

Análisis coste-eficacia en la gestión de subproductos ganaderos de vacuno de leche para la reducción de la contaminación por nitrógeno

Material Complementario

M. Soledad Muñoz-Luque, Julio Berbel

Anexo I: Cuadro resumen índice coste-eficacia y reducción de la presión

Medida	Denominación Medida	Índice Coste-Eficacia (EUR/ton NO lixiviada/año)	Eficacia (%)	Reducción de la presión (ton)	Total UN NO lixiviado/año
No tratar	0	0,00	0	0,000	0
APP	D1	0,03	40	0,160	515.839
Humedales artificiales	D2	19,69	40	0,160	906.708
Plantación biofiltros vegetales	D3	35,89	90	0,360	483.526
Mejora fertilización (disminuir 10 % dosis abonado)	D4	55,45	50	0,200	63.263
Reemplazar barbecho por CC no-leguminosa	D5	50,20	50	0,200	63.263
Inhibidores nitrificación 3,4 DMPP	D6	21,00	25	0,100	297.337
Modernización maquinaria aplicación directa (sistema tubos colgantes)	D7	54,00	25	0,100	285.171
Modernización maquinaria aplicación directa (inyección y enterrado)	D8	41,43	35	0,140	270.377
Modernización regadío	D9	66,31	80	0,320	101.221
Mayor capacidad de almacenamiento de purín (9 meses)	D10	23,00	50	0,200	1.041.410
Bioactivantes	D11	7,00	30	0,120	903.761
Implantación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA)	P1	5,00	40	0,160	2.472.411
Cisterna flexible	P2	42,00	100	0,400	515.839

Gestión efluentes en granja	P3	26,00	25	0,100	792.876
Almacenamiento y cubrición balsas con geotextil	P4	15,25	100	0,400	2.447.384
Separador sólido/líquido	P5	18,75	20	0,080	582.230
Impermeabilización explotación	P6	10,00	100	0,400	1.877.041
Adecuación balsas subproductos	P7	12,75	100	0,400	788.357
Compostaje básico	P8	10,56	40	0,160	1.576.715
Compostaje avanzado con aireación forzada	P9	11,25	40	0,160	1.576.715
Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta	P10	10,50	50	0,200	1.626.769
Compostaje vertical	P11	39,29	70	0,280	2.086.992
Vermicompostaje	P12	8,75	40	0,160	1.576.715
Digestión anaerobia	P13	15,00	40	0,160	1.294.463
Alimentación ganado	P14	265,83	30	0,120	951.451
Acidificación del purín	P15	21,00	25	0,100	608.300
Pirólisis	P16	27,50	50	0,200	2.664.008
Catálisis enzimática	P17	1.757,50	10	0,040	1.589.507
Nitrificación-desnitrificación	P18	18,88	80	0,320	1.172.219
Disminución purín mediante energía solar	P19	26,79	70	0,280	1.037.517
Cisterna flexible + Separador sólido/líquido	C1	60,75	20	0,080	793.919
Cisterna flexible + Separador sólido/líquido + Impermeabilización explotación	C2	70,75	20	0,032	2.587.536
Gestión efluentes en granja + Almacenamiento y Cubrición balsas con geotextil + Separador sólido/líquido	C3	60,00	5	0,008	2.764.187
Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos	C4	22,75	100	0,400	2.665.399
Separador sólido/líquido + Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos	C5	41,50	20	0,032	2.943.757
Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Digestión	C6	44,31	3,2	0,005	2.592.764

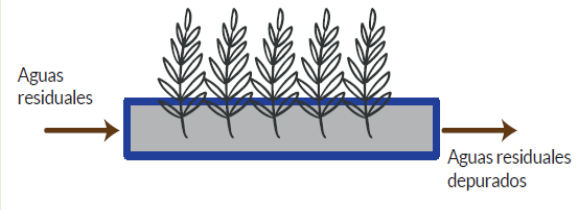
anaerobia					
Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Digestión anaerobia	C7	45,00	3,2	0,005	2.592.764
Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Digestión anaerobia	C8	44,25	4	0,006	2.597.547
Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	C9	42,50	3,2	0,006	2.592.764
Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Acidificación del purín	C10	50,31	2	0,003	1.913.150
Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Acidificación del purín	C11	51,00	2	0,003	1.913.150
Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Acidificación del purín	C12	50,25	2,5	0,004	1.919.570
Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Acidificación del purín	C13	48,50	2	0,004	1.913.150
Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Nitrificación-desnitrificación	C14	48,19	6,4	0,010	2.182.820
Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Nitrificación-desnitrificación	C15	48,88	6,4	0,010	2.182.820
Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Nitrificación-desnitrificación	C16	48,13	8	0,013	2.199.720
Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Nitrificación-desnitrificación	C17	46,38	6,4	0,013	2.182.820
Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Disminución purín mediante energía solar	C18	56,10	5,6	0,009	2.000.720
Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Disminución purín mediante energía solar	C19	56,79	5,6	0,009	2.000.720
Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Disminución purín mediante energía solar	C20	56,04	7	0,011	2.018.084
Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Disminución purín mediante energía solar	C21	54,29	5,6	0,011	2.000.720

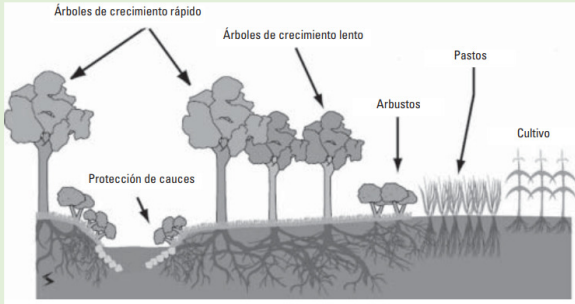
Separador sólido/líquido + Digestión anaerobia + Catálisis enzimática	C22	1.791,25	0,8	0,001	2.874.960
APP + Implantación de un Sistema de Gestión Ambiental	C23	5,03	16	0,064	2.830.467
Mejora fertilización (disminuir 10% dosis abonado) + Modernización regadío	C24	121,76	40	0,160	50.611
Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos + Inhibidores nitrificación	C25	43,75	25	0,040	2.686.811
Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos + Modernización maquinaria aplicación directa (sistema tubos colgantes)	C26	76,75	25	0,040	2.710.170
Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos + Modernización maquinaria aplicación directa (inyección y enterrado)	C27	64,18	35	0,056	2.680.582
Impermeabilización explotación + Adecuación balsas subproductos + Bioactivantes	C28	29,75	30	0,048	2.626.468
APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Compostaje básico + Digestión anaerobia	C29	86,34	1,28	0,0003	2.581.285
APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada + Digestión anaerobia	C30	87,03	1,28	0,0003	2.581.285
APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Compostaje avanzado con aireación forzada con cubierta + Digestión anaerobia	C31	86,28	1,6	0,0004	2.583.198
APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	C32	84,53	1,28	0,0003	2.581.285
APP + SGA + Modernización maquinaria AD (tubos colgantes) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje básico + Digestión anaerobia	C33	168,09	0,13	8,389E-07	3.171.505
APP + SGA + Modernización maquinaria AD (tubos colgantes) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje	C34	168,78	0,13	8,389E-07	3.171.505

avanzado con aireación forzada + Digestión anaerobia					
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	C35	168,03	0,16	1,049E-06	3.171.505
APP + SGA + Modernización maquinaria AD (tubos colgantes) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	C36	166,28	0,13	8,389E-07	3.171.505
APP + SGA + Modernización maquinaria AD (inyección y enterrado) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje básico + Digestión anaerobia	C37	155,52	0,18	1,174E-06	3.171.505
APP + SGA + Modernización maquinaria AD (inyección y enterrado) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Compostaje avanzado con aireación forzada + Digestión anaerobia	C38	156,21	0,18	1,174E-06	3.171.505
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	C39	155,46	0,22	1,468E-06	3.171.505
APP + SGA + Modernización maquinaria AD (inyección y enterrado) + Impermeabilización Explotación + Impermeabilización Balsas + Cisternas flexible + Separador S/L + Vermicompostaje + Digestión anaerobia	C40	153,71	0,18	1,174E-06	3.171.505
APP + SGA + Cisternas flexibles + Separador sólido/líquido + Compostaje Vertical + Digestión anaerobia	C41	115,07	0,896	9,17504E-05	2.875.259

