	3	2,20
15,00	323.267,40	3	2,03
16,00	298.387,88	3	1,87
17,00	275.855,67	3	1,73
18,00	255.371,74	3	1,60
19,00	236.682,41	3	1,49
20,00	219.571,67	3	1,38
21,00	203.854,89	3	1,28
22,00	189.373,65	3	1,19
23,00	175.991,51	3	1,10
24,00	163.590,58	3	1,03
25,00	152.068,57	3	0,95
26,00	141.336,48	3	0,89
27,00	131.316,55	3	0,82

Tasa de actualización	Valor actual neto	Tiempo recuperación	Relación benef./inv.
28,00	121.940,66	4	0,77
29,00	113.148,91	4	0,71

Tabla 38. Resultados de la evaluación de inversión.

Para la tasa de actualización considerada (4%) se tiene:

- Tasa interna de rendimiento: 51,63%
- Valor Actual Neto: 927.345,15€
- Tiempo de recuperación: 2 años
- Relación Beneficio-Inversión: 5.82

5.6.3 Representación gráfica de los flujos de caja

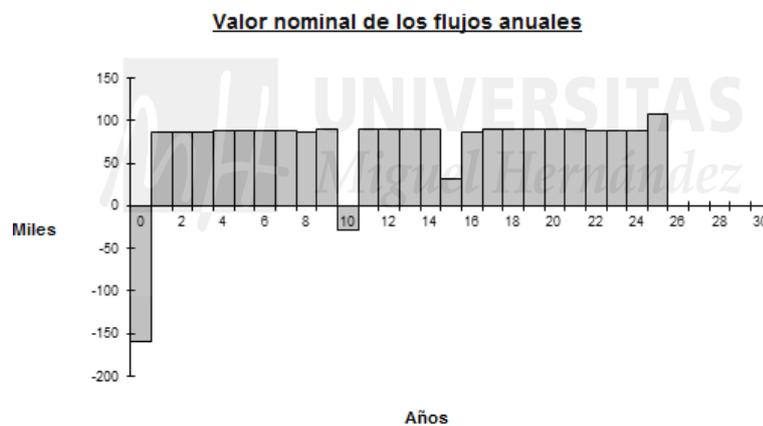


Gráfico 9. Valor nominal de los flujos anuales .

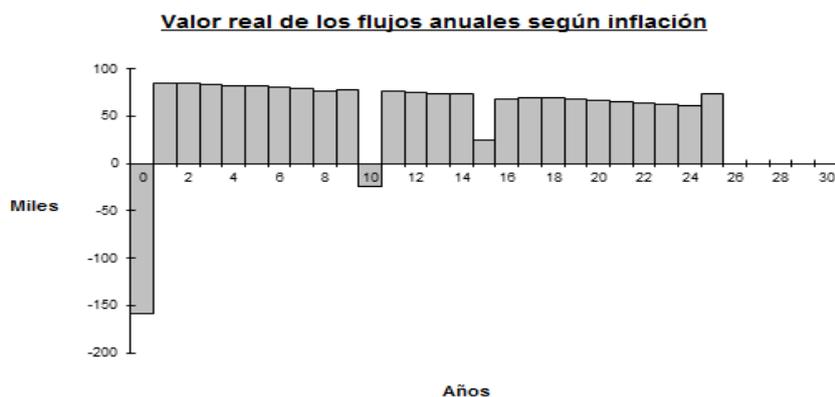


Gráfico 10. Valor real de los flujos anuales según inflación.

5.6.4 Análisis de sensibilidad

Se estima que la variación que puede experimentar el pago de la inversión, tendrá un valor máximo del 2%, debido a que los presupuestos están ajustados y actualizados al momento actual. Por otra parte, se considera una reducción de la vida útil de 2 años.

A la hora de estudiar la variación de los flujos de caja y teniendo en cuenta que el mercado de las hortalizas no presenta fuertes variaciones, se estima que las oscilaciones de los mismos (tanto por arriba como por abajo) podrán ser del 20%.

