

Memoria divulgativa del Grupo Operativo "SUBPGAN"



Financian:



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	04
2. CONTEXTO Y SITUACIÓN DE PARTIDA	05
2.1. EL ESTIÉRCOL COMO UN SUBPRODUCTO GANADERO CON UN GRAN VALOR	
2.2. UN PROYECTO INNOVADOR PARA VALORIZAR EL ESTIÉRCOL	
3. LAS ENTIDADES RESPONSABLES DEL PROYECTO	07
1) CASI	
2) OLIPE	
3) TECOMSA	
4) GRUPO DE DESARROLLO RURAL "LOS PEDROCHES"	
5) CEIA3	
A) CICAP	
B) SENECA GREEN	
4. PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LAS ACCIONES REALIZADAS	10
4.1. ACTUACIONES DE LA FASE 2: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	
4.1.1. NORMATIVA EXISTENTE PARA EL CONTROL DE LOS SUBPRODUCTOS GANADEROS	
4.1.2. LA REALIDAD EN CAMPO Y CONTROL DE PUNTOS CRÍTICOS	
Puntos críticos a tener en cuenta en la gestión actual de los subproductos ganaderos	
Puntos críticos en la elaboración de compost para su uso posterior como cama	
4.1.3. LAS VENTAJAS DE DISPONER DE UN SEPARADOR DE FASES DE PURINES	
4.2. ACTUACIONES DE LA FASE 3	
4.3. ACTUACIONES DE LA FASE 4: ESTUDIO DE LAS DISTINTAS POSIBILIDADES DE MANEJO Y VALORIZACIÓN DE LOS SUBPRODUCTOS GANADEROS	
4.3.1. ACTUACIÓN: "SEPARACIÓN, ALMACENAMIENTO EN BOLSAS Y APLICACIÓN DIRECTA"	
1) ELECCIÓN DE SEPARADORES SÓLIDO/LÍQUIDO PARA EL MANEJO DE LOS SUBPRODUCTOS	
2) ALMACENAMIENTO DE LAS FASES SEPARADAS	
3) DESTINO DE LAS FASES	
4) TRANSPORTE DE LAS FASES	
5) RESUMEN DE COSTES	
4.3.2. ACTUACIÓN: "COMPOSTAJE BÁSICO"	
1) ¿EN QUÉ CONSISTE? ¿QUÉ VENTAJAS E INCONVENIENTES TIENE?	
2) NORMATIVA APLICABLE AL PROCESO DE COMPOSTAJE Y AL PRODUCTO OBTENIDO	
3) PROCESO DE COMPOSTAJE LLEVADO A CABO EN EL PROYECTO	
4) ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	
5) COSTE ECONÓMICO Y RENDIMIENTO	

4.3.3. ACTUACIÓN: "COMPOSTAJE AVANZADO. COBERTURA DE LAS PILAS Y AIREACIÓN FORZADA"	
4.3.4. ACTUACIÓN: "COMPOSTAJE AVANZADO. VERMICOMPOSTAJE"	
1) PAPEL DE TECOMSA. ACCIÓN CONJUNTA PARA APROVECHAR LOS RESIDUOS EN ALMERÍA	
2) PREPARACIÓN DEL MATERIAL A COMPOSTAR	
3) PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE	
4) COSTE DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE Y POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN	
4.3.5. ACTUACIÓN: "CATÁLISIS ENZIMÁTICA"	
4.3.6. ACTUACIÓN: "PIROLISIS"	
4.3.7. ACTUACIÓN: "ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DEL ESTIÉRCOL, DIGESTIÓN ANAEROBIA Y PRODUCCIÓN DE BIOMETANO"	
1) CARACTERÍSTICAS, VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA	
2) POSIBILIDADES DE LA CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA	
3) APLICACIÓN DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA AL CASO DE ESTUDIO	
4) ESTUDIO ECONÓMICO	
4.4. ACTUACIONES DE LA FASE 5	
1) OBJETIVOS	
2) EVALUACIÓN DEL PRODUCTO	
3) REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE MERCADO	
4) CONCLUSIÓN	
5. FASE DE REDACCIÓN DEL INFORME FINAL DEL PROYECTO	39
5.1. ACTUACIÓN: "ANÁLISIS COSTE-EFICACIA (ACE) Y MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES (MTD)"	
5.1.1. ESTUDIO DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS Y SU EFICACIA	
5.1.2. ANÁLISIS COSTE-EFICACIA DE LAS MEDIDAS	
5.1.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS	
5.2. ACTUACIÓN: "ANÁLISIS TERRITORIAL Y VIABILIDAD ECONÓMICA DE IMPLANTACIÓN A NIVEL COMARCAL"	
5.2.1. ESTUDIO DE LA LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE EXPLOTACIONES GANADERAS DE LA COMARCA DE LOS PEDROCHES.	
5.2.2. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	
5.2.3. CONCLUSIONES	
5.3. ACTUACIÓN: "INNOVACIÓN SOCIAL: MEJORA DE LA CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN Y DEL GANADERO"	
1) EL MERCADO LABORAL EN LA COMARCA DE LOS PEDROCHES	
2) EL SECTOR DEL VACUNO DE LECHE EN LOS PEDROCHES	
3) LA INNOVACIÓN SOCIAL	
6. REDACCIÓN DEL ESTUDIO ESTRATÉGICO	51

1. Introducción

El presente documento constituye un resumen de la memoria de ejecución del proyecto "SUBPGAN" elaborado en el marco del Programa de Desarrollo Rural de Andalucía 2014-2020 (submedida 16.1, operaciones 16.1.1., 16.1.2. y 16.1.3.) y llevado a cabo por el Grupo Operativo de la Comarca de Los Pedroches.

Dicho proyecto busca introducir una serie de mejoras en el manejo, valorización y comercialización de subproductos ganaderos a través de la innovación. Se ha beneficiado de las ayudas al funcionamiento de los Grupos Operativos de la Asociación Europea de Innovación (AEI) en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas (operación 16.1.2).

En concreto, el proyecto busca una solución viable desde el punto de vista técnico y económico que permita la gestión de subproductos a los ganaderos de explotaciones intensivas de vacuno de leche en la Comarca de Los Pedroches. Se trata de estiércoles y purines que se generan en gran cantidad y que son susceptibles de aprovechamiento para usos agrarios.

Los **objetivos e hitos concretos** que se pretenden conseguir con este proyecto son los siguientes:

1. **Disminuir los contaminantes procedentes de residuos ganaderos** en suelos y ríos para mejorar el estado ambiental del entorno donde se encuentran las explotaciones de vacuno de leche. De esta manera se espera contribuir a una ganadería intensiva más respetuosa con el medio ambiente.
2. Buscar **soluciones económicamente viables** para el ganadero, a través de la cooperación de diferentes agentes y la aplicación de diferentes técnicas. Con ello se espera **mejorar la gestión de la explotación y el trabajo del ganadero**.
3. **Estudio de los sistemas actuales de aplicación de estiércol**. Cómo se puede eliminar esta problemática a la vez que se aprovecha este subproducto. **Su aprovechamiento generará un valor añadido** que repercuta directamente en **ganaderos, agricultores y el tejido social asociado**.
4. **Estudiar nuevas técnicas de tratamiento que permitan incrementar el valor de este subproducto ganadero**, adaptándose a las necesidades del mercado. Analizar la posibilidad de recurrir a ellas.
5. Analizar las **calidades y mercados de los productos finales**, de manera que se asegure su comercialización.
6. Estudio de la implantación de posibles proyectos. De las conclusiones económicas, estratégicas y logísticas que se obtengan, se valorará su implantación en la comarca de Los Pedroches.
7. **Difundir los resultados** en base a los principios de la AEI, de manera que se fomente el trasvase de experiencias a otros territorios y sectores.

2. Contexto y situación de partida

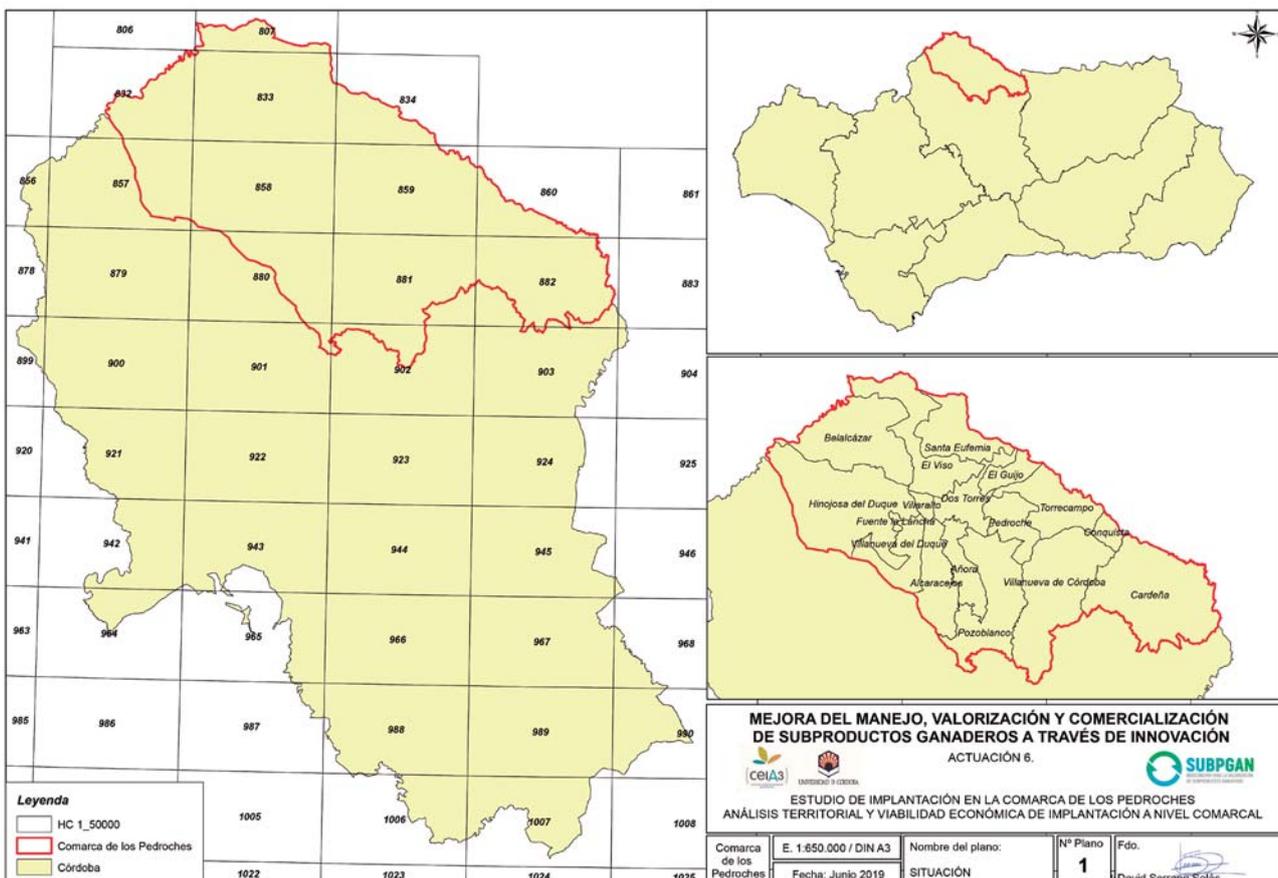
La base de la actividad económica de la comarca de Los Pedroches, situada al norte de la provincia de Córdoba está representada por el sector agrario y agroalimentario. Se trata de una zona eminentemente ganadera: en ella se ubican el 9,64% de las explotaciones ganaderas de Andalucía y el 56% de las explotaciones ganaderas de Córdoba. La estructura empresarial de dicho sector se caracteriza por un gran conjunto de empresas agrarias (o explotaciones) productoras de productos derivados de la ganadería y se complementa con la actividad de los sectores oliverero, cinegético y de turismo rural.

La comarca cuenta con explotaciones de ganadería extensiva e intensiva. Las primeras se basan en grandes superficies de dehesa y pasto destinadas en su gran mayoría a la cría de cerdo ibérico, vacuno de carne y ovino. La ganadería intensiva, por su parte, se ha desarrollado extraordinariamente durante los últimos 25 años, centrándose en la explotación de vacuno de leche y, en menor medida, de especies avícolas. Esta comarca concentra

además el 76% de las explotaciones ganaderas de bovino de la provincia de Córdoba, de las cuales las dedicadas a la producción de leche se encuentran principalmente en los municipios de Añora, Dos Torres, Pozoblanco y Belalcázar.

Tal concentración de explotaciones ganaderas, con su consiguiente e inevitable generación de estiércol, puede provocar una serie de impactos medioambientales, un problema que no es exclusivo de esta comarca. De hecho la Comisión Europea ha tramitado varios procedimientos de infracción a España por el incumplimiento de la Directiva 91/676/CEE, por no ejercer el suficiente control sobre la concentración de nitratos en aguas dulces y costeras y por una designación insuficiente de zonas vulnerables a la presencia de nitratos [ZVN]. Por otra parte, el Decreto 14/2006, de 18 de enero, por el que se crea y regula el Registro de Explotaciones Ganaderas de Andalucía establece que las explotaciones intensivas deben contar con un Plan de Gestión de Residuos Ganaderos aprobado por la Delegación Provincial competente en materia de

Figura 1. Situación de la Comarca de los Pedroches y municipios que la integran.



ganadería, así como con estercolero o balsas para su recogida y almacenamiento.

Sin embargo, pese a la aplicación de la normativa, los malos olores, la contaminación de cauces y aguas subterráneas y daños a la vegetación son problemas cada vez más preocupantes en la comarca de Los Pedroches. Esto se debe a que **hasta el momento, el estiércol de vacuno de leche se ha manejado únicamente mediante aplicación directa al suelo, ya que no se existe en el mercado ningún otro tratamiento para la valorización de este subproducto.**

2.1. EL ESTIÉRCOL COMO UN SUBPRODUCTO GANADERO CON UN GRAN VALOR

Cuando se aplica el estiércol al terreno no todos los nutrientes son asimilables inmediatamente por las plantas. El fósforo y el potasio se encuentran retenidos y solo serán asimilados cuando se liberen. En el caso del nitrógeno el proceso es más complejo: las plantas solo pueden utilizarlo en forma mineral, y dado que el estiércol contiene nitrógeno tanto en forma mineral como orgánica, no podrá ser utilizado por los cultivos en su totalidad y de forma inmediata. Es un nitrógeno que se pierde, tanto durante el almacenaje del estiércol como tras su aplicación al terreno. Estas pérdidas son el origen de la contaminación por óxido nitroso (un gas de efecto invernadero), por lo tanto, si se controlan estas pérdidas se controla la contaminación que estas generan.

Según estimaciones realizadas en base a los datos facilitados por las Oficinas Comarcales Agrarias Pedroches I y Pedroches II, **en esta comarca se producen más de un millón de toneladas al año de estiércol tan sólo procedente del vacuno de leche.** Se estima que esto supone 4.456.229,55 kilogramos de nitrógeno; si descontamos un 35% de pérdidas de nitrógeno por evaporación, nos encontramos con una cantidad aproximada de 2.896.549,21 de kilogramos de nitrógeno utilizables para uso agronómico.

El estiércol, y el nitrógeno que contiene, se convierten en un problema por su poder contaminante cuando está en exceso; su uso inadecuado además puede suponer la pérdida del valor agronómico de este subproducto. Solamente con un manejo que garantice una aplicación directa llevada a cabo de forma eficiente y reduciendo las pérdidas por escorrentía, lixiviación o volatilización se puede generar un valor añadido al subproducto. La transformación del estiércol fresco en un producto aprovechable por la agricultura, que pudiera ponerse en el mercado, generaría un valor añadido mucho más alto para el ganadero, y por tanto al territorio donde este se ubica. Contribuiría, además, a mejorar la situación ambiental general y la gestión ambiental de las propias explotaciones.

2.2. UN PROYECTO INNOVADOR PARA VALORIZAR EL ESTIÉRCOL

El carácter innovador de este proyecto radica en el hecho de abordar el problema desde los tres pilares del desarrollo sostenible, tanto el económico, el social y el medioambiental, además del territorial. Es importante también remarcar que la iniciativa llevada a cabo para dimensionar el problema de la gestión de los subproductos ganaderos es un éxito en sí misma, ya que hasta la fecha no se había cuantificado esta situación en el caso concreto del vacuno de leche en la Comarca de los Pedroches.

Dicha situación requería de una respuesta urgente dada la problemática ambiental que implica una gestión inadecuada de los purines de vaca. A pesar de que se trata de un material con mucho potencial para ser reutilizado, su valorización resulta complicada por el elevado contenido de humedad que presentan los purines. Gracias al presente estudio se ha podido determinar que, dada la situación de las ganaderías, localizadas en puntos estratégicos, es posible dimensionar varias plantas de tratamiento de estos purines de manera que operen con unos índices de rentabilidad aceptables.

3. Las entidades responsables del proyecto

Este proyecto ha sido llevado a cabo por una serie de entidades que han actuado de manera conjunta, aportando su experiencia y recursos para cubrir las distintas necesidades que implica un proyecto de este calibre.

En primer lugar, **se establecen dos niveles: la agrupación y el grupo operativo**. La agrupación la constituyen una serie de entidades encargadas de la dinamización del Proyecto, dado que su implicación en él es mayor. Por otra parte, existen miembros del grupo operativo no pertenecientes a la agrupación cuya función es ofrecer el apoyo técnico, científico y/o tecnológico de forma puntual y debidamente especificada en diferentes fases de la ejecución del proyecto.

Estas entidades fueron seleccionadas en las tareas previas de creación del GO teniendo en cuenta su solvencia para la ejecución de las tareas de asistencia técnica de las que se harán cargo. Tras su selección, se les invitó a formar parte del grupo operativo SUBPGAN como entidades no pertenecientes a la agrupación.

La agrupación la constituyen:

- 1) S.C.A. Agropecuaria San Isidro (en adelante CASI),
- 2) Asociación Adroches para el Desarrollo Rural de la Comarca de Los Pedroches - Grupo de

Desarrollo Rural de Los Pedroches (GDR Los Pedroches),

- 3) Olivarera Los Pedroches S.C.A (OLIPE),
- 4) Técnicas de Compostaje S.L. (TECOMSA)
- 5) Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3).

Los miembros pertenecientes al grupo operativo, pero no incluidos en la agrupación son:

- a) Seneca Green Catalyst S.L. (en adelante Seneca Green),
- b) Centro de Investigación y Calidad Agroalimentaria del Valle De Los Pedroches (en adelante CICAP).
- c) IFAPA Centro La Mojonera en Almería (este centro iba a asesorar en la aplicación del producto obtenido del vermicompostaje, no obstante esta actuación finalmente no se ha realizado).

De esta manera, se ha constituido un grupo operativo con un enfoque integrador y multiplicador de la cadena de valor del estiércol como subproducto, ya que los agentes implicados pertenecen a tres o más

Reunión de socios



sectores distintos de actividad (productores, insumos, comercialización, industria, investigador, ONG, administración, etc.).

En el sector agroalimentario participan activamente en el proyecto dos cooperativas agrarias (CASI y OLIPE) y una industria del sector (TECOMSA).

En el sector investigador participan dos centros de investigación y una empresa de base tecnológica. Por último, el GDR Los Pedroches ejerce de elemento coordinador, dinamizador y divulgador del proyecto. A continuación, se enumeran los aspectos más significativos de los participantes.

1) CASI

Es la que tiene más conciencia de la problemática, ya que las explotaciones de sus miembros son las generadoras del subproducto. Es la entidad que inicia el proyecto.

La SCA Agropecuaria San Isidro se dedica a la elaboración de piensos completos y complementarios para ganado, así como a la venta de otros insumos y servicios al ganadero de vacuno de leche principalmente. En la actualidad ha incorporado el servicio de recogida de residuos peligrosos.

La Cooperativa, que tiene más de 50 años, cuenta con unos 370 socios, entre los que cabe destacar a más 70 ganaderos de vacuno de leche. Su producción anual supera las 72.000 toneladas de pienso, con las que alimentan más de 5.000 cabezas de ganado vacuno. Su facturación sobrepasa los diez millones de euros. La plantilla de San Isidro está formada actualmente por nueve empleados.

2) OLIPE

Es la entidad encargada de gestionar el subproducto y la logística de manera innovadora.

Se trata también de una cooperativa olivarera con más de 50 años de vida y formada por 825 socios ordinarios.

Desde el año 2000 se iniciaron estudios orientados a la valorización del alperujo como abono orgánico mediante un proceso de compostaje. Esta inquietud ha desembocado en la construcción de una planta de compostaje en donde transformar el alperujo procedente de la almazara en un abono orgánico con unas cualidades idóneas para la reutilización como abono orgánico en los propios olivares y cerrando el ciclo de nutrientes. Esta entidad tiene, por tanto, la experiencia, la capacidad y los medios necesarios para llevar a cabo el proyecto SUBPGAN.

3) TECOMSA

Es la entidad encargada de llevar a cabo la transformación de los subproductos ganaderos en vermicompost y estudiar las vías de comercialización de este producto.

Esta empresa se dedica al reciclado de residuos agrícolas vegetales y convierte los desechos del campo en nutrición vegetal, a través del humus de lombriz y es la primera empresa de España en ofrecer el ciclo completo de reciclaje de residuos vegetales agrícolas procedentes de invernaderos.

Tecomsa está situada en una zona con una importantísima actividad agrícola como es Almería, y pertenece a una de las empresas que integran a la cooperativa de segundo grado UNICA GROUP que asiste a un gran número de agricultores de invernaderos. Ofrece, por tanto, la oportunidad de ofrecer al campo las soluciones, a nivel de nutrición y materia orgánica que este demanda.

4) Grupo de Desarrollo Rural "Los Pedroches"

Entidad dinamizadora y coordinadora del proyecto.

Es una asociación sin ánimo de lucro que trabaja por el desarrollo sostenible, integrador y multisectorial de los 17 municipios que integran la comarca de los Pedroches. Aporta su experiencia en la coordinación de proyectos multisectoriales, divulgación, elaboración de estrategias territoriales y gestión de ayudas y fondos europeos, nacionales y regionales. Ha llevado a cabo labores de coordinación, aplicación de innovación social y divulgación.

La Comarca de Los Pedroches es una comarca ganadera por excelencia, razón por la cual el GDR apoya al sector en cuanto a la mejora de las estructuras productivas, en la mejora de la calidad de vida de agricultores y ganaderos y en la mejora continua de las instalaciones. También apoya e impulsa proyectos para la producción sostenible, que recurren a las nuevas tecnologías para el manejo del ganado y el cuidado del medio ambiente.

5) ceiA3

Esta entidad es un agente generador del conocimiento, que aporta investigación, capacidades, experiencia metodológica y conocimientos previos para alcanzar los objetivos planteados y capacidad de divulgación entre el mundo científico y docente.

Se trata de un consorcio formado por las Universidades de Almería, Cádiz, Huelva y Jaén, lideradas por la Universidad de Córdoba. El ceiA3 nace para estar al servicio de la sociedad y el tejido productivo, transfiriendo el

Noche de los investigadores



trabajo científico - generado por más de 300 equipos de investigación - al sector agroalimentario internacional, contribuyendo a su desarrollo y, especialmente, a dar respuesta a los retos agroalimentarios del siglo XXI. Cuenta con más de 5 años de experiencia divulgando y comunicando resultados al sector agroalimentario, y capacidad para difundir estos resultados a nivel regional, usando los recursos presentes en 5 provincias del territorio de la CC.AA. Andalucía.

Para este proyecto, el ceiA3 incorpora dos grupos de investigación de la Universidad de Córdoba. Asimismo, el ceiA3 cuenta con una Oficina de Proyectos creada en 2014, dedicada específicamente a prestar apoyo especializado para la búsqueda de financiación y puesta en marcha de proyectos de innovación y transferencia, así como de su ejecución y coordinación.

A) CICAP

Es la entidad que apoya a las empresas en los retos investigadores y tecnológicos que ofrece el proyecto.

CICAP es un centro de investigación agroalimentario, fundado en 2007, que proporciona servicios tecnológicos a empresas agroalimentarias en el desarrollo e implementación de nuevos procesos y/o productos. Su ámbito de especialización está basado en las industrias agroalimentarias entre las que destacan las industrias lácteas, cárnicas y de alimentación animal.

CICAP está certificado en ISO 9.001:2008, ISO 14.001:2006 e ISO 166.002. Laboratorio acreditado por ENAC según la norma ISO 17.025 con el número 876/LE1704 para la realización de ensayos en productos agroalimentarios.

B) SENECA GREEN

Es la empresa que aporta parte de la tecnología necesaria que requiere el proyecto.

Es una empresa biotecnológica de la Universidad de Córdoba que se constituye a partir de un Proyecto Campus, que incentiva la creación de empresas *spin-off* en las universidades andaluzas aportando patentes y tecnología y posibilitando actividades industriales innovadoras.

Como especialistas en el tratamiento de residuos orgánicos mediante compostaje y vermicompostaje asesoran tanto a empresas del sector de la gestión de residuos y subproductos como a agricultores y técnicos especializados en agricultura ecológica. Dentro de la línea de investigación, participan en la realización de proyectos innovadores para aportar soluciones a problemas relacionados con la agricultura y la gestión de residuos y subproductos.