Anexo II: Fichas descriptivas de la medida

Clave	D1
Denominación	Control de la aplicación directa en parcela de purines mediante un sistema de localización GPS y registro on-line
Descripción	 Desarrollar una herramienta informática objetiva (aplicación móvil; APP), con un sistema de localización GPS y registro on-line a tiempo real de los datos de la aplicación directa. Analizando los datos de todas las aplicaciones en cualquier parcela, se puede decidir sobre el tratamiento a adoptar de acuerdo con las circunstancias locales, teniendo en cuenta aspectos medioambientales, sociales, económicos, tecnológicos y legales de cada área. Dicha aplicación informática también debe registrar todos los movimientos y aplicaciones de purín, así como el control de la dosis de nutrientes a la hora de aplicarlo en la parcela agrícola, con el fin de facilitar la sostenibilidad de la actividad agroganadera, evitando la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Datos de inversión de una APP para todos los ganaderos de la Comarca de Los Pedroches (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de Andalucía, 2017; web Spira Dreams, 2019).
Fuente: Creación propia	
Eficacia	40 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	25.000 €
Total inversión (€)	25.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	3.750 €/año
CAE (k) (€/año)	2.180 €/año
Capacidad (ton/año)	1.680.000 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	5.930 €/año
CAE (€/ton)	0,004 €/ton

Clave D2	
Denominación	Humedales construidos
Descripción	
 Fuente: MAGRAMA, 2015	Los humedales artificiales en la propia granja consisten en un mono o policultivo de plantas macrófitas colocadas en lagunas, tanques o bien canales poco profundos e impermeabilizados. Estas áreas se encuentran inundadas por el purín manteniendo las condiciones de saturación. También pueden tenerse en cuenta los humedales construidos artificialmente en los cultivos que atrapan los sedimentos y nutrientes movilizados de tierras de cultivo en escorrentía, donde interceptan el agua de escorrentía superficial, de drenajes de campo, de zanjas y de arroyos. El empleo del purín depurado en humedales frente al purín bruto reduce considerablemente el contenido de nitrógeno (en forma amoniacal y nitratos) que se aporta al suelo. Datos de inversión realizados para una explotación media de 200 vacas y tiempo de retención hidráulica en el humedal de 7 días (MAGRAMA, 2015).
Eficacia	Reduce considerablemente el contenido de nitrógeno (en forma amoniacal y nitratos), en torno al 40 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	4.872 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	8.400 €/año
CAE (k) (€/año)	425 €/año
Capacidad (ton/año)	2.800 m ³ /año = 2.800 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	8.825 €/año
CAE (€/ton)	3,15 €/ton

Clave		D3
Denominación		Plantación biofiltros vegetales
Descripción		 La plantación de biofiltros vegetales induce a la retención de N que se moviliza mediante flujo lateral superficial desde cultivos hacia cursos de agua. Normalmente se ubican en tierras de cultivo que presentan drenaje superficial hacia efluentes cercanos por una pendiente del terreno. Para la realización de un biofiltro tipo, se realiza una primera barrera de pasto o pradera, una segunda barrera arbustiva y, por último, una barrera arbórea. Aunque se puede hacer la combinación descrita, solo dos de las barreras descritas o las especies solas. Las especies vegetales escogidas retendrán los contaminantes movilizados por escorrentía subsuperficial desde los campos hacia los cursos de agua y además facilitan la reducción en las concentraciones de nitratos desde el suelo es por el proceso de desnitrificación. Datos de inversión para aplicar purín de 200 vacas y biofiltro de pradera empleando la herbácea <i>Festuca arundinacea</i> (Ayto. Victoria-Gasteiz, 2015; Farías Morán, 2017).
Fuente:		
www.extension.iastate.edu/forestry/		
Eficacia		La reducción promedio de nitratos es del 90 % a la salida de los biofiltros.
Coste		
Pago de inversión		
Obra civil		11.400 €
Equipos		
Total inversión (€)		11.400 €
Costes operación y mantenimiento		
Coste O&M global (€/año)		34.625 €/año
CAE (k) (€/año)		1.549 €/año
Capacidad (ton/año)		2.800 m ³ /año = 2.800 ton/año
CAE TOTAL (€/año)		36.174 €/año
CAE (€/ton)		12,92 €/ton

Clave	D4
Denominación	Mejora del manejo de fertilizantes
Descripción	 La mejora del manejo de fertilizantes incluye acciones principales como el uso de la dosis de fertilizante recomendada y la reducción en la dosis recomendada para un cultivo (una reducción del abonado óptimo para cultivos en un 10 %, implica la reducción del uso de fertilizantes del 10 %). Con cada una de estas dos acciones se reduce casi prácticamente a la mitad la lixiviación del nitrógeno en el área del cultivo comparado con manejos agrícolas en los que no se ha optimizado el uso de los fertilizantes nitrogenados. Datos de inversión realizados para una explotación media de 200 vacas y utilización de un sistema de inyección en la aplicación del purín en el caso de la reducción del 10 % en la dosis óptima de fertilización en un cultivo de cereal. (MAGRAMA, 2015; BOJA, 2015)
Fuente: www.agronomaster.com	
Eficacia	Reducción lixiviación de N promedio en 46 % (uso dosis recomendada redujo 43 % N y reducción del 10 % de dosis recomendada redujo 50 % N)
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	88.500 €
Total inversión (€)	88.500 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	23.325 €/año
CAE (k) (€/año)	7.716 €/año
Capacidad (ton/año)	2.800 m ³ /año = 2.800 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	31.041 €/año
CAE (€/ton)	11,09 €/ton

Clave	D5
Denominación	Uso de cultivos de cubierta: reemplazar barbecho por CC no-leguminosa
Descripción	
 Fuente: www.abc.es	Una práctica muy común es la aplicación directa del estiércol y el purín en tierras en barbecho, donde los nitratos no son reabsorbidos por ningún cultivo, lixiviándose completamente con el paso del tiempo. El reemplazo de tierras en barbecho por cultivos de cobertera de no-leguminosas (como avena, cereales de invierno o trigo) facilita la obtención de nitratos del suelo incluyéndolos en las plantas y disminuyendo así la capacidad de lixiviación y pérdida de nutrientes en el suelo hacia las masas de agua del entorno. Datos de inversión realizados para una explotación de 100 vacas (14 m³/año con restricción de 74 m³ purín/ha año para no sobrepasar los 170 UFN; total 19 ha de cultivo/año) y cultivo de trigo en secano (Gobierno de Extremadura, 2015).
Eficacia	Reducción lixiviación de N en 50 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	65.000 €
Equipos	
Total inversión (€)	65.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	8.396 €/año
CAE (k) (€/año)	5.667 €/año
Capacidad (ton/año)	1.400 m ³ /año = 1.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	14.063 €/año
CAE (€/ton)	10,04 €/ton