A continuación se exponen los datos que se emplearán para llevar a cabo el análisis de sensibilidad:

Tasa de actualización para el análisis (%)		4
Variación sobre las cantidades estimadas inicialmente del pago de la inversión en %	Mínimo pago	-2,00
	Máximo pago	2,00
Variación sobre las cantidades estimadas inicialmente de los flujos de caja en %	Mínimo flujo	-20,00
	Máximo flujo	20,00
Años de reducción sobre la vida del proyecto	Mínima vida	2

Tabla 39. Datos para el estudio del análisis de sensibilidad.

Árbol de consecuencias

	Variación inversión	Variación flujos	Vida del proyecto	Clave	TIR	VAN
Proyecto			25	A	41,26	705.204,28
		-20,00	23	B	41,25	664.152,41
	-2,00		25	C	64,16	1.155.857,23
		20,00	23	D	64,16	1.093.482,27
			25	E	39,53	698.833,08
		-20,00	23	F	39,52	657.781,21
	2,00		25	G	61,55	1.149.486,03
		20,00	23	H	61,55	1.087.111,07

Clave	TIR	Clave	VAN
C	64,16	C	1.155.857,23
D	64,16	G	1.149.486,03
G	61,55	D	1.093.482,27
H	61,55	H	1.087.111,07
A	41,26	A	705.204,28
B	41,25	E	698.833,08
E	39,53	B	664.152,41
F	39,52	F	657.781,21

Tabla 40. Árbol de consecuencias.

Como se observa en el análisis, se dan tres situaciones para las que la inversión no resulta viable:

- La opción más desfavorable entre las tres es la F, con un aumento de la inversión del 2%, una vida útil de 23 años, y una variación negativa de los flujos de caja del 20%, se tiene un TIR del 64.16% y un VAN de 657.781,21€.
- La opción más favorable la C, que se daría si la inversión disminuyera en un 2%, los flujos de caja aumentarían un 20% la vida útil del proyecto fuera de 25 años. En este caso resultaría un TIR del 65.71 % y un VAN de 1.155.857,23€.



6 Conclusiones

Tras el estudio realizado y según los objetivos marcados en el apartado 2, se llegan a las siguientes afirmaciones:

- 1- El estudio de viabilidad técnica determina que el proceso de compostaje de estiércol de porcino es compatible para la elaboración de compost, así como la construcción de una planta de compostaje en la propia instalación ganadera.
- 2- Tras el estudio de la legislación y los requerimientos que la Junta de Castilla y León exige para este tipo de instalaciones, se puede afirmar que el proyecto es compatible.
- 3- El análisis de viabilidad económica confirma que la rentabilidad de las inversiones a realizar para la ejecución del proyecto es buena, ya que se obtiene para el caso más desfavorable un valor actual neto de 657.781,21 y una tasa interna de rendimiento del 64.16%. El tiempo de amortización ronda los 2 años, que es muy bajo para cualquier inversión de este calibre.
- 4- Como conclusión final, el presente proyecto demuestra que el compostaje de estiércol porcino es una alternativa sostenible, ya que no solo se minimiza el grave problema de la gestión de este tipo de residuos, sino que la explotación obtendría unos beneficios económicos de la comercialización del compost más altos que la que se obtienen con la actual forma de gestión. Además, se generará un fertilizante con un buen contenido de materia orgánica y nutriente para desarrollar una agricultura más sostenible, reduciendo así el uso de fertilizantes químicos de síntesis. Esta forma de gestión encaja perfectamente con el actual concepto de economía circular.