4. Planificación y organización de las acciones realizadas

Se identificaron cinco fases y se estableció un programa de trabajo encaminado a lograr los objetivos establecidos en el proyecto, que se estructura de la siguiente manera:

Una primera fase de COORDINACIÓN TÉCNICA Y ADMINISTRATIVA, que se plasma en la Actuación 1, "Coordinación del grupo operativo". Le sigue una FASE DOCUMENTAL, que incluye una única actuación denominada "prevención, manejo y acondicionamiento *in situ*". Está compuesta, a su vez, por siete actuaciones destinadas a obtener una imagen del estado actual de la gestión de subproductos ganaderos, su potencialidad, las diversas opciones de manejo que se presentan para obtener un mayor valor añadido y las adaptaciones que será necesario adoptar.

A continuación se hace una exhaustiva **FASE DE CAMPO O EXPERIMENTAL**, que supone un hito importante, ya que por primera vez se dimensiona el problema de los subproductos ganaderos en la Comarca de los Pedroches. En esta fase se incluyen tres actuaciones, que a su vez se dividen en varias acciones encaminadas a estudiar la viabilidad técnica y sus posibilidades reales. En algunos casos se han hecho proyectos piloto de distintas posibilidades de tratamiento de los subproductos. Estas son:

- Actuación 3: Logística y acondicionamiento en planta.
- Actuación.4. Tratamientos finales y aplicaciones.
- Actuación 5. Estudio de mercado.

Una vez recopilados los resultados de las distintas actuaciones, se acometió la FASE DE REDACCIÓN DEL INFORME FINAL DEL PROYECTO, cuya única actuación, la nº6, "Estudio de implantación en la Comarca de los Pedroches" consistió en evaluar la viabilidad y el impacto económico y social que podrían tener la puesta en marcha de las distintas posibilidades de tratamiento identificadas en la fase anterior.

Por último se lleva a cabo una FASE DE DIVULGACIÓN dentro de la cual se incluye el presente documento.

4.1. Actuaciones de la fase 2: diagnóstico de la situación actual

En esta actuación se han realizado un conjunto de acciones como "Selección de explotaciones", "Técnicas sos-

tenibles de producción", "Planificación de la generación de residuos", "Manejo del subproducto y acondicionamiento *in situ*", "Técnicas de autogestión", "Estudios de valoración agronómica de los subproductos" y "Elaboración del Manual para el Ganadero".

Para poder determinar el estado y las producciones de los subproductos ganaderos se ha realizado un estudio del número de granjas y del censo de vacas de leche que tiene la Comarca de los Pedroches en la actualidad, tomando como referencia los datos proporcionados por el Sistema de Información y Gestión Ganadera (SIGGAN) de la Junta de Andalucía. En él se observa cómo la mayor concentración de ganaderías se encuentra en torno a los municipios de Dos Torres, Añora, Belalcázar, Pozoblanco y Alcaracejos, por lo que se decide intensificar el estudio y búsqueda de alternativas en estas zonas, ya que ahí se concentran en mayor medida los subproductos ganaderos y la consiguiente problemática ambiental.

De los datos disponibles se deduce que desde 2009 hasta 2018 ha ido disminuyendo el número de granjas de vacuno de leche y aumentando el censo medio. En Andalucía, Córdoba, con 34.590 efectivos, es la provincia que concentra el mayor número de animales con un 61% del censo total autonómico.

Dado que el tamaño medio de las granjas es un indicador importante para analizar la presión que ejercen las ganaderías de vacas de leche sobre el territorio es importante destacar que en la Comarca de los Pedroches el censo medio por granja es de 101 vacas; muy por encima de la media nacional (50 vacas/granja) y similar a la media autonómica (101 vacas/granja). Por otra parte, esta comarca cuenta con una Superficie Agraria Útil (SAU) de 221.817 ha, lo que representa el 26,3% de la SAU provincial, y teniendo en cuenta el censo de vacas de leche, nos arroja un número de 19,67 cabezas/km².

Para estimar la cantidad de subproducto que generan estos animales se ha recurrido al Decreto 136/2009 de aprobación del programa de actuación aplicable a las zonas vulnerables en relación con la contaminación de nitratos que proceden de fuentes agrarias y de gestión de las deyecciones ganaderas en la Comunidad Autónoma de Cataluña, ya que contiene los datos que permiten estimar de manera bastante aproximada la producción de residuos sólidos y líquidos generados por los animales de una explotación de leche. Así, teniendo en cuenta los valores de

**Memoria divulgativa
del Grupo Operativo "SUBPGAN"**

Tabla 1. Producción de purín y estiércol de distintas especies ganaderas. Fuente del Decreto 136/2009, de 1 de septiembre, de aprobación del programa de actuación aplicable a las zonas vulnerables en relación con la contaminación de nitratos que proceden de fuentes agrarias y de gestión de las deyecciones ganaderas (Anexo II)

Especie	Categoría	A	B	C	D
Vacuno	leche	80,22	14	18	0,8
	Sementales	80,22	9	12	
	Cría	5,7	0,4	0,6	
	Reposición	40,0	5,5	7	
	Engorde	28,97	3,6	4	
Bovino carne	Reproductores	53,15	9	12	0,8
	Cría	7,7	0,5	0,7	
	Reposición	40,0	5,5	7	
	Engorde	28,97	3,6	4	
Porcino	Hembras	15	5,1	2,25	0,8
	Sementales	18	6,12	6,48	
	Cochinillos (6-20 kg)	1,19	0,41	0,25	
	Reposición	8,5	2,5	1,14	
	Engorde (20-100 kg)	7,25	1,65/2,15*	1	
Ovino	Reproductores	9		0,9	0,8
	Reposición	4,5		0,45	
	Engorde	3		0,3	
Caprino	Reproductores	7,2		0,72	0,8
	Reposición	3,6		0,36	
	Engorde	2,4		0,24	
Cunícola	Hembras	1,418		0,124	
	Sementales	1,773		0,06	
	Reposición	0,886		0,06	
	Engorde	0,443	0,031	0,03	
	Jaula de coneja	4,30		0,30	
Équidos	Ganado equino	63,8		11	0,8
Avicultura	Reprod. pesadas	0,50		0,02	0,6
	Reprod. ligeras	0,35		0,014	0,6
	Reposición	0,08		0,007	0,5
	Engorde	0,22		0,01	0,5
	Ponedoras huevos consumo	0,50	0,037	0,04	0,9
Patos	Reproductores	0,545		0,204	0,5
	Reposición	0,0873		0,0714	
	Engorde	0,24	0,072	0,080	

* El valor 1,65 es aplicable si se dan simultáneamente las circunstancias siguientes:

- El pesebre tiene incorporado el abrevadero, o se utiliza un sistema de abrevado del ganado de eficiencia equivalente.
- La limpieza de la nave se realiza con un grupo de alta presión (> 100 atmósferas) y bajo caudal.
- Se dispone de contador volumétrico que permite conocer los volúmenes de agua consumidos.

En caso contrario, se aplica el valor de 2,15.

la **Tabla 1** tenemos que **en la Comarca de los Pedroches se producen 866.246 toneladas de estiércol y 674.388 m³ de purines al año procedentes de la ganadería de vacas de leche y 3.962 toneladas nitrógeno**. Si se descuenta el 35% de pérdidas de nitrógeno por gasificación en estiércoles y purines, queda una cantidad total de 2.575 toneladas de nitrógeno utilizable para uso agronómico.

Teniendo en cuenta los datos anteriores y con la intención de llevar a cabo un análisis más pormenorizado de las características de los subproductos y varios proyectos piloto de gestión de residuos, la cooperativa CASI ha seleccionado 10 ganaderías situadas en el término municipal de Dos Torres, donde se da el mayor número de ganaderías de vacuno de leche. Estas ganaderías suponen aproximadamente el 3% de la comarca, y se han seleccionado en función del tamaño y manejo del subproducto, teniendo también en cuenta las infraestructuras de las que disponen para el manejo de los subproductos.

Una vez expuesta la dimensión y la problemática de los subproductos ganaderos en la Comarca de los Pedroches, el siguiente paso es estudiar la generación y manejo de subproductos en las ganaderías seleccionadas, es decir, de qué formas se generan los subproductos, cómo se almacenan y qué uso se les da.

La cantidad de residuos ganaderos producidos en las granjas es muy variable y depende de factores como el manejo del ganado, las instalaciones, la alimentación, el clima, las aguas de limpieza, entre otros. Los **residuos que se generan en las granjas lecheras** se clasifican en varios grupos en función de su procedencia:

Estiércol: compuesto por las deyecciones sólidas del ganado, que contienen un porcentaje de materia seca variable en función de la especie y de la alimentación. En muchas ganaderías el estiércol seco y parcialmente fermentado se utiliza como cama para los animales. De esta manera el ganadero reaprovecha una parte nada desdeñable del residuo generado por los animales.

Purín: compuesto por las deyecciones líquidas del ganado; contiene aproximadamente un 10% de materia seca. Constituye el residuo más problemático de tratar en las ganaderías de vacuno ya que es un producto difícil de controlar debido a su fluidez y la cantidad que se genera del mismo.

Aguas sucias: son los residuos líquidos de la ganadería con un 3% de materia seca. Las aguas sucias son utilizadas para la limpieza de los pasillos de ordeño y sala de espera. En la composición final de estas aguas se incluyen deyecciones animales muy diluidas en agua que se recogen en los fosos de almacenamiento de purines.

Las ganaderías utilizan estercoleros para almacenar las deyecciones sólidas, los cuales ocupan una superficie importante dentro de la parcela. En ellos se van apilando los montones de estiércol generado, de manera que se favorezca su maduración, hasta su posterior uso como nueva cama o bien para su utilización en aplicación directa en campo. Estos estercoleros suelen ubicarse sobre superficies apelmazadas que reducen las posibles infiltraciones, pero en ningún caso se dispone de una base impermeabilizada, con recogida de lixiviados ni cubierta que lo proteja. Estas características de los estercoleros **constituyen un punto crítico a tener en cuenta para una posible mejora medioambiental**.

Las deyecciones procedentes de las vacas de leche, vacas secas y recría, en las que se mezcla el material sólido y líquido suelen recogerse en una fosa impermeabilizada dispuesta de un batidor, también denominada balsa de purines. Estas balsas se vacían periódicamente.

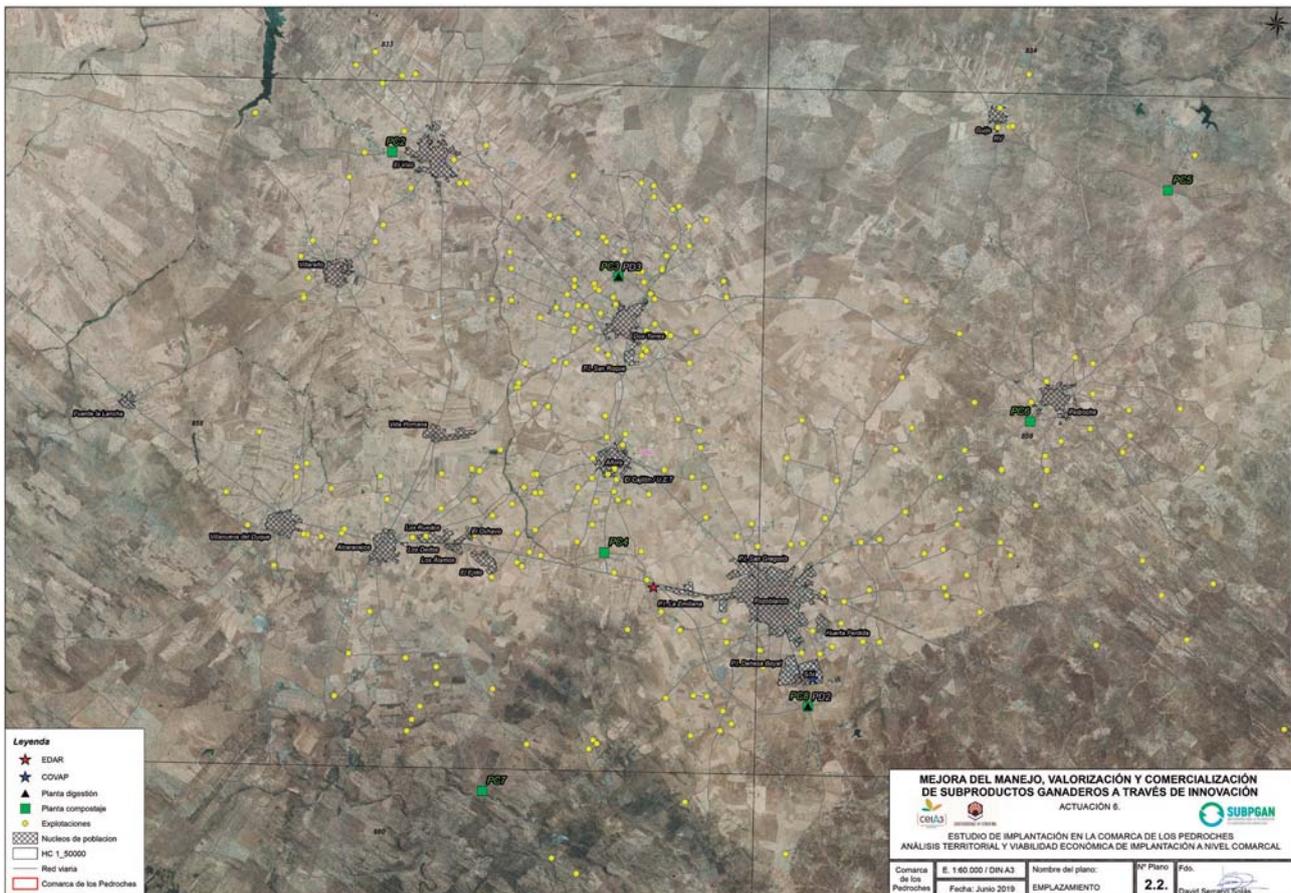
La frecuencia de retiradas de las deyecciones depositadas en la fosa de purines depende de factores como la climatología y el tamaño de la misma. Aunque todos los ganaderos vacían completamente la fosa una o dos veces al año, también tienen que realizar vaciados de emergencia de aproximadamente un tercio de la altura de la fosa para evitar el derrame de vertidos en caso de sobrevenidas imprevistas de lluvia y mantener la fosa en niveles aceptables hasta que las condiciones permitan un vaciado completo.

Las deyecciones mezcladas con la cama de los animales se extrae periódicamente y se acondiciona para un uso posterior. Algunos ganaderos destinan el 100% de estas deyecciones sólidas para encamado y otros únicamente se quedan con un porcentaje, vendiendo el resto a gestores externos o a agricultores de la zona.

El estiércol semisólido que se genera en los pasillos de espera, así como el procedente de los cubículos se almacena en el foso de purines. Una parte de los ganaderos destina el 100% a aplicación directa en el campo. Otros ganaderos secan la parte sólida que acaba decantando en la balsa (aproximadamente el 35%) para utilizarla posteriormente como encamado y aplicación directa en tierras de cultivo.

Como ya hemos visto, el estiércol que se genera a lo largo del año en los alojamientos de los animales se reutiliza en forma de compost seco. Para ello, los ganaderos extraen el estiércol y lo someten a un tratamiento de secado consistente en extender sobre la superficie destinada a estercolero una capa fina de este material. Por la acción del sol y los movimientos de volteo, la capa va secándose y sufriendo una serie de cambios en su composición. Al ser una capa fina de alrededor de 5 centíme-

Emplazamiento de las ganaderías



tros de espesor el proceso finaliza en alrededor de una semana. Una vez el estiércol está compostado y seco se almacena en montones para su utilización posterior a lo largo del año.

A pesar de ser esta una práctica generalizada en las ganaderías de la Comarca de los Pedroches, no siempre se consiguen alcanzar temperaturas altas para homogeneizar la masa completa del estiércol para cama. Al estiércol destinado a su uso como abono el ganadero no le realiza ningún tratamiento previo.

Respecto a los purines o deyecciones líquidas, el destino habitual en las ganaderías seleccionadas es la aplicación directa en campo, ya sea en las parcelas adyacentes a las granjas o parcelas normalmente cercanas, ya que el coste económico y temporal de llevar el material a zonas muy lejanas es relativamente elevado. Los ganaderos han de llevar un control de la cantidad de residuos vertidos en el campo a través del "Plan de Gestión de Subproductos Ganaderos". Como se verá más adelante, esa cantidad está limitada por la normativa ambiental para evitar la contaminación por nitratos de las masas de agua.

Durante el primer año del proyecto se evaluaron una serie de puntos críticos de control relacionados con la gestión de los subproductos ganaderos que se generaban en cada granja. Cabe enumerar los siguientes:

El tamaño de la balsa:

Las ganaderías intensivas deberán contar con sistemas de almacenamiento adecuados a las características de los subproductos generados con una capacidad suficiente para la producción correspondiente a tres meses. La capacidad máxima de la fosa de almacenamiento es de 1.061 m³ de media.

La pluviometría de la zona:

Es uno de los puntos críticos en la producción de subproductos ganaderos en una ganadería. La pluviometría media de Comarca es escasa, de 422 litros por m² con cierta variabilidad interanual. Esta cantidad permite una producción constante de subproductos a lo largo del año, por lo que se puede plantear una retirada fija por mes.

Proceso de esparcido del purín para su secado.



El sistema de manejo de la ganadería:

Los ganaderos de la comarca de Los Pedroches son profesionales en su rama y en los últimos años han adoptado medidas innovadoras en el bienestar de los animales, como es la utilización de compost de estiércol de vaca como material para el acondicionamiento de las camas.

Tratamiento de la cama:

Incluye tanto la aireación, que es el proceso de remover y mezclar diariamente la cama para mantenerla limpia, seca, blanda y confortable para las vacas, como la retirada de material, que se hace en función de la pluviometría de la zona. Ambos procesos mejoran el bienestar animal.

4.1.1. Normativa existente para el control de los Subproductos Ganaderos

Normativa sectorial específica:

Decreto 14/2006, de 18 de enero, por el que se crea y regula el Registro de Explotaciones Ganaderas de Andalucía.

Establece la obligatoriedad de las ganaderías intensivas de contar con un Plan de Gestión de Residuos Ganaderos (PGSG) aprobado por la Delegación Provincial competente en materia de ganadería. También han de contar con un estercolero o balsas, como infraestructuras de almacenamiento que permitirán una correcta gestión de los subproductos ganaderos, evitando la filtración de nitratos hacia aguas subterráneas o la contaminación de cauces por escorrentía. En las Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos las balsas y los estercoleros deberán cumplir requisitos adicionales: impermeables, estables geotécnicamente, con vallado perimetral, di-

mencionado acorde con la producción de purín/estiércol producido y el manejo propuesto en el PGSG, las balsas tendrán una capacidad mínima suficiente para almacenar la producción generada en 3 meses, salvo casos excepcionales justificados.

Normativa de calidad ambiental:

Por otro lado, según la **Ley 7/2007 de 9 de julio, de Gestión Integral de la Calidad Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía**, las ganaderías intensivas pueden estar sujetas a instrumentos de prevención y control ambiental cuya aprobación corresponde a las Delegaciones Territoriales de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio en función de su capacidad: Prácticamente el 100% de las ganaderías intensivas de la Comarca de los Pedroches estaría sujeta a Calificación Ambiental (< 300 plazas de vacuno de leche) en el caso de que se produjera una modificación o ampliación de sus actividades, y siempre que supusiera un incremento de la carga contaminante de sus emisiones, en la generación de residuos, en la utilización de recursos naturales o la ocupación de suelo o la afección a un espacio natural protegido. Por lo tanto, mientras mantengan la actividad ganadera actual solo deben presentar el PGSG.

Normativa de nitratos:

Aparte del PGSG que debe cumplir cada ganadería, el manejo de los subproductos ganaderos lleva consigo otra legislación reseñable y complementaria para garantizar que esa gestión sea eficaz y adecuada ambientalmente respecto a la contaminación por nitratos de las masas de agua superficiales y subterráneas.

La **Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos**, impone a los Estados miembros la obligación de identificar las aguas que se hallen afectadas por la contaminación por nitratos de procedencia agrícola y establece los criterios para designar como zonas vulnerables (ZV). Una vez determinadas las zonas, se deben realizar y poner en funcionamiento programas de actuación, coordinados con técnicas agrícolas, con la finalidad de eliminar o minimizar los efectos de los nitratos sobre las aguas.

En España, para desarrollar esta Directiva, se publicó el **Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias**. Dicho R.D. otorga la responsabilidad de la designación de las zonas vulnerables a las Comunidades Autónomas. La Comunidad Autónoma de Andalucía plasmó dicha normativa al ordenamiento jurídico andaluz mediante el **Decreto 261/1998, de 15 de diciembre**.

Años después, mediante la Orden de 1 de junio de 2015, se aprobó el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía, que desarrollaba parcialmente el contenido del "Plan de Gestión de Residuos Ganaderos". En el Anexo II de esta Orden, se establecen las obligaciones y recomendaciones que deben atender las explotaciones ganaderas intensivas que se encuentran dentro de zonas vulnerables.

Según esta normativa **el aporte máximo anual de nitrógeno en zonas no vulnerables es de 210 kg N/ha**, salvo si se presenta un informe técnico que justifique un aporte superior puntual por necesidades específicas de los cultivos. En el caso de la Comarca de los Pedroches, esto puede ser un problema, ya que hay zonas donde existen grandes concentraciones de ganaderías. De hecho, **muchas de las ganaderías y parcelas se encuentran en zona vulnerable a la contaminación de nitratos** de procedencia agraria que requieren un control más exhaustivo, **siendo el límite máximo de nitrógeno anual de 170 kg N/ha**.

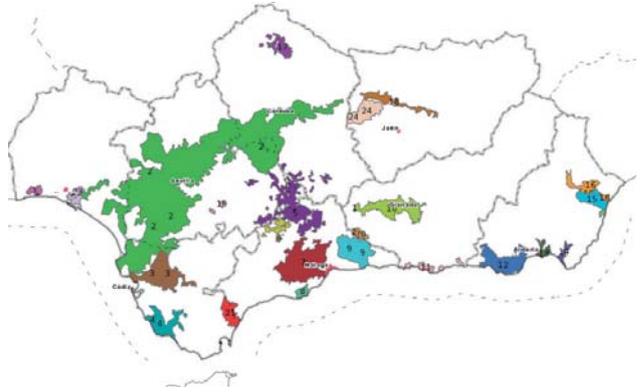
Normativa de aguas:

La **Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000**, establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, más conocida como **Directiva Marco de Aguas**, se incorpora al derecho español mediante la **Ley 62/2003, de 30 de diciembre**. Esta normativa configura una nueva política de aguas cuyo principal objetivo es conseguir el buen estado y la adecuada protección de las masas de agua definidas en el ámbito de cada demarcación hidrográfica. Por tanto, el estado químico y ecológico de las masas de agua será objeto de verificación, control y seguimiento.

En Andalucía, el **Decreto 36/2008, de 5 de febrero, por el que se designan las zonas vulnerables y se establecen medidas contra la contaminación por nitratos de origen agrario** recoge las obligaciones establecidas por la Directiva 2000/60/CE. Para la delimitación de las Zonas Vulnerables se empleó el Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). Entre las zonas designadas se encuentra la **zona 17, "Cuenca del embalse de la Colada"**, ubicado en la Comarca de Los Pedroches, y que engloba polígonos incluidos en los términos municipales de Alcaracejos, Añora, Dos Torres, Fuente la Lancha, Hinojosa del Duque, Pozoblanco, Villanueva del Duque, Villaralto y El Viso.

En cuanto a las zonas protegidas por la Confederación Hidrográfica del Guadiana que se encuentran en la masa de agua subterránea Los Pedroches (Sondeo de la Guarda y Pozo de Malpartida o del Lobo), están fuera de la comarca de Los Pedroches, por tanto, quedan fuera del alcance de este

Figura 1. Mapa de Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario en Andalucía. Fuente: Red REDIAM, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible



estudio. Sí que incluye el embalse de La Colada como futura captación de agua para abastecimiento, lo que conllevará la designación de la zona protegida en esta captación.

Protección ambiental en la Red Natura 2000:

En la Comarca de Los Pedroches encontramos diferentes figuras de protección y zonas protegidas que condicionan la actividad de las explotaciones agrarias de cara a maximizar su protección ambiental y de la calidad de las aguas. En el territorio de la comarca figura el Parque Natural Sierra de Cardeña y Montoro, también considerado ZEPA y diez ZEC (Zonas Especiales de Conservación) muchas de ellas ligadas a cursos de agua.

Para cada una de las figuras de protección de la Red Natura 2000 (ZECs y ZEPA) se establecen unos Planes de Gestión (Plan de Desarrollo Sostenible en el caso del Parque Natural Sierra de Cardeña y Montoro) en los cuales se indican una serie de objetivos y medidas de conservación a desarrollar para garantizar un estado de conservación favorable para estas zonas.