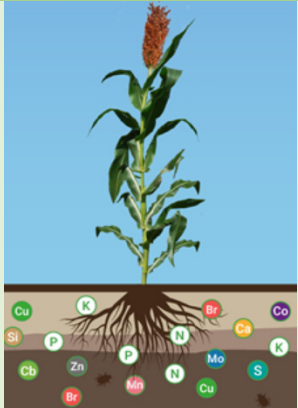
Clave	D6
Denominación	Mejora tecnología de fertilizantes: inhibidores de la nitrificación
Descripción	 La aplicación inhibidores de la nitrificación en los fertilizantes se produce cuando existe un exceso de nitrógeno y así frenar la nitrificación en el suelo, evitando las pérdidas del nutriente por lixiviación y, por tanto, la contaminación de masas de agua. El 3,4 DMPP es un producto inhibidor cuyo objetivo final es evitar la acumulación de nitratos y que el nitrógeno disponible para la planta lo esté en forma amoniacal, ya que esta forma nitrogenada presenta escasas pérdidas por lixiviación. Datos de inversión realizados para una explotación de 100 vacas (14 m³/año con restricción de 74 m³ purín/ha año para no sobrepasar los 170 UFN; total 19 ha de cultivo/año) (SODEMASA, 2009; web Compo Expert, 2019). Reducción lixiviación de N en 25 % y la volatilización del amoníaco en un 50 %.
Fuente: www.agroteibe.com	
Eficacia	Reducción lixiviación de N en 25 % y 50 % reducción de la volatilización
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	1.957 €
Equipos	810 €
Total inversión (€)	2.767 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	2.700 €/año
CAE (k) (€/año)	241 €/año
Capacidad (ton/año)	1.400 m ³ /año = 1.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	2.941 €/año
CAE (€/ton)	2,10 €/ton

Clave	D7
Denominación	Mejores técnicas disponibles (MTD) en el esparcimiento de purines (sistema de tubos colgantes)
Descripción	
 Fuente: www.agriexpo.online.es	La mejora en el equipo de esparcimiento de purines con el sistema de tubos colgantes disminuye la volatilización del amoníaco entre 40-50 % respecto al sistema tradicional, ya que la aplicación del purín es realizada a ras de suelo y no se generan aerosoles que repercuten en la volatilización de compuestos nitrogenados como el amoníaco. La aplicación directa mediante esta MTD aumenta la tasa de mineralización de nitrógeno, los cultivos absorben de manera más eficaz el nitrógeno aplicado y, por tanto, disminuye la lixiviación. Datos de inversión realizados para una explotación media de 200 vacas (MAGRAMA, 2015; Campo Galego, 2018; web Joskin, 2019).
Eficacia	Reducción 40-50 % Volatilización N y 25 % en lixiviación
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	77.500 €
Total inversión (€)	77.500 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	8.400 €/año
CAE (k) (€/año)	6.757 €/año
Capacidad (ton/año)	2.800 m ³ /año = 2.800 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	15.157 €/año
CAE (€/ton)	5,40 €/ton

Clave	D8
Denominación	Mejores técnicas disponibles en el esparcimiento de purines (sistema de inyección y enterrado)
Descripción	 La mejora en el equipo de esparcimiento de purines con el sistema de inyección y enterrado disminuye la volatilización del amoníaco en torno al 90 % respecto al sistema tradicional, ya que la aplicación del purín es inyectada en los cm superficiales del suelo con un enterramiento al paso de la maquinaria y directamente no se generan aerosoles, el material queda encubierto en el suelo y, a su vez, los nutrientes quedan retenidos en el suelo. La aplicación directa mediante esta MTD aumenta la tasa de mineralización de nitrógeno, los cultivos absorben de manera más eficaz el nitrógeno aplicado y, por tanto, disminuye la lixiviación. Datos de inversión realizados para una explotación media de 200 vacas (MAGRAMA, 2015; Campo Galego, 2018; web Joskin, 2019).
Fuente: www.agriexpo.online.es	
Eficacia	Reducción 90 % volatilización N y 35 % en lixiviación
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	88.500 €
Total inversión (€)	88.500 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	8.400 €/año
CAE (k) (€/año)	7.716 €/año
Capacidad (ton/año)	2.800 m ³ /año = 2.800 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	16.116 €/año
CAE (€/ton)	5,80 €/ton

Clave	D9
Denominación	Mejora en el manejo del agua en las necesidades del cultivo
Descripción	La mejora en el manejo del agua en los requerimientos hídricos de cada cultivo se puede hacer a través del ajuste de la cantidad de agua para cada cultivo en cuestión y con el cambio de sistema de regadío tradicional a un sistema modernizado, con menor pérdida de agua en las canalizaciones. Un plan de seguimiento de los requerimientos del agua en cada cultivo es indispensable para ajustar la aplicación de agua adecuada a las necesidades de cada cultivo. Así se evitará el excedente de agua de riego y la consiguiente lixiviación de nutrientes que serán lavados con el agua en exceso que no es capaz de captar el cultivo ni de retener el suelo. Además, con la utilización de sistemas modernizados de riego se puede ahorrar en torno al 35 % de los costes energéticos y del riego en los cultivos. Por lo que el ahorro de agua es un punto a favor tanto para el medio ambiente como para el agricultor. Datos de inversión realizados para una explotación de 100 vacas (14 m³/año con restricción de 74 m³ purín/ha año para no sobrepasar los 170 UFN; total 19 ha de cultivo/año) (Corominas, 2013; Berbel <i>et al.</i>, 2014; Junta de Castilla y León, 2016).
	 Fuente: www.expreso.press
Eficacia	Reducción lixiviación N 80 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	123.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	18943 €/año
CAE (k) (€/año)	10.767 €/año
Capacidad (ton/año)	1.400 m ³ /año = 1.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	29.710 €/año
CAE (€/ton)	21,22 €/ton

Clave	D10	
Denominación	Mayor capacidad de almacenamiento de purín (9 meses)	
Descripción		
	El aumento de la capacidad de almacenamiento del estiércol en las explotaciones ganaderas asegura que durante ese tiempo el nitrógeno quede retenido en la masa del estiércol durante los meses desfavorables, aplicándose solo en los meses de crecimiento de los cultivos mayoritarios cuando existe una mayor demanda de nutrientes, optimizándolos y evitando su exceso y su lixiviación. Para esta medida, no solo basta con el almacenamiento, sino que éste debe ser estanco para impedir vertidos puntuales en la explotación. Datos de inversión realizados para una explotación media de 200 vacas y 9 meses de almacenamiento de purín (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2018).	
	Fuente: Proyecto SUBPGAN	
Eficacia	Disminuye N fuentes difusas 50 %	
Coste		
Pago de inversión		
Obra civil	87.776,40 €	
Equipos	87.776,40 €	
Total inversión (€)		
Costes operación y mantenimiento		
Coste O&M global (€/año)	2.000 €/año	
CAE (k) (€/año)	7.653 €/año	
Capacidad (ton/año)	2.100 m ³ /año = 2.100 ton/año	
CAE TOTAL (€/año)	9.653 €/año	
CAE (€/ton)	4,60 €/ton	

Clave	D11
Denominación	Uso de bioactivantes en estiércol y purines
Descripción	 Los bioactivantes para estiércol y purines son cultivos bacterianos o preparados enzimáticos o combinaciones de ambos, que potencian el metabolismo de los microorganismos presentes en el estiércol, acelerando y optimizando el compostaje, obteniendo un mejor producto final. También reducen por completo las emisiones de amoníaco y son capaces de fijar el nitrógeno amoniacal en forma de nitrógeno orgánico. A su vez, el material tratado con bioactivantes después de ser aplicado al cultivo, mejora la absorción de nutrientes por las plantas y ayuda a la retención de nutrientes en el suelo, disminuyendo la lixiviación, principalmente de nitratos. Se debe adicionar aproximadamente 2 kg por cada 100 m³ de purines a tratar y 40-50 g por cada 1 m³ de compost (estiércol). Datos de inversión realizados para una explotación media de 200 vacas para el tratamiento de estiércol y purín (web Pengergetic, 2019). Fuente: www.nutreyfortalecemx.com
Eficacia	Reducción 100 % volatilización de N y 30 % de lixiviación
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	810 €
Equipos	1.957 €
Total inversión (€)	2.767 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	5.120 €/año
CAE (k) (€/año)	241 €/año
Capacidad (ton/año)	6.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	5.361 €/año
CAE (€/ton)	0,84 €/ton