7 Bibliografía

- 1- **Blanco L. (2016)** . Análisis y caracterización de purines para la obtención de estruvita y biogás.
- 2- **Bidlingmaier, W. (1996)**. Odour emissions from composting plants. En: De Bertoldi, M; Sequi, P.; Lemmes, B. y Papi, T (Eds.). The Science of Composting, vol I, pp. 71-79. Blackie Academic & Professional, London.
- 3- **Bueno, M. (2007)**: Como hacer un buen compost. Ediciones La fertilidad de la tierra. Navarro.
- 4- **Chen, Y., Inbar, Y. (1993)**. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. En: Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects,
- 5- **COMAS, J. (1985)**: «Evolució de la fracció orgànica d'un femer durant la fermentació». Quaderns agraris, núm. 6 (ICEA).
- 6- **Compost Calculator by Miguel Hernandez de Elche, (2017)**. Aplicación para dispositivos móviles (APP).
- 7- **Dalzell HW, Biddlestone AJ, Gray KR & Thurairajan K. (1991)**. Manejo del suelo: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín de Suelos de la FAO 56, Roma, Italia.

- 8- **Garcia P. (2.017):** Viabilidad técnico-económico de la creación de una planta de compostaje y caracterización del proceso de producción de compost de alperujo en la provincia de Jaén.
- 9- **Frioni L. (1999).** Procesos microbianos. Editorial Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina.
- 10- **Haug, R. T. (1993).** The practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Ratón. Florida.
- 11- <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos>).
- 12- <http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/04395.pdf>
- 13- http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/AGRICULTURA_GANADERIA_MedioAmbiente/TEMAS_AGRICULTURA_GANADERIA/Areas/FORMACION_INNOVACION_SECTOR_AGROAMBIENTAL/CENTRO_TRANSFERENCIA_AGROALIMENTARIA/Publicaciones_Centro_Transferencia_Agroalimentaria/IT_2018/IT_268-18.pdf
- 14- <https://www.azucarera.es/wp-content/uploads/2018/05/Carbocal-diptico.pdf>
- 15- http://www.cooperativaacor.com/extra/descargas/des_12/PUBLICACIONES/Fichas-remolacha/nutrientes/N-21.pdf
- 16- https://datosabiertos.jcyl.es/web/jcyl/set/es/medio-rural-pesca/ganaderia_porcino_2017/1284707659296
- 17- <http://www.generadordeprecios.info>

- 18-**https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/JavierRomero/Aneo3.pdf
- 19-Jhorar, B. S., Phogat, V y Malik, E. (1991).** Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Rest. Rehabil.*
- 20-M Santos, F Martín, F Diánez, F Carretero, M García-Alcazar, M de Cara, JC Tello.** Efecto de la aplicación de vinaza de vino como biofertilizante y en el control de enfermedades en el cultivo de pepino.
- 21-Miyatake, F. y Iwabuchi, K. (2006).** Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Biores. Technol*
- 22-Moreno Casco, J. M., Mormeneo, S. (2008).** Microbiología y bioquímica del proceso. En: *Compostaje*, (eds) Moreno Casco, J. y Moral Herrero, R. Mundi-Prensa
- 23-Moreno Cascajo, J. (2008):** *Compostaje*. Mundipresna Libros S.A.
- 24-P. Roman (2013),** *FAO MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- 25-Pedro Lezcano y Luís M. Mora Plezcano .** Las vinazas de destilería de alcohol. L

- 26-Petrua M. (2016).** Tesis doctoral “Higienización de los sarmientos de la poda de vid mediante métodos térmicos y biofungicidas”
- 27-Real Decreto 506/2013, de 28 de junio,** sobre productos fertilizantes.
- 28-Real Decreto 865/2010,** de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.
- 29-Real Decreto 999/2017,** de 24 de noviembre.
- 30-Sanchez. M. (1999) .** Tesis doctoral. Utilización agrícola del estiércol licuado de ganado porcino: método rápido de determinación del valor fertilizante. Establecimiento de las bases para el diseño de un óptimo plan de fertilización
- 31-Soliva, M., López, M., Huerta, O. (2008).** Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. En: Moreno J, Moral R (Eds.). Compostaje,. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- 32-Temario de la asignatura Residuos orgánicos de origen agrícola ganadero ,** Unidad temática 2: Características y composición.
- 33-Zhu, N. W. (2006).** Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilotscale aerated static bin system. Biores. Technol., 97(15):1870-1875.