Normativa agraria:

La cuenca del embalse de La Colada, catalogada como zona vulnerable, presenta unas restricciones en cuanto al uso de estiércol en las zonas agrícolas para evitar una contaminación de las masas de agua por nitratos. El Manual de Buenas Prácticas agrarias establece una serie de obligaciones y recomendaciones relacionadas con el abonado de cultivos en las zonas vulnerables (desarrolladas en el Anexo I, Orden 1 de junio de 2015):

En el marco establecido en el **Real Decreto 1078/2014, de 19 de diciembre, por el que se establecen las normas de la condicionalidad que deben cumplir los beneficiarios que reciban pagos directos**, determinadas primas anua-

les de desarrollo rural, o pagos en virtud de determinados programas de apoyo al sector vitivinícola, que regula el concepto de condicionalidad incluyendo las buenas condiciones agrarias y medioambientales, se fomentará su aplicación en toda actuación dentro de las ZEC o de su zona de influencia.

Asimismo, es importante considerar el cambio normativo respecto a las técnicas utilizadas para la **aplicación directa de purines y estiércol**. El **Real Decreto 980/2017, de 10 de noviembre**, que entró en vigor el 1 de enero de 2018 (durante la elaboración del presente proyecto) prohíbe el uso de sistema de plato o abanico y cañones para la aplicación directa de purines líquidos. Por su parte los estiércoles sólidos deberán enterrarse tras su aplicación en el menor tiempo posible.

4.1.2. La realidad en campo y control de puntos críticos

Pese a todas las restricciones que se incluyen en la normativa de zonas vulnerables y las otras figuras de protección, hay ganaderías de vacuno de leche que no cumplen con las especificaciones legales de ubicación de sus granjas y probablemente de sus tierras de abono, ya que existen actualmente 58 granjas dentro del margen de 500 metros de los núcleos urbanos. Hay ocho granjas dentro del margen de 50 metros de cauces de ríos, de las cuales cuatro se encuentran en el margen de 25 metros, de las cuales a su vez dos están dentro del margen de 10 metros. No existen granjas en el margen de seguridad de embalses ni lagunas ni en zonas protegidas por la Red Natura 2000.

La realidad de la comarca es que hay pérdidas de nutrientes, especialmente nitrógeno, en suelo, agua y atmósfera, lo que conlleva una contaminación ambiental que es perjudicial para el entorno. El problema principal radica en los purines, que se genera gran cantidad de este residuo y su única salida en la comarca, actualmente, es la aplicación directa en cultivos. Esta práctica, normalmente genera problemas de lixiviación hacia efluentes cercanos que acaban contaminando suelos y aguas superficiales y subterráneas. Otro dato importante es que **el 88% de las ganaderías de vacuno de leche se encuentran sobre la masa de agua subterránea Los Pedroches**, por lo que las prácticas en el sistema de gestión de subproductos ganaderos deben ser realizadas cuidadosa y adecuadamente para evitar las lixivitaciones hacia las masas de agua.

Para que la Administración correspondiente apruebe el PGSG de una ganadería intensiva es obligatorio presentar una declaración de las parcelas agronómicas en las que se pueden repartir los subproductos de la ganadería, o un contrato o convenio con una empresa de gestión de subproductos/plantas intermedias de estiércoles o purines autorizadas.

Así, aunque los ganaderos cumplen con el trámite administrativo, realmente no se soluciona el problema de la contaminación ya que el subproducto puede tener un destino final que se desconoce y no está controlado por la administración. Para solucionar este problema el presente proyecto propone la introducción de mejoras en la gestión de subproductos. Se considera que si se facilita al ganadero la entrega del subproducto, a un gestor conocido y capaz de darle un valor económico a ese subproducto se conseguirá no solo una mejora medioambiental sino también económica.

Para conseguir este objetivo, el primer planteamiento será la utilización más generalizada por parte de los ganaderos de un separador de estiércol líquido y sólido y cisternas flexibles para el almacenamiento del líquido previamente separado. En la comarca de Los Pedroches menos del 10% de los ganaderos utiliza la separación de las dos fracciones del purín, y solo un 1% de los ganaderos tiene en su ganadería una balsa flexible de almacenamiento. Las características y posibilidades de estos recursos se tratarán en un apartado posterior.

Puntos críticos a tener en cuenta en la gestión actual de los subproductos ganaderos:

- El almacenamiento de los subproductos en ocasiones no es el apropiado, ya que casi el 100% de las granjas de la comarca no disponen de instalaciones adecuadas para el almacenamiento de subproducto sólido. Alrededor del 99% de las ganaderías hacen acopio del material compostado en zonas permeables, a la intemperie y sin proteger de la lluvia, dando lugar a un alto riesgo de pérdida de material por lixiviación y escorrentía. Esto puede provocar una contaminación del medio, y el incumplimiento del plazo máximo de acopio de subproductos recogido en la normativa del PGSG.
- Las condiciones para el compostaje no siempre se producen, por lo que no se reúnen las condiciones para que se dé la transformación adecuada de los subproductos en compost. A pesar de ello, en el 85% aproximadamente de las ganaderías de vacuno de leche de la comarca se realiza compostaje para la realización de camas, y en todas se produce una cantidad variable de abono para cultivos.
- La separación de las fracciones líquida y sólida del estiércol mediante el uso de un separador permitiría obtener un compost más estable y de mejor calidad. Al reducir el volumen de purines destinados a la aplicación directa, será más fácil optimizar el uso de las tierras receptoras de estos abonos. Por tanto, es fácil deducir que si la separación fuera generalizada, esto beneficiaría a la gestión de los resi-

duos, a los resultados de las granjas y les ayudaría a cumplir con la normativa.

Como conclusión podemos destacar la necesidad que existe en el vacuno de leche de la Comarca de los Pedroches de mejorar estos puntos críticos:

- Respetar los códigos de buenas prácticas agrarias, así como la legislación pertinente en esta materia asegurando una aplicación directa en campo en los momentos más adecuados y con las mejores técnicas disponibles, para disminuir el riesgo de pérdida de elementos contaminantes hacia la atmósfera, el suelo y el agua.
- Priorizar la gestión y el tratamiento de la fracción líquida, ya que es la que presenta una mayor problemática de gestión medioambiental.
- Un mayor acceso a nuevas técnicas para la gestión de subproductos ganaderos en la propia granja, como el uso de un separador de fracción sólida/líquida de purines o las cisternas flexibles de almacenamiento de purines.
- Atender y respetar en las parcelas agrícolas fertilizadas con subproductos ganaderos la legislación pertinente en materia de zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario. Cabe recordar que el 44% de las ganaderías intensivas de vacuno de leche de la Comarca de los Pedroches se ubican en la Cuenca del Embalse de la Colada.
- Instalación de arrobaderas: cuando sea factible, ya que supone una mejora en la limpieza de las instalaciones y los animales que repercutirá en un mayor nivel de bienestar animal, disminución del coste de mano de obra, y menor gasto en maquinaria.
- Protocolizar el proceso de compostaje (temperatura, humedad, aireación, etc.).

Puntos críticos en la elaboración de compost para su uso posterior como cama:

- Control de temperatura: Si se mantiene a más de 55°C durante quince días, está asegurada la higienización, por lo que es fundamental llevar un registro.
- Tamaño de partículas: Cuanto más grandes sean las partículas más dificultad tienen los microorganismos aerobios para penetrar y formar el compost.
- Cubierta de los montones de estiércol: Estos deberían de estar cubiertos para evitar escorrentías en épocas de lluvia. Aunque no son frecuentes en

esta comarca, pueden darse años en los que se concentren en pocos meses, provocando efectos no deseables.

- Aireación: Es necesaria dado que los microorganismos actuantes en la formación del compost son aerobios.

Como conclusión podemos destacar la necesidad que existe en el vacuno de leche de la Comarca de los Pedroches de mejorar estos puntos críticos:

- Impermeabilización de la zona de almacenaje de estiércol aunque se esté realizando en zonas donde el riesgo de lixiviación sea mínimo.
- Instalación de cisternas flexibles en los casos donde la dimensión del foso no esté ajustada.
- Protocolizar el manejo correcto del material de cama.
- Registro de horas dedicadas al manejo de las fracciones líquida y sólida del estiércol, para poder cuantificar el coste en la cuenta de la explotación.

A pesar de que las vacas tienen preferencia por la arena como material de cama, el compost correctamente manejado, puede resultar en beneficios económicos sin afectar a la salud del rebaño. Un compost elaborado adecuadamente y aplicado en gran cantidad de cama en los cubículos - de manera que esté mullida y esponjosa - contribuye a optimizar el confort animal, reducir las cojeras, los daños en el corvejón e incremento de la longevidad.

El cubículo se rellena con estiércol cada 12 días de media. Hay ganaderías que lo hacen cada 7 días y otras cada 21 días; esta variabilidad de días se debe principalmente al criterio de cada ganadero y a la disponibilidad de estiércol, muy relacionada a su vez con la pluviometría.

Además del relleno, este material se rastrilla o ara todos los días, dos veces al día. Esta acción es imprescindible para eliminar la humedad al airear la cama, y por otra, mantener la cama confortable para que la vaca esté el máximo número de horas acostada, ya que cada hora extra de descanso puede suponer hasta 1,7 litros más al día.

4.1.3. Las ventajas de disponer de un separador de fases de purines

Un tratamiento relativamente sencillo que está empezando a utilizarse en las ganaderías es la separación de la fracción sólida y líquida de los estiércoles y purines.

Este sistema permite un mejor manejo de los subproductos ganaderos y que se les pueda dar utilidad a ambas fases por separado, ampliando con ello la capacidad de almacenamiento del residuo en su granja sin necesidad de realizar obra civil y evitando la pérdida de subproducto líquido por escorrentía o lixiviación sobre todo en períodos de lluvias.

El sistema requiere de un motor que mueva el material de la balsa de purines hacia el mecanismo separador, que puede tener diferentes modos de acción. La fracción líquida puede almacenarse en una nueva balsa o en cisternas flexibles cerradas que permiten un control del residuo más adecuado que la balsa convencional de purines. Esta fracción líquida tiene un alto poder como abono y otras aplicaciones interesantes como la generación de biometano. La fracción sólida, por su parte, al haber disminuido a la mitad su porcentaje de humedad tras el proceso de separación, en comparación con la simple decantación del material más sólido que utilizan habitualmente los ganaderos de la comarca, ocupa menos espacio y permite realizar un mejor proceso de compostaje en la propia explotación. El material obtenido tendrá mejores características tanto para su uso como cama, para aplicación directa como abono o para su venta a terceros como sustrato para la realización de compost de manera industrial.

Mediante este sistema de separación de la fracción sólida y líquida, la primera arrastra entre el 20 y el 25% del nitrógeno del purín que se separa, quedando en la fracción líquida entre el 75-80% del nitrógeno total. De esta manera, **la utilización de este sistema permitiría reducir en un 28,8% la superficie necesaria para realizar tratamientos de aplicación directa en superficie**, lo cual es un dato muy importante a tener en cuenta.

Otra ventaja de este sistema es que permite reducir el tiempo que dedica el ganadero al manejo del estiércol en su conjunto. Según estimaciones, dado que no existe ningún control de las horas dedicadas por los propios ganaderos, comparando sistemas sin separador y sistemas con separador, la diferencia es una reducción de 192 horas al año.

Sin embargo, **la posibilidad de utilizar el separador sólido/líquido en las granjas de estudio ha sido un factor limitante; muy pocos ganaderos han decidido adquirir uno en propiedad (en torno al 2,5% del total de ganaderías) y la disponibilidad al acceso de un separador en alquiler es baja.**

Los costes de implantación de un sistema de separación sólido/líquido que sea eficiente pueden oscilar entre 20.000 y 125.000 euros, un coste que no todas las granjas se pueden permitir y al que hay que sumar el gasto energético que hacen los motores. Por esta razón

Separador de purines instalado en una explotación.



una cooperativa compró dos separadores que ofrecen en alquiler a sus socios. Este servicio permite a un 10% de los ganaderos de la comarca realizar la separación de la fracción líquida y sólida de los purines generados en sus granjas.

Como experiencia piloto y para complementar la acción de los separadores sólido/líquido en este proyecto se ha suministrado a tres ganaderías adscritas un equipo de almacenamiento para el subproducto líquido. Se trata de cisternas flexibles que ofrecen un sistema estanco para almacenar los purines, evitando lixiviaciones y escorrentía hacia el suelo y las masas de agua. La instalación de estas cisternas no requiere de permisos de obras ni grandes inversiones, tan solo requiere una superficie plana, estable y horizontal, y una conexión para su llenado y vaciado con mangueras flexibles. La capacidad de

Cisterna de almacenamiento de purines.



almacenamiento es temporal; se recurre a las cisternas principalmente cuando las balsas de residuos están llenas o en periodos prolongados de lluvias, cuando no se puede realizar la aplicación directa en campo.

Una vez analizadas las ganaderías, el manejo y los puntos críticos, se ha protocolizado un conjunto de análisis tanto microbiológicos como físico-químicos con los resultados que se exponen a continuación.

El recuento total de microorganismos aerobios mesófilos, realizado sobre las muestras del material empleado como cama de estiércol seco listo para su uso, mostró un nivel medio de partida de $3,75E+06$ ufc/g. Considerando un periodo de uso de 7 a 15 días (según el manejo realizado en cada ganadería) se evidenció una rápida proliferación microbiana a partir del punto de partida; comparando con una cama de arena nueva, esta mostró menores recuentos bacterianos pero una vez puesta en uso, la arena mostró un comportamiento similar.

Cuando se evaluaron grupos microbianos concretos relacionados con la mastitis bovina (*Escherichiacoli*, *Streptococcus* y *Enterococcus sp.*, *Staphylococcus sp.*, y *Staphylococcus aureus*) se observó un impacto reducido del manejo de la cama en la transmisión de los agentes causales de mastitis. Tampoco se observaron mejoras en los parámetros microbiológicos tras el empleo de fracción sólida de estiércol separado mecánicamente para la preparación de la cama seca.

Asimismo se evaluó la presencia de una selección de patógenos con interés para el ganado vacuno lechero en producción: *Salmonella sp.*, Map (*Mycobacterium avium* subespecie paratuberculosis), coccidios (*Eimeria sp.*) y otros parásitos gastrointestinales. Los resultados obtenidos confirman la circulación de *Salmonella sp.*, en fo-

sos de purín, así como en cama caliente y cubículos. Sin embargo, cabe destacar que tras el procesado del purín para su uso como cama de estiércol seco, solo se detectó su presencia en una cama lista para su uso, siendo esta última la que mostró el valor más alto de humedad (un 32,4% de humedad frente a una media de 17,46%). Este resultado **podría sugerir que existe una mayor persistencia de patógenos ambientales o presentes inicialmente en el purín cuando el estiércol no se haya secado lo suficiente antes de su uso como cama caliente o cubículos, siendo este un parámetro crítico en su preparación.**

En cuanto a la valoración de la presencia y transmisión de parásitos fecales a partir de cama de estiércol seco, en un gran número de las ganaderías se detectó la presencia de ooquistes de *Eimeria sp.*, en carga moderada; sin embargo no se detectó la presencia de otras formas parasitarias en dichas muestras fecales (pe. huevos o larvas de nematodos digestivos y respiratorios ni trematodos). Cuando se analizaron los montones de estiércol seco procedente de las ganaderías positivas para evaluar la posible persistencia de los coccidios, todas las muestras fueron negativas. Se descartó por tanto que la cama de estiércol seco ejerciera de vehículo de transmisión para estas formas parasitarias.

Considerando los valores recogidos en el anexo I del Real Decreto 1310/1990 por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario, los niveles encontrados no superan en ningún caso los límites permitidos por la legislación mencionada. Estos valores obtenidos en los análisis indican que los niveles de metales pesados contenidos en los subproductos de ganadería estudiados no suponen un riesgo.

4.2. Actuaciones de la Fase 3: ENSAYOS DE COMPOSTAJE

En este grupo de actuaciones se llevaron a cabo proyectos piloto para ensayar la retirada de los subproductos ganaderos de las explotaciones de una manera limpia y ordenada. Se recogieron subproductos ganaderos de las explotaciones adscritas al proyecto, que fueron transportados hacia la planta de compostaje de OLIPE y a la planta de vermicompostaje de TECOMSA. Allí se transformaron en compost y vermicompost respectivamente, y se consideró la viabilidad económica de dichos productos.

Para retirar los subproductos en las explotaciones se plantean dos vías diferentes en función del producto:

- Transporte en camiones: del material de cama usado de las explotaciones.

PRESENCIA DE MICROORGANISMOS EN LOS SUBPRODUCTOS GANADEROS. COMPARATIVA PARA LAS DISTINTAS MODALIDADES DE CAMA PARA EL GANADO

Tabla 2. Media de ufc/g de los recuentos microbiológicos obtenidos a partir de las distintas matrices caracterizadas: foso de purines, cama de estiércol seco lista para su uso, cama caliente en uso y cubículo en uso.

Parámetro	Purín (foso)	Cama de estiércol	Cama caliente uso	Cubículo en uso
Recuento total (microorganismos aerobios mesófilos)	3,62E+07	3,75E+06	1,50E+08	1,75E+08
<i>Escherichia coli</i>	7,75E+04	3,13E+03	3,01E+05	8,73E+05
<i>Streptococcus/Enterococcus</i> spp.	1,26E+07	5,17E+05	1,28E+07	8,07E+07
<i>Staphylococcus</i> no aureus	4,75E+06	3,32E+04	4,60E+06	9,07E+07
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

*Recuentos expresados en ufc/g. Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 3. Media de ufc/g de los recuentos microbiológicos obtenidos a partir de las distintas matrices caracterizadas comparando el uso de estiércol seco respecto al empleo de arena como cama caliente.

Parámetro	Cama de estiércol	Arena nueva	Cama caliente uso	Cama caliente arena
Recuento total (microorganismos aerobios mesófilos)	3,75E+06	1,16E+05	1,50E+08	3,10E+08
<i>Escherichia coli</i>	3,13E+03	5,00E+00	3,01E+05	3,00E+05
<i>Streptococcus/Enterococcus</i> spp.	5,17E+05	1,50E+02	1,28E+07	1,95E+07
<i>Staphylococcus</i> no aureus	3,32E+04	1,11E+05	4,60E+06	3,01E+08
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

*Recuentos expresados en ufc/g. Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 4. Media de ufc/g de los recuentos microbiológicos obtenidos a partir de las distintas matrices caracterizadas tras comparar el uso de estiércol seco respecto al uso de estiércol seco con adición de carbonato cálcico. Fuente. Elaboración Propia.

Parámetro	Cama de estiércol	Cama de estiércol con carbonato	Cama caliente uso	Cubículo en uso con carbonato
Recuento total (microorganismos aerobios mesófilos)	3,75E+06	2,20E+06	1,75E+08	1,76E+08
<i>Escherichia coli</i>	3,13E+03	5,00E+00	8,73E+05	3,83E+04
<i>Streptococcus/Enterococcus</i> spp.	5,17E+05	2,80E+03	8,07E+07	5,55E+07
<i>Staphylococcus</i> no aureus	3,32E+04	3,60E+03	9,07E+07	2,99E+07
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

*Recuentos expresados en ufc/g. Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 5. Media de ufc/g de los recuentos microbiológicos obtenidos a partir de las distintas matrices caracterizadas tras comparar el uso de estiércol seco respecto al uso de estiércol seco previamente separado por separador (fracción sólida separada).

Parámetro	Cama de estiércol	Cama de estiércol con carbonato	Cama caliente uso	Cubículo en uso con carbonato
Recuento total (microorganismos aerobios mesófilos)	3,75E+06	2,80E+07	1,75E+08	3,91E+07
<i>Escherichia coli</i>	3,13E+03	1,52E+05	8,73E+05	1,65E+04
<i>Streptococcus/Enterococcus</i> spp.	5,17E+05	3,40E+07	8,07E+07	3,55E+07
<i>Staphylococcus</i> no aureus	3,32E+04	7,50E+05	9,07E+07	1,04E+05
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

*Recuentos expresados en ufc/g. Fuente. Elaboración Propia.

Vaciado de camiones cargados con estiércol procedente de las explotaciones ganaderas en las instalaciones de Olipe.



Formación de los montones de estiércol para su compostaje mediante pala cargadora.



- Transporte mediante cisternas: tanto para el caso de purín líquido ya separado como el purín, más viscoso, en el que no se han separado las dos fases.

Teniendo en cuenta el manejo de la fracción sólida que realizan los ganaderos se planifica una retirada principalmente en los meses de abril a septiembre, meses en los cuales los ganaderos aprovechan las elevadas temperaturas de la zona para la retirada de la cama fría y posterior secado para su uso como cama para próximo año.

En esta actuación OLIFE ha tenido una doble función ya que ha hecho las veces de planta de recepción de residuos y planta de preparación óptima para el transporte (humedad, compactación, etc.) en función del tratamiento al que se vaya a dedicar la partida. En sus instalaciones también se llevaron a cabo pruebas de compostaje. El método utilizado está basado en el volteo de las pilas, uno de los sistemas más sencillos y más económicos, finalizando el compostaje del material orgánico en unos 4-5 meses en función de las condiciones climatológicas en las que se produzca. Durante este tiempo se ha llevado un control exhaustivo de temperatura y humedad para controlar las condiciones del compost.

La planta de compostaje de OLIFE se encuentra en el término de Pozoblanco, parcela SIGPAC 14/54/17/33. La zona destinada a compostaje tiene unas dimensiones de aproximadamente 4.800 m² (39,25m x 123 m). Está diseñada para admitir 5.800 t. de alpeorajo, que pueden transformarse en unas 3.800 t. de compost, aunque en un año medio composta entre 2.500 y 3.000 t. de alpeorajo. Por tanto, esta planta de compostaje ha podido asumir en su totalidad la cantidad generada de subproductos por las granjas adscritas al proyecto SUBPGAN. Es importante el valor de estas plantas intermedias entre el ganadero y el producto ya transformado (compost, vermicompost o pirolisis).

Una de las acciones planteadas en este proyecto para lograr una gestión más adecuada de los subproductos, ha sido el desarrollo de una APP que permite a los responsables de la retirada del producto identificar en un dispositivo electrónico, móvil o tableta, la explotación en la que se retira el producto, la cantidad retirada y el destino previsto (parcela agrícola, compostaje u otro sistema de tratamiento, co-combustión o gasificación-incineración). En el caso de que el destino sea una parcela agrícola podría ser seleccionada de entre las que tiene incluidas la explotación en el PGSG, cumpliendo con la condicionalidad y con los límites máximos de fertilización de nitrógeno permitidos teniendo en cuenta si las parcelas se encuentran en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.

Mediante un sistema de localización GPS y registro *on-line* a tiempo real de los datos de la aplicación directa, dicha aplicación informática registra todos los movimientos y aplicaciones de purín, así como el control de las dosis de nutrientes a la hora de aplicarlo en la parcela agrícola. La aplicación ofrece la posibilidad de completar de forma electrónica el "Plan de Gestión de Subproductos Ganaderos", obligatorio en todas las ganaderías de vacuno de leche intensivo, garantizando la trazabilidad a través de fotografías georreferenciadas en cada una de las retiradas.

De esta manera se espera conseguir dos hitos importantes: por una parte identificar y controlar el destino de los subproductos ganaderos (trazabilidad del subproducto) y por otra parte reducir la posible contaminación por nitratos de los suelos y las aguas al controlar la cantidad total de nitrógeno que se incorpora a las superficies agrarias.

4.3. Actuaciones de la fase 4 : estudio de las distintas posibilidades de manejo y valorización de los subproductos ganaderos

4.3.1. Actuación: "Separación, almacenamiento en bolsas y aplicación directa"

APP SUBPGAN



Esta primera acción tenía como objetivo estimar qué porcentaje de subproductos se puede asumir para aplicación directa en las parcelas agrícolas, así como la temporalización de estas aplicaciones. De esta manera se podrá calcular cuánto "remanente" se cuenta para los demás usos.

Esta acción tiene un importante carácter innovador en el manejo: llevar a cabo una separación de estiércol sólido del líquido en la propia explotación; de modo que el líquido se pueda almacenar en bolsas durante la época de lluvias y gestionar de forma más eficiente. Esto es algo que no se ha hecho habitualmente en esta Comarca.

1) Elección de separadores sólido/líquido para el manejo de los subproductos.

En primer lugar, para el estudio y tratamiento de cada fracción de los subproductos ganaderos, se hace imprescindible la instalación en cada explotación ganadera (mediante compra individual o gestión colectiva) de un separador sólido/líquido. Con este primer sistema de gestión se aumentará la capacidad de gestión de cada fracción, lo que se traduce en un aumento de la capacidad de toma de decisiones para el tratamiento posterior. Además, este proceso implica obtener una fracción líquida clarificada con menor concentración de sólidos y una fracción sólida con menor humedad, también se controlan los malos olores y se reducen las emisiones de gases en las balsas ya que se evitan procesos de descomposición incontrolados.

Los separadores sólido/líquido pueden ser de dos tipos según el principio de funcionamiento: separación física cuando recurren solo a elementos mecánicos y físico-química cuando utilizan también agentes químicos.