Clave	P1
Denominación	Implantación de un Sistema de Gestión Ambiental
Descripción	 Fuente: Creación propia Para mejorar el comportamiento ambiental global de las explotaciones, se puede implantar y cumplir un sistema de gestión ambiental (SGA) que reúna las características: (1) Definir una política medioambiental que promueva la mejora continua de la eficacia ambiental de la instalación y establecerán un sistema de revisión del SGA, para comprobar si el sistema sigue siendo conveniente, adecuado y eficaz; (2) Planificar y establecer los procedimientos, objetivos y metas, junto con la planificación financiera y las inversiones necesarias; (3) Garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental; (4) Seguir el desarrollo de tecnologías más limpias y la aplicación de MTD para el tratamiento de estiércoles y purines; (5) Adoptar medidas correctoras y preventivas; (6) Realización de auditorías internas o externas para determinar si el SGA se ajusta a lo previsto y si se aplica correctamente; (7) Realizar de forma periódica evaluaciones comparativas con el resto del sector. Datos de inversión para explotación de 200 vacas (web Certicalia, 2019; web Isomas, 2019).
Eficacia	Reduce la contaminación de suelos y aguas en torno al 40 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	12.000 €
Total inversión (€)	12.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	800 €/año
CAE (k) (€/año)	4.489 €/año
Capacidad (ton/año)	6.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	5.289 €/año
CAE (€/ton)	0,80 €/ton

Clave	P2
Denominación	Cisterna flexible para purines
Descripción	La utilización de cisternas flexibles para el almacenamiento de purines durante la estación de precipitaciones es una buena opción para retener la parte líquida en un espacio estanco sin que se produzcan vertidos ni aumento del volumen del líquido por las lluvias en un almacenamiento descubierto. Además, siempre estará listo para algún tratamiento posterior o para su aplicación en campo en estaciones más favorables. Pueden utilizarse como primer almacenamiento de la parte líquida, previa separación del sólido, o como aliviadero en caso de llenado de las balsas descubiertas de la explotación. Datos de inversión para cisterna flexible de 200 m³, con superficie de 170 m² (web Depósitos Flexibles, 2018; web Solo Stocks, 2018).
	 Fuente: www.flexicisternas.com
Eficacia	Reducción emisión NH ₃ y lixiviación N del 100 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	9.381,76 €
Equipos	6.130 €
Total inversión (€)	15.511,76 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	2.000 €/año
CAE (k) (€/año)	1.352 €/año
Capacidad (ton/año)	200 m ³ /año = 200 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	3.352 €/año
CAE (€/ton)	16,80 €/ton

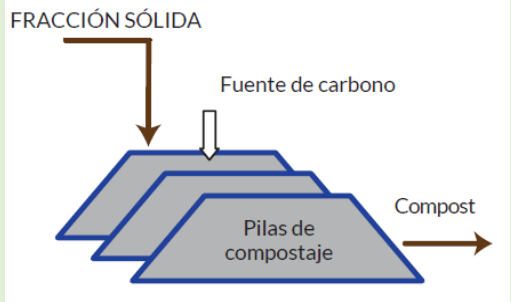
Clave	P3
Denominación	Mejor gestión de efluentes en granja
Descripción	La gestión de los efluentes en la granja incluye la gestión del estiércol y purín, así como el agua de limpieza y el agua recogida de las precipitaciones. Para una mejora en la gestión de los efluentes se deben realizar por separado, por un lado, la recogida del estiércol y del purín y las aguas de limpieza, y, por otro lado, el agua de precipitación. Para ello la explotación debe contar con sistemas de recogida del agua de pluviometría diferente del resto, para que esta agua no se contamine con exceso de nutrientes de los subproductos ganaderos. Así mismo, debe hacerse un uso racional del agua, con el fin de usar la mínima cantidad posible de agua en la limpieza y no incrementar en exceso el volumen final del efluente. Con esta gestión reducimos el volumen de almacenamiento de los residuos y evitamos su dilución. En ambos casos, los sistemas de recogida deberán estar dotados para un almacenamiento suficiente e impermeabilizado para no contribuir al lixiviado de material. Datos de inversión para una explotación media de 200 vacas (6.400 ton total de residuo, purín y estiércol por año) con arrobadera automática, impermeabilización de hormigón y canalización PVC para agua pluvial (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2013 y 2018; web Leroy Merlin, 2019).
	 Fuente: www.agriexpo.online.fr
Eficacia	Reducción lixiviación 25 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	105.878 €
Equipos	18.534,50 €
Total inversión (€)	124.412,50 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	5.500 €/año
CAE (k) (€/año)	10.847 €/año
Capacidad (ton/año)	6.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	16.347 €/año
CAE (€/ton)	2,60 €/ton

Clave	P4
Denominación	Almacenamiento y cubrición
Descripción	 El almacenamiento de los purines en balsas cubiertas y estiércoles en cobertizos o tanques cubiertos reduce la emisión de amoníaco y evita la contaminación puntual de estos subproductos en la explotación. Además, el cubrimiento de los subproductos impide la dilución del material con el agua de lluvia, manteniendo así el volumen del propio material sin aumentarlo con otros efluentes de la explotación. Datos de inversión estimados para explotación media de 200 vacas y para 6 meses de almacenamiento, tanto para la construcción de la balsa como de la cubrición con geotextil (López y Olivares, 2017; Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2018). Fuente: www.cubiertaflotante.com
Eficacia	Reducción 80 % emisión NH_3 ; 100 % reducción lixiviados
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	63.021,60 €
Equipos	
Total inversión (€)	63.021,60 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	3.000 €/año
CAE (k) (€/año)	5.495 €/año
Capacidad (ton/año)	1.400 m ³ /año = 1.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	8.495 €/año
CAE (€/ton)	6,10 €/ton

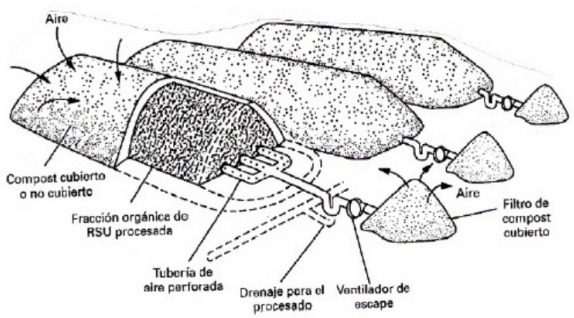
Clave	P5
Denominación	Separación Sólido/Líquido
Descripción	
 Fuente: Proyecto SUBPGAN (separador de prensa de tornillo con filtro para separar las dos fracciones)	La separación de las fases sólido/líquido de los subproductos ganaderos se ejecuta para un mejor manejo y para su posterior tratamiento por separado, ya que puede ser más beneficioso. El sistema requiere de un motor que succione el material de la balsa general de residuos en la explotación hasta el sistema separador, que puede tener diferentes mecanismos, una nueva balsa donde se almacene la fracción líquida y un lugar impermeabilizado donde se vaya depositando la fracción sólida que sale del separador. Con las dos fracciones por separado se pueden dar tratamientos diferentes dependiendo de lo que se quiera obtener de cada fracción y, al mismo tiempo, se está disminuyendo el tamaño de los residuos que necesitan para acopiarse. En el caso del sólido se disminuye a la mitad la cantidad de humedad, por lo que resulta más fácil su tratamiento posterior, y en el caso del líquido se puede almacenar en una balsa abierta o cerrada, controlada más adecuadamente que en la balsa principal con la mezcla de las dos fracciones. Datos de inversión para una explotación media de 200 vacas (6.400 ton total de residuo, purín y estiércol por año) y separador de prensa de tornillo (Flotats <i>et al.</i>, 2004; MAGRAMA, 2015).
Eficacia	20 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	62.520 €
Equipos	21.000 €
Total inversión (€)	81.520 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	2.520 €/año
CAE (k) (€/año)	7.107 €/año
Capacidad (ton/año)	6.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	9.627 €/año
CAE (€/ton)	1,50 €/ton