Este segundo tipo de separador sólido/líquido basado en la coagulación-floculación se recomienda cuando es necesaria una reducción importante del contenido en nitrógeno y fósforo en la fracción líquida y cuando el coste de transportar el purín es demasiado elevado. Esta técnica presenta unos costes elevados, debido en gran parte al uso de aditivos químicos, estimándose un costo de implantación de 50.000 euros con un coste de aplicación de 0,8 €/t de residuo tratado. Por tanto queda descartada para su utilización en el proyecto.

Dentro de los separadores físicos hay diversos tipos con distintos mecanismos de funcionamiento: por decantación natural, por rejilla, por presión, de filtro prensa, de separación, por filtro de tambor, por centrifugación y por gravedad. En general, a mayor simpleza menor coste pero menor eficiencia, sobre todo a la hora de eliminar humedad y nitrógeno. Para el presente proyecto se ha escogido el método de separación sólido/líquido por presión de prensa de tornillo, ya que parece el más rentable y asequible en cuanto a relación coste/eficacia para los ganaderos. De hecho, este tipo es el que se encuentra instalado en algunas explotaciones de la comarca de Los Pedroches.

Este separador consiste en la utilización de una prensa que ayuda a la salida del líquido a través de ella, dejando el sólido dentro de la prensa. La prensa de tornillo presenta un alto rendimiento con bajos requisitos de potencia y mantenimiento (en comparación con otras técnicas de separación sólido/líquido). Se han estimado unos costes de implantación de este sistema de entre 17.000-21.000 euros, con un coste de aplicación de entre 0,5-0,9 €/t de material de entrada. Esta técnica además es generalmente aplicable para un amplio rango de contenido de materia orgánica de los purines, incluso para el digestato procedente de plantas de biogás. Además, su implantación en las explotaciones ganaderas requiere una leve adaptación de las instalaciones.

Separador sólido/líquido y cisterna de purines al fondo.



2) Almacenamiento de las fases separadas

La fracción sólida se almacenará en suelo impermeabilizado, preferiblemente bajo techado o tapado con geotextil; esto evitará lixiviaciones y diluciones en época de lluvia y favorecerá el aumento de temperatura y la fermentación incipiente del estiércol. Por otro lado, la fracción líquida se almacenará en balsas impermeabilizadas y de ahí se podrán almacenar, a su vez, en cisternas flexibles durante la época de lluvias.

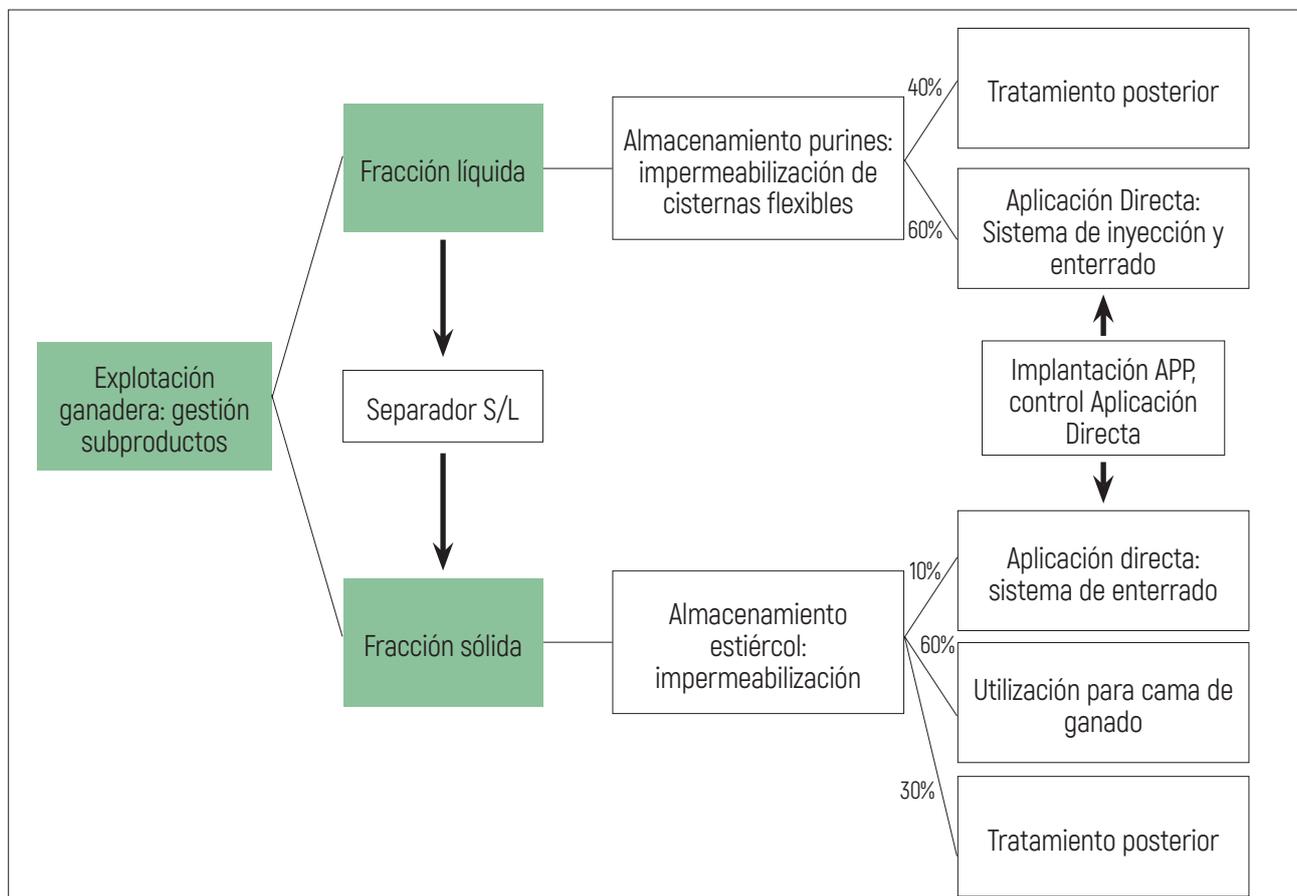
En primer lugar, se dimensionó y calculó el coste para la balsa de fracción líquida y la losa de hormigón sobre la que se depositará la fracción sólida. Para ello se tomó como referencia una explotación con 100 plazas, con una producción de 1.800 t/año de estiércol y 1.400 m³/año de purín. Teniendo en cuenta estos valores estimados, el coste de almacenamiento sería 4,60 €/t. para el estiércol y 6,50 €/m³ para el purín dimensionado para un periodo máximo de almacenamiento de seis meses. Estos costes se aplicarán en la época de lluvias (6 meses al año) debido a la imposibilidad de utilizar los subproductos directamente en parcelas agrícolas, pudiéndose aprovechar para otro tipo de tratamiento,

así como a la limitación legal de almacenar residuos más de seis meses.

Además, para almacenar la fracción líquida, se tendrá en cuenta la instalación de cisternas flexibles, constituidas de poliéster altamente resistente, que están teniendo buena acogida ya que no requieren de permisos de obras ni grandes obras de infraestructura para almacenar líquidos, ya sean aguas, fertilizantes, purines, etc. Las cisternas flexibles presentan una eficiencia de reducción de emisión NH₃ y lixiviación de nitrógeno del 100%. En la comarca de Los Pedroches no se utiliza este sistema de almacenamiento para el purín en las explotaciones de ganadería, no se sabe si por desconocimiento de la técnica o por no disponer de los separadores de sólido/líquido complementarios. Así, para llevar a cabo las experiencias piloto, se gestionó la puesta en marcha de tres cisternas flexibles en tres explotaciones ganaderas adscritas al proyecto.

Considerando una explotación con 80 vacas de media, con una producción de purín de 14 m³/año por vaca, tendríamos una fracción líquida de 1.120 m³/año o 93,3 m³/mes. Por lo tanto, con una cisterna flexible de 100 m³ po-

Figura 2. Propuesta de destino de los distintos subproductos ganaderos generados en las explotaciones de vacuno de leche.



dríamos almacenar la fracción líquida, previa separación de la sólida, para un mes. Por lo que, durante los 6 meses de lluvia, la cisterna flexible debe ser vaciada seis veces, para garantizar que los purines no serán almacenados fuera de ésta, con el consiguiente riesgo de lixiviación. El coste de almacenamiento del purín ascendería a 12,20 €/m³, incluyendo la balsa y la cisterna flexible.

3) Destino de las fases

La gestión inicial de los subproductos ganaderos de vacuno de leche intensivo en la comarca de Los Pedroches debería seguir una serie de pautas que se muestran en la **Figura 2**:

Para poder determinar qué cantidad de purines y estiércol será destinado a cada alternativa, se han realizado los cálculos y estimado sobre la base real de las necesidades de aplicación en campo evitando las pérdidas de lixiviación posibles y ajustándonos al límite legislativo de cantidad de nitrógeno para zonas vulnerables fijado en 170 UFN/ha anuales. Este límite será tenido en cuenta ya que una parte considerable de la zona de estudio está declarada como zona vulnerable al formar parte de la Cuenca del Embalse de La Colada.

En primer lugar, se determinó qué aproximadamente un 60% de la producción total de estiércol se destinará a las camas, solo un 10% será usado para aplicación directa en las parcelas agrícolas (ya que se hace principalmente con el purín) y el 30% restante - que alcanza un total de 259.874 toneladas de estiércol anuales - podrá ser gestionado de forma colectiva en diferentes plantas de tratamiento, por ejemplo de compostaje avanzado.

Para el caso de los purines, se estimó que un 60% irá destinado a aplicación directa en campo, durante la temporada estival y marcando como límite 170 UFN/ha anuales. El 40% restante de los purines - que alcanzan los 269.755 m³ anuales - será destinado a tratamientos posteriores que permitan revalorizar el subproducto por ejemplo, mediante plantas de tratamiento de digestión anaerobia.

La aplicación directa de los subproductos ganaderos en los cultivos es una técnica muy utilizada y de bajo coste. Además, esta práctica permite una simbiosis entre agricultor y ganadero permitiendo una integración de actividades y el desarrollo sostenible, aprovechando al máximo los recursos. No obstante, hay que recordar que

Tabla 6. Coste de transporte de los subproductos ganaderos.

Vehículo	Coste (€/m ³ -ton/km)*
Camión cisterna (30 m ³ carga)	0,062
Camión articulado (25 t carga)	0,055
Tractor con cuba (10 m ³ carga)	0,159
Tractor con remolque esparcidor (16 t carga)	0,087

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 8. Resumen de costes totales.

Tratamiento	Coste
Purín: Separador + balsa + cisterna flexible + MTD tubos colgantes	17,7 €/m ³
Purín: Separador + balsa + cisterna flexible + MTD inyección y enterrado	18,4 €/m ³
Estiércol: Separador + superficie imp + MTD remolque esparcidor y enterrado	9,3 €/t

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 7. Resumen de costes para cada tratamiento elegido.

Tratamiento	Coste
Separador prensa de tornillo	0,70 €/t
Superficie impermeabilizada almacenamiento estiércol	4,60 €/t
Balsa impermeabilizada almacenamiento purín	6,50 €/m ³
Cisterna flexible almacenamiento purín	5,70 €/m ³
MTD sistema tubos colgantes purín	4,80 €/m ³
MTD sistema tubos colgantes purín	5,50 €/m ³
MTD remolque esparcidor y enterrado estiércol	4,00 €/t
Transporte carretera purín a planta tratamiento en camión cisterna (30 m ³ carga)	0,062 €/t/km
Transporte carretera estiércol a planta tratamiento en camión articulado (25 ton carga)	0,055 €/t/km
Transporte purín en tractor con cuba (10 m ³ carga)	0,159 €/t/km
Transporte estiércol en tractor con remolque esparcidor (16 t carga)	0,087 €/t/km

Fuente. Elaboración propia.

la normativa actual prohíbe el esparcimiento mediante sistemas de plato o abanico ni cañones, modalidades ampliamente extendidas, dado que estas modalidades de aplicación directa contribuyen a la emisión de amoníaco a la atmósfera y GEI (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso). Para poder cumplir con la normativa se requiere una adaptación de la maquinaria para que la aplicación directa del purín se efectúe a ras de suelo, en surcos o a pequeñas profundidades, y, tanto purín como estiércol, enterrándolo completamente después de su esparcimiento en tierra. Para ello, se han adaptado las cisternas de purines y los remolques esparcidores de estiércol a las mejores técnicas disponibles (MTD). Concretamente en el caso de la fracción líquida serán el sistema de tubos colgantes (aplicación a ras del suelo) y el sistema de inyección y enterrado (incorpora el purín a profundidades de 1 a 6 cm).

4) Transporte de las fases

Por último, se ha hecho un cálculo del transporte de los subproductos hacia las parcelas agrícolas o hacia las plantas de tratamiento tomando como referencia los datos del Observatorio del transporte de mercancías por carretera (Ministerio de Fomento) en el último informe correspondiente a enero de 2019, los datos del Observatorio de tecnologías probadas, subapartado Material agrícola (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación), así como del documento "Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas" elaborado por miembros del Centro UdL-IRTA, Área de Ingeniería Ambiental de la Agencia de Residuos de Cataluña. Dichos costes según el medio de transporte elegido y su capacidad serán los recogidos en la **Tabla 6**, donde m³ son referidos a la fracción líquida y ton a la fracción sólida:

5) Resumen de costes

Para finalizar, se presenta un resumen de los costes de cada tratamiento en la **Tabla 7**:

Por lo tanto, los costes totales de la gestión inicial de purín y de estiércol, a falta de elegir el medio de transporte adecuado, serán los descritos en la **Tabla 8**.

4.3.2. Actuación: "Compostaje básico"

Esta actuación tuvo como objetivo realizar un ensayo de obtención y uso de compost procedente de explotaciones ganaderas de vacuno de leche de la Comarca de Los Pedroches. La transformación del estiércol en compost permite revalorizar los subproductos que se obtienen de la actividad ganadera en forma de fertilizantes, a la vez que se evita la pérdida de nitrógeno y la subsiguiente contaminación de este elemento en suelo y agua.

1) ¿En qué consiste? ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene?

El compostaje básico está basado en la técnica más simple y estandarizada dentro de estas tecnologías de compostaje. Se trata de un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas, combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C), transforma los residuos orgánicos degradables a través de los procesos metabólicos de microorganismos, en un producto (compost) estable e higienizado, que presenta un importante contenido en materia orgánica y nutrientes y puede ser aplicable como abono o sustrato para las plantas.

Este proceso presenta una serie de ventajas:

- Es el sistema de compostaje más simple y universal.
- No requiere un gran coste en infraestructuras ni maquinaria.
- Se puede realizar en la propia explotación ganadera, sin necesidad de transportar el material hasta una planta de compostaje.
- Presenta una mayor facilidad en el manejo.

Y también varios inconvenientes del compostaje básico:

- No se controlan ciertos parámetros al estar al aire libre, como son el olor, las emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento de humedad y dilución en episodios de precipitaciones.
- Se corre riesgo de lixiviación puntual si se produjese un accidente en periodos lluviosos.
- Si el material no se volteo periódicamente, no estará homogenizado por completo, pudiendo resultar perjudicial en su uso final.
- El tiempo necesario para completar el proceso de compostaje es mayor respecto a otros sistemas.
- El rendimiento en la obtención de compost es menor en comparación con otros tipos de compostaje.
- El volteo con pala cargadora es un proceso lento, que además requiere una mayor superficie ya que es necesario separar las pilas lo suficiente para que la pala pueda moverlas.

2) Normativa aplicable al proceso de compostaje y al producto obtenido.

Estiércol sin compostar.



Como todos los procesos en los que se utilizan los subproductos animales no destinados al consumo humano (SANDACH), el compostaje está regulado por una serie de normativas que son importantes de destacar e indicar los aspectos más reseñables.

- Reglamento(CE) N°1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano. Reglamento (UE) N° 142/2011 de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) N°1069/2009.
- Directiva 97/78/CE del Consejo en cuanto a determinadas muestras y unidades exentas de los controles veterinarios en la frontera.
- 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 en el ámbito nacional español.

3) Proceso de compostaje llevado a cabo en el proyecto.

Para el caso concreto de nuestro estudio, el compostaje básico se llevó a cabo en las instalaciones de la Olivarera Los Pedroches S.C.A. (OLIPE) ubicadas a las afueras de Pozoblanco (paraje Dehesa Boyal; parcela n° 33 del polígono 17 de rústica). Desde 2009 Olivarera Los Pedroches S.C.A. cuenta con una planta de compostaje para la valorización de subproductos de almazara (alpeorujo, aguas de lavado, hojín, etc.) por lo que ha adquirido experiencia en el manejo de materiales húmedos y conocimiento del proceso de maduración para el aprovechamiento del compost como fertilizante.

A continuación se describen de forma resumida los procesos que se han desarrollado.

- **Recepción del material ganadero:** estiércol de vacas de leche con mezcla de paja de las camas. Los camiones vienen cargados con pesos máximos de 23 toneladas; para fijar datos se considera una media de 20 toneladas por viaje. Se estima un total de 280 toneladas de estiércol de vaca que se dividió en tres lotes. El primer lote (40 toneladas) se mezcló con alpeorujo. Este material contiene una humedad excesiva y una elevada relación C/N; al mezclarlo con el estiércol aprovechamos los altos contenidos en N y K del primero y el carácter como estructurante del segundo. El segundo lote (unas 100 toneladas) se gestionó para compostarse en pilas dinámicas. De este lote se cogió parte para hacer una prueba de colmatación con purín. Se pretendía ver si el estiércol era capaz de absorber o soportar determinadas cantidades de purín para estudiarla posibilidad de enriquecer a la vez que se valorizan los purines. Los resultados obtenidos no arrojaron diferencias significativas en cuanto a las características finales del compost (mayor humedad y limitado aporte de nutrientes) no compensaban los mayores costes de manejo que implicaba añadir purín (transporte del mismo, mayor necesidad de volteo y mezcla de materiales e incluso más espacio). Por tanto, se determinó que no es factible desde un punto de vista práctico. El tercer lote (unas 140 toneladas) se gestionó para compostarse en pilas dinámicas.

- **Mezcla y amontonado:** para que el proceso de compostaje sea lo más eficiente posible el estiércol se mezcla para homogeneizar el material a compostar, ya que puede que venga alguna parte con más paja y otras con más estiércol. Una vez hecho lo disponemos en montones.

- **Formación de pilas en la solera:** se obtuvieron tres pilas dinámicas. Mientras que la longitud depende de la cantidad de material del lote, la anchura y la altura son constantes. Así, las pilas tienen unos 2-2,5 m de ancho (el ancho de pala que se utili-

Proceso de carga del estiércol en la explotación.



za para volteos y manejo) y una altura de 1,5 m, no superando los 2 m. Estas medidas conforman una pila con unas proporciones óptimas para que se efectúe la fermentación, entre aire por los poros, las bacterias puedan respirar y no haya una excesiva presión de materiales. Conforme se han ido volteando los materiales y tras las pérdidas de humedad, principalmente, las pilas van reduciendo su tamaño en longitud, pero siempre se respeta la altura y la anchura.

- **Volteos periódicos:** la pila se deja descomponer y se comprueba la temperatura periódicamente. Debido a la actividad de los microorganismos la temperatura en el interior de las pilas aumenta rápidamente hasta alcanzar los 60-75 °C, que permiten conseguir una esterilización del compost, para posteriormente ir descendiendo suavemente hasta los 40 °C. Es importante voltear con la ayuda de una pala cargadora periódicamente cuando la temperatura descienda, para que el material se recargue de oxígeno. Esta etapa puede durar entre 2 y 3 meses y en ella el volumen se reduce en un 40-50% aproximadamente. Cuando la temperatura no suba, se pasará a la fase de maduración. Durante este tiempo se reduce el número de volteos y esta etapa puede durar de 3 a 4 meses. La duración de este proceso es muy variable; depende de diversos factores (relación C/N, humedad, volteos, climatología, etc.)
- **Toma de datos y toma de muestras:** permiten seguir el comportamiento de este material (temperatura, humedad, nivel de CO₂ y se hace cada 2-3 días dependiendo del momento. Al mover la pila y cambiarla de sitio (al lugar adyacente normalmente) la entrada de aire y el reajuste de las partículas del material regula la temperatura y la humedad por sí misma.
- **Análisis y selección de lotes de compost:** La toma de muestras para análisis completo se hace al inicio del proceso para tipificar el material de partida y al final del proceso para ver, una vez maduro, cómo ha quedado en los parámetros interesantes desde el punto de vista de la fertilización. Para ello en la planta de compostaje de OLIPE se dispone de un protocolo de toma de muestras para que la analítica sea lo más fiable posible.

4) Análisis de los resultados obtenidos.

Una vez obtenida la analítica se procede a compararla con la normativa (R.D. 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes y el Real Decreto 999/2017) que incluye los valores y requisitos de las enmiendas orgánicas obtenidas en diversos procesos de compos-

Toma de temperatura de la pila de compost.



taje (mantillo, compost vegetal, alperujo, vermicompost, etc.). Se analizará si el producto obtenido cumple con la normativa vigente y, en ese caso, la posibilidad de comercializarlo. (Tablas 9 y 10)

Se observa que los productos resultantes son bastante parecidos al final del proceso, salvo algún parámetro que tiene su clara justificación. En cuanto al pH, los resultados son similares, ya que los materiales en este aspecto se comportan de igual manera y son valores óptimos. En cuanto a los macroelementos (N, P y K) no hay grandes variaciones; el nitrógeno en sus diferentes formas es similar y los niveles son adecuados para un compost de calidad (alrededor de 1% N total), al que ocurre con los fosfatos y el potasio. Los niveles más altos de carbonatos se deben a su elevado contenido en lignina (sobre todo por los restos de hueso de aceituna) como elemento más diferenciador.

En cuanto a microelementos, hay ciertas variables a favor del lote 3 en cuanto a contenido de Fe y Co, como en Ca a favor del lote 2 y en Cu y Hg a favor del lote 1 con alperujo. En el primer y segundo caso puede ser debido al material de partida, en el caso del Cu y Hg es por los contenidos normales de este elemento en el alperujo.

Uno de los objetivos del compostaje es preparar un material que reúna las características necesarias para continuar con un proceso de vermicompostaje, que tendrá lugar en las instalaciones de TECOMSA (Almería), a donde se enviaron varias remesas en distintos momentos. Las muestras a media descomposición dan resultados similares. Aún no se ha descompuesto toda la materia orgánica, siendo los resultados de nitrógeno por debajo de 1%. El pH está cercano a la neutralidad, todavía no ha evolucionado a niveles básicos y la humedad es mayor que en un producto terminado. Estas características de semi descomposición son las más óptimas para aplicar lombrices y que estas terminen el proceso de descomposición a través de su digestión. **Tabla 11.**

Tabla 9. Resultados de analítica de lotes de compost terminado.

Muestra	Humedad	pH	Cenizas	Fósforo	Fosfatos	Carbono orgánico	Carbonatos totales	Nitrógeno Amoniacal	Nitrógeno ureico	Nitrógeno total	Nitrógeno ureico	Nitrógeno nítrico	Nitrógeno amoniacal	Nitrógeno no proteico
	%		% smf	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	%	%	%
Lote 1	8,5	8,38	69,8	1066	720,1	12,1	2,5	79	9614	1	0,96	0,03	0,02	1
Lote 2	10,7	8,84	66,5	1798	825,4	11	<0,1	107	9946	1,09	1,03	0,03	0,03	1,09
Lote 3	5,4	8,34	74,3	1178	425,5	10,2	<0,1	109	10891	0,98	0,93	0,03	0,02	0,98

Tabla 10. Resultados de analítica de metales de lotes de compost terminado.

Muestra	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Se	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg						
Lote 1	2086	24,84	25,24	26020	0,41	3,26	2,21	11960	1,74	19410	6470	280,86	2440	9,17	3210	61,23	2690	0,51	155,01
Lote 2	2279	23,54	23,99	33460	0,43	3,48	0,48	11850	0,46	22330	7500	303,2	3080	8,13	3840	153,39	3130	0,56	184,97
Lote 3	2395	23,5	28,51	14220	0,47	5,19	< 0.05	18800	0,3	20570	7990	299,7	1450	17,25	2560	17,48	1790	0,66	109,65

Tabla 11. Resultados de analítica de lotes de compost intermedio.

Muestra	Humedad	pH	Cenizas	Fósforo	Carbono orgánico	Carbonatos totales	Nitrógeno Amoniacal	Nitrógeno total	Ca	K	Na	P
	%		% smf	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Lote 1	26,7	7,64	82,7	1900	2,6	235	390	0,83	12000	11600	1300	2900
Lote 2	36,1	7,59	70,8	2000	2,95	226	<200	0,76	12700	13500	4100	3600

5) Coste económico y rendimiento

Una aproximación al coste económico en la planta de compostaje OLIFE, sin aireación (compostaje básico) nos indica que el coste de tratamiento del compostaje básico para el estiércol de vacuno de leche sería de 0,36 €/t. Por lo tanto, en el caso del compostaje básico existe un punto de equilibrio entre beneficios y pérdidas. La mejora en la rentabilidad dependerá de la gestión tanto en las compras como en las ventas realizadas en la planta de compostaje.

4.3.3. Actuación: "Compostaje avanzado. Cobertura de las pilas y aireación forzada".

Esta acción y las siguientes tratarán de analizar nuevas técnicas de tratamiento disponibles para tratar el excedente de residuos ganaderos generados por las explotaciones de vacuno de leche de la comarca de los Pedroches.

En concreto, en esta actuación se planificó un tratamiento de compostaje avanzado consistente en cubrir las pilas de material y someterlas a aireación forzada mediante aplicación de aire por turbinas y tuberías (encargadas de aplicar oxígeno y regular la temperatura y la humedad). También se estudió la viabilidad de aplicar en las ganaderías otro tipo de compostaje avanzado, el compostaje vertical o VCU (*Vertical Composting Unit*).

El desarrollo de sistemas de compostaje avanzado deriva en las necesidades de control de la temperatura y humedad en determinados materiales a compostar, pero no es el caso de los subproductos ganaderos en esta comarca. El material, estiércol de vaca de leche, no es difícil y tiene unos contenidos de humedad en torno al 30-40%, adecuado para iniciar el proceso de compostaje. Además, en el norte de Córdoba, en primavera y verano hay temperatura suficiente para controlar la humedad de las pilas (incluso puede llegar a ser necesario aplicar agua). Por otro lado, poner en práctica esta técnica implicaría hacer obras en las soleras para incorporar tuberías y mangueras de aire que quedarían fijas lo que ocasionaría gastos añadidos. Unos gastos que *a priori* no iban a aportar valor, ya que este tipo de proceso técnicamente no aporta una diferenciación clara, si acaso adelanta el proceso de compostaje.

Respecto a la opción VCU, se estimó que podría tener cierta aplicación en determinadas ganaderías para su uso a nivel individual, pero no de cara a integrarse en un sistema colectivo de compostaje. Se mencionará más adelante en las conclusiones.

4.3.4. Actuación: "Compostaje avanzado. Vermicompostaje".

En esta acción se ha realizado un tratamiento piloto de vermicompostaje o compostaje de lombrices para

residuos de vacuno de leche. Se trata de un proceso de biooxidación y estabilización de residuos orgánicos, llevado a cabo por la acción combinada de lombrices epigeas y microorganismos, por el que se obtiene un producto denominado vermicompost o humus de lombriz. Esta práctica de biotransformación aprovecha la acción de las lombrices, que aceleran la descomposición y humificación de la materia orgánica de forma directa (alimentación detritívora) e indirecta (estímulo de la actividad microbiana).

1) Papel de Tecomsa. Acción conjunta para aprovechar los residuos en Almería.

En el ensayo se probaron diferentes porcentajes de mezcla de dos tipos de compost (vegetal y orgánico), en diferentes proporciones, para obtener un producto óptimo para el desarrollo de la lombriz, de manera que se pudiera obtener un subproducto demandado por la agricultura, especialmente por la almeriense. Para ello se recurrió a una parcela ubicada en las instalaciones de Tecomsa en Tabernas (Almería), donde se preparó una zona de aproximadamente unos 6.000 m².

2) Preparación del material a compostar

La ejecución de esta fase se realizó durante los meses de mayo a julio del 2018. El objetivo era someter los restos vegetales a un proceso previo de compostaje antes llevar a cabo el proceso de vermicompostaje.

Para los restos vegetales procedentes de las explotaciones agrícolas de la zona se habilitó una zona para llevar a cabo un compostaje previo. Una vez recibidos en la planta recibían un tratamiento de limpieza y molienda, destinado a asegurar la ausencia de materiales extraños no biodegradables, y un tamaño de partícula (no superior a 5 cm) que permitiera un desarrollo adecuado al proceso de compostaje. Se llevó a cabo entonces un proceso de

Lombriz roja de California utilizada en los procesos de compostaje.



Montones de estiércol vegetal dispuestos para la mezcla.



compostaje básico similar al que recibió el estiércol de vaca en las instalaciones de OLIPE (Córdoba).

3) Proceso de vermicompostaje

La ejecución del proceso del vermicompostaje, se realizó durante los meses de agosto de 2018 a junio de 2019.

Para ello se utilizó lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) una de las especies más desarrolladas para este cometido por su eficiencia a la hora de reciclar los residuos orgánicos, por su capacidad de adaptación al medio y por generar un producto de calidad.

Tras llevar a cabo una prueba de supervivencia previa para determinar si el sustrato se encuentra en condiciones óptimas para las lombrices, que resultó positiva, se procedió a la alimentación de las camas o cunas de vermicompostaje mezclando el compost vegetal con el compost de estiércol de vaca. Se obtuvieron tres pilas de 100 m de longitud, 2,5 m de anchura y 0,40 m de altura. Un punto clave para el desarrollo óptimo del proceso es mantener la humedad cercana al 80%. Para ello se utilizó un sistema automático de riego, que distribuye el

Lecho de vermicompostaje.



Tabla 12. Análisis de los productos obtenidos en el proceso de vermicompostaje.

	ORIGEN COMPOST			
	100% Vegetal	100% Estiércol	50% Vegetal-50% Estiércol	Unidades
PARÁMETROS GENERALES				
pH (1:25)	8,06	7,33	7,81	
Conductividad (1:25)	1,05	1,08	0,89	mmhos/cm.
Humedad	21,40	26,00	23,30	%
Materia Seca	-78,60	74,00	76,70	%
Materia Orgánica	16,70	16,80	14,70	%
Cenizas	83,30	83,20	85,30	%
Nitrógeno Total	1,44	1,12	1,19	% pp
Relación C/N	6,70	8,70	7,20	
MACRONUTRIENTES				
Fósforo	1,41	0,75	0,99	% pp
Potasio	0,49	0,24	0,19	% pp
Calcio	10,86	3,84	8,37	% pp
Magnesio	2,11	0,82	1,13	% pp
Sodio	0,40	0,08	0,08	% pp
Sulfatos	1,56	1,88	1,88	% pp
Cloruros	0,67	0,33	0,33	% pp
MICRONUTRIENTES				
Boro	47,50	25,00	8,00	mg/kg
Hierro	5.904,50	4.005,50	4.920,00	mg/kg
Manganeso	260,00	225,00	252,50	mg/kg
Molibdeno	15,00	0,70	1,00	mg/kg
METALES PESADOS				
Humedad	21,40	26,00	23,30	%
Materia Seca	78,60	74,00	76,70	%
Cadmio	0,25	0,15	0,20	mg/kg
Cobre	365,00	52,00	135,00	mg/kg
Cromo	6,00	6,50	6,00	mg/kg
Mercurio	<0,20	<0,20	<0,20	mg/kg
Níquel	6,00	2,80	4,40	mg/kg
Plomo	45,00	12,00	13,50	mg/kg
Zinc	152,00	105,00	125,00	mg/kg
EXTRACTO HUMICO TOTAL Y ÁCIDOS HÚMICOS				
Extracto Húmico Total	13,40	36,30	10,80	%
Acidos Húmicos	4,70	2,70	2,00	%
Acidos Fúlvicos	8,70	33,60	8,80	%

agua homogéneamente por toda la superficie de la cuna a través de microaspersores.

La cosecha o recogida de humus y lombrices se realiza cada 4 meses aproximadamente. El momento adecuado se determina cuando el material se vuelve grumoso, homogéneo y de coloración parda o cuando la población de lombrices se ha duplicado o triplicado. Para la retirada del material se coloca sobre el lecho o cuna una capa de 3-5 cm de material fresco (estiércol o material pre-compostado) y se moja la superficie para atraer a las lombrices hacia este y de esta manera atraer a un gran número de lombrices a la superficie del lecho y facilitar su extracción del material. Al cabo de unas 72 horas se comprueba que hay suficientes lombrices en la superficie y se retira con una horquilla unos 6-7 cm de material. Este procedimiento se repite unas dos o tres veces más para retirar la mayoría de las lombrices, hasta que el contenido de lombrices que quede sea inferior al 5%.

Una vez separadas las lombrices, el humus se orea, (para que la humedad no supere el 40%), se criba para eliminar posibles restos no transformados y restos de material inerte (piedras y plásticos) y se empaqueta. Antes de la comercialización es conveniente verificar la calidad del material producido, para evitar posibles riesgos de elementos tóxicos y garantizar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. **Tabla 12.**

4) Coste del proceso de vermicompostaje y posibilidades de comercialización.

El principal aprovechamiento del vermicompost es su uso en agricultura como enmienda orgánica, abono orgánico o sustrato para cultivos sin suelo y producción vegetal en invernaderos.

Para la comercialización del vermicompost, tanto como abono como para sustrato es necesario cumplir con lo dispuesto en la normativa mencionada en apartados anteriores. Los contenidos totales de elementos del vermicompost obtenido en este estudio se consideran dentro del ámbito normal para este tipo de materiales. Poseen valores de pH característicos de abonos orgánicos estabilizados y maduros.

El coste de tratamiento del compostaje básico para el estiércol de vacuno de leche sería de **1,40 €/t**. A pesar de ser un valor bajo, los ingresos de la venta del vermicompost no superan los costes del total del tratamiento, por lo que no sería viable económicamente.

4.3.5. Actuación: "Catálisis enzimática".

Algunos productos, y también subproductos agrícolas y ganaderos pueden tratarse para obtener bioetanol.

Saco de vermicompostaje.



Entre los subproductos o residuos agrícolas, destaca la biomasa lignocelulósica, rica en polímeros de celulosa y hemicelulosa. Estos son difíciles de degradar aunque es posible conseguirlo mediante procesos químicos, físicos y/o biológicos. Estos procesos permiten desdoblar estas moléculas para convertirlas en azúcares monosacáridos y posteriormente convertirlas en etanol. Entre los métodos disponibles está la hidrólisis enzimática; un método específico realizado en condiciones relativamente suaves, que permite rendimientos de hidrólisis superiores a los obtenidos por vía química. De todas maneras, el pretratamiento es una etapa crítica y poco consolidada a nivel industrial.

En el marco de este proyecto se realizaron dos ensayos para el tratamiento previo del material lignocelulósico. En el primero se mezcló estiércol seco con purín, y en el segundo solo se utilizó estiércol seco. En ambos casos el material procedía de las explotaciones ganaderas objeto de estudio. Para la realización del ensayo se dispuso de una máquina trituradora-mezcladora de la marca Seko, modelo Samurai 5.

Tras el ensayo se encontraron dos inconvenientes principales: en primer lugar es necesaria una gran cantidad de estiércol deshidratado para alcanzar una humedad adecuada en la mezcla, lo cual no contribuye a solucionar el problema de los subproductos ganaderos, que como ya hemos comentado en numerosas ocasiones es la generación de purín y no de estiércol. Con la máquina trituradora se obtuvo una mezcla de material homogénea desde

Ensayo de catálisis enzimática con material húmedo (estiércol + purín).



Ensayo de catálisis enzimática con estiércol seco.



el punto de vista físico, sin embargo el estado pastoso que presentaba no es *a priori* una condición adecuada para que las enzimas degraden el material lignocelulósico.

Por otra parte, tras los ensayos con el estiércol seco, se pudo conseguir un tamaño de partícula lo suficientemente pequeño para que resulte eficaz el proceso de catálisis enzimática. Sin embargo, el porcentaje de fibras aprovechable para este proceso obtenida tras los análisis es muy bajo si lo comparamos con el porcentaje medio de la paja de cereal o de otros cultivos herbáceos o con los porcentajes que presentan los estiércoles en otros estudios. Es decir, menos de la mitad del estiércol será aprovechado durante la hidrólisis.

A la vista de los resultados se concluye que la catálisis enzimática no es actualmente una alternativa técnicamente viable, a pesar de que se contaba con la maquinaria adecuada para la realización del pretratamiento físico. Las mezclas resultantes en los ensayos no tenían las características adecuadas (homogeneidad en pH, temperatura, humedad, etc.) ni la cantidad suficiente de celulosas, hemicelulosas y lignina como para que las enzimas puedan funcionar correctamente. Sería necesaria una completa caracterización de los estiércoles de cada una de las explotaciones ubicadas en la comarca de los Pedroches para conocer el porcentaje de los compuestos de interés. Por otro lado, es necesario realizar una batería de ensayos a escala de laboratorio con las diferentes enzimas comerciales y con muestras de estiércol y purín generado en las explotaciones de la comarca de los Pedroches. Dicho estudio, que podría ser objeto de una tesis doctoral, sería necesario para comprobar si realmente resulta viable el tratamiento de los subproductos ganaderos con enzimas.

4.3.6. Actuación: "Pirolisis"

El objetivo de esta actuación ha sido llevar a cabo un ensayo piloto de pirólisis de purín de vaca para producir

biochar, con el fin de comprobar su verdadero rendimiento y resultados en las distintas fases.

El biochar es un derivado carbonado estable producido a partir de biomasa vegetal y/o animal bajo condiciones térmicas reductoras. Existen dos procesos de conversión termoquímica de la biomasa -pirólisis y biochar -que se fundamentan en someter a la biomasa a calentamientos a diferentes temperaturas y tiempos en ausencia de oxígeno. En función del proceso y de las condiciones de operación, además, se pueden obtener otros co-productos en fase líquida y gaseosa tales como aceites ("bio-oil") y gases ("syngas") los cuales también son susceptibles de ser aprovechados y valorizados para rentabilizar la inversión.

El biochar, en general, puede ser utilizado en una gran variedad de aplicaciones: como sustrato retenedor de agua, como fertilizante rico en materia orgánica, para alimentación animal, etc. Sin embargo, dado que su versatilidad depende del contenido en C fijo, en el caso del biochar obtenido a partir de purín de vacuno es bajo, por debajo del 30%, por lo que las principales aplicaciones se reducen a las siguientes:

- Como biocombustible sólido densificado en forma de pellets o briquetas.
- Como fertilizante para usos agrícolas.
- Como cama de ganado por su poder absorbente.

Los precios de venta van a variar en función de la aplicación final del biochar, la cual, a su vez, dependerá de sus propiedades físico-químicas. Además, dadas las características del estiércol de ganado vacuno, es necesario someter a este tipo de biomasa residual a uno o varios procesos de pre-tratamiento físico, que incrementan los costes (nuevas inversiones, mayores consumos energé-

ticos, etc.) e influyen en la viabilidad económica de la inversión a realizar.

El elevado coste de las inversiones a acometer y los ingresos que se obtienen por la venta de los productos resultantes de la pirolisis, tan solo hacen aconsejable esta alternativa en aquellos casos en los que un elevado coste en el consumo de energía eléctrica pueda transformarse en ahorro mediante la implantación de este sistema.

4.3.7. Actuación: "Análisis de la alternativa de tratamiento del estiércol, digestión anaerobia y producción de biometano".

En ella ha analizado la posible instalación de una o varias plantas de biogás para el aprovechamiento de los subproductos ganaderos de vacuno de leche en la comarca de Los Pedroches. Este sistema permite mediante un proceso de biometanización o digestión anaerobia, la obtención de biogás que puede ser utilizado *a posteriori* para la generación de energía eléctrica, energía térmica o biometano. Además de los subproductos ganaderos, se analizarán otras materias primas de la zona que puedan ser utilizadas para realizar una co-digestión. Con ello no solo se aumenta el rendimiento del proceso, sino que además se reduce el impacto de otras actividades sobre el medio ambiente. Para la realización de este estudio se contó con el asesoramiento de Anaergia, una de las empresas con más experiencia en este sector en todo el mundo.

El biogás obtenido se podría almacenar en gasómetros para ser valorizado posteriormente en calderas, motores de cogeneración, vehículos, red de transporte de gas natural o en pilas de combustible. Por otro lado, el digestato obtenido comparado con el purín original, es un material de composición homogénea, en el que se han reducido los malos olores, bastante estable, con gran carga de nutrientes que apenas emite GEI a la atmósfera. El digestato puede ser utilizado como fertilizante para los cultivos, directamente o tras ser sometido a un proceso de separación sólido-líquido.

1) Características, ventajas e inconvenientes de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es el proceso mediante el cual la materia orgánica se transforma en condiciones de anoxia (ausencia de oxígeno) gracias a microorganismos anaerobios dando como resultado un biogás, compuesto mayoritariamente por metano y dióxido de carbono, y una masa sólida o líquida tratada de material, denominada digestato. Este tratamiento es una buena alternativa para la

fracción líquida de los subproductos ganaderos, pero tiene como gran inconveniente su elevado coste económico.

La composición del biogás, que depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada, generalmente es la siguiente: 50-70% de metano, 30-40% de dióxido de carbono y ≤5% de hidrógeno, ácido sulfhídrico y otros gases. Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Sin embargo, el purín de vaca presenta una biodegradabilidad baja debido a la presencia de materiales fibrosos (celulosa, hemicelulosa y lignina), una baja relación C/N, variabilidad temporal, heterogeneidad en la composición y alto contenido en agua, que disminuyen la producción de biogás. En concreto, **del purín de vacuno se puede obtener un rendimiento que oscila entre 55-75% de metano en el biogás.**

Las ventajas de esta técnica de tratamiento de residuos orgánicos son:

- El biogás, al tener un alto poder calorífico, se puede utilizar en la propia instalación para generar electricidad y/o calor con el consiguiente beneficio económico.
- El biogás es un biocombustible y, por tanto, forma parte de la energía renovable que repercutirá en el cumplimiento de los objetivos del Protocolo de Kyoto y en los objetivos europeos de producción de energía renovable. Además, abre la vía a conseguir subvenciones para innovación, demostración e inversión en instalaciones de biometanización.
- La materia orgánica resultante final (el digestato) está bastante estabilizada.
- Los digestores trabajan dentro de un rango de humedad que se acerca al de la mayoría de los materiales orgánicos aptos para su biodegradación.
- Se puede hacer el proceso con varios subproductos a la vez (co-digestión), lo cual reduciría la cantidad de subproductos a gestionar.
- Reduce los problemas de olores.
- Reduce el consumo de combustibles fósiles.
- Reduce la emisión de metano generada por otras alternativas de tratamiento.

Por otro lado, también presenta una serie de inconvenientes, que son:

- Dificultad para mantener la estabilidad del proceso.
- Es muy sensible a tóxicos inhibidores.
- La puesta a punto del sistema requiere largos periodos.
- En muchos casos, se requiere de grandes capacidades de tratamiento para lograr un mejor control del proceso y buen funcionamiento.

Generalmente, requiere de una elevada inversión inicial en obra civil y equipos.

2) Posibilidades de la co-digestión anaerobia

Una vez estudiado el proceso de este tratamiento anaerobio y las características de los productos obtenidos, se llegó a la conclusión de que **sería necesario implantar un sistema de co-digestión anaerobia del purín junto con otro tipo de residuo, con el objetivo de aumentar el rendimiento del proceso, obteniendo un biogás con una mayor riqueza en metano.**

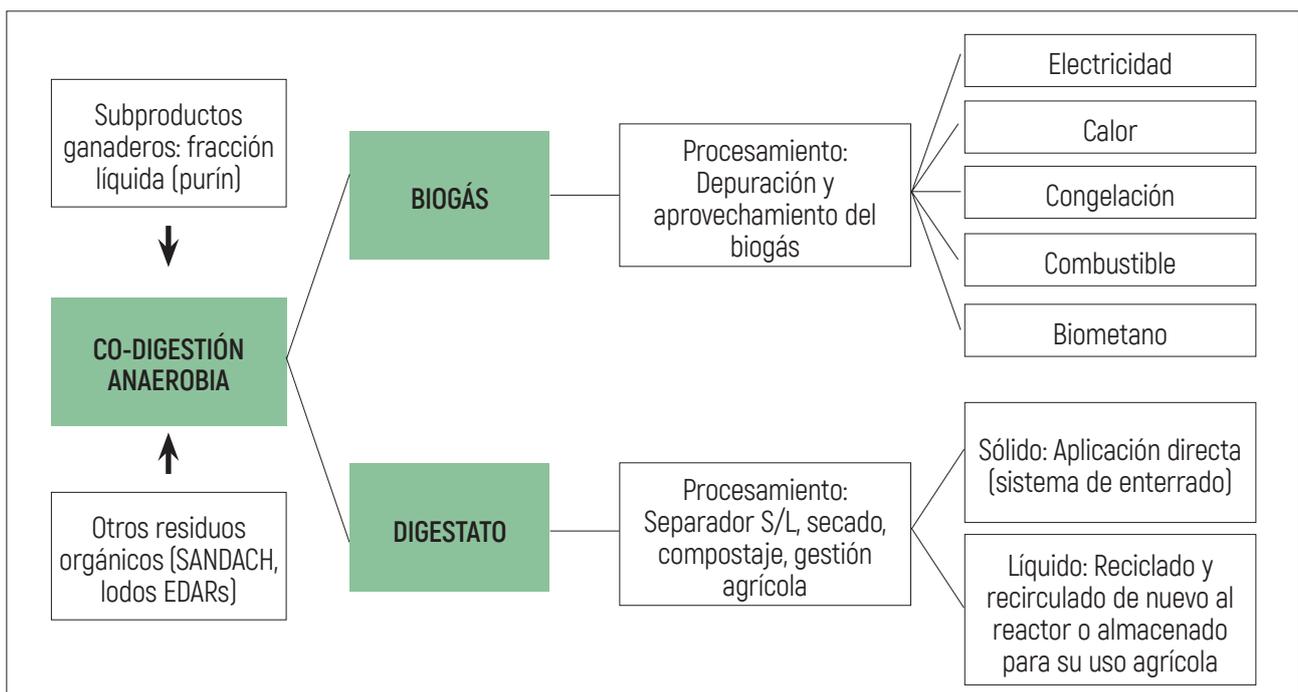
Por esta razón, la opción más viable que se propone para este proyecto es la co-digestión anaerobia de dos o más sustratos de diferente origen. De esta manera se aprovecha la complementariedad de la composición de los diferentes residuos que posibilitan un mejor rendimiento de biogás, aumentando la relación C/N, y obteniendo perfiles de proceso más eficaces. Igualmente, se

pueden compartir instalaciones de tratamiento, unificar metodologías de gestión, reducir costes de inversión y explotación, así como amortiguar las variaciones temporales en composición y producción de cada residuo por separado

Un buen ejemplo es la co-digestión de deyecciones ganaderas y residuos alimentarios o lodos de EDARs. Los residuos ganaderos tienen una baja concentración de materia orgánica y una baja relación C/N, pero presentan una concentración elevada de micro y macronutrientes (necesarios para los microorganismos anaerobios) así como capacidad tampón (alcalinidad) fundamental para evitar procesos de acidificación. Por otro lado, los residuos alimentarios y lodos de EDARs son ricos en carbohidratos, proteínas y grasas y suelen tener una alta proporción de materia orgánica biodegradable y una alta relación C/N, pero su digestión anaerobia se ve afectada negativamente por la ausencia de micronutrientes y también por problemas de acidificación. Por esta razón la mezcla de ambos residuos da lugar a procesos más estabilizados, lo que se traduce en un aumento en la producción de biogás.

La co-digestión anaerobia permite integrar la valorización de los residuos orgánicos de una zona geográfica determinada, obteniendo una fuente de energía renovable y un subproducto aplicable en agricultura como fertilizante orgánico más estable y esterilizado que el purín líquido. Se trata por tanto de un reciclaje integral

Figura 3. Esquema general co-digestión anaerobia.



que reduce el impacto ambiental y socio sanitario de estos residuos.

En este modelo va a prevalecer la idea de un tratamiento en instalaciones centralizadas frente a un tratamiento en instalaciones individualizadas dentro de cada explotación. Las ventajas de las instalaciones centralizadas serán la reducción de costes por aplicación de una economía de escala, facilita el acceso a mejores infraestructuras y tecnologías, facilita y optimiza el control medioambiental, generación de una actividad económica en la zona rural donde se desarrolle el proyecto y se favorece la creación de una conciencia colectiva que desemboca en una gestión responsable del residuo.

3) Aplicación de la digestión anaerobia al caso de estudio:

Existen entre dos o tres zonas potenciales para el planteamiento de una instalación de co-digestión anaerobia en la Comarca de los Pedroches para que abarquen las dos zonas claramente separadas de las explotaciones y se cubra el mayor rango de explotaciones posibles:

- Municipio de Belalcázar: co-digestión de purines del vacuno de leche intensivo y lodos de la EDAR del municipio.
- Municipio de Dos Torres: co-digestión con purines del vacuno de leche intensivo y los lodos de la EDAR de los municipios de Añora y Dos Torres.
- Municipio de Pozoblanco: co-digestión con purines del vacuno de leche intensivo, los lodos de la EDAR municipal de Pozoblanco y residuos de industrias agroalimentarias del municipio.

Para el caso de las dos primeras situaciones, se podría plantear la posibilidad de almacenar el biogás obtenido en gasómetros para ser trasladado a posteriori a plantas que utilizan actualmente gas natural y que se encuentran radicadas en el municipio de Pozoblanco. De igual modo, la planta de co-digestión anaerobia situada en Pozoblanco, se ubicaría lo más cerca posible de estas empresas que actualmente utilizan gas natural, con el fin de favorecer una inyección directa del biometano generado a su línea de energía.

Los residuos disponibles para el proyecto son los siguientes:

- 80.000 m³/año de purín de vaca (valor obtenido tras considerar valores medios de la producción de purines para una distancia de influencia de 10 km en cada uno de los 3 focos de producción)

- 4.500 t./lodos EDARs y residuos SANDACH procedentes de la industria agroalimentaria.