Clave	P6
Denominación	Impermeabilización explotación
Descripción	
 Fuente: www.digfineart.com	La fracción sólida de las explotaciones se debe almacenar en un suelo impermeabilizado con una losa de hormigón al aire libre y cuando sea posible tapado, para evitar el aumento de humedad. Si durante el almacenamiento el material queda retenido dentro de la losa de hormigón, se entiende que no habrá lixiviado de material, por lo que el espacio destinado debe estar bien dimensionado, dependiendo del tiempo de almacenamiento y de la producción de estiércol. Datos de inversión realizados para una explotación media de 200 vacas y 6 meses (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2018).
Eficacia	100 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	60.658,80 €
Equipos	
Total inversión (€)	60.658,80 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	2.000 €/año
CAE (k) (€/año)	5.289 €/año
Capacidad (ton/año)	1.800 ton /año
CAE TOTAL (€/año)	7.289 €/año
CAE (€/ton)	4,00 €/ton

Clave		P7
Denominación		Adecuación balsas almacenamiento
Descripción		
		La adecuación de las balsas de almacenamiento es una medida que se refiere al estudio de la capacidad mínima necesaria para almacenar los subproductos ganaderos durante el tiempo desfavorable para la aplicación directa (3-6 meses), en el caso de que no se retiren de la explotación para otro tratamiento. Según la legislación este almacenamiento debe ser como mínimo la capacidad de producción de subproductos ganaderos de 3 meses. Por lo tanto, si las balsas de almacenamiento se adecuan a una capacidad de almacenamiento de 6 meses, nos aseguraremos de que durante los meses desfavorables para la aplicación directa en campo el material permanecerá correctamente almacenado sin pérdidas por lixiviación. Datos de inversión realizados para una explotación media de 200 vacas y 6 meses de almacenamiento de purín (Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, 2018).
Fuente: Proyecto SUBPGAN		
Eficacia		100 %
Coste		
Pago de inversión		
Obra civil		58.517,60 €
Equipos		
Total inversión (€)		58.517,60 €
Costes operación y mantenimiento		
Coste O&M global (€/año)		2.000 €/año
CAE (k) (€/año)		5.102 €/año
Capacidad (ton/año)		1.400 m ³ /año = 1.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)		7.102 €/año
CAE (€/ton)		5,10 €/ton

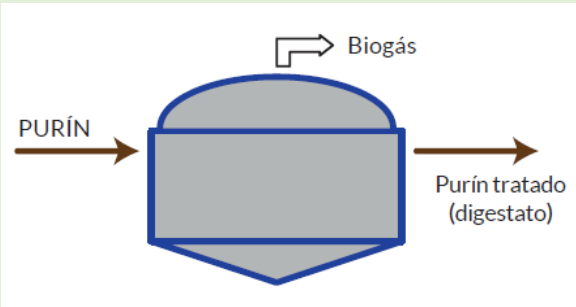
Clave	P8
Denominación	Compostaje pilas volteadas o compostaje básico
Descripción	 El compostaje básico es un tratamiento fácil para la realización de compost a partir de los estiércoles. Se puede llevar a cabo en plantas de compostaje especializadas o en la propia explotación ganadera. El material a compostar se amontona en forma de pila o de montones alargados, de sección triangular o trapezoidal, con una altura de 1,5 m y con una anchura de base no superior a su altura. La pila se debe dejar descomponer y comprobar la temperatura periódicamente, manteniéndose entre 60-70 °C para conseguir una esterilización del compost. Es importante voltear con la ayuda de tractor al menos una vez por semana o cuando la temperatura descienda, para que el material se recargue de oxígeno. Esta etapa puede durar entre 1 mes y 2 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 (aproximadamente 1 por mes o mes y medio). Esta etapa puede durar de 3 meses a 4 meses. Datos de inversión para 6.000 ton de estiércol (Moreno y Moral, 2008; MAGRAMA 2015).
Fuente: MAGRAMA, 2015	
Eficacia	Pérdida de N 40 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	300.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	26.000 €/año
CAE (k) (€/año)	26.155,00 €/año
Capacidad (ton/año)	6.000 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	52.155,00 €/año
CAE (€/ton)	1,69 €/ton
Ingresos (€/año)	42.000,00 €/año
Total Coste Neto (€/año)	10.155,00 €/año

Clave	P9
Denominación	Compostaje pilas estáticas aireadas sin cubierta
Descripción	 El sistema de pila estática con aireación forzada está compuesto por una red de tuberías de aireación sobre la cual se coloca la fracción orgánica a compostar. Las alturas de las pilas pueden ser de 2 m a 2,5 m. Para el suministro de aire se utiliza una tubería de drenaje de plástico y la inyección de aire está controlada por un ordenador o cronómetro, siendo el aporte de oxígeno de forma continua, a intervalos o ligados a un termostato que, llegada una determinada temperatura (aprox. 60 °C) acciona el mecanismo de inyección de aire hasta que la temperatura descende hasta el valor deseado. En este proceso se fermenta el material durante 3 semanas o 4 semanas y se madura después durante otras 4 semanas más. Datos de inversión para 6.000 ton de estiércol (Moreno y Moral, 2008; MAGRAMA 2015). Fuente: Porcel (2012).
Eficacia	Pérdida de N 40 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	330.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	24.000 €/año
CAE (k) (€/año)	28.771 €/año
Capacidad (ton/año)	6.000 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	52.771 €/año
CAE (€/ton)	1,80 €/ton
Ingresos (€/año)	42.000,00 €/año
Total Coste Neto (€/año)	10.771,00 €/año

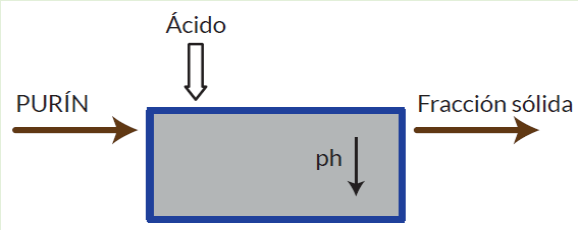
Clave		P10
Denominación		Compostaje pilas estáticas aireadas con cubierta
Descripción		 El proceso del compostaje de las pilas estáticas aireadas con cubierta de geotextil es el mismo que para el caso de pilas sin cubierta, solo que, en este caso, al estar cubiertas las pilas la aireación forzada continua debe ser requisito indispensable para que no se produzcan episodios de anoxia y los microorganismos aerobios trabajen al pleno rendimiento. Al estar cubierto el material, se evita el aumento de humedad en el compost en episodios de lluvia. Datos de inversión para 6.000 ton de estiércol (Moreno y Moral, 2008; MAGRAMA 2015).
Fuente: www.buscagro.com		
Eficacia		Pérdida de N 50 %
Coste		
Pago de inversión		
Obra civil		
Equipos		
Total inversión (€)		350.000 €
Costes operación y mantenimiento		
Coste O&M global (€/año)		24.000 €/año
CAE (k) (€/año)		30.515 €/año
Capacidad (ton/año)		6.000 ton/año
CAE TOTAL (€/año)		54.515 €/año
CAE (€/ton)		2,10 €/ton
Ingresos (€/año)		42.000,00 €/año
Total Coste Neto (€/año)		12.515,00 €/año

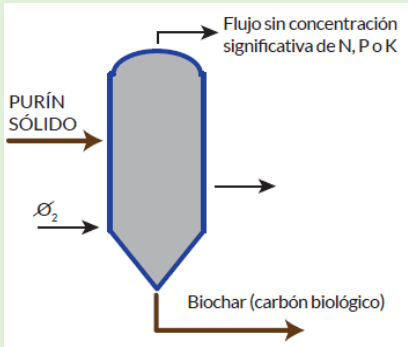
Clave	P11
Denominación	Compostaje vertical (VCU, Vertical Composting Unit)
Descripción	 El compostaje vertical es un sistema aeróbico cerrado y el compost se desarrolla dentro de cámaras modulares, donde los residuos se depositan en la parte superior de la cámara y el producto estabilizado se extrae de la parte inferior a diario. La capacidad diaria de proceso puede oscilar desde 2,5 ton de residuo orgánico a 100 ton, dependiendo del tamaño del reactor. La orientación vertical única de la cámara de procesamiento intensifica y acelera el proceso, con tiempos de retención típicos de entre 7 días y 14 días. La aireación se consigue mediante canalización natural desde la parte inferior y se acelera mediante un ventilador montado en la parte superior de cada cámara. La innovación que presenta este sistema es la utilización de residuos líquidos para aplicar la humedad dentro del proceso de compostaje, como por ejemplo purines o residuos líquidos de SANDACH. De esta forma, se pueden tratar las dos fracciones de subproductos ganaderos, líquida y sólida, en el mismo proceso. Datos de inversión para 1.000 ton de estiércol (web Traco Iberia S.L., 2019).
Fuente: Traco Iberia	
Eficacia	Pérdida de N 70 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	67.000 €
Equipos	715.000 €
Total inversión (€)	782.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	46.900 €/año
CAE (k) (€/año)	68.178 €/año
Capacidad (ton/año)	3.600 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	115.078 €/año
CAE (€/ton)	11,00 €/ton
Ingresos (€/año)	75.600,00 €/año
Total Coste Neto (€/año)	39.478,00 €/año

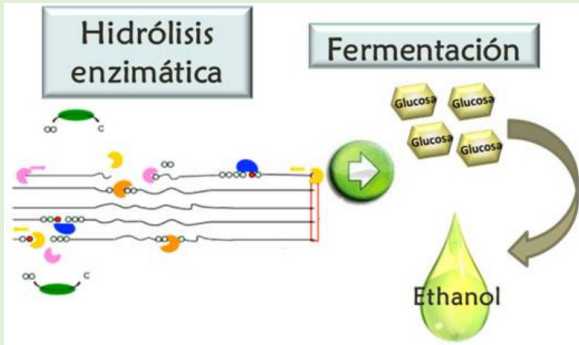
Clave	P12
Denominación	Vermicompostaje
Descripción	 En el vermicompostaje la materia orgánica se biodegrada en condiciones aerobias con la ayuda de lombrices de tierra, capaces de alimentarse del residuo a la vez que aceleran su degradación microbiana. El material preparado para compostar se deposita en lechos que suelen tener una anchura de 1,20 m y una altura no superior a 30-40 cm. Las lombrices se colocarán a través de una capa de vermicompost maduro encima del material y pasarán a la parte inferior para seguir descomponiendo la materia nueva. La humedad tiene que ser controlada periódicamente, idealmente se debe disponer de un sistema de riego automático para no disminuir el aporte de agua necesario. Al cabo de 3 meses o 4 meses el material estará listo para recogerse. Se debe depositar una capa de material fresco sobre el vermicompost y esperar aproximadamente 3 días para que las lombrices hayan colonizado el material nuevo y seguir con el proceso, y asegurarnos que el vermicompost tiene el menor número de lombrices posibles. Datos de inversión para 5.000 ton de estiércol (Lobo, 2014). Fuente: www.almeria360.com
Eficacia	Pérdida de N 40 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	140.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	30.000 €/año
CAE (k) (€/año)	12.206 €/año
Capacidad (ton/año)	5.000 ton
CAE TOTAL (€/año)	42.206 €/año
CAE (€/ton)	1,40 €/ton
Ingresos (€/año)	35.000,00 €/año
Total Coste Neto (€/año)	7.206,00 €/año

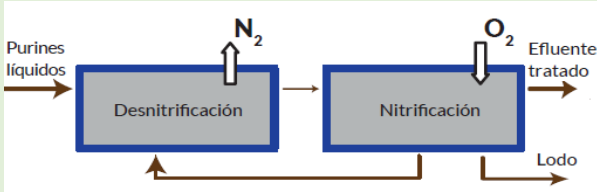
Clave	P13
Denominación	Digestión anaerobia
Descripción	Durante la digestión anaerobia la materia orgánica se transforma en condiciones de anoxia gracias a microorganismos anaerobios dando como resultado biogás, compuesto mayoritariamente por metano y dióxido de carbono, y una masa sólida/líquida de material denominada digestato, que facilita tanto su manejo posterior como su valorización agrícola como fertilizante. Este tratamiento es una buena alternativa para la fracción líquida de los subproductos ganaderos. El tiempo de retención del material durante todo el tratamiento puede variar de 15 días a 40 días, llevándose a cabo todo el proceso en una o dos etapas (reactores). En la primera etapa se prioriza maximizar la hidrólisis de la materia orgánica, mientras que en la segunda etapa se controla el proceso de metanogénesis y es donde se produce todo el biogás. Con esta técnica no se elimina nitrógeno, pero se estabiliza y se mineraliza la materia orgánica en el digestato resultante, es decir, favorece el paso del nitrógeno a la fracción sólida, en forma de nitrógeno orgánico. Datos de inversión para 14.600 m³ purín (Infoagro Costa Rica, 2011; Chuliá, 2018; web Genia Global, 2019; web Neiker-Tecnalia, 2019).
	
Fuente: MAGRAMA, 2015	
Eficacia	N orgánico estabilizado, eficacia en lixiviación 40 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	550.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	55.000 €/año
CAE (k) (€/año)	47.952 €/año
Capacidad (ton/año)	14.600 m ³ /año = 14.600 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	102.952 €/año
CAE (€/ton)	2,40 €/ton
Ingresos (€/año)	68.328,00 €/año
Total Coste Neto (€/año)	34.624,00 €/año

Clave	P14
Denominación	Cambio dieta ganado, alimentos bajos en proteínas
Descripción	 Fuente: www.betalia.es La modificación de la dieta del ganado con alimentos bajos en proteínas produciría una disminución en el nitrógeno en las excretas y en la emisión de amoníaco. Esta medida podría realizarse de dos formas: reduciendo el contenido de proteína bruta, teniendo en cuenta las necesidades de los animales, o reduciendo la proteína bruta y complementar con aminoácidos esenciales. La aplicación de estas técnicas se traducirá en una retención de proteína máxima y una excreción de nitrógeno mínima, lo que generará una menor contaminación de aguas por exceso de nitratos. Por ejemplo, los concentrados de granos de cereales (cebada, maíz, sorgo, arroz, trigo) son alimentos de alta energía para las vacas lecheras, pero son pobres en proteína (<12 %). Estos concentrados deben ser mezclados con los forrajes, dentro de los cuales las gramíneas contienen de 8 % a 18 % proteína cruda y los residuos de cosechas pueden tener solo 3 % a 4 % de proteína cruda (paja). La ingesta diaria de un bovino de leche de peso 550 kg es de 24 kg de alimento, para una producción de 40 kg leche/día. Datos para la inversión de la mitad de alimentación con pienso bajo en proteínas y el resto en forrajes, para 200 vacas en un año (web Agriexpo, 2019; web Grupo Medina, 2019).
Eficacia	Reducción del 30 % en N excretado
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	9.000 €
Equipos	7.040 €
Total inversión (€)	16.040 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	202.720 €/año
CAE (k) (€/año)	1.398 €/año
Capacidad (ton/año)	6.400 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	204.118 €/año
CAE (€/ton)	31,90 €/ton