El diseño básico para una planta de digestión adaptada a las características de este proyecto SUBPGAN incluye:

- 1 tanque de recepción, volumen neto 275 m³.
- 1 digester primario, volumen neto 3.800 m³.
- 1 digester secundario, volumen neto 3.800 m³.

4) Estudio económico

Por todo esto, se hace imprescindible para este proyecto el planteamiento de instalaciones de digestión anaerobia para el tratamiento de subproductos ganaderos como innovación y el posterior aprovechamiento del biogás como recurso económico y energético para energía eléctrica, calor y/o biocombustible. De la forma planteada como co-digestión anaerobia se revalorizarían los subproductos ganaderos de la zona (purines de vacuno de leche intensivo), los subproductos de la industria agroalimentaria y los lodos de las EDARs, así como se contribuiría a cumplir los objetivos energéticos europeos para el horizonte 2030.

A continuación, se proporcionan datos de los costes de inversión y operación de cada una de ellas que permiten evidenciar lo expuesto.

- Una instalación capaz de procesar en torno a 80.000 t/año, que generaría una producción eléctrica al año de 1 MW tiene un coste de inversión en torno a 3.400.000 € en el caso de digestión anaerobia de dos etapas. En el caso de digestores concéntricos la inversión se reduce hasta un 10%. En el caso de *up-grading* del biogás la instalación se encarece alrededor de 1.000.000 € más llegando hasta los 4.400.000 €.
- Hay que considerar, en el caso de generación eléctrica, que el 10% de la misma está dedicada a consumo interno del proceso. Igualmente, la energía térmica producida se destinará en un 25% a autoconsumo.
- La mano de obra necesaria para este tipo de instalación se cubre con dos operarios con la formación adecuada, pudiendo ser el coste de mantenimiento de la misma (aprox. 30.000€/año). El motor CHP precisa un mantenimiento por valor de 80.000 a 90.000 €/año.

Considerando todos los aspectos descritos anteriormente y la peculiaridad del proyecto SUBPGAN y a fin de garantizar una correcta gestión de los residuos, aplicando la mejor tecnología disponible (Biogás *Up-Grading*)

Caracterización en laboratorio del vermicompost líquido.



coherente con un desarrollo económico y ambiental de la comarca, se concluyó que la conversión de residuos en energía mediante la digestión anaerobia permite cumplir prácticamente todos los objetivos planteados.

4.4. Actuaciones de la Fase 5

La Fase 5 ha consistido en un estudio de mercado para evaluar la posibilidad de comercialización del vermicompost obtenido en las instalaciones de Tecomsa. Para ello se cuenta con la experiencia, recursos y red comercial de Tecomsa, que a su vez cuenta con la colaboración de dos cooperativas agrarias de segundo grado, UnicaGroup y SUCA con las que está vinculada esta empresa. Con su apoyo se estudiaron las características de los productos que se demandan en el sector hortícola intensivos bajo invernadero.

La investigación se ha dividido a su vez en tres bloques: Calidades y mercados de los productos finales, comercialización y calidad comercial de los productos obtenidos, que resumiremos a continuación en este capítulo.

1) Objetivos

El estudio ha fijado una serie de objetivos de conocimiento del mercado que permitan identificar mejor a los clientes potenciales.

- Conocer la frecuencia de consumo de este tipo de fertilizante
- Conocer los requerimientos de los agricultores
- Conocer los precios del vermicompost en el mercado
- Conocer los canales de distribución más utilizados para la comercialización de este abono.
- Determinar el nivel de aceptación del vermicompost.

- Determinar con mayor precisión la cantidad potencial de posibles clientes.

En este punto cabe recordar que tras los análisis realizados al vermicompost obtenido por TECOMSA se puede afirmar que se dispone de un producto acorde a la normativa aplicable (como fertilizante y como sustrato) y de una calidad media.

2) Evaluación del producto

El siguiente paso consistió en realizar una evaluación agronómica de los productos resultantes en los distintos tratamientos de cara a su utilización como enmienda orgánica en cultivos intensivos bajo invernadero. Dicha valoración se realizó en un invernadero de Níjar (Almería) con una superficie de 1.300 m², sobre suelo de enarenado con un horizonte protector de arena (8-10 cm), horizonte nutritivo (2 cm), horizonte impermeable de tierra de cañada (30 cm) y suelo original.

Durante el ensayo se cuantificaron las características físico-químicas de los materiales empleados como enmienda antes de incorporarlos al suelo y las propiedades físico-químicas del suelo para cada uno de los tratamientos. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas que pueden traducirse en una mayor producción en las plantas sometidas a tratamiento con vermicompost vegetal y una menor cuando no se aplica enmienda. Por otra parte, la aplicación de un material de enmienda mineralizado como el vermicompost al 50% vegetal y estiércol consiguió mejorar en un solo ciclo de cultivo la concentración en nitrógeno-nitrato y el contenido en materia orgánica. Las mejoras en la concentración de fósforo se apreciaron al aplicar vermicompost de estiércol como enmienda.

3) Realización de estudios de mercado

Una vez analizados los productos obtenidos, el estudio se centra en la comercialización del vermicompost elaborado a partir de estiércol de vaca.

El estudio de mercado se ha centrado exclusivamente en las zonas donde trabajan empresas asociadas a UNICA GROUP y SUCA (Almería, Granada, Huelva y Cádiz). Se realizó durante un año (desde el 1 de agosto 2018 hasta agosto de 2019) e incluyó la identificación de los siguientes aspectos: sistemas de información utilizados, zonas a visitar y profesionales a los que deberá ir dirigida la información.

En el estudio se planteó la fabricación de dos productos derivados del vermicompost de origen animal pro-

Tabla 13. Presentaciones comerciales del vermicompost obtenido.

PRODUCTO	ESTADO	ENVASADO
VERMICOMPOST	SÓLIDO	25kg/1.000kg/granel
VERMICOMPOST	LÍQUIDO	20l/ 1.000l

cedente de Los Pedroches, y se realizó un presupuesto del coste de fabricación a un año de estos productos. (Tablas 13 y 14).

A la hora de realizar el estudio de mercado, se ha comparado el vermicompost de origen animal, en sus dos modalidades (sólido y líquido) con otro producto de similares características puesto a la venta en la zona de actuación, así como el precio medio de varias marcas. El PVP medio a distribución de vermicompost de otras marcas es 0,18€/kgr.

Parte del trabajo de campo consistió en visitar las cooperativas agrícolas de diferentes zonas manteniendo reuniones en las que se obtuvo información sobre consumos actuales de vermicompost de similares características y las posibles previsiones de utilización del producto ofrecido. Se llegó a la conclusión de que existen zonas donde ya hay un consumo de vermicompost y existe la posibilidad de incrementar las ventas, mientras que existen otras zonas donde dominan otros tipos y sistemas de cultivo, como ocurre en Cádiz, Córdoba y Jaén donde no es posible, por el momento, introducir este tipo de abono al suelo.

A pesar de ello, se han estudiado varias posibilidades para facilitar su uso como abonado de fondo, bien pelletizado o mediante sistemas automáticos que lo aporten al suelo.

4) Conclusión

Según los datos relativos a la capacidad de producción anual de unos 1.000 t/año de Vermicompost, se estima posible introducir en el mercado directo de las cooperativas asociadas unas 820 toneladas en el primer año.

Tabla 14. Presupuesto del coste de fabricación de Vermicompost en un año.

	1.000 t/año
VENTA PRODUCTO	
INGRESO POR VENTAS	225.000,00
Vermicompost sólido (1.000 t/año)	160.000,00
Vermicompost líquido (100 t/año)	65.000,00
COSTE COMPOST (1.440 t/año)	- 45.000,00
FABRICACIÓN LÍQUIDOS (100 t/año)	- 46.100,00
ALQUILER DE MAQUINARIA	- 10.000,00
OTROS APROVISIONAMIENTOS (sacos, flejes, palets....)	- 6.000,00
ARRENDAMIENTO NAVE acopio palets	- 4.200,00
ANALÍTICAS	- 2.500,00
TRANSPORTE VENTAS	- 10.000,00
SEGUROS, SERVICIOS VARIOS	- 3.000,00
PUBLICIDAD, FERIAS, MARKETING	- 2.400,00
ASESORIA LABORAL, CONTABLE Y FISCAL	- 2.400,00
SUMINISTROS, LUZ, AGUA, COMBUSTIBLE	- 8.000,00
SUELDOS Y SALARIOS (1 operarios planta + 1 dtor. Comercial)	- 50.000,00
AMORTIZACIÓN MAQUINARIA	- 5.000,00
TOTAL RESULTADOS (BENEFICIOS)	29.8000,00

Como medidas para incrementar estos consumos e incluso las previsiones aportadas por las distintas empresas, se acordó con los técnicos de las mismas, que son los responsables de las necesidades y seguimiento de los cultivos, que es necesario hacer unas reuniones informativas al inicio de la campaña sobre las propiedades nutricionales de los productos obtenidos, y realizar visitas periódicas para mantener la comunicación con los consumidores finales.

5. Fase de redacción del informe final del proyecto

En esta fase se concreta la aplicación de los sistemas identificados como más viables para ser implantados en la Comarca de los Pedroches, considerando sus características propias, tanto geográficas como socioeconómicas.

5.1. Actuación: "Análisis coste-eficacia (ACE) y Mejores Técnicas Disponibles (MTD)"

En la zona de estudio, como consecuencia de la aplicación agronómica de los subproductos ganaderos procedentes de la ganadería intensiva en la comarca de Los Pedroches, se ha detectado una contaminación por exceso de nutrientes en las aguas, tanto superficiales como subterráneas, principalmente de nitratos. Esta problemática se intenta regular a través de una serie de normativas cuyo objetivo es reducir la lixiviación de nitratos aplicados como fertilizante en los campos de cultivo, y los liberados en la propia explotación ganadera, distinguiéndose así la contaminación difusa y puntual.

Debido al potencial riesgo ambiental y de salud pública que supone el excedente de nitrógeno en las masas de agua, se elaboró un estudio de los indicadores y las medidas para

la reducción del nitrógeno presente en los subproductos ganaderos. La metodología seguida en el presente informe se basa en el esquema Fuerza-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (DPSIR, siglas en inglés que alude a: *Driving forces of environmental changes, Pressures on the environment, State of the environment, Impacts on population, economy and ecosystems y Response of the society*), que establece un marco ampliamente reconocido y recomendado por la Agencia Europea de Medio Ambiente y la propia Directiva Marco de Aguas.

Una vez seleccionadas las medidas adecuadas (tratamientos actuales y mejores técnicas disponibles de tratamiento), se examinaron a través de un **análisis coste-eficacia (ACE)** en el que se aplica a los planes hidrológicos en España desde la implementación de la Directiva Marco de Agua, escogiéndose aquellas medidas que resulten coste-eficaces en la reducción de la lixiviación de nitrógeno.

Como respuesta al deterioro de las masas de agua, tanto la sociedad como el Estado organizan una serie de medidas que tratan de corregir la situación para lograr un buen estado de los ecosistemas. Estas medidas han

Figura 4. Estado de masas de agua asociadas a zonas vulnerables. Plan Hidrológico Guadiana 2016-2021, Anexo 9. Nota: Zona Vulnerable señalada es la ZV Cuenca del Embalse de la Colada, ubicada en el área de estudio.

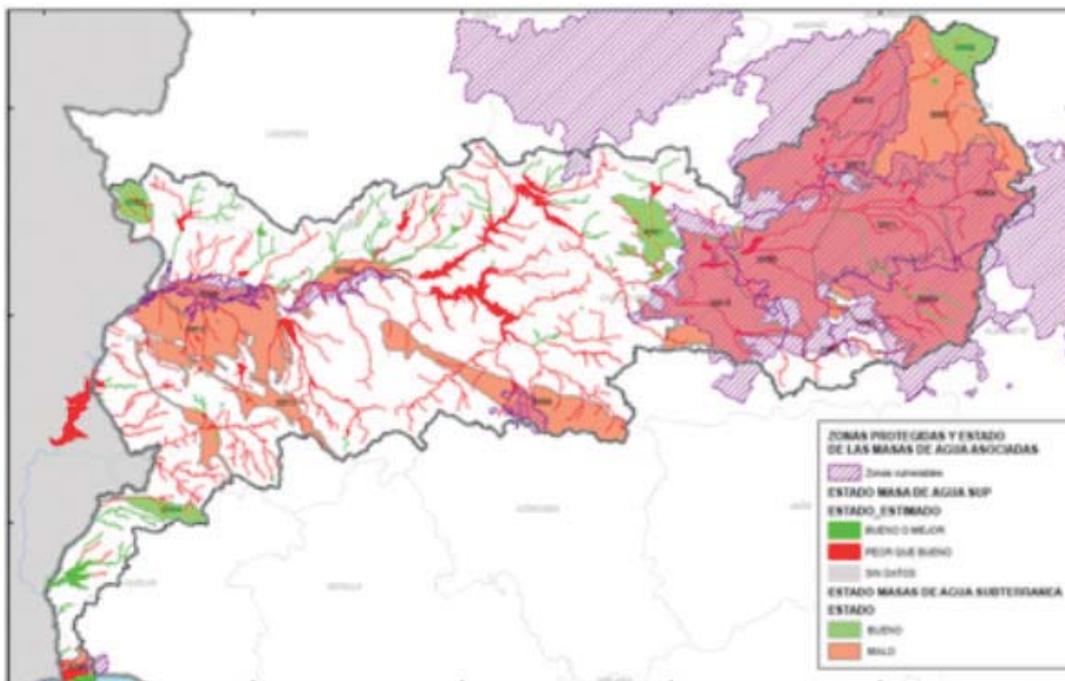


Figura 5 Esquema DPSIR de contaminación por actividad ganadera. Elaboración propia.



sido analizadas en este apartado intentando, cuando sea posible, estimar su coste (financiero) y su eficacia (en la reducción de las presiones).

5.1.1. Estudio de las medidas propuestas y su eficacia.

Medidas para reducir la contaminación difusa.

Cuando la superficie de terreno disponible para la aplicación de los purines es suficiente para utilizar la cantidad de purines o estiércol producido, no suelen producirse problemas de acumulo de nitratos. La cría intensiva de animales en áreas con una alta concentración ganadera y con una superficie agrícola insuficiente para

distribuir las deyecciones hacen necesarias actuaciones especiales que permitan gestionar el exceso de nutrientes. Es fundamental también disponer de un sistema de control eficaz de las prácticas de aplicación directa.

En la **Tabla 15** quedan recogidas las medidas a adoptar para disminuir la contaminación difusa de nitratos en la zona de estudio.

Medidas para reducir la contaminación puntual.

Las medidas a tener en cuenta deberán ser aplicadas en las explotaciones ganaderas, en las plantas de tratamiento o en los puntos donde puede producirse una

Tabla 15. Medidas a adoptar para disminuir la contaminación difusa de nitratos en la zona de estudio.

MEDIDA	EFICACIA
D1) Control de la aplicación directa en parcela de purines mediante un sistema de localización GPS y registro 'on-line'	40%
D2) Humedales construidos	40%
D3) Plantación de biofiltros vegetales	90%
D4) Mejora del manejo de fertilizantes	50%
D5) Uso de cultivos de cubierta: reemplazar barbecho por CC no-leguminosa	50%
D6) Mejora tecnología de fertilizantes: inhibidores de la nitrificación	25%
D7) Mejores técnicas disponibles en el esparcimiento de purines (sistema de tubos colgantes)	25%
D8) Mejores técnicas disponibles en el esparcimiento de purines (sistema de inyección y enterrado)	35%
D9) Mejora en el manejo del agua en las necesidades del cultivo	80%
D10) Mayor capacidad de almacenamiento de purín (9 meses)	50%
D11) Uso de bioactivantes en estiércol y purines	30%

Tabla 16. Medidas a adoptar para disminuir la contaminación puntual de nitratos en la zona de estudio.

MEDIDA	EFICACIA
P1) Implantación de un Sistema de Gestión Ambiental	40%
P2) Cisterna flexible para purines	100%
P3) Mejor gestión de efluentes en granja	25%
P4) Almacenamiento y cubrición	100%
P5) Separación S/L	20%
P6) Impermeabilización explotación	100%
P7) Adecuación balsas almacenamiento	100%
P8) Compostaje pilas volteadas o compostaje básico	40%
P9) Compostaje pilas estáticas aireadas sin cubierta	40%

contaminación puntual. En la **Tabla 16** quedan recogidas las medidas a adoptar para disminuir la contaminación puntual de nitratos en la zona de estudio.

5.1.2. Análisis coste-eficacia de las medidas.

Una vez seleccionadas las medidas para gestionar las fuentes difusas y puntuales en nuestro sistema de estudio, con el fin de reducir la presión por nitrógeno lixiviado a las masas de agua procedente de los subproductos ganaderos del vacuno de leche, y tras determinar su eficacia en dicha reducción, se procede al análisis coste-eficacia (ACE). Dicho análisis está basado en el ACE que se emplea en los planes hidrológicos en España desde la implementación de la Directiva Marco de Agua.

En primer lugar, se tienen en cuenta los costes directos de las medidas, en los que se incluyen los costes de inversión anualizados, el coste de mantenimiento y otros costes económicos, aplicando un interés del 6% con un plazo de amortización de 20 años. Por otro lado, se tiene la eficacia de las medidas basándonos en informes, estudios y ensayos previos de otros trabajos, definiendo eficacia como la reducción del impacto que es objeto de análisis. En nuestro caso, para la eficacia de las medidas propuestas se ha valorado la reducción de la presión, no del impacto. Por lo tanto, la eficacia será definida como la capacidad que tiene cada medida en reducir la cantidad de nitrógeno lixiviado procedente de las propias explotaciones (contaminación puntual) o de la aplicación directa en campo (contaminación difusa). Por tanto, **para cada medida se calculó el índice coste-eficacia, calculado como el cociente entre el CAE, o total Coste Neto, de la medida y la mejora conseguida.**

A continuación, se realizó un estudio de la reducción total del nitrógeno lixiviado procedente del vacuno de leche intensivo para toda la comarca. Para ello se tuvieron en cuenta los datos de explotaciones y el número de cabezas de ganado existentes en cada una en el año 2018, proporcionados por las oficinas OCA I y OCA II, y los estándares de producción de estiércoles y purines de la legislación aplicable. Se obtuvieron unos datos de cantidad de estiércol y purín de la comarca de 866.000 toneladas y 674.000 m³, respectivamente. A partir de estos datos se ha estimado una cantidad total de 3.962.000 UN (kg nitrógeno/año) de las cuales en el estado actual se podrían estar lixiviando unos 3.098.000 UN aproximadamente. Aplicando las distintas medidas difusas (D) y puntuales (P) propuestas en el sistema, se va variando la cantidad de lixiviación de nitrógeno, traduciéndose como reducción total de nitrógeno. Como se contempló la posibilidad de aplicar medidas que supusieran una combinación de propuestas

Figura 6. Gráfico resultante del estudio análisis coste-eficacia en la reducción de presión del nitrógeno lixiviado.

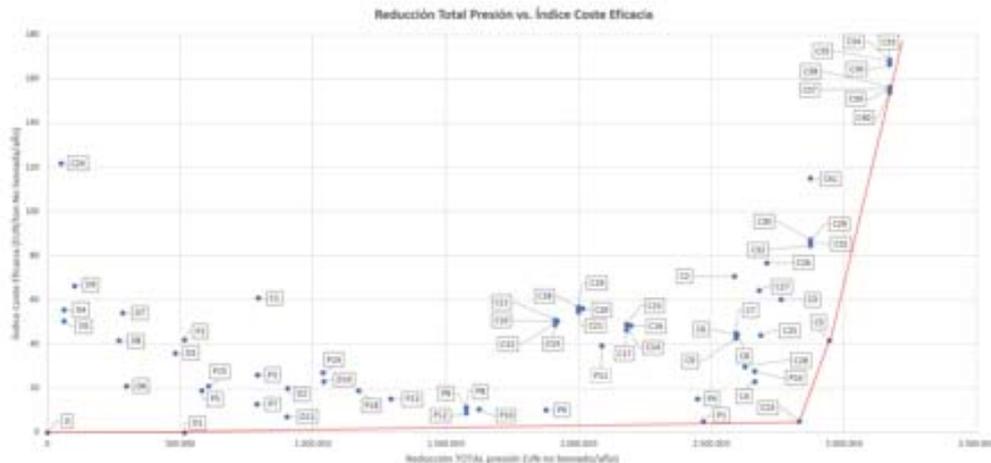


Tabla 17. Medidas combinadas

MEDIDA	EFICACIA
C1) Cisterna flexible + Separador sólido/líquido	20%
C2) Cisterna flexible + Separador sólido/líquido + Impermeabilización explotación	20%
C3) Gestión efluentes en granja + Almacenamiento y Cubrición balsas con geotextil + Separador sólido/líquido	5%
C4) Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos	100%
C5) Separador sólido/líquido + Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos	20%
C6) Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Digestión anaerobia	3,2%
C7) Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Digestión anaerobia	3,2%
C8) Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Digestión anaerobia	4%
C9) Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	3,2%
C10) Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Acidificación del purín	2%
C11) Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Acidificación del purín	2%
C12) Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Acidificación del purín	2,5%
C13) Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Acidificación del purín	2%
C14) Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Nitrificación-desnitrificación	6,4%
C15) Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Nitrificación-desnitrificación	6,4%
C16) Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Nitrificación-desnitrificación	8%
C17) Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Nitrificación-desnitrificación	6,4%
C18) Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Disminución purín mediante energía solar	5,6%
C19) Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Disminución purín mediante energía solar	5,6%
C20) Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Disminución purín mediante energía solar	7%
C21) Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Disminución purín mediante energía solar	5,6%
C22) Separador sólido/líquido + Digestión anaerobia + Catálisis enzimática	0,8%
C23) APP + Implantación de un Sistema de Gestión Ambiental	16%
C24) Mejora fertilización (disminuir 10% dosis abonado) + Modernización regadío	40%
C25) Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos + Inhibidores nitrificación	25%
C26) Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos + Modernización maquinaria aplicación directa (sistema tubos colgantes)	25%
C27) Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos + Modernización maquinaria aplicación directa (inyección y enterrado)	35%
C28) Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos + Bioactivantes	30%
C29) APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Digestión anaerobia	1,28%
C30) APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Digestión anaerobia	1,28%
C31) APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Digestión anaerobia	1,6%
C32) APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	1,28%
C32) APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	1,28%
C33) APP + SGA + Modernización maquinaria AD (tubos colgantes) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje básico + Digestión anaerobia	0,13%
C34) APP + SGA + Modernización maquinaria AD (tubos colgantes) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje avanzado con aireación forzada + Digestión anaerobia	0,13%
C35) APP + SGA + Modernización maquinaria AD (tubos colgantes) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Digestión anaerobia	0,16 %
C36) APP + SGA + Modernización maquinaria AD (tubos colgantes) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	0,13%
C37) APP + SGA + Modernización maquinaria AD (inyección y enterrado) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje básico + Digestión anaerobia	0,18%
C38) APP + SGA + Modernización maquinaria AD (inyección y enterrado) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje avanzado con aireación forzada + Digestión anaerobia	0,18%
C39) APP + SGA + Modernización maquinaria AD (inyección y enterrado) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Digestión anaerobia	0,22%
C40) APP + SGA + Modernización maquinaria AD (inyección y enterrado) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	0,18%
C41) APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Compostaje Vertical + Digestión anaerobia	0,896%

enumeradas, esta posibilidad se denominó con la letra C y el número correlativo de la combinación.

Por último, se ordenaron las medidas estudiadas de menor a mayor en base al índice coste-eficacia y se seleccionaron aquellas que teniendo un menor índice presenten una mayor reducción de la presión total (UN no-lixiviado/año), representándolas la **Figura 6**. En definitiva, se trata de determinar aquellas medidas o alternativas que resulten más racionales para maximizar el beneficio producido por los recursos económicos disponibles.

Teniendo en cuenta este criterio, del gráfico se extrae que las medidas D1, P1, C5, C23, C37, C38, C39 y C40 serían las mejores coste-eficiencia para el estudio que se ha llevado a cabo. De hecho, las medidas que abarcan desde C37 hasta C40 presentan una reducción total de la lixiviación del nitrógeno en todo el sistema de la Comarca de Los Pedroches. Asimismo, indicar que las medidas P14 y P17 han sido excluidas de la figura debido a que presentan un CAE demasiado elevado para el estudio.