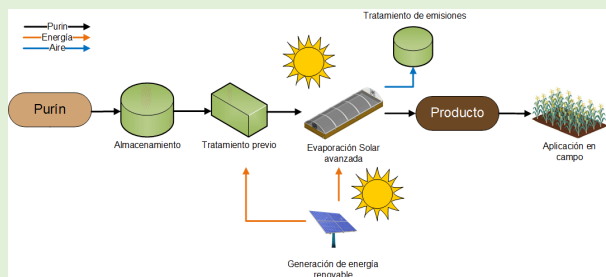
Clave	P15
Denominación	Acidificación purín
Descripción	La acidificación del purín es una técnica en la que la adición de ácido sulfúrico a la fracción líquida de los subproductos ganaderos ayuda a la concentración de amonio por la disminución del pH. A su vez, la acidificación del medio ocasiona una disminución en las emisiones de amoníaco en un 70 %, disminuyendo el olor del purín, disminución también de las emisiones de metano y ozono, y un aumento del nitrógeno disponible para el cultivo después de su aplicación en campo. Otro efecto positivo que se origina con la aplicación de este tratamiento es la reducción de la descarga de nitrógeno en los ecosistemas naturales y mayor coeficiente de utilización de nitrógeno como fertilizante por su más lenta mineralización. El proceso de acidificación debe llevarse a cabo en tanques estancos y específicos, seguidos de aireación y homogenización, todo ello automatizado para evitar riesgos sobre los operarios o el entorno. La frecuencia del tratamiento depende del pH inicial del purín antes de cada tratamiento, por lo que la frecuencia aumentará cuanto mayor sea el pH inicial. Por regla general, todo el purín de un lote/rebaño de animales deberá tratarse de 1 vez a 3 veces al día. (MAGRAMA, 2015; Campo Galego, 2018).
 Fuente: MAGRAMA, 2015	
Eficacia	Reducción emisión NH ₃ del 70 % y en reducción de lixiviación N 25 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	100.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	11.800 €
CAE (k) (€/año)	8.718,46 €/año
Capacidad (ton/año)	10.000 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	20.518,46 €/año
CAE (€/ton)	2,10 €/ton

Clave	P16
Denominación	Pirólisis
Descripción	La pirólisis consiste un tratamiento térmico donde se produce la descomposición de la materia orgánica a elevadas temperaturas (300-500 °C) en condiciones anóxicas y bajo presión. Los productos resultantes de esta técnica son: gas combustible (syngas), hidrocarburos condensables de cadena larga (aceite de pirólisis) y carbón vegetal (biochar). El material debe ser pretratado con anterioridad al proceso de pirólisis, secándose el material y eliminando otros materiales no deseados mediante separación. Después del proceso del pretratamiento, el material se introduce en el reactor y se procede a realizar la pirólisis. El biochar presenta varias utilidades, entre las que cabe destacar su uso como enmienda orgánica en los cultivos. La mayor propiedad del biochar es su alta estabilidad química, determinando el tiempo que está el carbono secuestrado en el suelo y cuánto tiempo influirá en las emisiones de los GEI contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Además, retiene la humedad del suelo en los cultivos y con ello los nutrientes, asegurando una menor lixiviación. Datos de inversión de 7.300 ton de residuo al año (MAGRAMA, 2015; Cueto, 2016).
 Fuente: MAGRAMA, 2015	
Eficacia	Reducción 50% N
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	3.209.393,80 €
Equipos	1.605.148,80 €
Total inversión (€)	4.814.542,60 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	1.445.176,20 €/año
CAE (k) (€/año)	419.753,76 €/año
Capacidad (ton/año)	7.300 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	1.864.929,96 €/año
CAE (€/ton)	27,50 €/ton
Ingresos (€/año)	1.825.000,00 €/año
Total Coste Neto (€/año)	39.929,96 €/año

Clave		P17
Denominación		Catálisis enzimática
Descripción		La catálisis o hidrólisis enzimática es el proceso donde la materia orgánica se descompone en sus monómeros elementales mediante acción enzimática. Este proceso se puede continuar para la producción de productos valorizables como el bioetanol, resultante de la fermentación de azúcares, como pueden ser almidón, sacarosa, celulosa y hemicelulosa. Sabiendo que los compuestos lignocelulósicos son un componente importante del estiércol animal, podría utilizarse esta técnica como tratamiento para el estiércol y obtener un biocombustible. Las etapas para la producción de bioetanol a partir de compuesto lignocelulósicos son: hidrólisis enzimática de la celulosa y hemicelulosa, fermentación de azúcares, separación de la lignina residual y purificación del bioetanol para alcanzar las especificaciones para ser combustible. La temperatura óptima para la hidrólisis enzimática está en torno a 40-50 °C, con un pH en torno a 5 y tiempo de residencia entre 72-96 h. A pesar de que es una buena alternativa de gestión del estiércol por la producción de bioetanol, la reducción del nitrógeno es mínima, ya que esta técnica actúa principalmente sobre el carbono. Datos de inversión de 730.000 ton de estiércol al año (Olsson, 2007; Arellano, 2015).
 Fuente: www.madrimasd.org		
Eficacia		Reducción 10 % N
Coste		
Pago de inversión		
Obra civil		
Equipos		
Total inversión (€)		16.720.000 €
Costes operación y mantenimiento		
Coste O&M global (€/año)		114.000.000 €
CAE (k) (€/año)		1.457.726 €/año
Capacidad (ton/año)		730.000 ton/año
CAE TOTAL (€/año)		115.457.726 €/año
CAE (€/ton)		70,30 €/ton
Ingresos (€/año)		64.124.021,25 €/año
Total Coste Neto (€/año)		51.333.704,75 €/año

Clave	P18
Denominación	Nitrificación-desnitrificación
Descripción	El proceso de nitrificación-desnitrificación está basado en una conversión biológica de amoníaco a gas nitrógeno, combinando la nitrificación autótrofa bajo aireación y la desnitrificación heterótrofa bajo condiciones de anoxia y presencia de carbono orgánico. Durante la nitrificación, el amonio se oxida aeróbicamente a nitrito por las bacterias oxidantes de amonio, y posteriormente se oxida de nitrito a nitrato por bacterias oxidantes de nitrito. Posteriormente, en la desnitrificación, el nitrato se reduce a gas nitrógeno bajo presencia de carbono biodegradable orgánico. El sistema tiene una entrada para la fracción líquida del purín y dos salidas, el efluente líquido tratado y los fangos. El nitrógeno no eliminado en forma de gas nitrógeno se distribuye entre estas dos salidas. La temperatura del proceso afectará al desarrollo del proceso, por lo tanto, deberá ser controlada para permanecer en su temperatura óptima, 35 °C. La aireación también debe ser controlada ya que puede llegar a ser un factor limitante en la primera fase del proceso. Datos de inversión para una explotación de 15.000 m³ de purín al año (Flotats <i>et al.</i>, 2004; MAGRAMA, 2015).
 Fuente: MAGRAMA, 2015	
Eficacia	Reducción 80 % N
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	270.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	57.750 €/año
CAE (k) (€/año)	23.540 €/año
Capacidad (ton/año)	15.000 m ³ /año = 15.000 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	81.290 €/año
CAE (€/ton)	5,40 €/ton

Clave	P19
Denominación	Disminución purín mediante energía solar
Descripción	El tratamiento de purines con energía solar surge a través del proyecto SOLARPUR, ejecutado por las empresas SUD Renovables y CIM Agua en colaboración con investigadores del centro tecnológico Eurecat-CTM. La tecnología utilizada se basa en un sistema de evaporación intensiva por la aplicación de paneles solares captando la radiación solar térmica, disminuyendo el volumen de purín de una manera más eficiente que la evaporación solar de forma natural, utilizando un control de la ventilación automatizado que mide las variables de entorno como la temperatura, la humedad o la radiación solar. Se trata de una planta piloto con una balsa cubierta con la instalación de paneles solares y un sistema de control. El purín debe ser tratado inicialmente acidificándolo, para evitar las emisiones de gases de efecto invernadero, y la implantación de un sistema de filtración del aire para asegurar que se produzcan las mínimas emisiones. El objetivo principal de este tratamiento, en fase piloto, es reducir el volumen de los purines, junto con el ahorro económico y energético que supone el aprovechamiento del excedente de la producción fotovoltaica para autoconsumo de la planta de tratamiento. Datos de inversión en el proyecto SOLARPUR para 200 vacas (web proyecto SOLARPUR, 2019).
Fuente: SOLARPUR	
Eficacia	Reducción emisión NH ₃ del 100 % y en reducción de lixiviación N 70 %
Coste	
Pago de inversión	
Obra civil	
Equipos	
Total inversión (€)	80.000 €
Costes operación y mantenimiento	
Coste O&M global (€/año)	14.000 €/año
CAE (k) (€/año)	6.975 €/año
Capacidad (ton/año)	2.800 m ³ /año = 2.800 ton/año
CAE TOTAL (€/año)	20.975 €/año
CAE (€/ton)	7,50 €/ton



Referencias bibliográficas de los anexos

- Arellano C (2015). Obtención biotanol a partir de materiales lignocelulósicos. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Orizaba.
- Ayto. Victoria-Gasteiz (2015). Presupuesto para la Unidad de Anillo Verde y Biodiversidad. Servicio de Conservación de la Vegetación Anillo Verde (2015-2016).
- Berbel J, Gutierrez-Martín C, Camacho E, Montesinos P, Rodríguez-Díaz JA (2014). Efectos de la Modernización de Regadíos en Consumo de Agua, Energía y Coste. XIII Congreso de Comunidades de Regantes, 14-15 mayo 2014, Huelva, España.
- BOJA (2015). Orden de 1 de junio de 2015, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, núm. 111, de 11 de junio de 2015, pp. 8-19.
- Campo Galego (2018). Periódico Digital Campo Galego: “Alternativas técnicas para cumplir el decreto de purines”. Disponible en: <http://www.campogalego.com/es/leche/alternativas-tecnicas-para-cumplir-el-decreto-de-purines/> (Consultado: 26 noviembre 2018)
- Chuliá B (2018). Biogás: los purines también dan dinero (2/2). Disponible en: https://www.3tres3.com/articulos/biogas-los-purines-tambien-dan-dinero-2-2_39849/ (Consultado: 26 noviembre 2018)
- Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía (2013). Costes de Referencia (Orden de 3 de julio de 2013. Convocatoria 2013 de la Orden de 8 de julio de 2011). Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/06_-_precios_de_referencia_conv_2013.pdf (Consultado: 11 febrero 2019)
- Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía (2018). Costes de Referencia - Submedida 4.1. Convocatoria 2018 (Orden 31/01/2018) - Invernaderos.

Disponible en:
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/costes_referencia_convocatoria_2018_Invernaderos.pdf (Consultado: 11 febrero 2019)

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de Andalucía (2017). Plan de trabajo de SUBPGAN: Mejora del Manejo, Valorización y Comercialización de Subproductos Ganaderos a través de Innovación. Junta de Andalucía.

Corominas J (2013). La nueva cultura del agua para su eficiente uso en la agricultura. Jornada Recrecimiento o decrecimiento. Alternativas a Yesa. 28 de septiembre de 2013, Sangüesa, Navarra, España.

Cueto MJ (2016). Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de EDAR, de RSU y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.

Farías Morán J (2017). Uso de biofiltros angostos como medida de mitigación de las pérdidas de nitrógeno en dos suelos de Chile central, cultivados con maíz: tercer año de evaluación. Tesis Pregrado. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Flotats X, Campos E, Illa J, Magrí A, Palatsi J, Solé F (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas, diciembre. Centro UdL-IRTA, Área de Ingeniería Ambiental, Agencia de Residuos de Cataluña y Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca, Generalitat de Cataluña. 70 pp.

Gobierno de Extremadura (2015). Anejo N° 20 estudio de costes y análisis de sensibilidad del proyecto. Proyecto Delimitación Cartográfica, Anteproyecto y Estudio de Costes de la Zona Regable de Arroyo del Campo (Badajoz). Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía. 40 pp.

- Infoagro Costa Rica (2011) Curso Biodigestores: Diseño de biodigestores y producción de electricidad, impartido por ICE Electricidad. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf> (Consultado: 15 mayo 2019)
- Junta de Castilla y León (2016). Coste de Riego. Plan de Monitorización de Cultivos de Regadío en Castilla y León.
- Lobo A (2014). Puesta en funcionamiento de una explotación vermícola. Trabajo Fin de Grado. Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals. Universitat Jaume I, Castellón de la Plana, España.
- López N, Olivares J (2017). Proyecto de Impermeabilización Depósito - Balsa Abastecimiento en Casas de Haro (Cuenca). Servicios de Obras Provinciales, Diputación Provincial de Cuenca. España. 157 pp.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) (2015). Evaluación de técnicas de gestión de deyecciones en ganadería. Sectores de bovino, porcino, avicultura de carne y puesta. Subdirección General de Medios de Producción Ganaderos. Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 114 pp.
- Moreno J, Moral R (2008). Compostaje. Ed Mundi Prensa Libros S.A. Madrid, España. 570 pp.
- Olsson L (2007). 108. Biofuels. En: Serie Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology (Ed. Scheper T). Ed. Springer, Hannover, Alemania. 380 pp.

Porcel A (2012). Sistema de gestión de residuos sólidos orgánicos en el Régimen Abierto para varones del Centro de Rehabilitación Santa Cruz - Palmasola. Tesis de Grado. Escuela militar de ingeniería “Mcal. Antonio José De Sucre”. Bolivia.

SODEMASA (2009). Proyecto Planta de Tratamiento de purín en Valderrobres (Teruel). Instituto Aragonés del Agua del Gobierno de Aragón y SODEMASA (S.A.U.)

Web Agriexpo (2019). Disponible en: <http://www.agriexpo.online/es/> (Consultado: 08 abril 2019)

Web Certicalia (2019). Disponible en: <https://www.certicalia.com/> (Consultado: 10 abril 2019)

Web Compo Expert (2019). Disponible en: <https://www.compo-expert.com> (Consultado: 19 marzo 2019)

Web Depósitos Flexibles (2018). Disponible en: <http://depositosflexibles.net/> (Consultado: 04 diciembre 2018)

Web Genia Global (2019). Disponible en: <http://geniaglobal.com/planta-de-biogas-de-qila-energy-en-reino-unido/> (Consultado: 10 mayo 2019)

Web Grupo Medina (2019). Disponible en: <https://www.grupo-medina.es/es/productos/> (Consultado: 08 abril 2019)

Web Isomas (2019). Disponible en: <https://isomas.es/> (Consultado: 10 abril 2019)

Web Joskin (2019). Disponible en: <https://www.joskin.com/es> (Consultado: 22 marzo 2021)

Web Leroy Merlin (2019). Disponible en: <http://www.leroymerlin.es/> (Consultado: 15 marzo 2021)

Web Neiker-Tecnalia (2019). Disponible en: <http://www.neiker.net/?lang=es> (Consultado: 14 mayo 2019)

Web PENERGETIC (2019). Disponible en: <https://www.penergetic.com/en> (Consultado: 25 abril 2019)

Web proyecto SOLARPUR (2019). Disponible en: <http://solarpur.ctm.com.es/> (Consultado: 06 mayo 2019)

Web Solo Stocks (2018). Disponible en: <https://www.solostocks.com/> (Consultado: 04 diciembre 2018)

Web Spira Dreams (2019). Disponible en: <https://spiradreams.com/> (Consultado: 11 marzo 2019)

Web Traco Iberia S.L (2019). Disponible en: <https://www.tracoiberia.com/> (Consultado: 30 abril 2019)