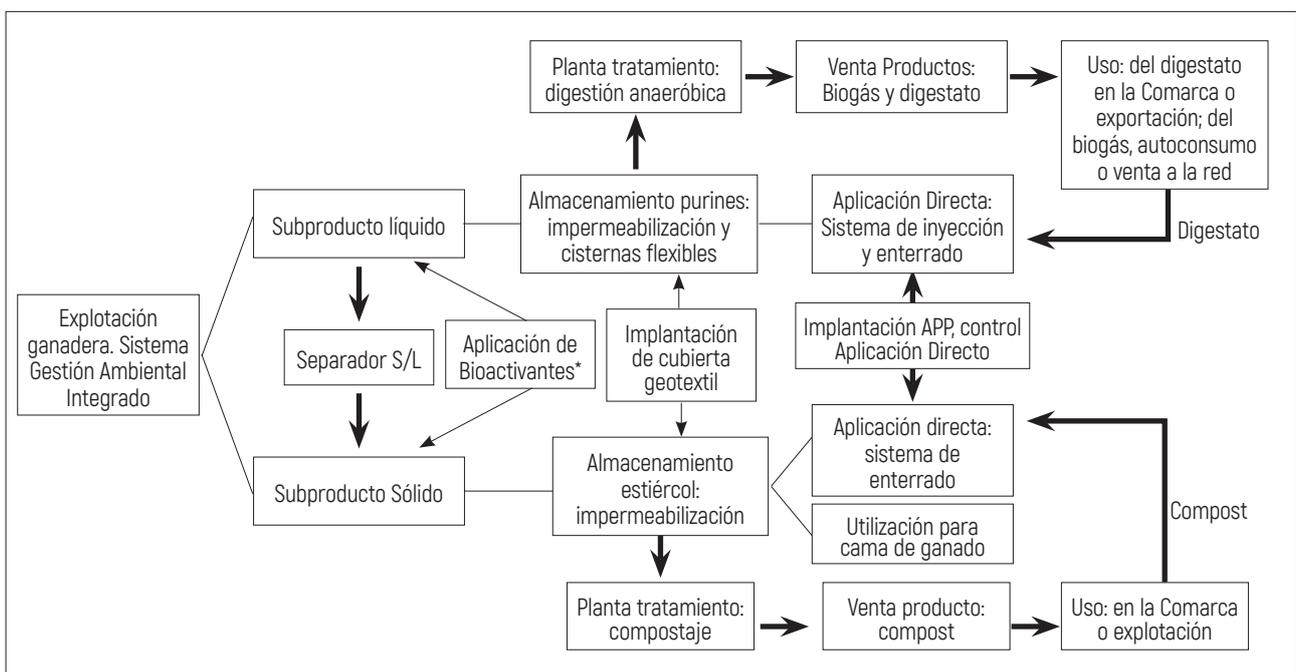
5.1.3. Conclusiones del análisis

El análisis Coste/Eficacia efectuado con el fin de reducir la presión de lixiviación de nitrógeno realizado con las medidas propuestas ha dado como resultado una serie de medidas que deberán ser llevadas a cabo

obligatoriamente en un futuro para mejorar el impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas procedente del uso de los subproductos ganaderos de vacuno de leche intensivo (estiércol y purín) en la Comarca de Los Pedroches. Estas medidas serán:

- Implantación de una APP para el control de la aplicación directa en campo (D1).
- Implantación de un Sistema de Gestión Ambiental en las explotaciones para certificar que la gestión de los subproductos ganaderos se está llevando a cabo siguiendo unos estándares de calidad (P1).
- Las dos medidas anteriores combinadas (C23).
- Las medidas combinadas de utilización de un separador sólido/líquido, la impermeabilización de la zona donde se acumule el estiércol en la explotación y la adecuación e impermeabilización de las balsas de purines o del total de los subproductos (C5).
- Todas las medidas anteriores combinadas añadiendo algunas más: modernización de la maquinaria para la aplicación directa con un sistema de inyección y enterrado, la impermeabilización de la zona de acumulo de estiércol y de las balsas de purines o del total de los subproductos, el uso de cisternas flexibles de almacenamiento de purines, una planta de compostaje para el tratamiento de estiércol y una

Figura 7. Esquema general con las alternativas propuestas para la gestión de subproductos ganaderos de vacuno intensivo de leche en la Comarca de Los Pedroches. Fuente: Elaboración propia.



planta de digestión anaerobia para el tratamiento de purines (C37, C38, C39 y C40).

Además, se podrían señalar otras medidas como recomendadas o voluntarias para el ganadero, que también resultan tener un coste-eficacia aceptable, aunque no pasan por la línea frontera en la figura, pero quedan en una situación muy próxima, siendo estas las siguientes:

- Uso de bioactivantes en estiércol y purines, para mejorar el producto fertilizante resultante como compost y digestato (D11).
- Impermeabilización de balsas de purines y cubrición con geotextil (P4).
- Cámara de compostaje vertical (P11). Aunque resulte una tecnología más cara, presenta una mayor eficiencia, mayor rendimiento y menor tiempo en la producción del producto y se podrían usar purines hasta un 20% del material a tratar en conjunto con el estiércol.

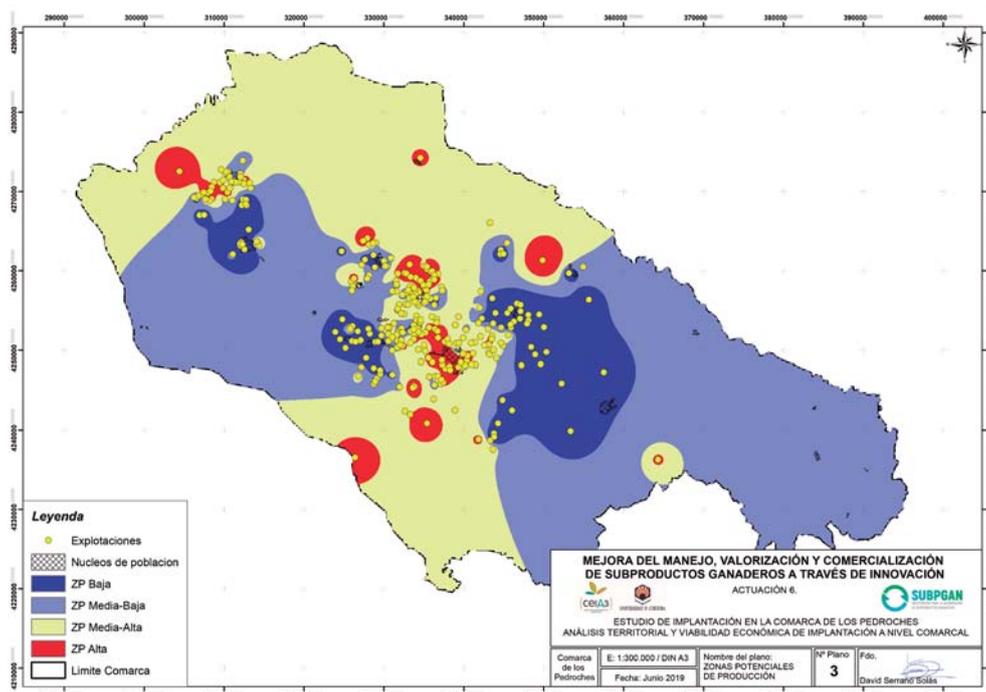
Para una mejor visualización de cómo resultaría la gestión de los subproductos generados en las explotaciones de vacuno de leche objeto de estudio, se han representado en la **Figura 7** las medidas resultantes como obligatorias y voluntarias a llevar a cabo en un futuro próximo.

De esta manera, con la aplicación de las medidas aquí propuestas, nos aseguraríamos que la lixiviación de nitrógeno procedente de la cabaña intensiva de vacuno de leche sería prácticamente inexistente en la comarca de Los Pedroches, logrando el objetivo principal del proyecto y mejorando la calidad de las aguas superficiales y subterráneas a corto y medio plazo, lo cual permitiría cumplir con la legislación ambiental nacional y europea y mejorar el entorno natural y social de la comarca. Además, hay que destacar que las medidas propuestas están enfocadas en revalorizar los subproductos de las explotaciones ganaderas utilizándolos para crear un producto fertilizante (compost y digestato) y un producto energético (biogás). **El auge de las energías renovables sumado a las futuras subidas del precio de los fertilizantes químicos, hacen del esquema propuesto una apuesta de futuro en un sistema sostenible, tanto ambiental como socioeconómico, y de autogestión por parte de los ganaderos y los agricultores de la comarca y/o de zonas de demanda de fertilizantes.**

5.2. Actuación: "Análisis territorial y viabilidad económica de implantación a nivel comarcal"

En esta acción se ha realizado un análisis territorial de la Comarca de los Pedroches orientado a la búsqueda de la implantación física y viable, de la solución o soluciones más prometedoras. Junto al análisis territorial se lleva a cabo un estudio económico, el cual ofrece la viabilidad económica de la solución o soluciones planteadas.

Figura 8. Zonas de producción (ZP) de la Comarca de los Pedroches.



Lógicamente este análisis territorial se efectuará para las alternativas que tengan una dependencia directa de la localización geográfica, concretamente las plantas de digestión anaerobia y de compostaje, ya que la ubicación en el territorio de cada una de ellas influirá en su éxito.

5.2.1. Estudio de la localización geográfica de explotaciones ganaderas de la Comarca de los Pedroches.

Las Oficinas Comarcales Agrarias de la zona (OCA I y II de los Pedroches), aportaron los datos cuantitativos del número de animales de cada explotación, a partir del cual se calculó la capacidad productiva de cada una de ellas en cuanto a subproductos. Esa información - 330 explotaciones ganaderas georreferenciadas y sus datos de producción - se volcó a un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permitió representar la capacidad productiva de la Comarca. Los cálculos para los valores de producción de estiércoles y purines se realizaron tomando como base la Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas de la Generalitat de Cataluña.

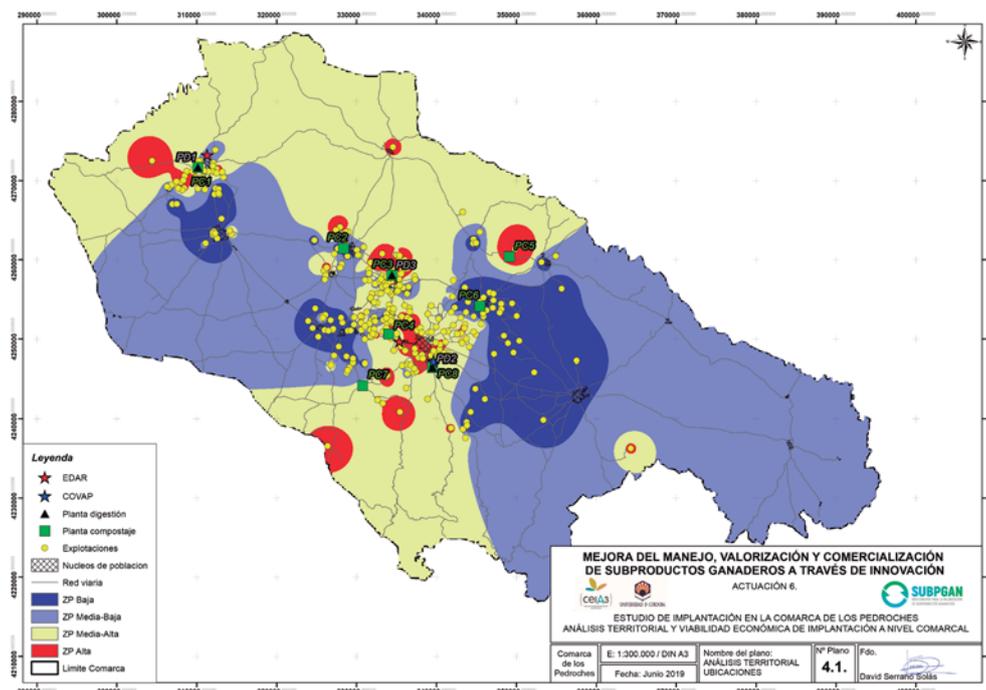
El objetivo era identificar diferentes zonas de la Comarca con distintas capacidades productivas, buscando contrastar principalmente zonas con un potencial productivo bajo y alto, tomando estas últimas como localizaciones prioritarias. La metodología utilizada fue el método de interpolación IDW (*Inverse Distance Weighted*). Se obtuvo como resultado cuatro

zonas de producción: dos extremas muy diferenciadas con una producción baja y otra con una producción alta, y dos zonas de producción media, una media alta y otra media baja. (Figura 8)

La búsqueda de posibles implantaciones para las plantas de digestión y compostaje se llevó a cabo valorando los siguientes criterios:

- Ubicación de las explotaciones ganaderas. La localización o localizaciones óptimas se ubicarán en las zonas donde se agrupen o donde se abarque una mayor cantidad de las explotaciones. Deben situarse a una distancia mínima de 500 m de los núcleos de población para reducir un posible rechazo social.
- Producción de las explotaciones ganaderas.
- Distancia máxima de influencia. Para la superficie de influencia se tomará una distancia máxima de 30 km, por encima de la cual el aprovisionamiento desde las explotaciones hasta la planta de tratamiento no se considera viable.
- Núcleos de población.
- Red de carreteras. Vías en buen estado y preferentemente en zonas con buen grado de conectividad para favorecer y facilitar la logística.

Figura 9. Ubicación de las plantas de tratamiento. Fuente: Elaboración propia.



- Ubicación de EDAR. Este criterio se relaciona con la implantación de las plantas de digestión.

El tamaño óptimo de la planta dependerá mayormente de la logística y el coste del transporte de llevar el estiércol y el purín a planta. Los resultados se recogen posteriormente en el estudio de viabilidad económica para cada caso en concreto, ya que el tamaño de planta y la producción a tratar están relacionados íntimamente con la viabilidad económica de cada solución.

Siguiendo los criterios descritos en la búsqueda de las localizaciones óptimas, se plantea la implantación de 3 plantas de digestión y 8 plantas de compostaje.

Las ubicaciones propuestas no serían las definitivas, más bien reflejan la posibilidad de situar una planta en ese entorno. Una ubicación final precisaría un estudio de implantación más detallado y específico para cada una de las plantas. Las posibles implantaciones del proyecto, a su vez, se han decidido en base a los resultados del estudio de viabilidad económica, que se desarrolla en el siguiente apartado.

- Plantas de compostaje: Belalcázar, El Viso, Dos Torres, Añora-Pozoblanco, Torrecampo, Pedroche, Alcaracejos y Pozoblanco.
- Plantas de digestión: Belalcázar, Pozoblanco y Dos Torres.

En la **Figura 9** se muestran los posibles emplazamientos del conjunto de plantas de tratamiento planteadas.

5.2.2. Estudio de viabilidad económica

Los factores que inciden en la viabilidad de las plantas de tratamiento son:

- Distancia de influencia.
- Producción abarcada.
- Coste de aprovisionamiento.
- Coste de fabricación.

La distancia de influencia determinará el número de explotaciones ganaderas necesarias para surtir a la planta de tratamiento, en base a la producción de subproductos que recibirán de cada explotación y con ello, el coste de transporte a planta correspondiente, así como el coste de fabricación según la cantidad de subproducto tratado. El estudio de la viabilidad económica se realizó teniendo en cuenta la distancia máxima de desplazamiento de 30 km, para rangos de

influencia de 5 km. Estos rangos de influencia se basan en la distancia de recorrido real desde las explotaciones hasta pie de planta, a través de la red de carreteras principales de la zona y por los caminos que conectan con las propias explotaciones.

La finalidad del estudio de viabilidad económica es analizar los costes de aprovisionamiento y de fabricación de diferentes producciones según la distancia de influencia tomada, y ver cuál sería la producción óptima en función de los costes totales. Esta producción óptima marcaría las explotaciones a abarcar y el beneficio final que se conseguiría con el tratamiento de los subproductos recogidos, lo cual mostraría la viabilidad económica final de cada planta.

Para las plantas de compostaje se estudiará únicamente la cantidad de estiércol generado. Para las plantas de biogás, se estudiará tanto la producción de purín, ya que es el subproducto principal para este tipo de planta de tratamiento, como la de estiércol ya que existe la posibilidad de utilizar este subproducto para enriquecer al purín con aporte de materia orgánica en sistemas de codigestión.

Conviene recordar que dentro de los subproductos ganaderos, solo se destinarán para su tratamiento en planta los excedentes de estiércol y purines que no son aprovechados por las propias explotaciones, un 30-40% respectivamente del producido en las granjas.

El coste de aprovisionamiento se calcula como el coste del recorrido desde cada una de las explotaciones ganaderas a la planta de tratamiento que las englobe, según la distancia de influencia de estas. El transporte de los subproductos desde las explotaciones a planta por la red de carreteras, se hará por dos medios según el tipo de subproducto. Para el transporte de estiércol se utilizará un camión articulado con una carga útil de 25 t., mientras que para el purín se recurrirá a un camión cisterna con una capacidad de 30 m³. Los datos del coste de transporte para dichos vehículos se obtuvieron del Ministerio de Fomento, en base al observatorio de transporte de mercancías por carretera actualizado a enero de 2019, a los cuales se consideró un incremento del 10% de beneficio industrial.

Tabla 18. Costes de transporte de vehículos.

Camión articulado 25t CU	0,0503	€/t·km
10% BI	0,0553	€/t·km
Camión cisterna 30 m ³	0,0567	€/m ³ ·km
10% BI	0,0624	€/m ³ ·km

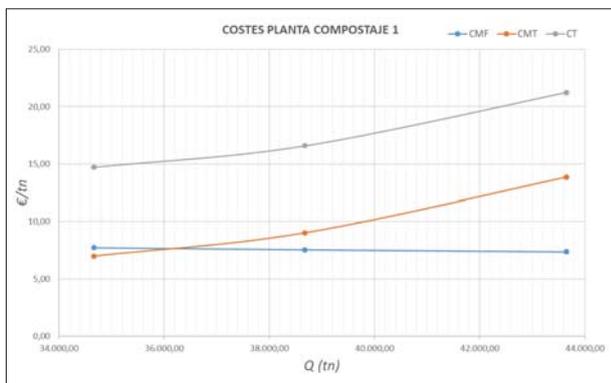
Fuente: Ministerio de Fomento, 2019.

Para las plantas de compostaje se calcula el transporte del estiércol a planta. Para las plantas de codigestión, el coste de transporte se limitará al purín como subproducto principal a utilizar, ya que el estiércol no deja de ser una posibilidad futura.

Los **costes de fabricación** incluyen los gastos que conlleva la implantación de las plantas de tratamiento (costes fijos), así como los gastos de operación y mantenimiento relativos al proceso de tratamiento de los subproductos

(costes variables). En este tipo de industrias hay que tener en cuenta el concepto de economía de escala, que resulta de ganar eficiencia conforme se incrementa el tamaño de la producción. Para las plantas de compostaje implantadas, se han tomado como referencia los datos económicos de una planta de compostaje de referencia y un factor de corrección (entre 0 y 1) determinado dependiendo de la economía de escala. En base a esto, se calculó el coste medio de fabricación de cada planta de compostaje del presente proyecto.

Figura 10. Costes totales Planta de compostaje PC1.



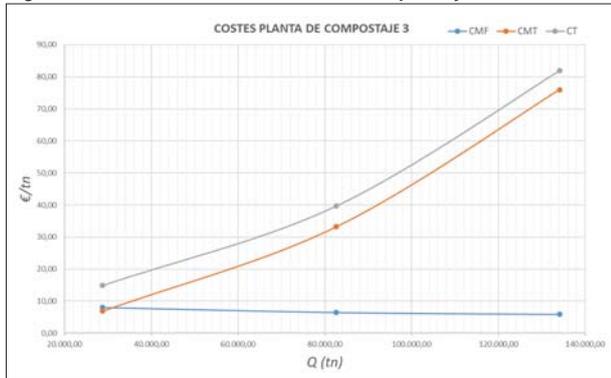
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Costes totales Planta de compostaje PC2.



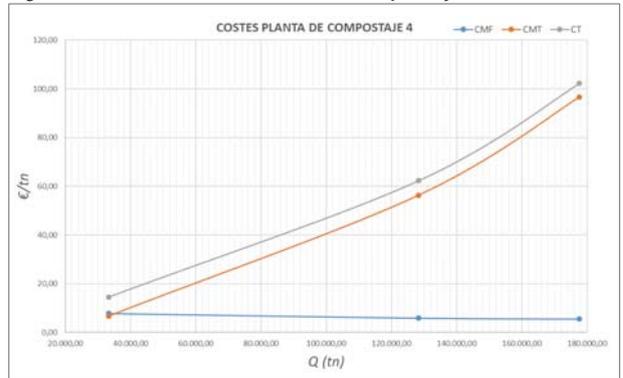
Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Costes totales Planta de compostaje PC3.



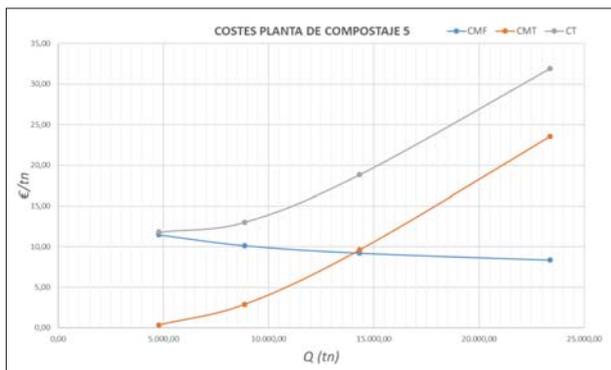
Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Costes totales Planta de compostaje PC4.



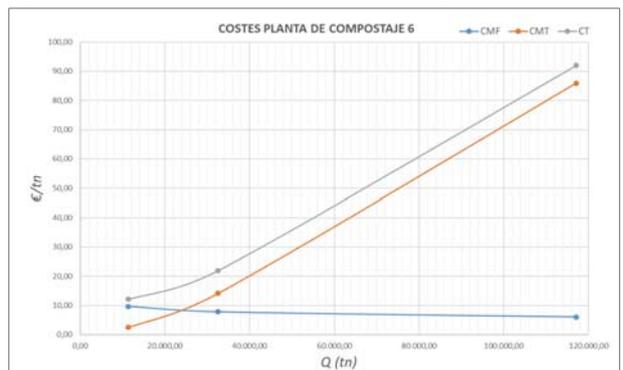
Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Costes totales Planta de compostaje PC5.



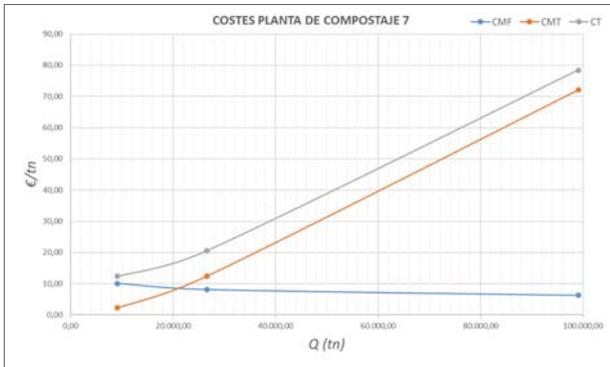
Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Costes totales Planta de compostaje PC6.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Costes totales Planta de compostaje PC7.



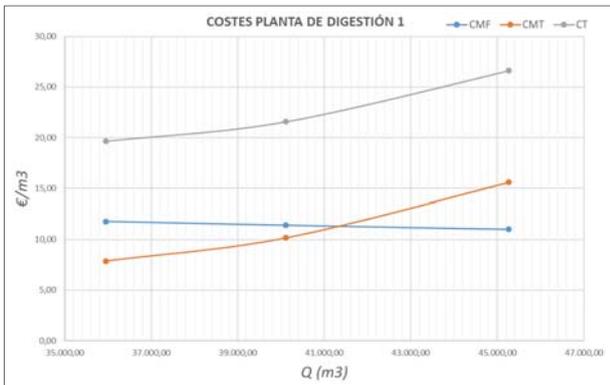
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Costes totales Planta de compostaje PC8.



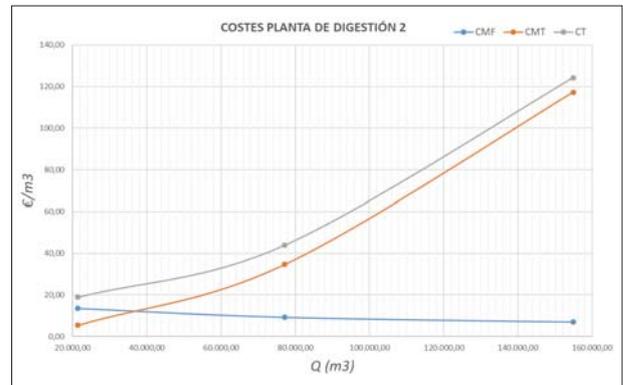
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18 Costes totales Planta de digestión PD1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Costes totales Planta de digestión PD2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Costes totales Planta de digestión PD3.



Fuente: Elaboración propia.

Los costes totales (CT) que supondrán la implantación y operación de las planta de tratamiento, resultan de la suma de los costes de aprovisionamiento (CMT) y los de fabricación (CMF). Se elaboró una representación gráfica de los costes de cada una de las plantas en la que figuran únicamente las producciones tratadas entorno a los 5 y 15 km de distancia de influencia, debido a que los costes del transporte a planta para explotaciones situadas más lejos de esta distancia resultan demasiados elevados.

Para el análisis de la viabilidad final de las soluciones planteadas, una vez analizados los costes totales de cada una de ellas, se procede al **cálculo de los beneficios que se podrían obtener gracias a la venta del producto final**. Estos productos finales, compost al tratar el estiércol y biogás para el purín, tras un análisis del mercado actual, tienen los siguientes precios:

Tabla 19. Precios de mercado de productos finales.

Producto final	Precio de mercado
10 % BI	0,0553
Camión Cisterna 30 m ³	0,0567
10 % BI	0,0624

Fuente: Ministerio de Fomento, 2019.

La **viabilidad económica** de las soluciones planteadas al proyecto la dará la comparativa entre los costes totales que asumen las plantas de tratamiento (CT), y los ingresos obtenidos por la venta de los productos finales tras el tratamiento de los subproductos ganaderos (I).

Reflejados dichos datos en las figuras 10 a 20 correspondientes a cada planta de tratamiento se observa un claro déficit económico en todas las plantas de tratamiento a pesar de estar planteadas en lugares óptimos. El problema principal de estos tipos de subproductos radica en su logística, ya que el transporte es el principal factor que aumenta el coste total y no se beneficia de la economía de escala, ya que los costes se incrementan si se quiere aumentar la cantidad a tratar, ya que para ello es imprescindible abarcar más territorio y por tanto elevar la distancia de influencia.

Una solución posible sería la de delegar en las explotaciones ganaderas el transporte de los subproductos a planta. Al asumir las propias explotaciones dicho coste de transporte, la viabilidad económica de la planta dependería únicamente de los derivados del tratamiento de los subproductos. En esta solución se mantendría el estudio de la viabilidad económica por debajo de los 15 km de influencia dado que por encima de esta distancia los costes de transporte son muy elevados y no resulta coherente imponer un coste tan elevado a los ganaderos.

Eliminando los costes de transporte la situación cambia considerablemente, y nos encontramos con que se consigue la viabilidad económica en la mayoría de las plantas de tratamiento definidas. Al eliminar los costes logísticos, la economía de escala se vuelve a nuestro favor. Así, la viabilidad económica de las plantas de tratamiento (cuando los ingresos (I) superan a los costes de tratamiento (CMF)) se consigue a partir de una determinada producción: por encima aproximadamente de las 60.000 t de estiércol y los aproximadamente 140.000 m³ de purín.

A pesar de ello no en todas las plantas se consigue la viabilidad económica. Es el caso de las plantas situadas en el municipio de Belalcázar, la planta de compostaje y la planta de digestión, y en la planta de compostaje de Torrecampo, debido a una baja producción de subproductos en la distancia de influencia. En estos casos, para lograr una plena viabilidad se plantean dos alternativas: una ayuda económica de una parte de la inversión inicial mediante financiación externa y redistribuir la cantidad de los subproductos a tratar en un menor número de plantas, asegurando una alta producción para estar dentro de los márgenes de distancia de influencia establecidos. Así para las plantas de compostaje, teniendo en cuenta el 30% de la producción total existente de estiércol en las 330 explotaciones estudiadas con un valor de 266.109,28 t, y una viabilidad conseguida con producciones por encima de las 60.000 t, se prevé la necesidad de implantar 4 plantas de compostaje. En el caso de las plantas de digestión, suponiendo el 40% del total de

la producción de purines de las 330 explotaciones 275.965,18 m³, y una viabilidad obtenida a partir de los 140.000 m³, teóricamente se deberían establecer dos plantas. En este caso, para cubrir mayor territorio, se necesitaría la implantación de una tercera planta de digestión, y recurrir a la financiación externa para la rentabilidad de esta.

5.2.3. Conclusiones

Como resultado final del análisis territorial y del estudio de viabilidad económica, se ofrece una solución al objetivo del proyecto de buscar posibles implantaciones de plantas de tratamiento. La cantidad de purines vendrá recogida por las 3 plantas de codigestión descritas. La producción del estiércol, se repartirán finalmente entre 4 plantas de compostaje buscando la eficiencia. La implantación de las 4 plantas tendrá lugar en 4 de las 8 ubicaciones ofrecidas, evitando solapes excesivos y buscando el reparto equitativo del terreno entre estas.

Estas ubicaciones finales vendrán definidas por una distancia de influencia entre 10 y 15 km, en los que se abarcarán la gran parte de las explotaciones existentes en la Comarca de los Pedroches asumiendo estas los costes de transporte a planta, y una alta producción en este rango de distancia para que exista un beneficio económico. Las explotaciones que no son abarcadas por ninguna planta de tratamiento, deberán de asumir costes de transporte mayores, o bien realizar otras alternativas de tratamiento en la propia explotación, de las descritas en la acción anterior.

5.3. Actuación: "Innovación social: mejora calidad de vida población y del ganadero"

El reto planteado con este proyecto desde un principio ha sido el de generar valor añadido a través de una relación más estrecha entre investigación y prácticas agrícolas y forestales, y fomentar un mayor uso del conocimiento disponible para, a través de la innovación social (búsqueda de una oportunidad a partir de un problema para la sociedad), utilizar ese valor añadido para generar nuevas oportunidades en los territorios rurales.

Una vez llevado a cabo este proceso se elabora un estudio estratégico que permite cuantificar los costes del establecimiento de una o varias soluciones viables en Los Pedroches para gestionar el alrededor del millón de toneladas de estiércol que se producen en la comarca. De esta manera se espera generar riqueza con un subproducto que, hoy por hoy, no tiene, o tiene muy poco rendimiento económico. Esto abre la posibilidad a la generación de puestos de trabajo en una comarca con riesgo severo de despoblamiento y que cuenta con una enorme riqueza ambiental.

1) El mercado laboral en la Comarca de los Pedroches

El mercado laboral, y por tanto la economía de la Comarca de Los Pedroches, dependen del sector agrario. Tal y como les ocurre a las zonas rurales la economía gira en torno a la actividad agraria, lo que condiciona la riqueza generada en el territorio tan sólo prácticamente a la actividad agroalimentaria. Esto disminuye en gran medida la oportunidad de desarrollo del territorio porque este tipo de actividad tan sólo ha ofrecido oportunidades de empleo de baja cualificación y su existencia y remuneración venían dadas por variables de difícil control tales como climatología, precios impuestos por los mercados, especulación, etc.

Para abordar cómo puede influir este proyecto en la generación de empleo es necesario analizar, en primer lugar, la estructura del **mercado laboral de la Comarca de Los Pedroches**. Es decir, valorar cómo influye el sector agrario, que es estratégico en la conformación de la estructura socioeconómica del territorio. La tasa de paro registrada aproximada en Andalucía (16,95%) supera el nivel de esta misma tasa en la provincia de Córdoba (16,26%) y en la comarca de Los Pedroches (16,1%). Si bien pudiera parecer una ventaja de la provincia y de la comarca, es necesario matizar dicha diferencia considerando el peso que tiene el trabajo eventual agrario, no computado como paro registrado, haciéndolo como personas inscritas en el Plan de Fomento de Empleo Agrario, más conocido como PFEA. Si discriminamos el análisis por razón de sexo, observamos unas mayores tasas de paro femeninas. Analizados los tramos de edad, se observa una mayor relevancia del desempleo en el tramo que va desde los 30 a los 44 años.

Las explotaciones agrícolas de Los Pedroches están en manos de personas físicas en más del 86% de los casos; frente al 90% provincial y al 94% autonómico en lo que a este dato se refiere. Este dato evidencia **el carácter familiar de la agricultura de la comarca y la falta de dimensión en la gestión de dichas explotaciones**.

La caracterización del empleo agrario arroja las siguientes conclusiones:

- Nos encontramos en la comarca con una agricultura de tipo familiar (60,76% de empleo familiar), superior al dato de la provincia de Córdoba (42,64%) y al valor que alcanza este mismo dato para Andalucía (47,08%).
- Como es lógico, el porcentaje de trabajo asalariado resulta coherente con este porcentaje (39,24%).
- La eventualidad del empleo asalariado agrario es mucho menor en la comarca (10,89%) que en la

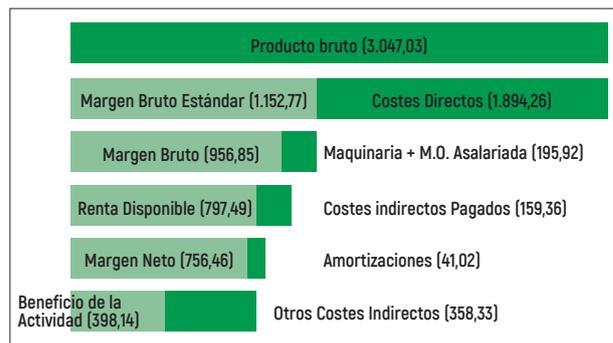
Tabla 20. Elaboración propia a partir de los datos ECREA 2017.

MANO DE OBRA	
UTA/Explotación	3,65
Familiar	3,02
Asalariada	0,63

Tabla 21. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las encuestas realizadas a los ganaderos.

MANO DE OBRA	
UTA/Explotación	3,10
Familiar	2,30
Asalariada	0,80

Figura 21. Resultados Económicos del vacuno de leche en Andalucía en 2017



Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (ECREA 2017).

provincia (37,64%) y en el conjunto andaluz (38,78%), pudiéndose decir que es un empleo de mayor calidad.

- El municipio con mayor porcentaje de empleo asalariado es Cardena (57,09%) dato muy cercano a la media provincial. El más bajo lo tienen el municipio de Fuente la Lancha (9,79%) siendo por tanto el 90,21% una agricultura familiar.

2) El sector del vacuno de leche en Los Pedroches

En esta comarca existen en la actualidad 341 ganaderías de vacuno de leche con un censo medio de 162 vacas por explotación (incluidos animales menores de 12 meses) y un censo total de animales de 55.173 (SIGGAN 2018) según datos aportados por OCA1 y OCA2 Pedroches. (Tabla 20)

Datos que se han contrastado con las encuestas realizadas a las diez ganaderías seleccionadas con los siguientes resultados reflejados en la Tabla 21.

Para finalizar este apartado, se muestra la **Figura 21** que recoge un resumen de los Resultados Económicos del vacuno de leche en Andalucía en 2017. En ella se ve cómo la actividad ganadera tiene unos márgenes de beneficio bastante limitados, que explica la inercia actual a realizar inversiones en la explotación.

3) La Innovación social

"La Innovación Social consiste en encontrar nuevas formas de satisfacer las necesidades sociales, que no están adecuadamente cubiertas por el mercado o el sector público... o en producir los cambios de comportamiento necesarios para resolver los grandes retos de la sociedad... capacitando a la ciudadanía y generando nuevas relaciones sociales y nuevos modelos de colaboración. Son, por tanto, al mismo tiempo innovadoras en sí mismas y útiles para capacitar a la sociedad a innovar...".

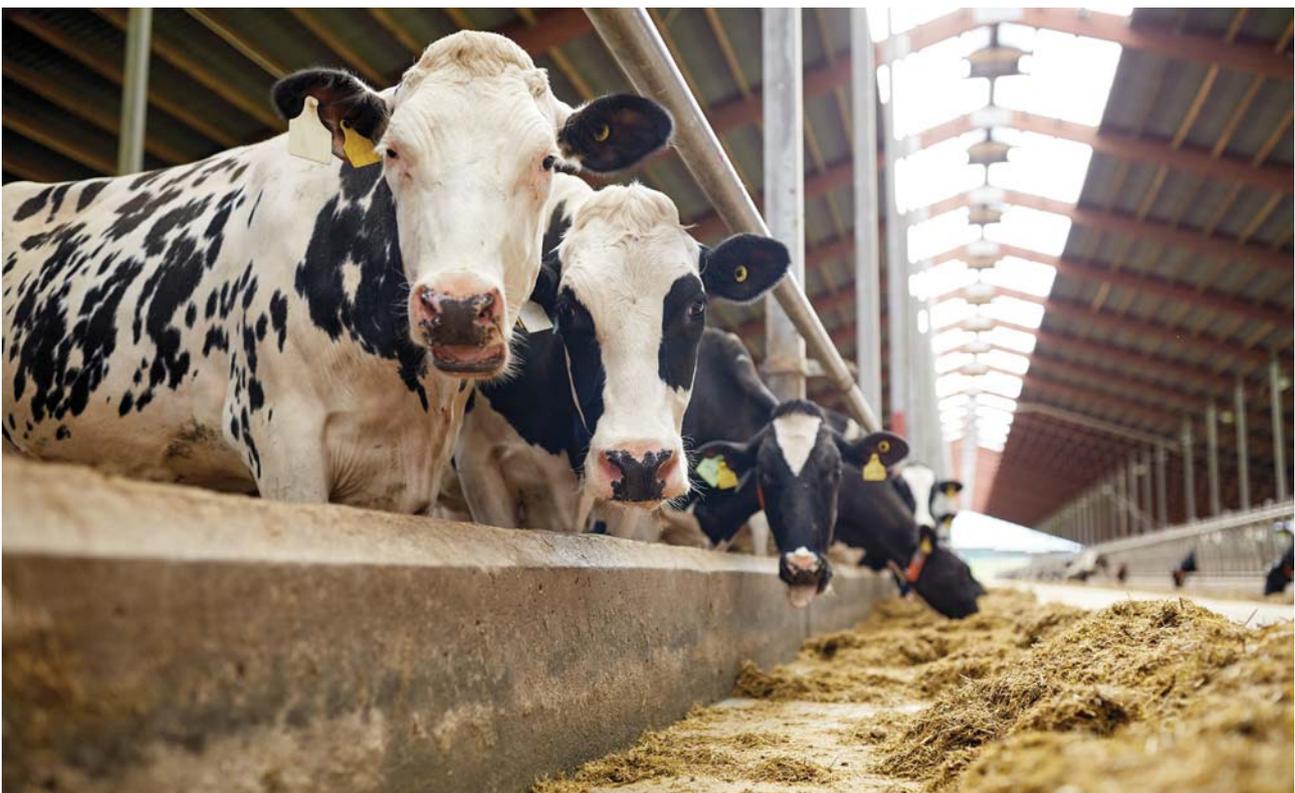
La Oficina de Asesores de Política Europea describe los siguientes enfoques clave para la innovación social:

1. Innovaciones que respondan a las demandas sociales que tradicionalmente no son dirigidas por el mercado o las instituciones existentes y se dirigen hacia los grupos vulnerables de la sociedad (jóvenes, inmigrantes, personas mayores, personas en riesgo de exclusión social, etc.).

2. La perspectiva del reto social se centra en innovaciones para la sociedad en su conjunto a través de la integración de lo social, lo económico y lo ambiental.

3. El cambio de enfoque sistémico, el más ambicioso de los tres, se logra a través de un proceso de desarrollo organizativo realizando modificaciones en las relaciones entre las instituciones y las partes interesadas. Muchos enfoques de la UE concluyen que las "partes interesadas" están tratando de avanzar en esta dirección, ejemplo de ello es el programa LEADER.

En este último enfoque es donde se encuentra el proyecto SUBPGAN. Con este proyecto se ha buscado crear valor añadido estableciendo una relación más estrecha entre la investigación y las prácticas ganaderas. Se ha contado con la experiencia que el Grupo de Desarrollo Rural de Los Pedroches ha aportado en la coordinación de proyectos multisectoriales, la divulgación, la elaboración de estrategias territoriales y gestión de ayudas y fondos europeos/nacionales y en la aplicación de la innovación social a los proyectos en los que participa. Ello ha permitido que a lo largo de todo el proyecto se hayan ido implementando las actuaciones con un enfoque permanente de Innovación Social.



6. Redacción del estudio estratégico

Por último, en el estudio estratégico se realiza una propuesta para resolver el problema conociendo el coste y el análisis territorial de las opciones elegidas.

El objetivo de la elaboración de un estudio estratégico es abordar las distintas acciones realizadas a lo largo del proyecto y establecer un esquema que sintetice estas acciones y defina la estrategia del mismo.

Del estudio llevado a cabo en las distintas acciones, se constata la existencia de una elevada heterogeneidad en las ganaderías de vacuno de leche de la comarca en cuanto al manejo de la fracción sólida de los residuos ganaderos, gestión de los purines o fracción líquida, infraestructuras y maquinaria disponibles para el correcto manejo de los residuos ganaderos o la existencia de tierras disponibles en un radio próximo a la ganadería para el aprovechamiento de los estiércoles y purines para uso fertilizante, entre otros.

La diversidad existente en las ganaderías de la comarca ha condicionado el establecimiento de un protocolo que permita estandarizar el manejo de los residuos ganaderos y la fijación de una única solución técnica y económica para todas las ganaderías. Por lo tanto se han establecido diferentes técnicas de mejora, tanto a nivel individual como colectivo para que cada ganadería en función de los condicionantes mencionados anteriormente relativos al manejo, decida si acomete inversiones individuales o por el contrario opta por una gestión colectiva.

En cuanto a la gestión de los residuos ganaderos, tanto purines como estiércoles, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de diferentes medidas que permitirán reducir la contaminación difusa y puntual estableciendo la eficacia de aplicación de las medidas así como un análisis del coste-eficacia de las mismas. Dentro de estas medidas, por la importancia que tienen para garantizar la trazabilidad y la certificación de la gestión que están realizando los ganaderos de los residuos, destacan la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental en las ganaderías que certificaría la gestión de los subproductos ganaderos en función de unos estándares de calidad, y la implantación de una APP que permitirá controlar la aplicación directa en campo y llevar a cabo un registro electrónico de todas las entregas realizadas por parte de los ganaderos. En el marco del proyecto SUBPGAN se ha diseñado una APP con el objetivo de facilitar a los ganaderos el control de los subproductos.

Estas medidas complementan otras medidas que pueden ser llevadas a cabo en las ganaderías para reducir el impacto ambiental derivado del manejo de los residuos ganaderos. Así dentro de las actuaciones que se pueden llevar a cabo para mejorar el manejo de los estiércoles y purines destaca la implantación de un separador sólido/líquido que permitirá un aumento en la capacidad de gestión de cada fracción. En el proyecto también se ha abordado la posibilidad de un uso colectivo de los separadores sólido/líquido tomando como referencia el uso que en la actualidad realizan los ganaderos. Otra de las medidas propuestas para mejorar el impacto derivado del manejo de los residuos ganaderos es la impermeabilización de las zonas de acopio de los residuos ganaderos, distinguiendo entre la fracción sólida y la fracción líquida.

En cuanto a la fracción líquida, en las ganaderías de la Comarca existen fosas hormigonadas con capacidad de almacenamiento de purines de 3 meses como mínimo, tal como exige la normativa actual. Sin embargo se ha constatado un problema de gestión en el almacenamiento de los purines cuando se dan lluvias continuadas en determinados meses, problema que se agudiza si consideramos que no se puede realizar aplicación directa en campo precisamente cuando llueve. Para resolver este problema se ha analizado la posibilidad de implantar cisternas flexibles para almacenar líquidos, que no requieren de permisos de obras ni de grandes trabajos de infraestructura. Estas cisternas disponen de unos respiraderos de degasificadores para la evacuación del gas acumulado en su interior, que podría aprovecharse como biogás en la propia ganadería.

La impermeabilización de las zonas donde se acumula el estiércol ha sido uno de los puntos críticos abordados a lo largo del proyecto. Una de las medidas propuestas es la impermeabilización de las zonas donde se acumule y maneje el estiércol así como disponer de sistemas de recogida de posibles lixiviados. En cuanto a la fracción líquida se propone la cubrición de las fosas con geotextil y aprovechar el agua de la pluviometría.

Las actuaciones anteriormente descritas son medidas que pueden acometer los ganaderos de forma individual en su ganadería. Sin embargo, dada la gran heterogeneidad, existente actualmente en las ganaderías y la existencia de excedentes de las dos fracciones, sólida y líquida, se han abordado un conjunto de acciones que permitan una gestión colectiva de los

residuos ganaderos, tanto el estiércol como los purines. A través de la gestión colectiva se consiguen numerosas ventajas, no solo para el ganadero también para la sociedad en su conjunto.

Una posibilidad que se establece es la creación de una empresa de servicios (a través de la iniciativa privada o bien a través de la unión de ganaderos) que se encargue de la gestión de la aplicación directa del estiércol y de los purines. Esta empresa tendría como finalidad facilitar el cumplimiento por parte de los ganaderos de la normativa vigente. Para ello, la empresa dispondría de la maquinaria específica que se exige actualmente para la aplicación directa en campo, de un servicio de asesoramiento para una correcta fertilización de las parcelas y constituiría un nexo de unión entre agricultores y ganaderos.

Dada la importancia que tiene para los ganaderos de la comarca el uso del estiércol para la elaboración de camas, se plantea la posibilidad de una empresa que gestione el estiércol para la fabricación de material para el encamado de los animales. En el proyecto se han definido los puntos a considerar para el correcto manejo del mismo para su uso en cama (control de temperatura, tamaño de las partículas, aireación y una correcta cubrición de los montones), aspectos importantes no solo para evitar escorrentías y lixiviados del estiércol sino para garantizar una correcta higiene del compost resultante. La externalización de estos trabajos de preparación del compost de cama facilitaría el trabajo al ganadero y evitaría acometer inversiones para acondicionar el terreno destinado a la formación de cama, que actualmente se realiza sobre superficies no impermeabilizadas.

Para abordar la estrategia que permita la mejor gestión colectiva en la comarca, en primer lugar se han tenido en cuenta los subproductos generados en las ganaderías de la Comarca de los Pedroches, estimándose qué

porcentaje de los mismos podrían ser valorizados en una planta de gestión de subproductos ganaderos. Así, se ha estimado que el 30% de la producción de estiércol y el 40% de los purines generados en la comarca podrían ser usados en una planta de tratamiento posterior.

Para el tratamiento de los excedentes generados se han analizado a lo largo del proyecto distintas técnicas en función del producto a tratar (ver **Tabla 22**).

Del estudio económico y rendimientos de las diferentes alternativas se concluye que para la gestión colectiva de los estiércoles la planta de compostaje básico en pilas dinámicas es la opción más factible teniendo en cuenta el equilibrio alcanzado entre beneficios y pérdidas. Para la gestión de los purines, la solución adoptada es la implantación de plantas de digestión anaerobia.

Para ambos tipos de plantas, con el fin de obtener una viabilidad económica, los costes de transporte de los residuos ganaderos a las diferentes plantas serían asumidos por los ganaderos, para ello debería haber una distancia máxima entre la ganadería y la planta de 15 km. De esta manera **la repercusión económica para el ganadero sería mínima** ya que actualmente transporta los residuos ganaderos a distancias similares para proceder a su aplicación directa.

Se han analizado las distancias máximas de influencia, los núcleos de población, la red de carreteras y la existencia de EDAR, y por ello para el tratamiento del excedente de estiércol se proponen 4 plantas de compostaje básico y para el tratamiento de los purines 3 plantas de digestión anaerobia para evitar solapes excesivos y buscando un reparto equitativo del terreno entre estas.

Sin embargo, de las 8 plantas de compostaje analizadas se considerarían rentables las plantas ubicadas en los términos municipales de El Viso, Dos Torres, Añora, Pedroche, Alcaracejos y Pozoblanco. De las 3 plantas de co-digestión propuestas serían rentables las plantas de Pozoblanco y Dos Torres.

En las plantas de compostaje básico propuestas se podría analizar la viabilidad de sustituirlo por sistemas que aporten mayor valor añadido al subproducto ganadero como son las técnicas de vermicompostaje o el compostaje a través de reactores verticales continuos. De esta forma, plantas como la de compostaje básico propuesta en Torrecampo podrían alcanzar viabilidad económica.

Un caso especial lo constituye el término municipal de Belalcázar, donde ni la planta de compostaje básico ni la planta de co-digestión consiguen obtener una viabilidad económica. Sin embargo, debido a la cantidad

Tabla 22. Técnicas a utilizar para el tratamiento de los excedentes generados.

Estiércol
Compostaje básico en pilas con volteo.
Compostaje con aireación forzada en pilas estáticas.
Vermicompostaje.
Reactores verticales continuos (VCU).
Purines
Digestión anaerobia (plantas de codigestión y de generación de biogás).
Pirólisis.

de subproductos disponibles (Belalcázar representa más del 14% del total de las ganaderías de vacuno de leche de la comarca y casi el 15% del censo total de la comarca), unido a que constituye un núcleo aislado del resto del sector vacuno lechero de la comarca y a que están ubicadas en la zona de cultivo de cereal más importante de la comarca, se impone la necesidad de gestionar estos recursos de manera eficiente. Para ello se plantean tres posibles alternativas, pudiendo darse una o varias de ellas:

- Conseguir financiación pública para acometer la inversión inicial de la construcción de la planta.
- Aumentar la valorización agronómica de los subproductos obtenidos.
- Crear plantas de compostaje de menor dimensión, cuya gestión dependa directamente del ganadero o bien de una unión de ganaderos.

Una vez expuestas las alternativas estratégicas para la comarca, se concluye el apartado con un conjunto de proyectos con visión de futuro y derivados del estudio y ejecución del presente proyecto.

1. En la Comarca de los Pedroches existen dos problemas: falta de agua y gran cantidad de purines. Se podrían solucionar, al menos parcialmente mediante:
 - Humedales construidos.
 - Plantación de biofiltros vegetales.
 - Inhibidores de la nitrificación.
2. Sensorización y monitorización de las ganaderías: de los subproductos generados, del manejo de las camas, etc.
3. Uso de subproductos ganaderos para la fertilización de las zonas de dehesa. Lugares de pastoreo y barbecho.
4. Economía circular del subproducto: uso de los subproductos ganaderos para la alimentación de insectos y uso de harina de insectos como proteínas en la alimentación del vacuno de leche.



Financian: _____

